

УДК 621.82

Ф.В. Пошарников, А.В. Усиков, А.И. Серебрянский

Воронежская государственная лесотехническая академия

Пошарников Феликс Владимирович родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, академик, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 150 печатных работ в области механизации производственных процессов лесовосстановления, комплексной механизации работ в лесных питомниках.
E-mail: tolp@vglta.vrn.ru



Усиков Алексей Васильевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства ВГЛТА. Имеет 12 печатных работ в области изучения трения и износа.
E-mail: tolp@vglta.vrn.ru



Серебрянский Алексей Иванович родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства ВГЛТА. Имеет 60 печатных работ в области изучения трения и износа.
E-mail: gjdblkj@yandex.ru



ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Предложено использовать в качестве антифрикционного материала в узлах трения-скольжения деревообрабатывающего оборудования антифрикционный композитный полимер с металлическим наполнителем. Представлен тепловой расчет и графически проиллюстрирована зависимость коэффициента трения от температуры трения при различных режимах работы подшипников скольжения с полимерным вкладышем.

Ключевые слова: композиционный материал, полимер, надежность, коэффициент трения, полиамиды, наполнитель, подшипник скольжения, поверхность трения, температура, теплопроводность.

В лесной промышленности широко используется деревообрабатывающее оборудование различного назначения. Его надежность зависит от многих параметров, узлы трения – одно из самых слабых звеньев любого механизма. Отличительной особенностью работы узлов трения в деревообрабатывающем оборудовании являются: высокие контактные давления; динамические и вибра-

ционные нагрузки; загрязненность абразивом; недостаток смазки, из-за чего происходит увеличение износа и нарушение кинематической точности сопряжения.

Эту проблему можно решить использованием в узлах трения лесопромышленного оборудования новых перспективных антифрикционных материалов, например полимеров. Полимерные материалы позволяют решать ряд технических задач, направленных на повышение надежности работы и увеличение срока службы оборудования, обладают высокими антифрикционными свойствами при работе в узлах трения без подачи смазки. Однако их широкое использование сдерживается тем, что они имеют низкую теплопроводность и, как следствие этого, невысокую теплостойкость, а при повышенных температурах – низкую износостойкость.

Для устранения этих недостатков необходимо обеспечить отвод теплоты из зоны трения. Нами предложено включить металлический наполнитель в структуру полимерного подшипника скольжения. Ранее для этого использовали металлические каркасы, сетки и т.д., которые армировали подшипник и одновременно способствовали отводу теплоты из зоны контакта. Недостатки их заключались в том, что они непосредственно не контактировали с валом, что снижало их эффективность как теплопроводного элемента, кроме того, изготовление таких подшипников было сложным и трудоемким.

Нами предлагается ввести в структуру подшипника мелкую стружку из материала с хорошей теплопроводностью. Для этого можно использовать графит, дисульфид молибдена, медь, свинец, титан или бронзу. Однако мы отказались от этих дорогих материалов и в качестве наполнителя использовали металлическую стружку из малоуглеродистой стали. Для повышения эффективности теплопроводной способности наполнителя при формировании подшипника осуществляется воздействие постоянным магнитным полем, в процессе которого металлические опилки, как ферромагнитный материал, выстраиваются в виде цепочек, так как один полюс магнита размещен внутри втулки, другой – с ее внешней стороны. При этом цепочки вступают в контакт с валом. Поскольку валы, как правило, изготовлены из твердых сортов стали и подвергнуты термообработке, более мягкие материалы наполнителя не изнашивают вал, но за счет непосредственного контакта с ним хорошо отводят тепло. Теплопроводные мостики выстраиваются по линиям магнитного поля, которые должны быть распределены перпендикулярно оси втулки [3]. Оптимальное содержание металлического наполнителя – 15...20 % по массе. Небольшое количество наполнителя из малоуглеродистой стали не способствует образованию абразивного износа в подшипнике скольжения, зачастую происходит избирательный перенос.

Рациональную толщину стенки втулки S для диаметров соединения $d = 20...200$ мм подбирают из выражения $S = (0,050...0,075)d$. Для антифрикционной втулки нами использован композиционный материал, толщина стенки втулки 4 мм. Благодаря металлическому наполнителю в антифрикционной втулке одна часть теплоты из зоны трения отводится через металлический вал,

другая – через корпус подшипника. Температура антифрикционного слоя зависит от соотношения количества теплоты, возникающей в подшипнике в результате трения, и количества теплоты, передаваемой в окружающее пространство.

Схема подшипникового узла с применением втулки из наполненного полимера представлена на рис. 1.

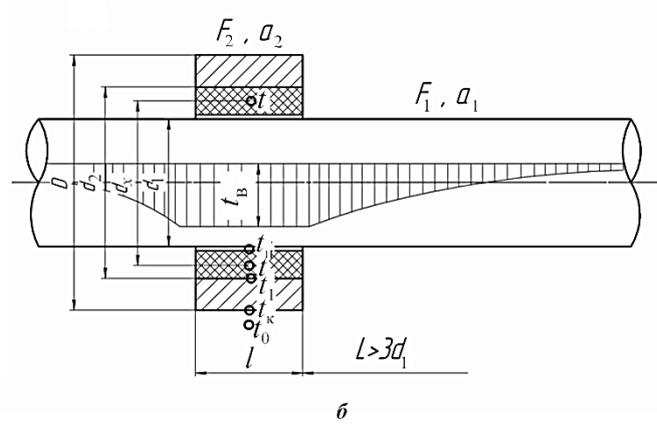
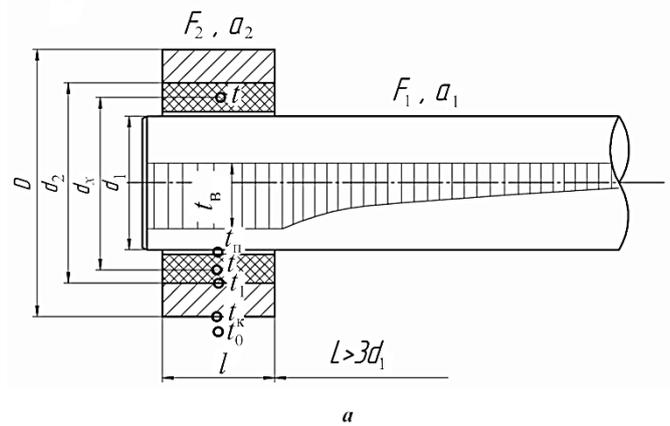


Рис. 1. Схема подшипникового узла с применением наполненного полимера: *a* – концевой подшипник; *б* – срединный подшипник; d_1 – диаметр вала в зоне трения; d_2 – наружный диаметр подшипника; D – наружный диаметр корпуса подшипника; l – длина подшипника; L_1 и L_2 – длина вала с интенсивным теплообменом в левую и правую сторону от подшипника соответственно

Расчет на нагрев основывается на предположении, что тепло, образующееся при трении, отводится в окружающую среду через поверхность вала и частично через корпус подшипника, так как теплопроводность полимера

($\lambda_2 = 0,1 \dots 1,0$ Вт/(м·°С)) с металлическим наполнителем намного ниже теплопроводности стали ($\lambda_1 = 40 \dots 50$ Вт/(м·°С)). В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла трения образуется теплота на опорной площади подшипника, ограниченной углом контакта θ . Антифрикционный композитный полимер с металлическим наполнителем позволяет отводить одну ее часть в окружающую среду через корпус подшипника. Снижение температуры в зоне трения способствует расширению применения данного композиционного материала в подшипниках скольжения при частых пусках и остановках с недостаточным количеством смазки (например, подающий механизм пилы в продольно-поперечном раскрывочном лесообрабатывающем оборудовании) [1, 4].

На поверхности узла трения действует тепловой источник, количество выделившийся при работе подшипника теплоты определяется по следующей формуле:

$$Q = \frac{ldf}{427}pv, \quad (1)$$

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

В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла трения в зоне контакта образуется теплота. Избыточная температура отводится через вал в радиальном и осевом направлениях (рис. 1). За пределами опорной площади подшипника температура рабочей поверхности уменьшается: чем дальше от зоны трения, тем она меньше [2].

При работе подшипника скольжения, когда вал вращается относительно неметаллического слоя, температура поверхности $t_{\text{п}}$ трения втулки будет некоторой функцией расстояния r_x выбранной точки от оси цилиндра и угла θ :

$$t_{\text{п}} = u(r_x, \theta). \quad (2)$$

Вид функции (2) зависит от угла контакта неметаллического антифрикционного слоя втулки с поверхностью вала, коэффициента теплопроводности λ_2 неметаллического слоя, толщины самой втулки, режима работы узла трения и др. факторов. Так как наибольшая температура антифрикционного слоя наблюдается в зоне контакта трущихся поверхностей, где она может быть принята постоянной при $\theta = 90 \dots 120^\circ$, то распределение температуры в рассматриваемой зоне можно считать функцией только r_x [1, 5].

В данном случае температура внутри втулки

$$t = t_n - \frac{t_n - t_1}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \ln \frac{d_x}{d_1},$$

(3)

где t_1 – температура на внешней поверхности исследуемой антифрикционной полимерной втулки;

d_2 – наружная цилиндрическая поверхность антифрикционной втулки, $d_2 = 2r_2$;

d_1 – внутренняя поверхность втулки, $d_1 = 2r_1$;

d_x – расстояние выбранной точки в композиционной втулке от оси цилиндра.

Так как в узле трения наружная поверхность втулки плотно соприкасается с металлическим корпусом подшипника, то на всей исследуемой поверхности в момент наступления стационарного теплового режима t_1 можно считать постоянной благодаря хорошей теплопроводности металла корпуса ($\lambda_1 = 40 \dots 50$ Вт/(м·°С)). Эту величину можно определить из теплового баланса:

$$Q_2 = Q_n, \quad (4)$$

где Q_2 – количество теплоты, прошедшее через антифрикционный слой (в случае применения полимеров с металлическим наполнителем) и металлический корпус подшипника, Вт/м²;

Q_n – количество теплоты, отданное корпусом подшипника в окружающую среду, Вт/м².

При установившемся тепловом режиме перепад температур между внутренней и наружной поверхностями металлического корпуса подшипника $\Delta t = t_1 - t_k$ является незначительным, поэтому можно принять $t_1 \approx t_k$.

Количество теплоты, прошедшее через антифрикционный слой композиционного полимера и металлический корпус подшипника:

$$Q_2 = \frac{\theta \lambda_2 l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_n - t_k); \quad (5)$$

$$Q_n = \alpha_2 F_2' (t_k - t_0), \quad (6)$$

где l – длина опоры подшипника, м;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от корпуса подшипника в окружающую среду, Вт/(м²·°С);

F_2' – внешняя площадь поверхности корпуса подшипника, м²;

t_k – температура наружной поверхности корпуса подшипника, °С;

t_0 – температура окружающего воздуха, °С.

Теплопроводность полимерного вкладыша с металлическим наполнителем определяется как

$$\lambda_2 = n_a \lambda_a + n_g \lambda_g, \quad (7)$$

где n_a и n_g – объемные доли компонентов (сталь, полимер);

λ_a и λ_g – теплопроводности материалов (сталь, полимер).

Теплопроводность стали $\lambda_a = 40 \dots 50$ Вт/(м·°С), а теплопроводность полимера $\lambda_p = 0,2 \dots 0,3$ Вт/(м·°С). Принимая во внимание, что содержание металлического наполнителя не превышает 20 %, теплопроводность композиционного материала $\lambda_2 = 0,4 \dots 0,7$ Вт/(м·°С).

Определив количество теплоты, отводимого из зоны трения металлическим корпусом подшипника скольжения, можно сделать выводы о распределении теплового потока и, следовательно, о возможности работы данного композиционного антифрикционного материала в узлах трения. В прямой паре трения значительная часть теплоты отводится вращающимся валом, меньшая – через корпус подшипника.

Для определения температуры на внешней поверхности исследуемой втулки подставим выражения (5) и (6) в равенство (4) с учетом $t_1 \approx t_R$:

$$t_1 = \frac{\theta \lambda_2 l t_{II} + \alpha_2 F_2' \ln \frac{d_2}{d_1} t_0}{\theta \lambda_2 l + \alpha_2 F_2' \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (8)$$

Определив температуру на внешней поверхности исследуемой полимерной втулки с металлическим наполнителем, можно установить какое количество теплоты отводится наружной поверхностью подшипника скольжения. На рис. 2 показано распределение температуры в зависимости от вида материала. Композиционный материал с металлическим наполнителем (кривая II) позволяет отводить тепло через внешнюю поверхность корпуса подшипника скольжения.

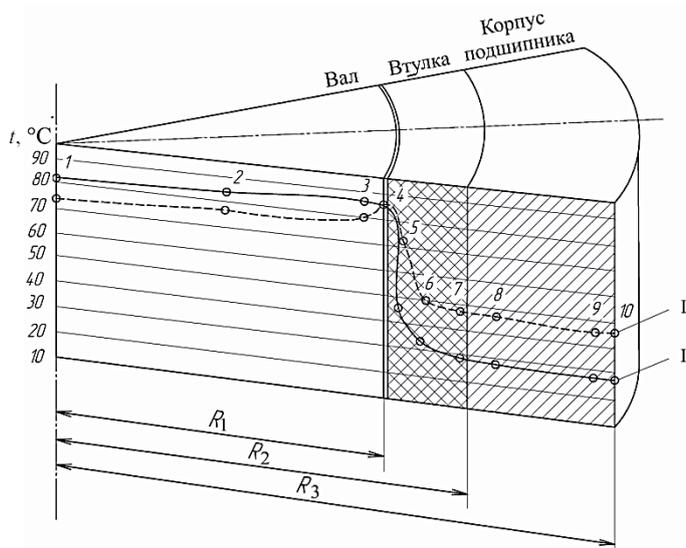


Рис. 2. Распределение температуры в подшипнике скольжения с полимерной втулкой ($S = 4$ мм): I – чистый полиамид (капролон); II – полиамид, наполненный металлической стружкой под действием магнитного поля; I – 10 – точки замера

Подставив значение t_1 в выражение (3), получим формулу для распределения температуры в полимерном антифрикционном материале на участке, ограниченном углом θ :

$$t = t_n - \frac{t_n - t_0}{\ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{\theta \lambda_2 l}{\alpha_2 F_2'}} \ln \frac{d_x}{d_1}. \quad (9)$$

Полученное значение температуры полимерного композиционного материала сравним с предельно допускаемой температурой $[t]$ из справочной литературы для данного материала: $t \leq [t]$.

Если условие выполняется – расчет окончен, если нет, то необходимо изменить размеры вкладыша и улучшить условия теплообмена или за счет снижения толщины антифрикционного слоя, или за счет увеличения количества металлического наполнителя до предельной величины.

В работе особое внимание было уделено зависимости коэффициента трения термопласта от температуры (рис. 3, а). Зависимость коэффициента трения от температуры резко выражена у капролона, у композиционного материала с металлическим наполнителем эта зависимость менее явная [6].

На рис. 3, б показана зависимость коэффициента сухого трения исследованных материалов от давления.

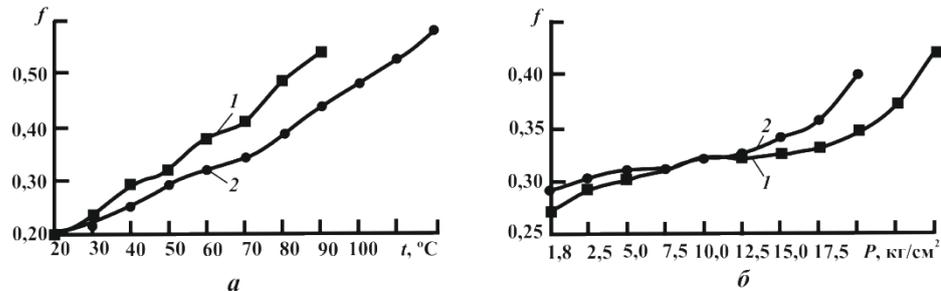


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения f от температуры t (а) при $P = 7,2$ МПа и удельной нагрузки P (б) на подшипник скольжения ($V = 0,78$ м/с; $\Delta = 0,3$ мм): 1 – капролон; 2 – композиционный материал на основе капролона с металлическим наполнителем (20 %) под действием магнитного поля

Таким образом, снижение температуры в зоне контакта трущихся поверхностей позволит использовать полимерные материалы в узлах трения лесобработывающего оборудования при тяжелых режимах работы. При сниже-

нии температуры в зоне трения подшипника снижается и коэффициент трения, что подтверждено лабораторными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альшиц И.Я., Анисимов Н.Ф., Благов Б.Н. Проектирование деталей из пластмасс: справ. М., Машиностроение, 1969. 243с.
2. Основы трибологии: (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов /А.В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. Платонов В.Ф. Подшипники из полиамидов. М.: Машгиз, 1967. 111 с.
4. Пошарников Ф.В., Серебрянский А.И., Усиков А.В. Исследование вращательного процесса трения в подшипниках скольжения лесообрабатывающего оборудования // Лесотехн. журн. 2011. № 2(2). С. 92–95.
5. Пошарников Ф.В., Усиков А.В. Снижение температурной напряженности в подшипниках скольжения с полимерными антифрикционными материалами // Учен. записки ПетрГУ. Сер. «Естеств. и техн. науки». 2010. № 8 (113). С. 76–78.
6. Усиков А.В. Повышение износостойкости подшипников скольжения в лесообрабатывающем оборудовании при использовании полимерного материала, армированного металлической стружкой // Политемат. сетевой электрон. науч. журн. КубГАУ. 2011. № 74 (10). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/31.pdf>

Поступила 05.02.10

F.V. Posharnikov, A.V. Usikov, A.I. Serebryansky
Voronezh State Academy of Forestry Engineering

Use of Polymer-Based Composite Material in Friction Units of Woodworking Equipment

It is proposed to use antifriction composite polymer with a metal filler as an antifriction material in sliding friction units of woodworking equipment. A thermal design with the proposed material has been presented. The dependence of the friction coefficient on the friction temperature under various operation modes of slider bearings with polymeric bushing is illustrated graphically.

Key words: composite material, polymer, reliability, friction coefficient, polyamides, filler, slider bearing, friction surface, temperature, thermal conductivity.