

ФРИКЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВАЛОВ МОДУЛЕЙ В ЗОНЕ КОНТАКТА**SHAFT MODULE FRICTIONAL INTERACTION IN THE CONTACT ZONE**

A.V. KRYLOV, T.P. TUTSKAYA, YU.G. FOMIN, G.A. KHOSROVYAN
A.V. KRYLOV, T.P. TUTSKAYA, YU.G. FOMIN, G.A. KHOSROVYAN

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт)
 (Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute)
 E-mail: Alekseykrylov9237@gmail.com

В статье выполнен анализ параметров процесса скольжения (фрикции) валов модулей, и получена зависимость для определения скорости относительного проскальзывания точек дуги контакта эластичного покрытия вала. Экспериментально определены коэффициенты трения покоя и скольжения для образцов из резины, полиуретана и шерстяной бумаги. Получены зависимости коэффициентов трения от частоты вращения и величины фрикции валов.

This article gives an analysis of the sliding process parameters (friction) modules shafts and the dependence for determining the relative speed of sliding arc of contact points of the elastic roll cover. Experimentally tested the coefficients of static friction and sliding for the samples of rubber, polyurethane and wool paper. The dependence of the coefficient of friction (on the speed and magnitude of frictions shafts).

Ключевые слова: валковый модуль, фрикция валов, скорость скольжения, виды покрытий валов, коэффициенты трения.

Keywords: roller module, friction rollers, sliding speed, friction coefficients, types of roll covers.

Процесс скольжения (фрикции) в зоне контакта валов имеет место в установившемся режиме работы валковой машины (микроскольжения) и при нестационарных режимах (прижим валов, пропуск неровностей). В валковом модуле существует несколько видов микроскольжений, вызываемых следующими причинами: радиальной деформацией покрытия вала, скрещиванием осей валов, разницей коэффициентов трения обрабатываемого материала по эластичному и металлическому валам, скольжением в клиноременной передаче привода [1], [2]. Закономерность распределения касательных сил связана с характером нагрузок, действующих на обрабатываемый материал при реализации технологических процессов, а также зависит от упругих свойств покрытий валов и характеристик обрабатываемого материала. Скольжение контактирующих поверх-

ностей наблюдается при наличии как приводных, так и свободных валов.

Для исследования процесса скольжения (фрикции) валов на дуге контакта рассмотрим схему валкового модуля (рис. 1), принимая допущение, что при деформации покрытия эластичного вала его точки перемещаются по радиусу, а поперечные сечения остаются плоскими. Нижний вал имеет принудительное движение, и угловые скорости валов равны:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega = \frac{d\gamma}{dt}. \quad (1)$$

Определим скорость произвольной точки А поверхности верхнего эластичного вала в области контакта, представив ее как геометрическую сумму двух скоростей – радиальной V_r и трансверсальной V_τ (рис 1).

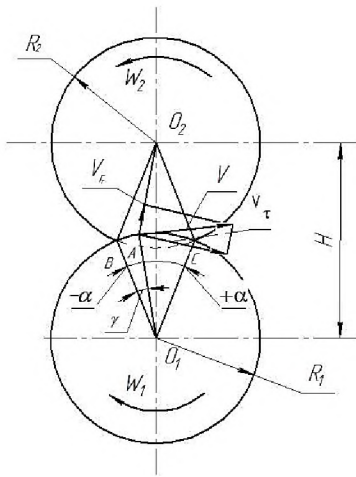


Рис. 1

Скорость точки поверхности вала в недеформированной области равна ωR . В зоне деформации радиальная составляющая скорости точки А определяется как первая производная от переменного радиуса по времени:

$$V_r = \frac{dR_i}{dt} = \frac{dR_i}{d\gamma} \frac{d\gamma}{dt} = \omega \frac{dR_i}{d\gamma}. \quad (2)$$

Величину переменного радиуса R_i в функции угла γ найдем по теореме косинусов из треугольника O_1O_2A (рис 1):

$$R_i = \sqrt{R^2 + H^2 - 2HR\cos\gamma} = \sqrt{Z}. \quad (3)$$

Дифференцируя и подставляя в формулу (2), получим:

$$v_r = \frac{\omega HR \sin\gamma}{\sqrt{Z}}. \quad (4)$$

Трансверсальная составляющая скорости определяется как произведение переменного радиуса на угловую скорость вала:

$$v_\tau = \omega R_i = \omega \sqrt{Z}. \quad (5)$$

Полная скорость точки А поверхности v_A определяется как геометрическая сумма составляющих:

$$v_A = \sqrt{v_r^2 + v_\tau^2} = \omega \sqrt{\frac{H^2 R^2 \sin^2 \gamma + Z^2}{Z}}. \quad (6)$$

Скорость относительного проскальзывания (фрикции) в любой точке дуги контакта K_i при скоростях точек поверхности нижнего вала ωR :

$$v_{ki} = v_A - v_b = \omega \left[\sqrt{\frac{H^2 R^2 \sin^2 \gamma + Z^2}{Z}} - R \right]. \quad (7)$$

Полученные зависимости справедливы лишь в деформированной области для углов от $-\alpha$ до $+\alpha$ (рис. 1). Абсолютную величину ограничивающих зону деформации углов можно определить по формуле:

$$\alpha = \arccos \frac{H}{2R}. \quad (8)$$

Параметр скольжения (фрикции) валов находим из выражения:

$$\Psi = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где V_1 и V_2 – линейные скорости точек поверхностей валов, измеряемые с помощью прибора ППУ-2 с двумя контактными датчиками импульсного типа [3].

При качении валов с проскальзыванием на площадке контакта образуются две зоны: зона жесткого сцепления, характеризующаяся упругим смещением точек поверхности валов в тангенциальном направлении, и зона, в которой перемещение точек осуществляется с постоянным коэффициентом трения. По мере увеличения тангенциального усилия зона сцепления уменьшается, коэффициент трения достигает максимального значения, а зона скольжения увеличивается [4].

Для определения коэффициентов трения статического (покоя) и скольжения образцов из резины, полиуретана и шерстяной бумаги по металлу использовали прибор МХД-01А. Прибор соответствует стандарту АСТМ D1894, а методика измерений коэффициентов трения – ГОСТу 11629 – 86. Эксперименты выполняли на образцах размером 10×10 , мм, $h=20$ мм из резины (Р) HS = 55 ед. по Шору А, полиуретана (П) HS = 76 ед. и шерстяной бумаги (ШБ) HS = 94 ед. Коэффициенты тре-

ния покоя и скольжения образцов определяли по пластинке из стали 20 (М) с чистой поверхностью $R_z 20$. Каждый результат получен как среднее арифметическое значение результатов трех опытов. Результаты экспериментов проверяли аналитически в соответствии с выражениями:

$$f_{\text{по}} = \frac{F_{\text{Тр}}^{\text{max}}}{N} \text{ и } f_{\text{ск}} = \frac{F_{\text{Тр}}^{\text{СК}}}{N}, \quad (10)$$

где $f_{\text{по}}$ и $f_{\text{ск}}$ – коэффициенты трения покоя и скольжения соответственно; N – сила нормального давления на образец; $F_{\text{Тр}}^{\text{max}}$ и $F_{\text{Тр}}^{\text{СК}}$ – силы трения в зоне покоя и скольжения, измеряемые с помощью динамометра. Результаты измерений коэффициентов трения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты трения материалов покрытия валов по металлу					
Р - М		П - М		ШБ - М	
статический	скольжения	статический	скольжения	статический	скольжения
0,86	0,60	0,46	0,32	0,36	0,25

Зависимость силы трения от проскальзывания имеет большое значение для теории и практики взаимодействия валов модулей, так как оказывает непосредственное влияние на качество отделки текстильных материалов и энергозатраты привода машины [1].

Для выявления зависимости коэффициента трения от проскальзывания валов в модулях эксперименты проводили на валковой машине ПЛ-2/40, в которой нижний приводной вал диаметром 120 мм с металлической рубашкой, а верхний прижимной диаметр 160 мм (сменный) с покрытиями из резины 2-606-7 ТУ 38 1051082-86 (HS=55 уд.), полиуретана ГУП-5 ТУ 84-414-187-81 (HS=76 ед.) и шерстяной бумаги типа А ОСТ 13-172-83 (HS=94 ед.).

Частоту вращения нижнего вала регулировали с помощью вариатора привода в диапазоне 1:5 от 50 до 250 об/мин и фиксировали центральным тахометром x1000RPM. Верхний вал оснащен тормозным устройством для получения рассогласования скоростей точек поверхностей валов (фрикции) в пределах от 0 до 30%. Нагрузка на валы при проведении экспериментов оставалась неизменной: $P = 1200$ Н. Проскальзывание валов и коэффициенты трения рассчитывали по формулам (9) и (10).

Зависимости коэффициентов трения $f_{\text{Тр}}$ от частоты вращения валов с покрытиями из резины, полиуретана, шерстяной бумаги представлены на рис. 2. Величина проскальзывания валов составляла 5%.

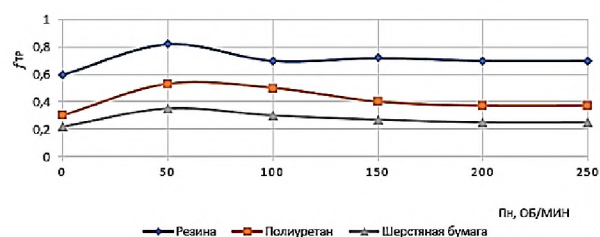


Рис. 2

Анализируя характер кривых, отмечаем, что при увеличении частоты вращения ведущего вала коэффициент трения сначала повышается до максимального значения, а затем начинает снижаться и при $n = 150 \dots 200$ об/мин стабилизируется на постоянном уровне.

Вторую группу экспериментов для получения зависимости коэффициента трения от проскальзывания в пределах от 5 до 30% проводили с использованием тормозного устройства верхнего вала. Результаты представлены на рис. 3.

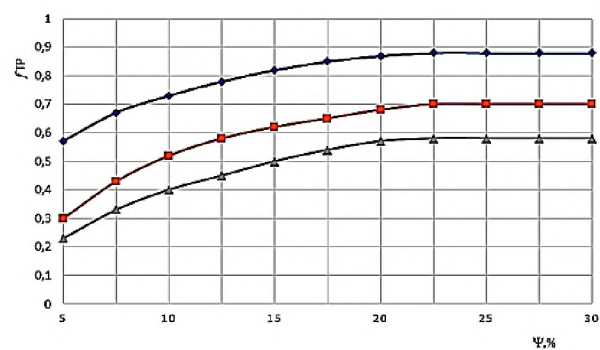


Рис. 3

Максимальные значения коэффициента трения для покрытий валов достигаются при их проскальзывании 15...20%. Поверхность покрытия в процессе фрикции подвергается интенсивному силовому воздействию со стороны металлического вала, так как коэффициент трения скольжения резко возрастает на участке $f_{тр} = 5...20\%$ (рис. 3). Для оценки этого явления на торцах покрытий валов краской наносили сетку с размерами ячейки 5×5. После окончания опытов было установлено, что форма ячеек, близких к поверхности покрытия, меняется и становится криволинейной. Это подтверждает предположение, что при фрикции валов имеет место упругая и пластическая компоненты деформации эластичных покрытий.

ВЫВОДЫ

1. Получена математическая зависимость для определения скорости относительного проскальзывания (фрикции) точек дуги контакта эластичного покрытия вала модуля.

2. Экспериментально определены значения коэффициентов трения покоя и скольжения покрытий валов из резины, полиуретана и шерстяной бумаги по металлу.

3. Установлены зависимости коэффициента трения скольжения валов от частоты их вращения и фрикции. Коэффициенты трения покрытий валов из резины, полиуретана и шерстяной бумаги по металлу с увеличением частоты вращения ведущего вала с 50 до 250 об/мин и уровня про-

скальзывания (фрикции) с 5 до 30% повышаются до максимального значения, а затем снижаются и стабилизируются на постоянном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фомин Ю.Г.* Основы теории, конструкция и расчет валковых машин. – Часть II. – Иваново, 1999.
2. *Кузнецов Г.К., Фомин Ю.Г.* О пропуске швов ткани через пару валов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –1981, № 6. С.95...97.
3. *Фомин Ю.Г.* Измерение линейных размеров ткани в поточных линиях // Текстильная промышленность. – 1987, №3. С. 50...52.
4. *Nielsen J.B., Theiler A.* Tangential contact problem with function coefficients depending on sliding velocity // Proc. 2nd miniconf on contact mechanics and wear of rail / wheel system. – Budapest, 1996. P 44...51.

REFERENCES

1. *Fomin Ju.G.* Osnovy teorii, konstrukcija i raschet valkovykh mashin. – Chast' II. – Ivanovo, 1999.
2. *Kuznecov G.K., Fomin Ju.G.* O propuske shvov tkani cherez paru valov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 1981, № 6. S.95...97.
3. *Fomin Ju.G.* Izmerenie linejnyh razmerov tkani v potocnyh linijah // Tekstil'naja promyshlennost'. 1987, №3. S. 50...52.
4. *Nielsen J.B., Theiler A.* Tangential contact problem with function coefficients depending on sliding velocity // Proc. 2nd miniconf on contact mechanics and wear of rail / wheel system. – Budapest, 1996. P44...51.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования. Поступила 28.06.17.