

УДК 621.822.1-036.7

Павлов Алексей Петрович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, 89037628407@mail.ru
Шапошников Игорь Александрович, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, igor950504@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Аннотация. Задачей представленной статьи является подтверждение возможности замены материалов подшипников скольжения в парах трения двигателей внутреннего сгорания. Для чего были выявлены условия эксплуатации конкретной пары трения, и определены значения различных факторов, воздействующих на условия работы подшипников скольжения – коренные и шатунные шейки коленчатого вала и рабочие поверхности коренных и шатунных вкладышей. На основании полученных данных был подобран полимерный материал соответствующий всем установленным требованиям обеспечения высокоэффективной работы таких пар трения. Особое внимание было уделено выявлению преимуществ полимерного материала перед традиционно используемыми деталями из металла. Постоянное совершенствование физико-механических свойств композиционных полимерных материалов, повышение их прочностных параметров, а самое главное более высокий уровень износостойкости по отношению к металлическим деталям, обеспечивает реальную возможность проведения экспериментальных работ по изготовлению отдельных деталей или полностью пар трения из полимерных материалов.

Ключевые слова: пара трения, подшипники скольжения, ПКМ, условия эксплуатации, надежность, работоспособность, физико-механические свойства, внешние факторы, преимущества, характеристики материала, сравнительный анализ.

Pavlov Aleksey P., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, 89037628407@mail.ru
Shaposhnikov Igor A., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, igor950504@mail.ru

POSSIBILITY OF THE POSSIBILITY OF USING COMPOSITE MATERIALS IN THE PRODUCTION OF SLIDE BEARINGS

Abstract. Task of the submitted article is confirmation of a possibility of replacement of materials of bearings of sliding in couples of friction of internal combustion engines.

For what service conditions of concrete couple of friction have been revealed, and values of various factors influencing operating conditions of bearings of sliding – radical and conrod necks of a bent shaft and working surfaces of radical and connecting rods are defined. On the basis of the obtained data the polymeric material conforming to all to the established requirements of ensuring highly effective work of such couples of friction has been picked up. Special attention has been paid to detection of advantages of polymeric material before traditionally used details from metal. Constant improvement of physic mechanical properties of composite polymeric materials, increase in their strength parameters, and the most important higher level of wear resistance in relation to metal details, provides a real possibility of carrying out experimental works on production of separate details or completely steam of friction from polymeric materials.

Key words: couple of friction, bearings of sliding, PKM, service conditions, reliability, working capacity, physic mechanical properties, external factors, advantages, characteristics of material, comparative analysis.

Введение

Основным условием работы пар трения является само трение.

И пока обеспечить условия работы контактирующих деталей без выделения тепла и появления в процессе этого контакта изменения геометрических размеров деталей не представляется возможным, необходимо постоянно решать проблему снижения отрицательных последствий триботехнического контакта методами конструкторского и технологического усовершенствования контактирующих поверхностных слоев материалов.

Если еще 20 лет назад практически невозможно было представить себе, что, например, пару трения, в основном определяющую работоспособность двигателя в целом, поверхность вкладыша и поверхность коренной или шатунной шейки коленчатого вала, можно изготавливать не из металлических материалов, то сегодня ситуация кардинально изменилась. Постоянное совершенствование физико-механических свойств композиционных полимерных материалов, повышение их прочностных параметров, а самое главное более высокий уровень износостойкости по отношению к металлическим деталям, обеспечивает реальную возможность проведения экспериментальных

работ по изготовлению отдельных деталей или полностью пар трения из полимерных материалов.

Для практической реализации перехода к изготовлению деталей из композиционных материалов необходимо, прежде всего, установить требования к ним, исходя из условий работ конкретных пар трения. Этому вопросу и посвящена данная статья.

1. Выявление условий эксплуатации деталей – объектов исследования (коренные, шатунные вкладыши и втулки распределительного вала)

1.1. Коренные, шатунные вкладыши и втулки обеспечивают надежную работу в течение всего гарантийного срока службы в условиях температуры окружающего воздуха от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

1.2. Расчет подшипников скольжения на основе гидродинамической теории смазки заключается в определении минимально допустимого зазора между валом и подшипником, при котором сохраняется надежное жидкостное трение.

Расчет производится для режима максимальной мощности.

Среднее давление на шатунную шейку:

$$K_{\text{cp}} = \frac{P_{\text{cp}} \cdot F_n}{l' \cdot d} \cdot 10^6,$$

$$K_{\text{cp}} = \frac{4,3 \cdot 0,0108}{0,02 \cdot 0,0448} \cdot 10^6 = 11,5245 \text{ МПа} \leq (K_{\text{cp}}),$$

где $P_{\text{cp}} = 4,3$ – среднее относительное усилие на шатунную шейку, взятое из динамического расчета, МПа; $F_n = 0,0108$ – площадь поршня, м^2 ; $l' = 0,02$ – ширина шатунного вкладыша, м; $d = 0,0448$ – диаметр шатунной шейки, мм.

Минимальная толщина слоя смазки при работе подшипника определяется следующим образом:

$$h_{\min} = 55 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{v \cdot p \cdot n \cdot d}{K_{\text{cp}} \cdot \Psi \left(1 + \frac{d}{l'}\right)},$$

$$h_{\min} = 55 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{14 \cdot 900 \cdot 2100 \cdot 44,8}{0,000691 \cdot \left(1 + \frac{44,8}{20}\right)} = 0,0056 \text{ мм},$$

где v – кинематическая вязкость масла при рабочей температуре (100°C), сСт; $p = 900$, кг/м^3 – плотность масла при рабочей температуре; n – частота вращения коленчатого вала на режиме максимальной мощности, об/мин; $\Psi = 0,6 \cdot 10^{-3}$ – относительный зазор в подшипнике.

Величина критического слоя масла в подшипнике, при котором возможен переход жидкостного трения в сухое:

$$h_{\text{кр}} = h_a + h_k,$$

$$h_{\text{кр}} = 0,0004 + 0,0016 = 0,002 \text{ мм},$$

где h_a и h_k – высоты неровностей поверхностей шейки и вкладыша соответственно.

2. Выявление различных факторов воздействующих на работоспособность исследуемых деталей

2.1. Рабочая температура ($85\text{--}110^{\circ}\text{C}$).

2.2 Частота вращения распределительно вала $250\text{--}3000$ об/мин.

2.3 Удельная нагрузка (статическая – до 20 МПа; ударная – до 50 МПа);

Подшипники скольжения и прочие конструкционные детали, которые работают в условиях повышенного трения, все чаще изготавливают из различных композиционных полимерных материалов. Это позволяет эффективно управлять показателями надежности и долговечности изделий. Очевидно, что для различных условий эксплуатации, к которым относятся рабочие температуры, нагрузки,

количество оборотов вала и т.п., рационально использовать различные материалы, даже разные классы материалов.

Подшипники скольжения из полимеров обладают меньшим весом и стоимостью, нежели металлические, устойчивы к коррозии и воздействию агрессивных сред, и из-за низкого коэффициента трения эффективно используются при высоких нагрузках и малых скоростях вращения.

При применении полимеров 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 хорошей демпфирующей способностью, быстро прирабатываются, имеют высокую износостойкость и долговечность.

Конструктивно материалы, из которых изготавливают подшипники скольжения, состоят из базового полимера, который обеспечивает хорошие механические свойства и износостойкость. Различные волокна добавляются для создания композитной структуры и, соответственно, для увеличения прочности и несущей способности подшипника. Трение в узле уменьшается путем добавления твердых смазок, которые обеспечивают хорошее скольжение [2].

Материал, подходящий по всем показателям

К примеру, компания SKF изготавливает скользящий слой из нитей высокопрочного полиэстера, который усилен PTFE (политетрафторэтиленом), в матрице из эпоксидной смолы. При этом нерабочий слой (оболочка или подложка) изготовлена из высокопрочных нитей стекловолокна в матрице из эпоксидной смолы. Скользящий и арматурный слои прочно соединены друг с другом. Характеристики приведены ниже:

Производитель: SKF.

Состав: нерабочий слой из стекловолокна в матрице эпоксидной смолы; скользящий слой из нитей полиэстера и PTFE в матрице эпоксидной смолы.

Условия эксплуатации: сухое трение.

Максимальная скорость скольжения при работе со смазкой: 0,5 м/с.

Коэффициент трения: 0,03–0,08.

Максимальная температура: +140°C.

Минимальная температура: –40°C.

Максимальная статическая нагрузка: 200 МПа.

Максимальная динамическая нагрузка: 140 МПа.

Толщина нерабочего слоя: 1 мм [4].

Как мы видим, материал полностью удовлетворяет всем условиям эксплуатации. Также подшипники скольжения из данного ПКМ будут обладать:

- способностью проявлять значительные упругие деформации, что затрудняет образование при трении адгезионных узлов сцепления в зоне контакта полимер-металл;
- возможностью применения полимерных материалов без смазки;
- низким коэффициентом трения при любых климатических условиях, а так же и вакууме и без дополнительной смазки;
- удовлетворительной стойкостью к действию абразивных частиц, которые могут упруго внедряться в полимерный материал или поглощаться его поверхностью, не ухудшая коэффициент трения;
- стойкостью к действию многих агрессивных по отношению к металлам жидких и газообразных сред;
- высокой способностью гасить колебания;
- более высокой износостойкостью и технологичностью по сравнению с традиционными и металлофторопластовыми подшипниками [1, 3].

Вывод

При всем многообразии подшипников скольжения, изготовленных на основе полимерных материалов, правильный выбор конкретного материала зависит, прежде всего, от конкретных условий эксплуатации изделия. Сфера конструирования неметаллических деталей, работающих в узлах трения, в настоящее время является динамически развивающейся – в ней лишь обозначены основные тренды, однако нет традиционных, устоявшихся решений. Следовательно, приобретают большое значение исследовательские разработки, на которые и направлена моя дальнейшая работа по выявлению и оценке лучшего из выбранных полимерных материалов.

Используя все многообразие уже известных решений и в ходе проведения экспериментальных работ, мы можем создать конечный продукт, который подойдет для довольно специфических условий работы подшипника. А индивидуальный подход, как известно, является основополагающим для долговечности и надежности работы конструкций.

Список литературы

1. Баурова, Н.И. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2016. – 264 с.
2. Бондалетова, Л.И. Полимерные композиционные материалы. Ч. 1: учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
3. Зорин, В.А. Повышение стойкости полимерных материалов, применяемых при ремонте машин, к воздействию циклических нагрузок / В.А. Зорин, Н.И. Баурова // Механизация строительства. – 2013. – № 4 (826). – С. 25–27.

4. Характеристики материала компании SKF. –

Режим доступа: <http://mastermodel.ru/articles/podshipniki-skolzheniya-iz-nemetallicheskih-materialov>

References

1. Baurova N.I., Zorin V.A. *Primenenie polimernyh kompozicionnyh materialov pri proizvodstve i remonte mashin* (The use of polymer composite materials in the manufacture and repair of machines), Moscow, MADI, 2016, 264 p.

2. Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. *Polimernye kompozicionnye materialy* (Polymer composite material), Tomsk, Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013, 118 p.

3. Zorin V.A., Baurova N.I. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2013, no. 4 (826), pp. 25–27.

4. URL: <http://mastermodel.ru/articles/podshipniki-skolzheniya-iz-nemetallicheskih-materialov>