

ФЕЛИКС ВЛАДИМИРОВИЧ ПОШАРНИКОВ

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства лесоинженерного факультета, Воронежская государственная лесотехническая академия

tolp@vglta.vrn.ru

АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ УСИКОВ

аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства лесоинженерного факультета, Воронежская государственная лесотехническая академия

leschik36@mail.ru

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ С ПОЛИМЕРНЫМИ АНТИФРИКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

В статье рассматривается подшипник скольжения с обратной парой трения, где в качестве антифрикционного материала используется полимер с металлическими включениями.

Ключевые слова: композиционный материал, полимер, подшипник скольжения, поверхность трения, температура, теплопроводность

Невращающиеся втулки из полимерных материалов в условиях сухого и граничного трения быстро теряют свою работоспособность вследствие локализации напряжений, температуры и износа на небольшой части их поверхности трения.

Поиск различных способов улучшения работы металлополимерных пар привел к созданию принципиально новых видов трущихся сопряжений – «обратных пар» трения. В такой паре трения подшипник скольжения жестко закреплен на валу по своей внутренней поверхности, а его внешняя поверхность участвует в работе трения по опорной поверхности корпуса. В этом случае температура по всей внешней поверхности подшипника будет одинакова, так как она вся участвует в трении. При таком виде трения получаем осесимметричное температурное поле относительно оси вращения [6].

При рассмотрении конструкций узлов трения лесообрабатывающего оборудования было выявлено, что при использовании полимерного антифрикционного материала в обратной паре трения затрудняется отвод тепла с поверхности корпуса подшипника и поэтому потребуется искусственная вентиляция или отвод тепла через вал. Применение полимерной композиции с металлическим наполнителем позволит снизить температурное напряжение полимерной втулки в зоне трения [5].

Проанализируем стационарное плоское температурное поле подшипника скольжения из композиционного материала на основе полимера при внешнем радиусе цилиндрической стенки r_2 и внутреннем r_1 , с температурой поверхностей t_{II} и t_I соответственно. Принимаем, что для каждого заданного r_X температура цилиндрической стенки не зависит от координаты z вдоль оси и угла ϕ и является функцией только радиуса стенки r_X .

Рассмотрим конструкцию подшипника скольжения, когда антифрикционная втулка жестко закреплена на валу, а зона скольжения осуществляется между внешним диаметром втулки и корпусом подшипника (рис. 1). Из рисунка видно, что исследуемый антифрикционный материал на основе пластика с металлическим наполнителем длиной l ограничен снаружи цилиндрической поверхностью диаметром $d_2 = 2r_2$, а внутри – цилиндрической поверхностью вала диаметром $d_1 = 2r_1$ [2].

Для того чтобы определить температуру произвольно выбранной точки антифрикционного полимерного материала, определим ее как функцию расстояния $r_X = d_X / 2$ от оси цилиндра. В качестве антифрикционного материала используется полимерный материал на основе полиамида с металлическим наполнителем в виде мелкой стружки низкоуглеродистой стали (Ст.0), которая обрабатывается магнитным полем в момент изготовления втулки для улучшения теплопроводности. Толщина стенки композиционной втулки составляет 3...5 мм. Коэффициент теплопроводности λ_2 Вт/(м °C) полимерного материала с металлическим наполнителем рассчитывается в зависимости от объема металлического наполнителя и с учетом того, что теплоотдачей с торцов втулки можно пренебречь.

Зависимость теплопроводности полимерного вкладыша от степени наполнения металлической стружкой определяется по формуле для двухфазной системы [1], [4]:

$$\lambda_2 = \lambda_a + \frac{q_e}{\frac{1 - q_e}{3} + \frac{\lambda_a}{\lambda_e - \lambda_a}}, \quad (1)$$

где q_a и λ_a – объемная доля непрерывной фазы и обобщенная теплопроводность компонента А (полимера); q_b и λ_b – объемная доля компонента В (наполнителя) и его теплопроводность.

Теплопроводность стали $\lambda_s = 40 \dots 50 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ }^\circ\text{C})$, а теплопроводность полимера находится в пределах $\lambda_a = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ }^\circ\text{C})$. Принимая во внимание, что содержание металлического наполнителя не превышает 20 %, теплопроводность композиционного материала составит $\lambda_2 = 0,4 \dots 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \text{ }^\circ\text{C})$.

Для получения уравнения температурного поля в цилиндрической стенке воспользуемся уравнением Фурье, представленным в цилиндрических координатах [7]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

где α – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; t – температура, $^\circ\text{C}$; τ – время, с ; r , φ , z – координаты рассматриваемой точки по радиусу r , углу φ и вдоль оси z .

Так как рассматриваемый процесс является стационарным, а $t = f(r)$, производные t по τ , φ и z в уравнении (2) будут равны нулю. Учитывая, что t является функцией только r , вместо уравнения в частных производных (2) будем иметь обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = 0. \quad (3)$$

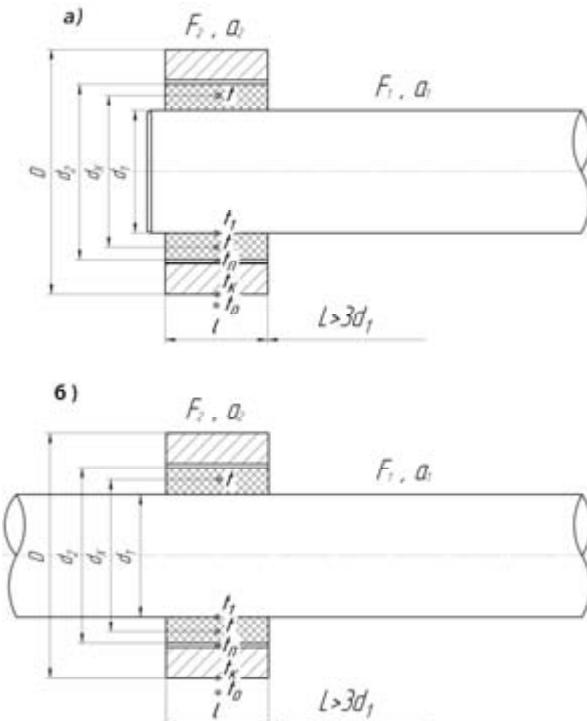


Рис. 1. Схема подшипникового узла (обратная пара): а – концевой подшипник; б – срединный подшипник

Введем дополнительное обозначение

$$\frac{dt}{dr} = U.$$

Тогда получим:

$$\frac{dU}{dr} + \frac{1}{r} U = 0. \quad (4)$$

После разделения переменных и интегрирования получим:

$$\ln U + \ln r = \ln C_1 \text{ или } Ur = C_1. \quad (5)$$

Подставляя в равенство введенную ранее замену U , получим:

$$\frac{dt}{dr} r = C_1; \text{ откуда } dt = C_1 \frac{dr}{r}. \quad (6)$$

После интегрирования имеем:

$$t = C_1 \ln r + C_2. \quad (7)$$

Для дальнейшего решения введем относительную координату $p = r/r_2$ в уравнение (7) и получим:

$$t = C_1 \ln p + C_2. \quad (8)$$

Для определения произвольных постоянных C_1 и C_2 воспользуемся граничными условиями первого рода, то есть когда на поверхностях цилиндра заданы температуры:

$$\begin{aligned} \text{при } p = p_1: tr = r_1 \quad (p_1 = \frac{r_1}{r_2}); \\ \text{при } p = 1: tr = r_2 \quad (p_2 = \frac{r_2}{r_2}). \end{aligned} \quad (9)$$

На основании условий (9) и решения (8) получим:

$$t_{II} = C_1 \ln 1 + C_2; \text{ откуда } C_2 = t_{II}; \quad (10)$$

$$t_1 = C_1 \ln p_1 + C_2 \text{ или } t_1 = C_1 \ln p_1 + t_{II}. \quad (11)$$

Из последнего равенства (11) определим C_1 :

$$C_1 = \frac{t_1 - t_{II}}{\ln p_1}. \quad (12)$$

После подстановки значений C_1 (12) и C_2 (10) в уравнение (8) получим следующее выражение для плоского осесимметричного температурного поля в подшипнике скольжения из композиционного материала на основе полимера.

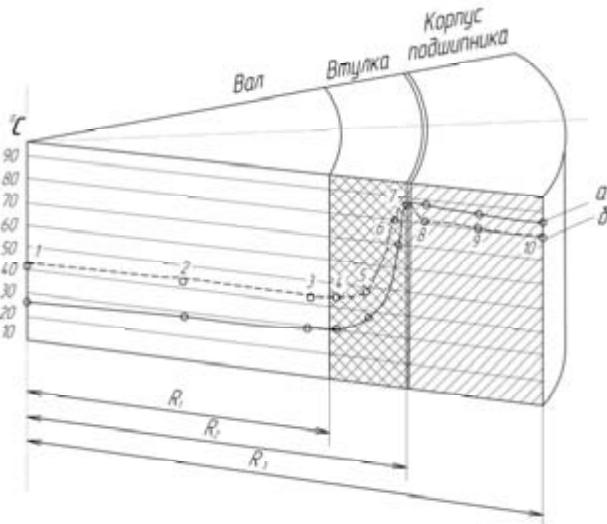


Рис. 2. Разрез подшипника скольжения с обратной парой трения:

а – полимер без металлического наполнителя (полиамид А6);
б – полимер с металлическим наполнителем, обработанным магнитным полем (полиамид А6)

$$t = t_{II} + (t_1 - t_{II}) \frac{\ln p}{\ln p_1}. \quad (13)$$

Для того чтобы найти t_1 – температуру на границе вала и слоя неметаллического антифрикционного материала при стационарном тепловом режиме – воспользуемся равенством теплового баланса [2]:

$$Q_2 = Q_e, \quad (14)$$

где Q_2 – количество тепла, прошедшее через слой полимерной втулки с металлическим наполнителем, Вт; Q_e – количество тепла, отданное с поверхности вращающегося вала, Вт.

Количество тепла, прошедшее через слой полимерной втулки с металлическим наполнителем, находится как [3], [7]:

$$Q_2 = \frac{2\pi\lambda_2 l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot (t_{II} - t_1). \quad (15)$$

Количество тепла, отданное с поверхности вращающегося вала, определяется следующим образом [2], [5]:

$$Q_e = \frac{\pi d_1}{2} \sqrt{\alpha_1 d_1 \lambda_1} (t_1 - t_0), \quad (16)$$

$$Q_e = \pi d_1 \sqrt{\alpha_1 d_1 \lambda_1} (t_1 - t_0), \quad (16.1)$$

где t_0 – температура окружающего воздуха, °С; α_1 – коэффициент теплоотдачи с вращающегося вала в окружающую среду, Вт/м °С. Численное значение α_1 принимается по экспериментально найденному уравнению $\alpha_1 = 15.6 \cdot V^{0.36}$ [1], [2].

Уравнение (16) используется для концевых подшипников, а уравнения (16.1) – для срединных, когда вылет вала в обе стороны от подшипника больше $3d_1$.

Подставляя выражения (15) и (16) в равенство (14), получим для срединного подшипника температуру на границе вала и слоя полимерного антифрикционного материала:

$$t_1 = \frac{2\lambda_2 l \cdot t_{II} + d_1 \sqrt{\alpha_1 d_1 \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \cdot t_0}{2\lambda_2 l + d_1 \sqrt{\alpha_1 d_1 \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (17)$$

Определив температуру в зоне контакта вала и втулки, далее определяем количество тепла, прошедшее через слой композиционной полимерной втулки с металлическим наполнителем, а затем количество тепла, отданное с поверхности вращающегося вала (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что полимер с металлическим наполнителем способствует интенсивному отводу тепла из зоны трения за счет наполнителя, частицы которого выстраиваются в виде цепочек, по которым происходит дополнительный отвод тепла на вал подшипника скольжения.

Рассчитав температуру полимерного антифрикционного материала, можно сделать вывод об эффективности его применения в узлах трения лесообрабатывающего оборудования с особым режимом работы. Несомненно, обратная пара трения имеет больше преимуществ по сравнению с прямой парой, что в дальнейшем приведет к увеличению срока эксплуатации подшипника скольжения при снижении температурной напряженности в зоне контакта трущихся пар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альшиц И. Я., Анисимов Н. Ф., Благов Б. Н. Проектирование деталей из пластмасс: Справочник. М.: Машиностроение, 1969. 243 с.
2. Баскаков А. П., Берг Б. В., Витт О. К. Теплотехник: Учебник. М.: Энергоиздат, 1982. 264 с.
3. Бегиджанова А. П., Крейдлин Л. М. Применение пластмасс в тракторном машиностроении [Трение]: Учебник. М.: Машиностроение, 1970. 213 с.
4. Машков Ю. К., Овчаров З. Н., Байбарацкая М. Ю., Мамаев О. А. Полимерные композиционные материалы в триботехнике: Учеб. пособие. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. 262 с.
5. Платонов В. Ф. Подшипники из полиамидов. М.: Машгиз, 1961. 111 с.
6. Чичинадзе А. В., Браун Э. Д., Бушев Н. А. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник. 2-изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 778 с.
7. Шорин С. Н. Теплопередача: Учебник. М.: Высш. шк., 1964. 484 с.