

УДК 630.323.113

UDC 630.323.113

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ
СКОЛЬЖЕНИЯ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕ-
ГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**IMPROVED OF BEARING EQUIPMENT IN
FOREST PROCESSING**

Пошарников Феликс Владимирович
д.т.н., профессор
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Posharnikov Felix Vladimirovich
Dr.Sci.Tech., professor
*Voronezh State Academy of Forestry and Technolo-
gies, Voronezh, Russia*

В статье рассматривается применение в узлах трения перспективного полимернометаллического антифрикционного материала в том случае, когда втулка вращается с валом относительно неподвижного корпуса подшипника

In this article, application of perspective polymeric metal anti-frictional material in the knots of a friction in that case when the plug rotates with shaft to the motionless base of the bearing is considered

Ключевые слова: ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ, АНТИФРИКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ПОЛИМЕРНОМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ПОДШИПНИКА, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Keywords: SLIDING BEARING, ANTI-FRICTIONAL MATERIAL, POLYMERIC METAL ELEMENT OF BEARING, TEMPERATURE, THERMAL CONDUCTIVITY

В антифрикционных узлах лесообработывающего оборудования в настоящее время применяют преимущественно такие материалы, как чугун, сталь и цветные металлы. Подшипники скольжения из этих материалов имеют недостатки: необходимость высокой точности и чистоты изготовления; длительность приработки; необходимость периодической или непрерывной смазки; интенсивный износ поверхностей трения, особенно в присутствии абразива; большие отходы при изготовлении деталей; дефицит материала и т. д. В связи с этим требуются затраты значительных средств на восстановление работоспособности антифрикционных узлов. Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы узлов трения лесообработывающего оборудования является применение в них новых антифрикционных материалов.

В антифрикционных узлах лесообработывающего оборудования в настоящее время широкое применение находят подшипники скольжения из полимерных материалов. При применении пластмасс в узлах трения значительно снижаются затраты труда на техническое обслуживание, так как можно уменьшить число точек смазки, работать в режиме сезонной или периодической смазки, а иногда и без нее. Пластмассы обладают хо-

рошей демпфирующей способностью, быстро прирабатываются, имеют высокую износостойкость и долговечность [1].

Наиболее распространенной конструкцией подшипников скольжения из термопластов является вкладыш в виде втулки, запрессованный с определенным натягом в стальной корпус. Вследствие релаксационных явлений натяг втулки из термопласта с течением времени может уменьшаться или исчезнуть, поэтому в некоторых случаях полимерную втулку в обойме дополнительно фиксируют (рис. 1). Втулки с фланцами (рис. 1, б) фиксируют при помощи выступов, расположенных на фланце.

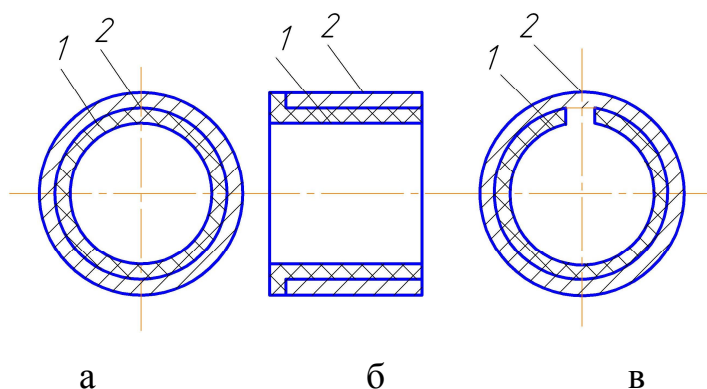


Рис. 1. Схемы крепления полимерных втулок в корпусе подшипника скольжения: 1 - втулка; 2 – корпус.

В целях уменьшения температурных деформаций втулок их иногда выполняют с разрезом вдоль образующей (рис. 1, в), но при этом возникают трудности при ее фиксации. Недостатком подшипников с разрезными втулками является то, что вблизи разреза между втулкой и обоймой скапливается грязь, самопроизвольно уменьшается зазор и ухудшается работоспособность. Целесообразно использовать цельную втулку, которая позволяет получать требуемые посадки с корпусом или валом. Давление со стороны вала втулка испытывает только по поверхности, определяемой углом контакта (охвата). В результате такого взаимодействия втулка изнашивается только в месте контакта с валом, а вал - по всей контактируемой поверхности вращения [2, 3, 5].

Не вращающиеся 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 полимерных пар привели 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 внешняя его поверхность участвует в работе трения по опорной поверхности корпуса.

Одним из основных критериев при конструировании пластиковых подшипников скольжения является фактор Pv — произведение значений удельного давления на скорость скольжения. Работоспособность подшипника, кроме того, определяется температурой в зоне контакта. Температура трения влияет на величину и устойчивость коэффициента трения и на износостойкость пары. При повышенной температуре происходит потеря физико-механических свойств материала, пластик выдавливается под действием нагрузки, происходит термическая деструкция. Возникает опасность перегрева подшипника, поэтому для повышения работоспособности узла трения применяют различные смазки, создают композиции со смазывающими и улучшающими теплоотвод наполнителями [2, 4]. Для улучшения эксплуатационных и физико-механических свойств полимерных матриц в них вводят различные наполнители. В качестве наполнителей используют: антифрикционные добавки в виде графита, дисульфид молибдена, нитрид бора; металлические порошки и др., что приводит к повышению теплопроводности и снижению теплового расширения подшипников. Такое хаотичное расположение наполнителя не позволяет равномерно и интенсивно отводить тепло из зоны трения (рис.2, а).

Для устранения указанных недостатков подшипников из полимеров, обладающих плохой теплопроводностью, предлагается использовать при

изготовлении втулок в качестве наполнителя мелкую металлическую стружку (например, низкоуглеродистую сталь). Такой наполнитель можно равномерно распределить по объему полимера и выстроить металлические частички в заданном расположении за счет применения магнитного поля, так как данный металлический наполнитель относится к ферромагнитным материалам [6].

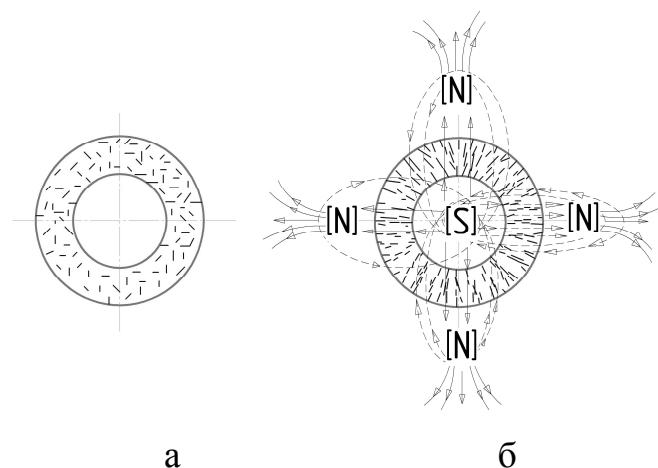


Рис.2 Расположение ферромагнитного наполнителя без воздействия магнитного поля (а) и под воздействием магнитного поля (б).

В процессе изготовления антифрикционной втулки под воздействием магнитного поля частички стали можно выстроить таким образом, что они составляют цепочки, соединяющие внутреннюю поверхность втулки с внешней. Теплопроводные мостики выстраиваются по линиям магнитного поля, которые должны быть расположены перпендикулярно оси втулки (рис. 2, б). Оптимальное содержание наполнителя составляет до 20 % (по массе). С учетом указанного расположения металлического ферромагнитного наполнителя в полимерной матрице, нами был предложен способ изготовления антифрикционных элементов подшипников скольжения. На данный способ изготовления цельнопрессованных втулок подшипников скольжения была пода заявка № 2010128889/02(040987) от 12.07.2010 года и получено решение о выдаче патента на изобретение номер заявки № 2010128889/02(040987) от 28.10.2011.

В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла терния образуется тепло на опорной площади подшипника, ограниченной углом контакта φ_0 . Избыточная температура отводится через корпус подшипника и частично через вал в радиальном и осевом направлениях. Количество выделившегося при работе подшипника тепла определяется по формуле:

$$Q = \frac{l \cdot d \cdot f}{427} \cdot p v, \quad (1)$$

где Q – удельная мощность подшипника, Вт/м²; l – длина подшипника, м; d – диаметр подшипника, м; p – среднее удельное давление, Н/м²; v – скорость скольжения, м/с; f – коэффициент трения; $1/427$ – тепловой эквивалент механической энергии, ккал/кг·м.

Рассмотрим стационарное плоское температурное поле подшипника скольжения из композиционного материала на основе полимера при внешнем радиусе цилиндрической стенки r_2 , внутреннем – r_1 , с температурой поверхностей t_2 и t_1 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 . В обратной паре трения (рис. 3) допустим, что антифрикционный материал на основе пластика с металлическим наполнителем длиной l , ограниченный снаружи цилиндрической поверхностью диаметром $d_2 = 2r_2$, а внутри – цилиндрической поверхностью вала диаметром $d_1 = 2r_1$ [6, 7].

Для того, чтобы определить температуру произвольно выбранной точки антифрикционного полимерного материала определим ее как функцию расстояния $r_x = d_x / 2$ от оси цилиндра.

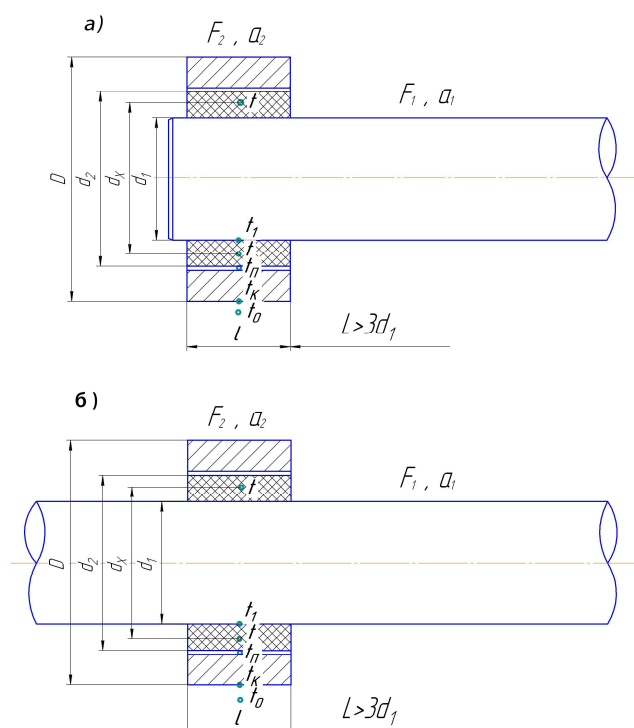


Рис. 3 Схема подшипникового узла (обратная пара): а – концевой подшипник; б — срединный подшипник

Для получения уравнения температурного поля в цилиндрической стенке воспользуемся уравнением Фурье, представленным в цилиндрических координатах [1, 3, 7]:

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

где a - коэффициент температуропроводности, м²/с; t - температура, °С; t - время, с; r, j, z - координаты рассматриваемой точки по радиусу r , углу j и вдоль оси z .

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

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

После выполнения преобразований получим следующее выражение для плоского осесимметричного температурного поля в подшипнике скольжения из композиционного материала на основе полимера [5, 6].

$$t = t_I + (t_1 - t_I) \frac{\ln p}{\ln p_1}. \quad (4)$$

Для того, чтобы найти температуру на границе между валом и слоем неметаллического антифрикционного материала t_1 — при стационарном тепловом режиме воспользуемся равенством теплового баланса:

$$Q_2 = Q_\epsilon, \text{ Вт.} \quad (5)$$

Количество тепла, прошедшее через слой полимерной втулки с металлическим наполнителем, находится как

$$Q_2 = \frac{2pl_2l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot (t_I - t_1). \quad (6)$$

С учетом того, что в подшипнике скольжения антифрикционный материал выполнен из полимернометаллического материала, количество тепла, прошедшее через слой полимерной втулки с металлическим наполнителем Q_2 , можно определить по выражению [6, 7]:

$$Q = \frac{2p \cdot l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \left(I_a + \frac{q_\epsilon}{1 - q_\epsilon + \frac{I_a}{3 + I_\epsilon - I_a}} \right) \times \left[t_{II} - \frac{2 \cdot l \cdot \left(t_0 + \frac{Q}{k \frac{2}{p} \sqrt{a_1 \cdot I_1 \cdot d^3}} \right) \left(I_a + \frac{q_\epsilon}{1 - q_\epsilon + \frac{I_a}{3 + I_\epsilon - I_a}} \right) + d_1 \sqrt{a_1 d_1 I_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} \cdot t_0}{2 \cdot l \cdot \left(I_a + \frac{q_\epsilon}{1 - q_\epsilon + \frac{I_a}{3 + I_\epsilon - I_a}} \right) + d_1 \sqrt{a_1 d_1 I_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}} \right] \quad (7)$$

Количество тепла, отданное с поверхности вращающегося вала, определяется как

$$Q_{\text{с}} = \frac{pd_1}{2} \sqrt{a_1 d_1 I_1} (t_1 - t_0), \quad (8)$$

$$Q_{\text{с}} = pd_1 \sqrt{a_1 d_1 I_1} (t_1 - t_0), \quad (9)$$

где t_0 — температура окружающего воздуха, °С; a_1 — коэффициент теплоотдачи с вращающегося вала в окружающую среду, Вт/м² град. Численное значение a_1 принимается по экспериментально найденному уравнению $a_1 = 15.6 \cdot V^{0.36}$ [2].

Уравнение (8) используется для концевых подшипников, а уравнения (9) — для срединных, когда вылет вала в обе стороны от подшипника больше $3d_1$.

Подставляя выражения (6) и (8) в равенство (5), получим температуру на границе между валом и слоем полимерного антифрикционного материала:

$$t_1 = \frac{2 \left(I_a + \frac{q_{\text{с}}}{\frac{1-q_{\text{с}}}{3} + \frac{I_a}{I_{\text{с}} - I_a}} \right) l \cdot t_{\text{II}} + d_1 \sqrt{a_1 d_1 I_1} \ln \frac{d_2}{d_1} \cdot t_0}{2 \left(I_a + \frac{q_{\text{с}}}{\frac{1-q_{\text{с}}}{3} + \frac{I_a}{I_{\text{с}} - I_a}} \right) l + d_1 \sqrt{a_1 d_1 I_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (10)$$

Определив температуру в зоне контакта вала и втулки, можно определить количество тепла, прошедшее через слой полимерной втулки с металлическим наполнителем, а затем количество тепла, отданное с поверхности вращающегося вала.

Полученное значение температуры сравнивается с допускаемой температурой $[t]$ для данного материала. В случае, если $[t] \geq t_{\text{с}}$ расчет за-

кончен, а если при расчете $[t] < t_e$ необходимо корректировать размеры подшипника скольжения для улучшения условий теплоотвода.

Особенностью приведенных расчетов является то, что состав композиционной втулки может изменяться, следовательно, будет изменяться и теплопроводность материала, которую необходимо учитывать при тепловом расчете. Это связано с низкой термостойкостью и теплопроводностью полимера. Необходимо так же знать рабочую температуру в расчетах по определению температурных компенсаций при выборе конкретных зазоров и натягов в соединениях корпус – вал – подшипник. На основании проведенных расчетов, можно сделать вывод о пригодности данного материала к работе в узлах трения лесобрабатывающего оборудования при конкретных условиях работы. Подбирая таким образом более оптимальный материал для подшипников скольжения, можно повысить рабочий ресурс и производительность лесобрабатывающего оборудования.

Проведенные экспериментальные исследования показали следующий результат (рис. 4).

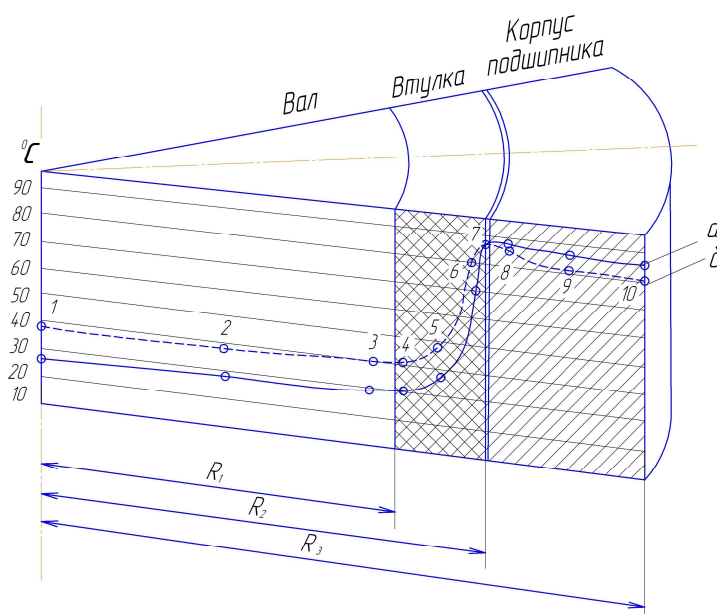


Рис. 4 Разрез подшипника скольжения с обратной парой трения

Важным преимуществом обратной пары перед прямой является лучший теплоотвод, что позволяет повысить скорость скольжения или давление (рис.5, 6).

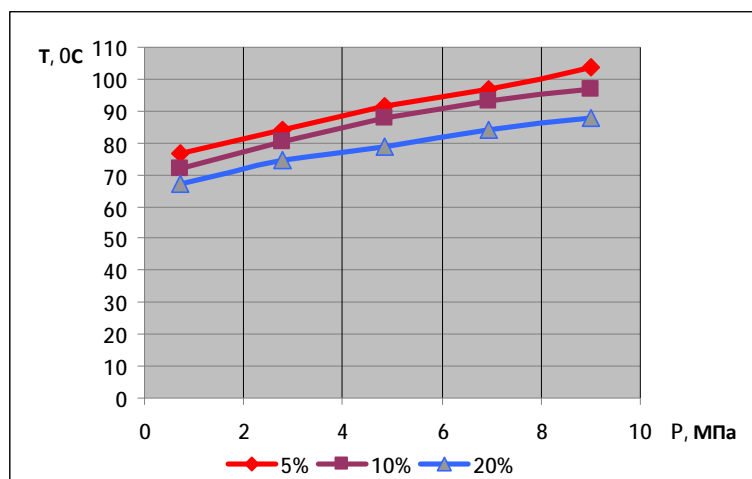


Рис. 5 – Зависимость температуры T , °C вблизи поверхности трения от удельной нагрузки при различном содержании металлического наполнителя в обратной паре трения ($V = 1,06$ м/с)

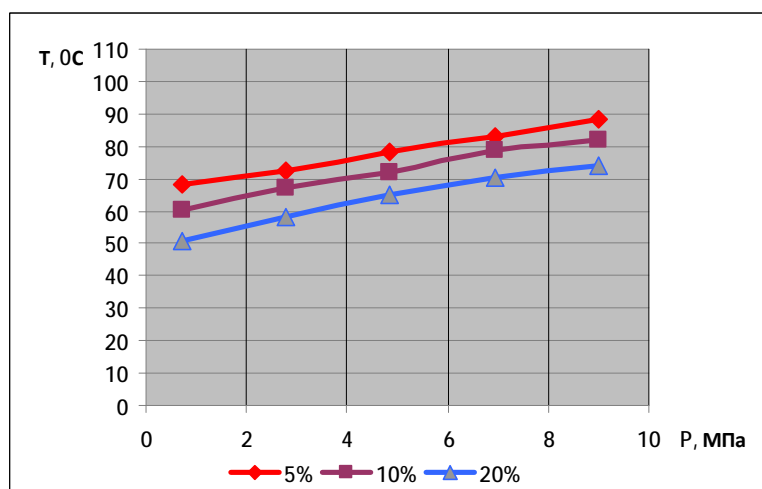


Рис. 6 – Зависимость температуры T , °C на корпусе подшипника скольжения от удельной нагрузки при различном содержании металлического наполнителя в обратной паре трения ($V = 1,06$ м/с)

В ходе проведенных исследований был получен диапазон рабочих температур вблизи поверхности трения композиционных металлополимерных подшипников скольжения с различным содержанием металличе-

ского наполнителя, в пределах 50 до 98⁰С. Такие значения температуры находятся в зоне допустимых рабочих температур для этих полимеров и находятся далеко от верхней границы этого диапазона, который для разных полимеров составляет 190...235⁰С. Отсюда можно сделать вывод, что антифрикционные полимеры на основе полиамидной смолы с металлическим наполнителем в виде мелкой стружки из низкоуглеродистой стали вполне работоспособны в качестве антифрикционного материала в шарнирных соединениях лесообрабатывающего оборудования.

Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности обратных пар трения показали высокую их эффективность. Обратные пары имеют меньшее повреждение поверхностей и стойкость к заеданию, так как пластическая деформация элемента пары с меньшей твердостью (пластмассы) не препятствует работе сопряжения, нагрузка до заедания возрастает в несколько раз по сравнению с прямой парой.

Литература

1. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Текст]: учеб./ под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр «Наука и техника», 1995. – 778с.
2. Справочник по триботехнике [Текст] / под ред. М.Хебды, Ф.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1992. – Т3. – 730с.
3. Металлополимерные материалы и изделия [Текст] : учеб, для вузов / под ред. В.А. Белого. – М.: Химия, 1979. – 312с.
4. Бегиджанова А.П. Применение пластмасс в тракторном машиностроении [Текст] : учеб. пособие / А.П. Бегиджанова, Л.М. Крейншлин. – М., «Машиностроение», 1970. – 213с.
5. Альшиц И.Я. Проектирование из пластмасс [Текст] : справочник / И.Я. Альшиц, Н.Ф. Анисимов, Б.Н. Благоев. – М., «Машиностроение», 1969. – 243с.
6. Пошарников Ф.В. Применение композиционного материала на основе полимера в узлах трения лесообрабатывающего оборудования [Текст] / Ф. В. Пошарников, А. И. Серебрянский, А. В. Усиков // Лесотехнический журнал. Научный журнал № 1 (1) – Воронеж 2011. –С. 51-55.
7. Пошарников Ф.В. Исследование вращательного процесса трения в подшипниках скольжения лесообрабатывающего оборудования [Текст] / Ф.В. Пошарников, А.В. Усиков, А. И. Серебрянский //Лесотехнический журнал 2011 г. № 2 – Воронеж 2011. – С. 92-95.