УДК 630.323.113

ПРИМЕНЕНИЕ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Усиков А.В.

ФГБОУ ВПО Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж
Воронеж, Россия (394087 г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8) tolp@vglta.vrn.ru

В статье предложено использовать в качестве антифрикционного материала для подшипников скольжения лесообрабатывающего оборудования полимерный композиционный материал. В результате трения в опорах скольжения происходит неравномерный нагрев подшипника, при котором изменяются физико-механические свойства полимерного материала и возникают градиенты температуры, сопровождающиеся неравномерным тепловым расширением отдельных поверхностей не металлической втулки. Тепловые напряжения сами совместно с механическими напряжениями от внешних сил могут привести к частичной или полной потере работоспособности подшипника скольжения. Предлагается использовать полимерный материал с ферромагнитным металлическим наполнителем, который радиально ориентирован под воздействием магнитного поля в процессе изготовления элементов подшипника скольжения. В таком подшипнике скольжения более интенсивно будет отводиться тепло из зоны трения. Предложен алгоритм расчета теплового баланса с учетом отвода тепла на корпус подшипника скольжения с антифрикционным композитным материалом.

Ключевые слова: композиционный полимерометаллический материал, подшипник скольжения.

APPLICATION IN KNOTS OF FRICTION FOREST PROCESSING THE EQUIPMENT COMPOSITE POLYMERNOMETALLICHESKY MATERIAL

Usikov A.V.

Voronezh State Forestry Academy, Voronezh
Voronezh, Russia (394 087 Voronezh, Timiryazev str., 8) tolp@vglta.vrn.ru

The paper proposed to use as antifriction material for sliding bearings forest processing equipment polymeric composite material. As a result of friction in the bearings sliding bearings are non-uniform heating, which changes the physical and mechanical properties of polymeric material and having gradients of temperature, accompanied by a non-uniform thermal expansion of the individual surfaces is not a metal sleeve. Heat stress yourself with the mechanical stress from external forces may lead to partial or complete loss of the sliding bearing efficiency. It is proposed to use a polymer material with a ferromagnetic metal filler, which is oriented radially under the influence of the magnetic field in the process of manufacturing a plain bearing elements. In such a plain bearing is harder to remove heat from the friction zone. Algorithm is proposed for calculating the thermal balance, taking into account heat on the bearing housing with anti-friction bearings with composite material.

Key words: composite material polimernometallichesky, the bearing slide.

В лесной промышленности широко используется лесообрабатывающие оборудования различного назначения. Надежность оборудования зависит от многих параметров, однако, узлы трения являются одним из самых слабых звеньев в любом механизме. Отличительными особенностями работы узлов трения в лесообрабатывающем оборудовании являются: высокие контактные давления; динамические и вибрационные 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, таких как полимеры. Полимерные материалы позволяют решать ряд технических вопросов, направленных на повышение надежности работы и увеличение срока службы оборудования. Они обладают высокими антифрикционными свойствами при работе в узлах трения без подачи смазки. Но их широкое использование в лесообрабатывающем оборудовании сдерживается тем, что они имеют низкую теплопроводность и, как следствие этого, невысокую теплостойкость. Из-за этого при повышенных температурах у них низкая износостойкость.

Для устранения этих недостатков необходимо каким-то образом обеспечить отвод тепла из зоны трения подшипника скольжения с полимерным антифрикционным материалом. Нами предлагается включить в структуру полимерного элемента подшипника скольжения металлический наполнитель. 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 элемента подшипника скольжения, в процессе его изготовления, к полимерной крошке добавляется и металлический ферромагнитный наполнитель. Под воздействием постоянного магнитного поля металлические частички, как ферромагнитный материал, выстраиваются в виде цепочек, т.к. один полюс магнита размещен внутри втулки, а другой – с внешней стороны, при этом цепочки вступают в контакт с валом (рисунок 1). В качестве полимерной основы предлагается использовать полиамидные смолы, например, капролон.

Поскольку валы, как правило, изготовляют из твердых сортов стали и подвергаются термообработке, более мягкие материалы наполнителя не изнашивают вал, но за счет непосредственного контакта с ним хорошо отводят тепло. Для снижения коэффициента трения, при изготовлении полимерометаллической втулки, рекомендуется добавлять графит до 3 % от объема материала Теплопроводные мостики выстраиваются по линиям магнитного поля, которые должны быть распределены радиально оси втулки. [1, 6]. Оптимальное содержание металлического наполнителя – до 20 % по массе. Небольшое количество наполнителя из малоуглеродистой стали не способствует образованию абразивного износа в подшипнике скольжения, а зачастую происходит избирательный перенос.

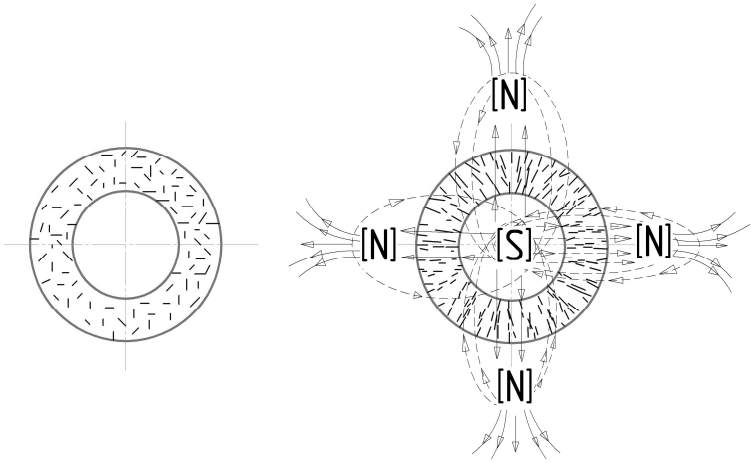

Рисунок 1. Расположение ферромагнитного наполнителя без воздействия магнитного поля (а) и под воздействием магнитного поля (б)

Рациональная толщина стенки втулки для диаметров соединения $d = 20...200$ мм подбирается из выражения $S = (0.05...0.075)d$. Нами использовался композиционный материал с толщиной втулки 4 мм.

В результате трения в опорах скольжения происходит неравномерный нагрев подшипника, при котором изменяются физико-механические свойства полимерного материала и возникают градиенты температуры, сопровождающиеся неравномерным тепловым расширением отдельных поверхностей полимерной втулки. Неравномерное тепловое расширение не может протекать свободно в сплошном теле, а вызывает при этом температурные напряжения. Значение величины и характер действия тепловых напряжений необходимы для всестороннего анализа прочности узла трения. Тепловые напряжения, сами по себе и совместно с механическими напряжениями от внешних сил, могут привести к частичной или полной потере работоспособности подшипника скольжения.

Необходимость тепловых расчетов подшипников скольжения с полимерным материалом обуславливается, во-первых, низким коэффициентом теплопроводности полимерного материала, а во-вторых, низкой его теплостойкостью. Первое резко снижает условия теплоотдачи из зоны трения в окружающую среду, а второе, в случае превышения температуры над предельно допустимым значением, может привести к разрушению полимерного материала и остановке подшипника скольжения. При повышении температуры, выше допустимой для тех или иных материалов, в последних происходят физические, химические и механические изменения, особенно в поверхностных и приповерхностных слоях. Такие изменения приводят к повышенному износу, появляются очаги микросваривания, заедания, задиры; проявляются виды изнашивания, которых могло бы не быть при допустимых значениях температуры трения. Повышается износ, доходящий до критического значения. При экстремальных значениях температуры может полностью остановиться работа узла трения, что ведет к его разрушению [2, 3].

В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла трения образуется тепло на опорной площади подшипника, ограниченной углом контакта φ_0. В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла терния

образуется тепло в зоне контакта. Избыточная температура отводится через вал в радиальном и осевом направлениях (рисунок 2).

На поверхности узла трения действует тепловой источник, а количество выделившегося при работе подшипника тепла определяется по формуле:

$$Q = \frac{l \cdot d \cdot f}{427} \cdot pv \qquad (1)$$

где Q – удельная мощность подшипника, Вт/м^2; l – длина подшипника, м; d – диаметр подшипника, м; p – среднее удельное давление, Н/м^2; v – скорость скольжения, м/с; f – коэффициент трения; $1/427$ – тепловой эквивалент механической энергии, ккал/кг·м.

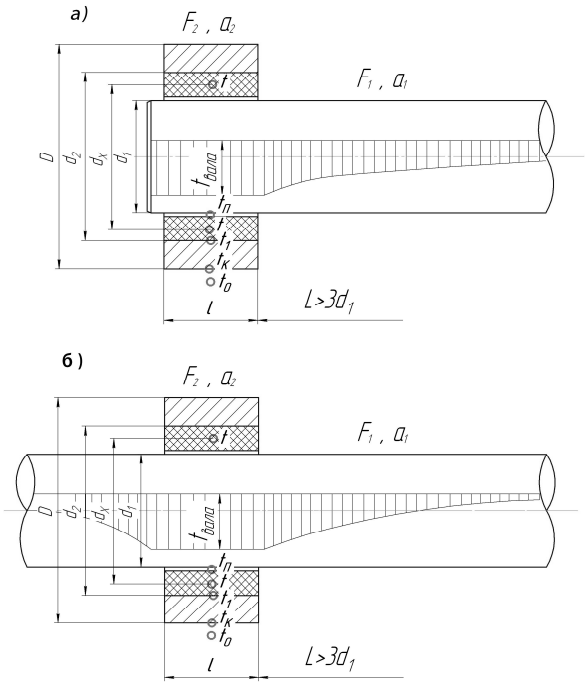

Рисунок 2. Схема подшипникового узла скольжения, когда вал вращается относительно неподвижной втулки: а – концевой подшипник; б – срединный подшипник: d_1 – диаметр вала в зоне трения; d_2 – наружный диаметр подшипника; D – наружный диаметр корпуса подшипника; l – длина подшипника; L_1, L_2 – длина вала с интенсивным теплообменом в левую и правую стороны от подшипника соответственно, $t_{\ddot{I}}$ – температура в зоне трения, ^{0}С; t – температура в середине полимерно-металлической втулки ^{0}С; t_1 – температура на внешней поверхности втулки, ^{0}С; t_K – температура на корпусе подшипника скольжения ^{0}С; t_0 – температура окружающей среды ^{0}С.

За пределами опорной площади подшипника температура рабочей поверхности уменьшается, чем дальше от зоны трения, тем меньше значение температуры. Антифрикционный пластик с металлическим наполнителем позволяет часть тепла передавать на корпус подшипника, что позволяет расширить его применение в тяжелых условиях работы [2, 4].

Расчет на нагрев основывается на предположении, что тепло, образующееся при трении Q, отводится в окружающую среду через поверхность вала и частич-

но через корпус подшипника, так как теплопроводность полимера с металлическим наполнителем в сотни раз ниже, чем теплопроводность стали [3, 4]. Уравнение теплового баланса для подшипника скольжения имеет вид:

$$Q = Q_{в} + Q_{к}, \tag{2}$$

где $Q_{в}$ – мощность теплового потока, отводимого валом, Вт; $Q_{к}$ – мощность теплового потока, отводимого корпусом подшипника скольжения, Вт.

С учетом, что в подшипнике скольжения антифрикционный материал выполнен из полимерометаллического материала с повышенной теплопроводностью, уравнение теплового баланса будет иметь следующий вид [4, 5]:

$$Q=\frac{2k\cdot d}{\pi}\sqrt{\alpha_1\cdot\lambda_1\cdot d}\left(\frac{Q}{k\frac{2}{\pi}\sqrt{\alpha_1\cdot\lambda_1\cdot d^3}}\right)+\frac{\varphi_0\cdot l}{\ln\frac{d_2}{d_1}}\left(\lambda_a+\frac{q_в}{\frac{1-q_в}{3}+\frac{\lambda_a}{\lambda_в-\lambda_a}}\right)\times$$

$$\times\left(t_0+\frac{Q}{k\frac{2}{\pi}\sqrt{\alpha_1\cdot\lambda_1\cdot d^3}}-\frac{\varphi_0\cdot\left(\lambda_a+\frac{q_в}{\frac{1-q_в}{3}+\frac{\lambda_a}{\lambda_в-\lambda_a}}\right)\cdot l\cdot\left(t_0+\frac{Q}{k\frac{2}{\pi}\sqrt{\alpha_1\cdot\lambda_1\cdot d^3}}\right)+\alpha_2\cdot F_2^{/}\cdot\ln\frac{d_2}{d_1}\cdot t_0}{\varphi_0\cdot\left(\lambda_a+\frac{q_в}{\frac{1-q_в}{3}+\frac{\lambda_a}{\lambda_в-\lambda_a}}\right)\cdot l+\alpha_2\cdot F_2^{/}\cdot\ln\frac{d_2}{d_1}}\right) \tag{3}$$

где q_a *и* λ_a – объемная доля непрерывной фазы и обобщенная теплопроводность компонента А (полимера); $q_в$ *и* $\lambda_в$ – объемная доля компонента В (наполнителя) и его теплопроводность.

Определив количество тепла отводимого из зоны трения валом и металлическим корпусом подшипника скольжения, можно сделать выводы о распределении теплового потока и, следовательно, возможности работать с данным антифрикционным материалом в узлах трения.

Нами были проведены исследования, в которых основное внимание было уделено зависимости коэффициента трения полимерометаллической втулки от температуры.

В случае, если при работе подшипника скольжения в зоне трения вал-подшипник скольжения из полимера будет больше выделяться тепла, чем оно рассеивается валом и подшипником, то узел трения будет значительно перегреваться. Температурный режим подшипника скольжения будет существенно сказываться на коэффициенте трения и износе трущихся пар. Повышение температуры в зоне трения приведет к появлению температурных напряжений и, следовательно, к температурным деформациям, которые необходимо учитывать при назначении посадок и при расчете зазора между вкладышем из полимера и валом.

При повышении температуры, выше допустимой для тех или иных материалов, в последних происходят физические, химические и механические изменения, особенно в поверхностных и приповерхностных слоях. Такие изменения приводят к повышенному износу, появляются очаги микросваривания, заедания, задиры, проявляются виды изнашивания, которых могло бы не быть при допустимых значениях температуры трения. Повышается износ, доходящий до критического значения. При экстремальных значениях температуры может полностью остановиться работа узла трения, что ведет к его разрушению.

В качестве исследуемого антифрикционного материала был выбран полимер на основе полиамида – капролон, армированный металлическим наполнителем. Были выбраны следующие нагрузочно-скоростные режимы экспериментов: V=0,08…1,06 м/с; P=0,72…9,0 МПа. Графическое изображение зависимости температуры трения от скорости скольжения и удельной нагрузки представлено на рисунках 3 и 4.

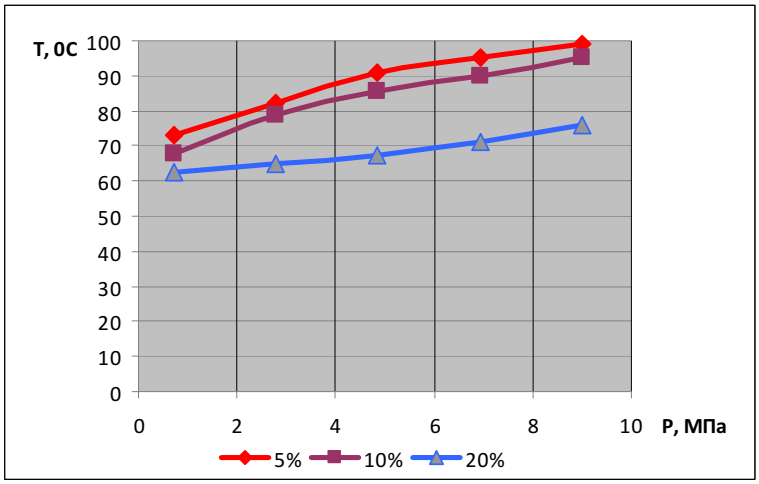

Рисунок 3. Зависимость температуры T, ^0C вблизи поверхности трения от удельной нагрузки при различном содержании металлического наполнителя в прямой паре трения (V =1,06 м/с)

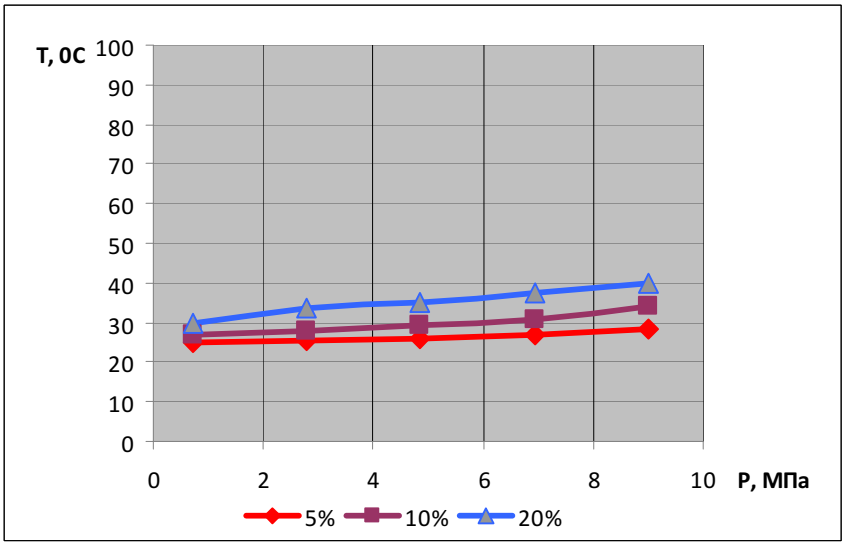

Рисунок 4. Зависимость температуры T, ^0C на корпусе подшипника скольжения от удельной нагрузки при различном содержании металлического наполнителя в прямой паре трения (V =1,06 м/с)

В ходе проведенных исследований был получен диапазон рабочих температур, вблизи поверхности трения композиционных металлополимерных подшипников скольжения, с различным содержанием металлического наполнителя, составляющий 50…98^{0}С. Такие значения температуры находятся в зоне допустимых рабочих температур для этих полимеров и далеко от верхней границы этого диапазона, который для разных полимеров составляет 190…235^{0}С. Антифрикционный композитный полимер с металлическим наполнителем позволяет часть тепла отдавать в окружающую среду через корпус подшипника.

Отсюда можно сделать вывод, что антифрикционные полимеры на основе полиамидной смолы с металлическим наполнителем в виде мелкой стружки из низкоуглеродистой стали, с точки зрения рабочих температур, вблизи поверхности трения, вполне работоспособны в качестве антифрикционного материала в шарнирных соединениях лесообрабатывающего оборудования.

Список литературы

1. Альшиц, И. Я. Проектирование деталей из пластмасс [Текст]: справочник / И. Я. Альшиц, Н. Ф. Анисимов, Б. Н. Благов. – М.: Машиностроение, 1969. – 248 с.

2. Металлополимерные материалы и изделия [Текст]: учеб, для вузов / под ред. В.А. Белого. – М.: Химия, 1979. – 312с.

3. Платонов, В. Ф. Подшипники из полиамидов [Текст] / В. Ф. Платонов. – М.: Машгиз, 1967. – 111 с.

4. Пошарников, Ф. В. Снижение температурной напряженности в подшипниках скольжения с полимерными антифрикционными материалами [Текст] / Ф. В. Пошарников, А. В. Усиков // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. Естественные и технические науки: научный журнал. – 2010. – № 8 (113). – С. 76–78.

5. Пошарников, Ф. В. Совершенствование узлов трения лесообрабатывающего оборудования лесных складов за счет применения армированных пластиковых материалов [Текст] / Ф. В. Пошарников, А. В. Усиков // Леса России в XXI веке: материалы 3 Международной научно-практической интернет-конференции. – СПб., 2010. – С. 270–273.

6. Полимерные композиционные материалы в триботехнике [Текст]: учеб. пособие / Ю.К. Машков [и др.]. – М.: НЕДРА, 2004. – 256 с.

Рецензенты:

1. Никулин С.С., д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной экологии и техногенной безопасности ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж.

2. Казаров К.Р., д.т.н., профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин ФГОУ ВПО «Воронежский ГАУ», г. Воронеж.