

## ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ НИТЕЙ С РАЗРЕЗНЫМ ВОРСОМ

Локтионов А.В., Буткевич В.Г., Васильев Р.А., Петуховская О.А.

*The analytical description of movement of a string allows to define its tension at formation of new structures and properties.*

Технологии формирования нитей достаточно разнообразны. Это обуславливается тем, что процесс прядения непрерывен, хотя волокна имеют различную длину, хаотично расположены в продукте и связаны между собой силами трения и сцепления. Технология прядения состоит в последовательном преобразовании структуры полуфабрикатов, при котором каждая последующая стадия характеризуется новой структурой, расположением волокон и связями между ними. На основные этапы технологического процесса влияют различные факторы: природная извитость волокон, неровнота по основным физико-механическим параметрам, которые сложно описать математически.

Аналитическое описание технологических процессов получения нити позволит оценить влияние тех или иных факторов на качество нити, прогнозировать результаты переработки продукта и проектировать новые процессы.

В текстильной промышленности широкое распространение получили различные виды фасонных нитей (петлистые, узелковые). Наиболее сложным в технологическом процессе получения фасонных нитей является процесс формирования продукта с разрезным ворсом (нити «Синель»). Сущность технологии их получения заключается в следующем. Нити сердечника сматываются с поковок и принудительно подаются в рабочую зону машины через глазки нитенатяжителя специальными тянущими роликами. Туда же поступает предварительно сформированная в полуфабрикат требуемой формы нить ворсового компонента. Перемещаясь по направляющим, она подводится к ножам, которые и формируют разрезной ворс. После процесса резки полуфабрикат поступает в зону кручения, где крутильно-мотальным механизмом формируется в нить с разрезным ворсом. Таким образом волокнистый продукт формируется в полуфабрикат требуемой формы с разрезанием ворса и подается в зону кручения продукта. Однако существующее оборудование для получения таких нитей не удовлетворяет современным требованиям, ибо при требуемой скорости около 20 м/мин сложность кинематики делает технологический процесс практически нестабильным. Необходимо оборудование, позволяющее стабильно формировать данный вид нитей широкого диапазона линейных плотностей с удовлетворительной производительностью.

Одной из основных задач при получении нити с разрезным ворсом является формирование волокнистого полуфабриката требуемой формы и структуры. Нить при этом движется по формирующей поверхности по спирали с переменным шагом. Для разработки нового технологического процесса необходимо аналитическое описание основных этапов формирования многокомпонентной фасонной нити. Описание ее движения позволит определить силы натяжения нити, что обеспечит снижение обрывности нити.

Задача определения формы и натяжения вращающейся нити имеет не только теоретический интерес, но и прикладное значение. Правильная заполняемость ворсового компонента позволяет получить фасонные нити с разрезным ворсом требуемого качества.

Если гибкую нить вращать с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , то нить принимает некоторую постоянную форму, которую можно рассматривать как фигуру, находящуюся в относительном равновесии.

Рассмотрим с учетом сопротивления среды вращение гибкой нити вокруг формирующей поверхности круглой формы. Считая воздушную среду однородной, при равномерном вращении и навивании на сборную поверхность, нить принимает некоторую неизменную форму.

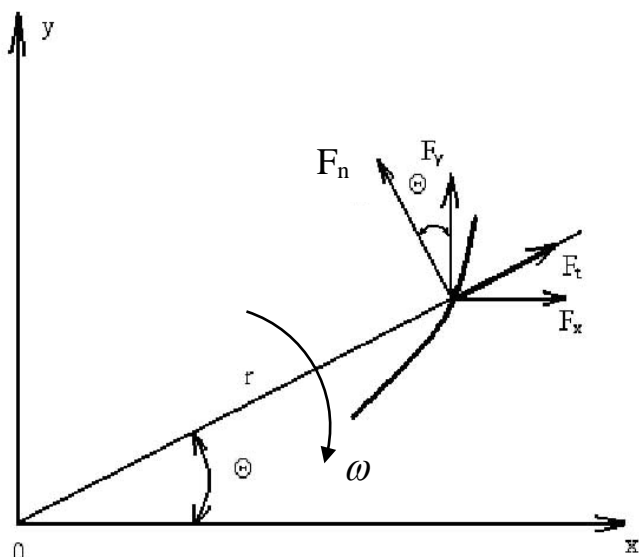


Рис. 1.

При этом на каждую одиночную единицу массы нити (рис. 1) кроме центробежной силы  $F_t = \omega^2 \cdot r$  действует сила сопротивления среды  $F_n$ , которая имеет направление противоположное направлению вращения.

Введем прямоугольные  $x$ ,  $y$  и подвижные вместе с нитью полярные оси  $\Theta$ ,  $r$  с центром на оси вращения. Проектируя внешние силы на оси координат  $x$ ,  $y$  получим

$$\begin{aligned} F_x &= \omega^2 r \cdot \cos \Theta - F_n \sin \Theta, \\ F_y &= \omega^2 r \cdot \sin \Theta + F_n \cos \Theta, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\omega$  - угловая скорость вращения в данный момент времени элемента нити

относительно сборной поверхности,  $r$  - радиус вращения элемента нити,

$\Theta$  - угол подъема элемента нити.

Дифференциальные уравнения движения элемента нити единичной массы с учетом (1) для однородной растяжимой гибкой нити имеет вид [1]

$$\begin{aligned} \frac{f(t)}{\mu_0} \cdot \frac{d}{dS} \left( T \frac{dx}{dS} \right) + \omega_r^2 \cdot \cos \Theta - F_n \sin \Theta &= 0, \\ \frac{f(T)}{\mu_0} \cdot \frac{d}{dS} \left( T \frac{dz}{dS} \right) + \omega^2 r \cdot \sin \Theta + F_n \cos \Theta &= 0, \\ \left( \frac{dx}{dS} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dS} \right)^2 &= 1, \\ \frac{dS}{dl} &= f(T), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $T$  - натяжение нити,  $S$  - перемещение элемента нити вдоль оси  $z$ .

Умножая первое уравнение этой системы на “ $x$ ” и складывая со вторым уравнением, а затем, умножая полученное на “ $y$ ”, с учетом формул перехода к полярным координатам  $x = r \cdot \cos \Theta$ ,  $y = r \cdot \sin \Theta$ , получим

$$\frac{f(T)}{\mu_0} \left[ x \frac{d}{dS} \left( T \frac{dx}{dS} \right) + y \cdot \frac{d}{dS} \left( T \frac{dy}{dS} \right) \right] + \omega^2 \cdot r^2 = 0. \quad (3)$$

Преобразуем выражение, стоящее в квадратных скобках равенства (3). Используя третье уравнение системы (2) и соотношения

$$\frac{dx}{dS} = \frac{dz}{dS} \cos \Theta - r \cdot \sin \Theta \frac{d\Theta}{dS}, \quad \frac{dz}{dS} = \frac{dr}{dS} \sin \Theta + r \cdot \cos \Theta \frac{d\Theta}{dS},$$

получим [1],

$$\begin{aligned} x \frac{d}{dS} \left( T \frac{dx}{dS} \right) + y \frac{d}{dS} \left( T \frac{dy}{dS} \right) &= x \frac{d}{dS} \left( T \frac{dx}{dS} \right) + \frac{dx}{dS} T \cdot \frac{dx}{dS} + y \frac{d}{dS} \left( T \frac{dy}{dS} \right) + \frac{dy}{dS} T \frac{dy}{dS} - T = \\ &= \frac{d}{dS} \left[ T \left( x \frac{dx}{dS} + y \frac{dy}{dS} \right) \right] - T = \frac{d}{dS} \left( T_r \frac{dz}{dS} \right) - T. \end{aligned} \quad (4)$$

С учетом (4) уравнение (3) можно представить в виде

$$\frac{f(T)}{\mu_0} \cdot \frac{d}{dS} \left( T_r \frac{dz}{dS} \right) - \frac{f(T)}{dS} - \frac{f(T)}{\mu_0} T + \omega^2 \cdot r^2 = 0. \quad (5)$$

Умножим второе уравнение системы (2) на “x” и вычтем из него первое уравнение, умноженное на “y”, получим

$$\frac{f(T)}{\mu_0} \left[ x \frac{d}{dS} \left( T \frac{dy}{dS} \right) - y \frac{d}{dS} \left( T \frac{dx}{dS} \right) \right] + r \cdot F_n = 0. \quad (6)$$

Преобразуем входящее в уравнение (6) выражение

$$\left( x \frac{d}{dS} \left( T \frac{dy}{dS} \right) - y \frac{d}{dS} \left( T \frac{dx}{dS} \right) \right) = \frac{d}{dS} \left[ T \left( x \frac{dy}{dS} - y \frac{dx}{dS} \right) \right] = \frac{d}{dS} \left( T \cdot r^2 \frac{d\Theta}{dS} \right). \quad (7)$$

Система дифференциальных уравнений (3) с учетом (5), (6), (7) можно записывать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{f(T)}{\mu_0} \frac{d}{dS} \left( T \cdot r \frac{dz}{dS} \right) - \frac{f(T)}{\mu_0} T + \omega^2 \cdot r^2 &= 0, \\ \frac{f(T)}{\mu_0} \cdot \frac{d}{dS} \left( T \cdot r^2 \frac{d\Theta}{dS} \right) + r \cdot F_n &= 0, \\ \frac{dS}{dl} &= f(T). \end{aligned} \quad (8)$$

Принимаем, что при обкручивании направляющей движения нити ее искривление относительно мало и  $dz \approx dS$ .

Тогда первое уравнение системы (8) имеет вид

$$\frac{f(T)}{\mu_0} \cdot \frac{d}{dr} (Tr) - \frac{f(T)}{\mu_0} \cdot T + \omega^2 \cdot r^2 = 0. \quad (9)$$

После преобразования равенства (9) получим [2]

$$\frac{f(T)}{\mu_0} \cdot r \cdot \frac{dT}{dr} + \omega^2 \cdot r^2 = 0. \quad (10)$$

Отсюда интеграл натяжения нити

$$\int f(T) dT = C_1 - \frac{1}{2} \mu_0 \cdot \omega^2 \cdot r^2. \quad (11)$$

Постоянная  $C_1$  с учетом начальных условий (полагаем, что в начальный момент времени один конец нити закреплен, а другой свободен, т.е. на него не действует сила натяжения) имеет вид

$$C_1 = \frac{1}{3} R \mu_0 \cdot \omega \cdot r. \quad (12)$$

Полученные расчетные формулы (11), (12) позволяют определить натяжение нити, а так же построить кривую, образованную нитью при ее движении по сборной поверхности. Последнее позволяет оценить оптимальность заполнения фасонной нитью ворсовой поверхности, и, как следствие, получить нити требуемого качества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Н.И., Статика и установившееся движение гибкой нити. / Учебник для ВУЗов. – М.: Легкая индустрия, 1970. – С.272.
2. Школьник А.Г. Дифференциальные уравнения. / Учебное пособие для физико-математических ВУЗов. Государственное учебно-педагогическое издательство министерства просвещения РСФСР. – М., 1963. – С.198.