ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2006. Т. LIX, № 2.

УДК 677.052.3 МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.Р. ПАПОЯН

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ

Разработан метод расчета геометрических параметров опоры скольжения, имеющей рабочую поверхность формы параболоида. Предложенная геометрическая форма подшипника скольжения позволяет предотвратить протекание смазывающей жидкости в осевом направлении.

Ключевые слова: опора скольжения, форма поверхности, параболоид.

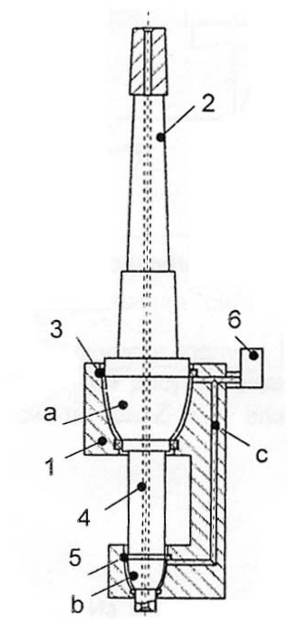

Рис.1. Веретено с опорами скольжения

В текстильном производстве широко используются высокоскоростные роторные системы для осуществления технологического процесса прядения и кручения. В частности, в прядильно-крутильном производстве применяются веретена, частота вращения которых достигает 15000…18000 *мин*$^{-1}$. В поисках возможностей дальнейшего повышения частоты вращения веретен, что необходимо при увеличении производительности прядильных и крутильных машин, разрабатываются новейшие конструкции. При повышении частоты вращения шпинделя веретена возникает ряд проблем, связанных со снижением ресурса работы подшипниковых опор шпинделя, повышением уровня шума излучаемым веретеном и т.д. Для решения этой проблемы, в первую очередь, необходимо совершенствовать конструкции подшипниковых опор шпинделя веретена. В частности, для снижения уровня шума можно переходить на подшипники скольжения, которые, безусловно, «шумят» меньше, чем подшипники качения. На рис. 1 представлена конструктивная схема прядильно-крутильного веретена с опорами скольжения [1]. Опорный узел веретена состоит из неподвижного корпуса 1, в который на двух опорах скольжения установлен полый шпиндель 2. Рабочие поверхности “а” и “б” подшипников скольжения нецилиндрические. На шейках шпинделя и в корпусе опоры эти поверхности имеют определенную геометрическую форму. Подшипники работают на тонкой постоянной масляной пленке. Подача масла в подшипники скольжения осуществляется от накопителя 6 через каналы “с”. В положении останова шпинделя утечку масла останавливают уплотнительные манжеты 3 и 5.

Так как ось шпинделя веретена расположена вертикально, возникает проблема сохранения масляного слоя в подшипниковой опоре и предотвращение утечки масла из опоры при вращении шпинделя. Этот вопрос можно решить применением соответствующих уплотнителей. Однако данный путь решения проблемы не единственный и не самый лучший. Существует второй путь решения проблемы, при котором выбором соответствующей геометрической формы рабочей поверхности опоры скольжения можно минимизировать утечку масла.

Для этого необходимо обеспечить условие равновесия масляной капли в подшипнике, когда она вращается вокруг оси шпинделя веретена с определенной угловой скоростью ω. Отметим, что масляная капля получает движение в результате вязкости масла при вращении шпинделя веретена со скоростью $\omega_{ш}$. Геометрическую форму поверхности подшипника скольжения можно получить из следующих соображений.

Допустим, капля масла с элементарной массой Δm вращается вокруг оси Z со скоростью ω (рис.2 а). При этом в плоскости осевого сечения подшипника (рис. 2 а) на нее будут действовать сила тяжести $\vec{P}$, центробежная сила $F_ц = \Delta m \omega^2 x$ и нормальная силя воздействия от поверхности корпуса $\vec{N}$.

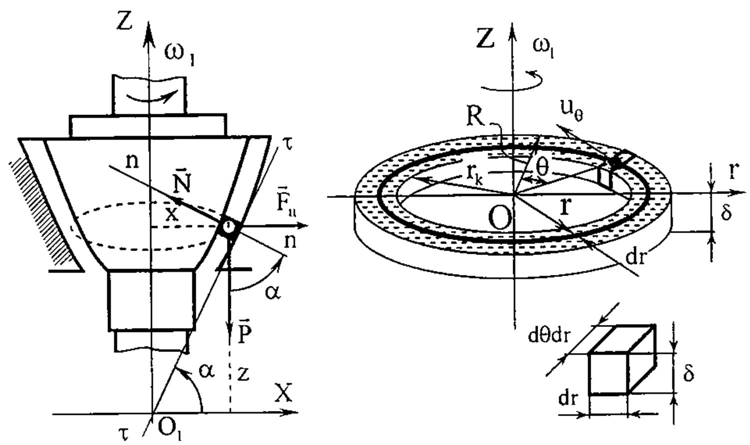

Рис.2. Расчетная схема опоры

Из рисунка видно, что условие равновесия капли (суммы проекций сил по оси Z и X равны нулю) можно написать в виде

$$m\omega^2 x - N\sin\alpha = 0,$$
$$N\cos\alpha - P = 0. \tag{1}$$

Из этих уравнений, учитывая, что $P = mg$, где g - ускорение свободного падения, получим

$$\omega^2 x = g\,\mathrm{tg}\alpha. \tag{2}$$

Так как $tg\alpha$ - это производная функции кривой сечения поверхности опоры по x, имеем $\omega^2 x = g\,dy/dx$, откуда

$$y = \frac{\omega^2}{2g}x^2 + C, \tag{3}$$

где C - постоянная интегрирования, которую находим из начальных условий.

Полученная кривая - парабола, при вращении которой относительно оси Z образуется параболоид. Следовательно, геометрическая форма поверхности подшипника скольжения должна быть параболоидом, чтобы можно было обеспечить уравновешивание масляных капель в осевом направлении шпинделя. При этом параметры параболоида зависят от скрости вращения масла в опоре. Очевидно, что скорость вращения капли в опоре зависит от частоты вращения шпинделя веретена. Для нахождения этой связи рассмотрим схему, представленную на рис.2 б.

При вращении шпинделя капли масла движутся по окружности. Если из тонкого слоя масляной пленки выделить элементарный слой высотой δ, то можно его представить в виде кольца и рассмотреть движение жидкости (масла) в элементарном кольце. Движение несжимаемой жидкости, при отсутствии продольных градиентов давления, можно описать дифференциальными уравнениями в системе цилиндрических координат (r, θ, z) [2]:

$$\frac{d}{dr}\left[r^2\mu\left(\frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r}\right)\right] = 0, \tag{4}$$

$$\frac{dp}{dr} = \rho\frac{u_\theta^2}{r}, \tag{5}$$

где r - текущий радиус в элементарном цилиндре; θ - текущий центральный угол положения элементарной частицы; z - координата расположения кольца по оси Z; u_θ - окружная скорость элементарной частицы масла; μ - коэффициент вязкости масла; p - давление масла в радиальном направлении; ρ - плотность масла.

Если принять, что $\mu = const$, то система уравнений (4), (5) существенно упрощается и принимает вид

$$\frac{\partial^2 u_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r^2} = 0. \tag{6}$$

Интегрируя уравнение (6), получим решение для определения скорости жидкости в общей форме:

$$u_\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r} \tag{7}$$

и выражение для определения давления жидкости:

$$p = \rho\int_{r_k}^{R}\frac{u_\theta^2}{r}dr, \tag{8}$$

где r_k и R - внутренний и наружный радиусы элементарного цилиндра. Постоянные интегрирования C_1 и C_2 получим из предположения, что внутренний граничный слой масла, который контактирует со шпинделем, вращается с его же скоростью - ω_1, а наружный граничный слой, который контактирует с неподвижным корпусом подшипника, также неподвижен. Следовательно, граничные условия задачи можно записать в следующем виде:

- при $r = r_k$:

$$u_\theta = \omega_1 r_k; \tag{9}$$

- при $r = R$:

$$u_\theta = \omega_2 R = 0. \tag{10}$$

Из выражения (7) с учетом (9) и (10) получим систему алгебраических уравнений относительно C_1 и C_2, после решения которой имеем

$$C_1 = -\omega_1 \frac{r_k^2}{R^2 - r_k^2}, \quad C_2 = \omega_1 \frac{R^2 r_k^2}{R^2 - r_k^2}.$$

С учетом этих значений после преобразования (7) получим

$$u_\theta = \frac{\omega_1 r_k^2 \left(R^2 - r^2\right)}{r\left(R^2 - r^2\right)}.$$

Так как $\omega = u_\theta / r$, получим

$$\omega = \frac{\omega_1 r_1^2 \left(r_2^2 - r^2\right)}{r^2 \left(r_2^2 - r_1^2\right)}, \tag{11}$$

где ω_1 - скорость вращения шпинделя; r_1 и r_2 - радиусы шейки шпинделя и гнезда опоры в рассматриваемом сечении.

С другой стороны, движение масла в опоре должно быть ламинарным и, следовательно, удовлетворять следующему условию [3]:

$$T_a = \frac{\omega_1}{\nu} b^{3/2} r^{1/2}, \tag{12}$$

где ν - кинематическая вязкость масла; $b = r_2 - r_1$ - радиальный зазор в подшипнике; T_a - число Тейлора (для ламинарного движения $T_a \leq 41{,}2$).

Итак, с помощью формул (2) и (3) можно рассчитать скорость вращения частицы масла, с помощью (1) – параметры параболы.

Пример расчета геометрических параметров поверхности подшипника скольжения. Допустим, скорость вращения шпинделя составляет $\omega_1 = 1000$ *с⁻¹*, подшипник смазывается маслом марки И-20А, кинематическая вязкость которого $\nu = 23 \cdot 10^{-6}$ *м²/с* [4], конструктивные размеры подшипника равны $r_1 = 0{,}007$ *м*, $r_2 = 0{,}0075$ *м*.

Из расчетов получаем

$$T_a = \frac{1000}{23 \cdot 10^{-6}} (0.0075 - 0.007)^{3/2} (0.007)^{1/2} = 40,7 \le 41,2\,.$$

То есть, условие ламинарности течения масла удовлетворено. Рассчитаем угловую скорость вращения частицы масла:

$$\omega = \frac{1000 \cdot 7^2 \left(7,5^2 - 7,25^2\right)}{7,25^2 \left(7,5^2 - 7^2\right)} = 474\,\text{с}^{-1}.$$

Следовательно, имея начальное значение постоянной C, можно рассчитать параметры параболы. Например, если $y = 0$, когда $x = 0,006$, из расчетов получим $C = 0,4$ (допустим, $g = 10$ *м/с*^{2}).

Искомое уравнение параболы имеет вид

$$y = 11234x^2 - 0,4\,.$$

Таким образом, разработанный метод позволяет рассчитать геометрические параметры опоры скольжения, имеющей рабочую поверхность формы параболоида. Предложенная геометрическая форма подшипника скольжения позволяет предотвратить протекание смазывающей жидкости в осевом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 831, А2. Республика Армения. Опорный узел прядильно-крутильного веретена / **А.Р. Папоян** - Опубл. 22.06.2000. Пром. собственность.- №2. –132 с.
2. **Милн – Томсон Л.М.** Теоретическая гидродинамика. - М.: Мир, 1964.- 660 с.
3. **Болгарский А.В.** и др. Термодинамика и теплопередача. - М.: Высшая школа, 1975. – 496 с.
4. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя. - М.: Машиностроение, 1978. – 557 с.

ГФ ГИУА. Материал поступил в редакцию 19.06.2004.

Ա.Ռ. ՊԱՊՈՅԱՆ

ՊԱՐԱԲՈԼԱՅԻՆ ՍԱՀՔԻ ՀԵՆԱՐԱՆՆԵՐԻ ԵՐԿՐԱՉԱՓԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Մշակված է պարաբոլոիդի տեսք ունեցող աշխատանքային մակերևույթով սահքի առանցքակալների երկրաչափական մեթոդ: Սահքի առանցքակալի առաջադրված երկրաչափական ձևը թույլ է տալիս կանխել յուղող հեղուկի արտահոսքը առանցքային ուղղությամբ:

Առանցքային բառեր. սահքի հենարան, մակերևույթի ձև, պարաբոլոիդ:

A.R. PAPOYAN

GEOMETRICAL PARAMETER DESIGN OF PARABOLIC SLIPPING SUPPORT

A method of geometrical parameter design of slipping support having working surface of a paraboloid form is developed. The proposed geometrical form of the slipping bearing allows to prevent lubricating liquid flow into axis direction.

Keywords: slipping support, surface form, paraboloid.