

УДК 677.053-487

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ НАМОТОЧНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ВАЛУ С ЭЛАСТИЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ

П. Н. РУДОВСКИЙ

(Костромской государственной технологической университет)

Управление плотностью намотки при нерематывании пряжи фрикционными мотальными механизмами обуславливается натяжением подаваемой в намотку нити и усилием прижима бобины к мотальному валу. При формировании паковок мягкой намотки стремятся к снижению уровня этих факторов, однако нижние уровни последних ограничиваются надежностью фрикционного контакта бобины с мотальным валом и натяжением нити, создаваемым инерционными силами в баллоне сматывания и трением о нитепроводящую гарнитуру.

Использование для привода бобины мотального вала с эластичным покрытием, жесткость которого соизмерима с жесткостью тела намотки, позволяет ввести дополнительный фактор, управляющий плотностью намотки. При этом необходимо производить раскладку нити не в зону контакта бобины с мотальным валом, а на поверхность мотального вала.

Устойчивость положения нити на поверхности мотального вала до ее перехода на тело намотки должна обеспечиваться высоким коэффициентом трения нити о поверхность эластичного покрытия. Требуемым условиям соответствует покрытие из пенополиуретана (например, ППУ-203 ТУ 6-05-221-243—72 с кажущейся плотностью 500 кг/м³ [1]).

При контакте бобины с мотальным валом возникает деформация сжатия в наружном слое эластичного покрытия. Нить, с некоторым натяжением выходящая из глазка нитеводителя, должна укладываться на недеформированную поверхность мотального вала. Продвигаясь вместе с ней к зоне контакта, нить испытывает деформацию сжатия и, следовательно, теряет натяжение.

Оценим в первом приближении величину снижения намоточного натяжения вследствие такого способа намотки. Пусть на диск, представляющий собой поперечное сечение мотального вала с эластичным покрытием, вдоль хорды AB действуют две равные и противоположно направленные элементарные силы dQ (рис. 1). Тогда согласно [2] в принятых обозначениях по площадке mn диска создаются окружные нормальные напряжения:

$$d\sigma = -\frac{2}{\pi} \left[\left(\frac{\cos \theta}{r} \cos^2 \theta_1 + \frac{\cos \theta_1}{r_1} \cos^2 \theta \right) - \frac{\sin(\theta + \theta_1)}{2R} \right] d\theta, \quad (1)$$

где R — радиус диска.

Точку A приложения силы dQ определяем координатой s , а ее направление углом α . Точка M на поверхности диска, в которой рассчитываются напряжения, вполне определяется углом φ . Выразим величины r , r_1 и θ , θ_1 , входящие в (1), через s , α и φ .

Центральный угол, определяющий положение точки A ,

$$\angle 1 = \arcsin(s/R). \quad (2)$$

Из рис. 1 следует, что $\varphi = 2\theta_1 + \angle 1$, откуда

$$\theta_1 = (\varphi - \angle 1)/2 = [\varphi - \arcsin(s/R)]/2. \quad (3)$$

В равнобедренном треугольнике AOB OD является биссектрисой угла AOB и высотой, а $\angle OAD = \angle 1 + \alpha$, поэтому

$$\angle AOD = \theta + \theta_1 = \pi/2 - (\angle 1 + \alpha),$$

откуда

$$\theta = \pi/2 - [\alpha - \arcsin(s/R)] - \theta_1. \quad (4)$$

Из треугольника BMN $r_1 = 2R \sin \theta$. В треугольнике OAM $\angle AMO = \angle OAM = \theta + \alpha + \angle 1$. Тогда из треугольника NAM

$$r = 2R \cos[\theta + \alpha + \arcsin(s/R)]. \quad (5)$$

Для определения dQ примем параболическое распределение давлений в контакте между бобиной и мотальным валом [3]:

$$p(s) = 3P(a^2 - s^2)/4a^3, \quad (6)$$

где P — интенсивность нормальной погонной силы между бобиной и мотальным валом;

$p(s)$ — нормальные напряжения, действующие по площадке контакта;

a — полуширина полоски контакта;

$$a = 2\sqrt{P(\phi_1 + \phi_2)/(1/R + 1/R_6)};$$

R, R_6 — радиусы мотального вала и бобины;

$\phi_1 = (1 - \nu_1^2)/\pi E_1$; $\phi_2 = (1 - \nu_2^2)/\pi E_2$ — коэффициенты нормальной эластичности фрикционных тел;

E_1, E_2, ν_1, ν_2 — модули упругости и коэффициенты Пуассона мотального вала и бобины.

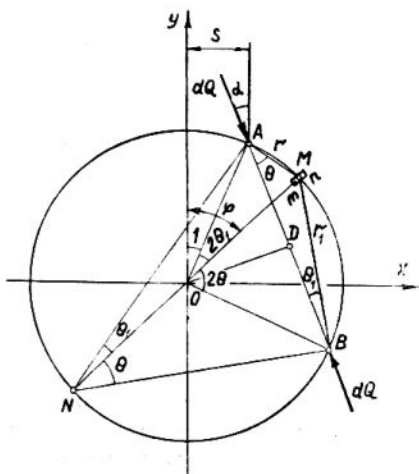


Рис. 1.

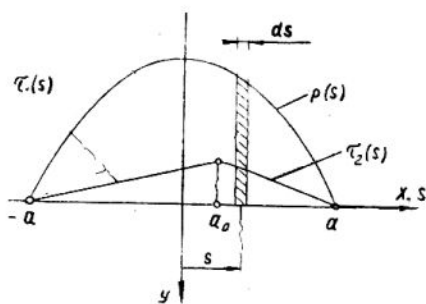


Рис. 2.

В случае качения бобины по фрикциону площадка контакта делится на две зоны — скольжения и сцепления, касательные напряжения τ в которых изменяются по разным законам. Согласно [3] граница участков сцепления и скольжения

$$a_0 = a(1 - 2\sqrt{1 - \psi}), \quad (7)$$

где $\psi = F/\mu Q$ — коэффициент тяги;

F — тангенциальная сила, реализуемая в контакте;

μ — коэффициент трения бобины по мотальному валу.

Касательные напряжения на участке сцепления для ведомой бобины [3]:

$$\tau_1(s) = 1,18 \frac{E_1}{(1 - \nu^2_1)a} \left[(1 - \epsilon_{\text{ВМ}}) \frac{a^2 s - s^3}{a^2 + 3R_k^2} - \epsilon_{\text{ВМ}}(a - s) \right], \quad (8)$$

где $\epsilon_{\text{ВМ}}$ — относительная потеря угловой скорости бобины;

R_k — контактный радиус бобины.

Относительная потеря угловой скорости

$$\epsilon_{\text{ВМ}} = 0,5 \mu (a + a_0) / R_2. \quad (9)$$

На участке скольжения

$$\tau_2(s) = \mu 3P (a^2 - s^2) / 4a^3. \quad (10)$$

Контактный радиус бобины неизвестен, но в [3] отмечается, что замена его радиусом наружной поверхности бобины приводит к незначительной ошибке. Действительно, расчеты показали, что значения касательных напряжений согласно (8) и (10) в точке, определяемой координатой (7), отличаются на 5...10%. Введение соответствующего поправочного коэффициента на величину радиуса бобины позволяет устранить это отклонение.

Распределения нормальных и касательных напряжений с учетом (6), (8) и (10) приведены на рис. 2. Угол α , определяющий направление силы по отношению к границе диска, в каждой точке

$$\alpha(s) = \arctg \tau(s) / p(s). \quad (11)$$

Элементарная интенсивность нагрузки, приложенной к границе круга,

$$dQ = q(s) ds, \quad (12)$$

где $q(s) = \sqrt{p^2(s) + \tau^2(s)}$ — модуль распределенной нагрузки.

Подставляя (6), (8) и (10) в (11) и (12), а найденные значения $\alpha(s)$ и dQ в (4), (5) и (1), после численного интегрирования (1) по s получаем нормальные окружные напряжения в точке M диска, моделирующего упругое покрытие мотального вала:

$$\sigma = - \frac{2}{\pi} \int_{-a}^a \left[\left(\frac{\cos \theta}{r} \cos^2 \theta_1 + \frac{\cos \theta_1}{r_1} \cos^2 \theta \right) - \frac{\sin(\theta + \theta_1)}{2R} \right] q(s) ds. \quad (13)$$

При интегрировании каждому значению элементарной силы dQ на площадке контакта соответствует равная ей сила, действующая на ниж-

нюю часть диска в точке B (рис. 1). Эти силы удалены на значительное расстояние от площадки контакта бобины с мотальным валом, поэтому их влиянием на распределение напряжений вблизи площадки контакта можно пренебречь.

Как показано в [2], нормальные радиальные и касательные напряжения на поверхности диска за пределами площадки контакта отсутствуют, что позволяет рассчитать окружные деформации по наружной поверхности упругого покрытия мотального вала:

$$\varepsilon = \sigma/E. \quad (14)$$

На рис. 3 изображена зона контакта бобины с мотальным валом. В процессе намотки нить укладывается в точке A на недеформированную поверхность мотального вала. Далее, перемещаясь вместе с ней, нить попадает в зону деформации эластичного покрытия, где наружная поверхность мотального вала испытывает сжатие. Расположенная на ней нить теряет часть деформации растяжения и, следовательно, натяжение. В точке B нить переходит на тело намотки, имея меньшее, чем по выходе из глазка нитеводителя, натяжение.

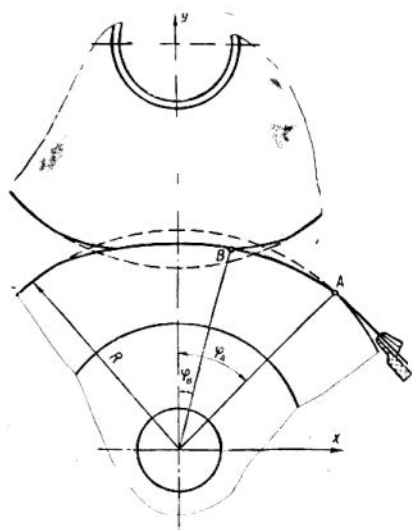


Рис. 3.

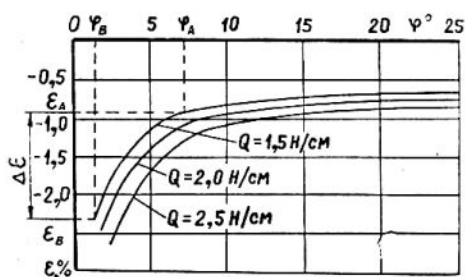


Рис. 4.

Расчет окружной деформации наружной поверхности мотального вала проводился по изложенной методике для $E_1 = E_2 = 5$ МПа; $\nu_1 = \nu_2 = 0,1$; $\mu = 0,4$; $\psi = 0,1$; $R_1 = R_2 = 0,05$ м; $Q = 0,15, 0,20$ и $0,25$ Н/см.

Результаты расчета приведены на рис. 4. Для оценки потери деформации нити, уложенной на мотальный вал в точке A при переходе ее в точку B , необходимо найти разницу соответствующих деформаций:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_A - \varepsilon_B.$$

Кривые на рис. 4 свидетельствуют о том, что величина изменения деформации существенно влияет на натяжение нити. Действительно, относительное удлинение 1,5% для хлопчатобумажной пряжи соответствует около 20% разрывного удлинения. С уменьшением угла ϕ_A

снижение натяжения уменьшается, однако скорость снижения нарастает. При увеличении угла φ_A более 25° дальнейшего снижения деформации не происходит.

Приведенные расчеты следует рассматривать как приближенную качественную оценку, поскольку они выполнены с большими допущениями. Для уточнения эффекта снижения намоточного натяжения при укладке нити на поверхность упругого покрытия мотального вала необходима экспериментальная проверка.

ВЫВОДЫ

Использование мотального вала с эластичным покрытием позволяет для управления плотностью намотки ввести дополнительный фактор — угол входа нити на мотальный вал, который в отличие от намоточного натяжения и силы прижима бобины к мотальному валу не имеет ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по пластическим массам/Под ред. В. М. Катаева и др. — М.: Химия, 1975.
2. Тимошенко С. П. Теория упругости. — ОНТИ: Гостехтеоретиздат, 1934.
3. Вирабов Р. В Тяговые свойства фрикционных передач. — М.: Машиностроение, 1982.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 20.01.97.
