

## АНАЛИЗ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА ОСНОВНОЙ НИТИ С ГЛАЗКОМ ГАЛЕВА РЕМИЗЫ

Л.А. СЕКОВАНОВА

(Костромской государственной технологической университет)

В процессе ткачества нити основы перемещаются через глазки галев ремиз за счет разности относительных деформаций передней и задней ветвей зева, а также вследствие подачи основы в рабочую зону и отвода ткани из нее. В результате фрикционного контакта происходит снижение прочности основных нитей, которое выражается в повышенной обрывности в зоне ремизы – опушка ткани.

Для оценки интенсивности воздействия галев на основные нити разработана математическая модель процесса взаимодействия нити с галевом за период образования одного элемента ткани. За критерий разрушающих воздействий принята величина, зависящая от максимального напряжения смятия нити при ее взаимодействии с глазком галева. Максимальное напряжение смятия обуславливается величиной нормального давления в центре эллиптической площадки контакта [1].

Изменение нормального давления и натяжения нерастяжимой нити при ее движении по неподвижной цилиндрической поверхности рассматривалось многими авторами, в том числе в работах [2], [3]. В

процессе тканеобразования нить взаимодействует с поверхностью глазка галева, движущегося поступательно вверх и вниз. Скорость перемещения нити по поверхности глазка зависит от скорости перемещения ремиз, скорости перемещения берда (фаза приобоя) и от деформации растяжения нити.

Для вычисления силовых характеристик в зоне контакта примем следующие допущения и ограничения.

1. Ввиду малости длины участка контакта по сравнению с длиной деформируемой нити будем считать скорости входа и выхода нити в зоне контакта одинаковыми.

2. Представим режим взаимодействия нити с глазком галева в процессе вращения главного вала как квазистатический. В этом случае можно принять силы инерции такими, что внутренние усилия, возникающие в нити, успевают "следить" за внешними силами и в любой момент времени имеет место равновесие. Время является параметром состояния и зависит от угла поворота главного вала  $\varphi$ .

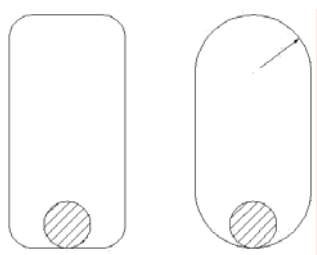


Рис. 1

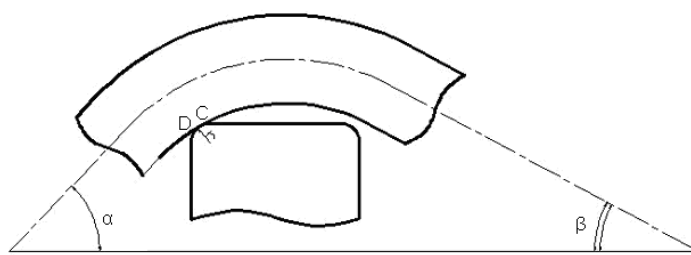


Рис. 2

Глазок пластинчатого галева имеет форму прямоугольника со скругленными углами или состоит из двух полуокружностей, соединенных отрезками прямых (рис. 1).

Если ось нити перпендикулярна плоскости глазка, то контакт нити происходит по дуге окружности CD цилиндрической кромки глазка (рис. 2).

Пусть  $\alpha_1 = \alpha_1(\varphi)$  – угол, образованный передней ветвью зева с линией заступа в момент поворота главного вала на угол  $\varphi$ . Положение точки D зависит от угла  $\alpha_1$  (рис. 2).

Рассмотрим участок контакта CD плоской, однородной, упругой на изгиб нити при движении галева из положения заступа вверх, полагая, что глазок галева не отклоняется от своего вертикального положения. Выделим двумя сечениями, проходящими через центр  $O_1$  перпендикулярного сечения цилиндрической поверхности, элемент нити  $ds$ , соответствующий элементарному углу охвата  $d\alpha$  (рис.3).

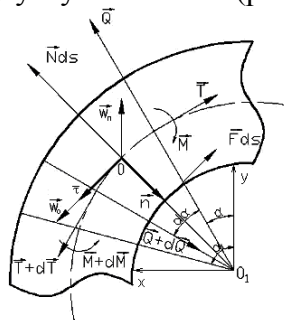


Рис. 3

$$\vec{w}_n = -w_n \cos\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) \vec{n} - w_n \sin\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) \vec{\tau}, \quad \vec{w}_o = w_o \vec{\tau},$$

где  $w_n$  – ускорение движения ремиз;

$w_o = \frac{d^2S}{dt^2}$  – ускорение перемещения нити

относительно глазка;  $S(t)$  – функция пути трения, не зависящая от угловой координаты  $\alpha$ .

Освободим элемент нити  $ds$  от связей, заменив их воздействия силами реакции, и рассмотрим условия динамического равновесия элемента нити в некоторый момент времени, соответствующий углу поворота главного вала  $\varphi$ .

Введем две плоские системы координат. Система координат  $xO_1y$  жестко связана с галевом; ось  $O_1y$  совпадает с направлением вертикального перемещения ремизы. Подвижная (естественная) система координат  $\tau On$  с осями  $\vec{\tau}$  и  $\vec{n}$ , с центром в точке  $O$  – центре масс выделенного элемента нити. Ось  $O\tau$  направлена по касательной к оси нити;  $On$  – перпендикулярно этой оси.

Элемент нити  $ds$ , находящийся на поверхности глазка, вместе с галевом движется поступательно (переносное движение) и скользит по ней относительно точки  $O_1$  (относительное движение).

Вектор полного ускорения движения элемента нити  $ds$  равен:

$$\vec{w} = \vec{w}_n + \vec{w}_o,$$

где  $\vec{w}_n$  – вектор ускорения в переносном движении, равный вектору ускорения движения ремиз,  $\vec{w}_o$  – вектор ускорения в относительном движении.

Разложим ускорения в переносном и относительном движении на нормальную и касательную составляющие:

На элемент нити действуют сосредоточенные силы:  $\vec{T}$  – натяжение оси нити;  $\vec{Q}$  – перерезывающая сила;  $\vec{M}$  – изгибающий момент и распределенные массовые силы:  $\mu \vec{N} ds$  – сила нормального давления поверхности цилиндра на нить;  $\mu \vec{F} ds$  – сила трения;  $\vec{\mu w}_n ds$  и  $\vec{\mu w}_o ds$  – даламберовы силы инерции, направленные противоположно векторам соответствующих ускорений;  $\mu$  – масса единицы длины нити;  $ds = (r + r_H) d\alpha$ .

Запишем скалярные уравнения динамического равновесия в проекциях на ка-

$$(T + dT) \cos \frac{d\alpha}{2} - T \cos \frac{d\alpha}{2} - dF + w_n \sin(\alpha + \frac{d\alpha}{2}) \mu ds - w_o \mu ds - Q \sin \frac{d\alpha}{2} - (Q + dQ) \sin \frac{d\alpha}{2} = 0, \quad (1)$$

$$T \sin \frac{d\alpha}{2} + (T + dT) \sin \frac{d\alpha}{2} - \mu N ds + w_n \cos(\alpha + \frac{d\alpha}{2}) \mu ds + (Q + dQ) \cos \frac{d\alpha}{2} - Q \cos \frac{d\alpha}{2} = 0. \quad (2)$$

Третье уравнение динамического равновесия запишем из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно точки  $O_1$ . Примем допущение, что при изгибе нити по дуге окружности  $dM = 0$ .

$$(r + r_H)T + rdF - (r + r_H)(T + dT) - (r + r_H)I_o^\tau - (r + r_H)I_n^\tau = 0, \quad (3)$$

где  $r_H$  – радиус нити;  $r$  – радиус цилиндрической поверхности;  $I_o^\tau, I_n^\tau$  – проекции сил инерции на ось  $O\tau$ .

Учитывая, что силы трения и нормального давления связаны законом Амонтона  $\vec{F} = f\vec{N}$ , где  $f$  – коэффициент трения скольжения, малость угла  $d\alpha$ , и пренебрегая величинами второго порядка малости, получим систему трех дифференциальных уравнений относительно трех неизвестных функций  $T(\alpha), Q(\alpha), N(\alpha)$ :

$$\begin{cases} dT - f\mu(r + r_H)N d\alpha + a \sin d\alpha - b d\alpha - Q d\alpha = 0, \\ T d\alpha - \mu(r + r_H)N d\alpha + a \cos \alpha d\alpha + dQ = 0, \\ dT - \mu r f N d\alpha + a \sin \alpha d\alpha - b \cos \alpha d\alpha = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Для упрощения записи в уравнениях системы (4) приняты обозначения:

$$a = \mu(r + r_H)w_n, \quad b = \mu(r + r_H)w_o.$$

Поскольку при выбранных допущениях скорость и ускорение в любом сечении не зависят от дуговой координаты, то система уравнений представлена в обыкновенных производных по аргументу  $\alpha$ .

Если во втором уравнении системы (4)

$$T(\alpha) = C_1 \exp(\lambda_1 \alpha) + C_2 \exp(\lambda_2 \alpha) + A_1 \sin \alpha + B_1 \cos \alpha, \quad (6)$$

сательную и нормальную оси:

Зная, что векторное произведение коллинеарных векторов равно нулю, и учитывая направления векторов-моментов, получим:

нормальную силу инерции  $dI^n = -a \cos \alpha d\alpha$  выразить через скорость перемещения нити  $dI^n = \mu V^2 d\alpha$ , то это уравнение совпадет с уравнением [(2),3].

После преобразований система уравнений сводится к линейному дифференциальному уравнению второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$T''(\alpha) + pT'(\alpha) + qT = A \sin \alpha + B \cos \alpha, \quad (5)$$

$$\text{где} \quad p = \frac{r + r_H}{r_H}, \quad q = -\frac{r}{r_H}, \\ A = \frac{-(r_H + r)(a + bf)}{r_H f}, \quad B = \frac{b(r + r_H)}{r_H f}.$$

За начальные условия примем натяжение в задней ветви зева и скорость его изменения в фиксированный момент времени, соответствующий углу поворота главного вала  $\varphi$ , то есть

$$T(\alpha = 0) = T_2(\varphi), \quad T'(\alpha = 0) = T_2'(\varphi).$$

Решение дифференциального уравнения (5) имеет вид:

где

$$\lambda_1 = -\frac{r_H + r}{2fr_H} + \sqrt{\frac{(r + r_H)^2}{(2r_H f)^2} + \frac{r}{r_H}};$$

$$\lambda_2 = -\frac{r_H + r}{2fr_H} - \sqrt{\frac{(r + r_H)^2}{(2r_H f)^2} + \frac{r}{r_H}};$$

$$A_1 = \frac{af}{f^2 + 1} + b; \quad B_1 = \frac{a}{f^2 + 1};$$

$$C_1 = \frac{(B_1 - T_2)\lambda_2 - A_1 + T_2'}{\lambda_1 - \lambda_2};$$

$$C_2 = \frac{(B_1 - T_2)\lambda_1 - A_1 + T_2'}{\lambda_2 - \lambda_1}.$$

Подставляя  $T'(\alpha)$  в третье уравнение системы (4), найдем

$$N(\alpha) = \frac{1}{rf\mu} ((a - B_1)\sin \alpha + (A_1 - b)\cos \alpha + C_1\lambda_1 \exp(\lambda_1\alpha) + C_2\lambda_2 \exp(\lambda_2\alpha)). \quad (7)$$

Из первого уравнения системы (4) получим

$$Q(\alpha) = \frac{r_H}{r} ((-a + B_1)\sin \alpha + (b - A_1)\cos \alpha - C_1\lambda_1 \exp(\lambda_1\alpha) - C_2\lambda_2 \exp(\lambda_2\alpha)). \quad (8)$$

Из (7) и (8) следует, что перерезывающая сила  $Q(\alpha) = -\mu r_H f N(\alpha)$ .

Графики функций  $T(\alpha)$  и  $N(\alpha)$ , построенные для различных значений угла поворота главного вала  $\varphi$ , показали, что с возрастанием угла  $\alpha$  от 0 до  $\alpha_1(\varphi)$  натяжение нити  $T(\alpha)$  также возрастает. Сила нормального давления  $N(\alpha)$  принимает наибольшее значение при  $\alpha = 0$  и убывает с возрастанием угла  $\alpha$  от 0 до  $\alpha_1(\varphi)$ .

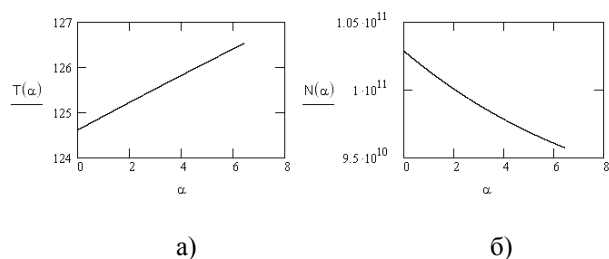


Рис. 4

На рис. 4 представлен пример графиков  $T(\alpha)$  (сН) и  $N(\alpha)$  (сН) в момент поворота главного вала на угол  $\varphi = 70^\circ$ , что соответствует крайнему переднему положению берда.

Полученные решения (6)...(8) задачи Коши для системы дифференциальных уравнений (4) не учитывают сдвиговую деформацию нити в приконтактных зонах. Сдвиговые перемещения и скачкообразное изменение кривизны нити на границах участка контакта рассмотрены в [2], где установлено увеличение нормального дав-

ления цилиндра на нить в крайних точках.

Для вычисления напряжения смятия в центре площадки контакта используем значение нормальной силы  $N(\alpha)$ , вычисленное по формуле (7).

## ВЫВОДЫ

1. Получены аналитические выражения для определения натяжения, нормального давления и перерезывающей силы внутри участка фрикционного контакта нити с поверхностью глазка галева в произвольный момент образования элемента ткани.

2. Числовые значения нормального давления в центре площадки контакта нити с глазком галева позволяют определить максимальное напряжение смятия нити, что необходимо для сравнительного анализа интенсивности разрушающих воздействий галева на основную нить в зависимости от конструктивных параметров галев, технологических параметров ткачества и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Секованова Л.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №3.
2. Каган В.М., Щербаков В.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №2, №4.
3. Лапшин А.Б. // Изв. вузов. Машиностроение. – 2004, №9.

Рекомендована кафедрой высшей математики.  
Поступила 29.11.05.