

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ МАШИН

В статье рассмотрена проблема повышения ресурса подшипников качения. Предложен способ и механизм повышения долговечности подшипников за счет электрохимикомеханической обработки. Приведены параметры обработки, рабочие жидкости, а также способ диагностирования процесса электрохимикомеханической обработки подшипников.

Ключевые слова: ресурс, долговечность, подшипник, повышение.

Долговечность машин и механизмов в значительной степени зависит от интенсивности изнашивания отдельных деталей. Опыт эксплуатации свидетельствует, что 70–80 % деталей машин выходит из строя по причине износа.

Одним из элементов, снижающих долговечность машины в целом, являются подшипники качения. Наиболее нагруженными являются подшипниковые узлы, работающие с переменным режимом. К ним относятся подшипниковые узлы коробок передач, колесно-ступичные узлы насосных установок. В перечисленных подшипниковых узлах, как правило, применяются радиально-упорные конические шарикоподшипники или роликоподшипники. Основные факторы, влияющие на долговечность подшипников, — качество смазки, применяемые материалы для изготовления подшипников, качество при изготовлении, условия эксплуатации.

Анализ показателей надёжности машин и механизмов позволил установить, что одна из основных причин недостаточного уровня этих показателей — низкий ресурс подшипников качения, являющихся, как правило, невосстанавливаемыми элементами [1].

Отказы подшипниковых узлов ведут к простоям техники, потерям производительности и увеличению себестоимости продукции. Поэтому повышение долговечности подшипниковых узлов, снижение себестоимости ремонта является важной актуальной народнохозяйственной задачей, решение которой позволит повысить надёжность техники, значительно снизить расходы, связанные с ее техническим обслуживанием и ремонтом.

Высокая стоимость наряду с недостаточным ресурсом и высокой ответственностью, сопряженной с надёжностью этих деталей, обуславливает необходимость разработки нового метода повышения ресурса подшипников, так как существующие методы исчерпали свои возможности.

Одной из основных причин отказа подшипников качения является износ тел качения и дорожек наружного и внутреннего кольца.

Существующие способы увеличения ресурса подшипников качения применяются на этапе производства. Их использование приводит к значительному росту стоимости подшипников. Особый интерес с экономической и практической точки зрения представляют эксплуатационные способы повышения

ресурса подшипников качения, такие как использование современных смазочных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками и модификация применяемых смазочных материалов специальными добавками.

При реализации способа особую сложность представляет вопрос обеспечения работоспособности подшипников закрытых узлов трения, ограничивающих работоспособность механизмов и машинного парка в целом, контролировать работу которых постоянно практически невозможно.

Исходя из этого остро стоит проблема повышения ресурса подшипников качения закрытых узлов на этапе эксплуатации путём восстановления тел качения и дорожек методом электрохимикомеханической обработки.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что в зону трения помещают электрически изолированные от деталей трения металлические вставки, которые соответствуют вводимым в смазочное масло присадкам, а узел трения включают в электрическую цепь так, что детали трения становятся катодом, а металлические вставки — анодом. При протекании по цепи электрического тока, на поверхностях деталей трения и вставок проходят электронные процессы, результатом которых является восстановление окислов и осаждение ионов металлов на катоде — деталях трения. Эти процессы активируются подводимой механической энергией (трибонергией). При механическом воздействии на электроды интенсивность электрохимических процессов на них возрастает на порядок. Так, например, электрохимическое осаждение никеля при плотности тока $50...150 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ осуществляется со скоростью $12,5...15 \text{ мкм}\cdot\text{мин}^{-1}$ вместо обычной $1...2 \text{ мкм}\cdot\text{мин}^{-1}$ без механических воздействий. Активация трением катода существенно сокращает продолжительность роста кристаллов. При этом образуется мелкозернистая структура с размерами зерен менее 1 мкм , что в $10...50$ раз меньше, чем при осаждении без трения, и сравнительно высокая микротвердость осажденного металла ($160...200 \text{ кгс}\cdot\text{мм}^{-2}$ для меди) при минимальных упругости и внутреннем напряжении. Эти факторы указывают на максимально возможную степень упорядоченности кристаллов под воздействием механической и электрической энергии [2, 3].

Основными факторами, влияющими на процесс трибоэлектрохимического восстановления являются: плотность электрического тока, концентрация ионов металла в масле, удельные нагрузки в контакте трибодеталей, материал деталей и анода.

Задачу повышения долговечности узлов трения предлагается решить путем создания системы восстановления изнашиваемых элементов подшипника, используя для этого анод, помещенный в смазку подшипника, являющегося одновременно и электролитом для электрохимической реакции растворения анода. Анод подключен к положительному выводу источника тока, а восстанавливаемые части подшипника — к отрицательному. Традиционную смазку подшипника, ввиду высокого электрического сопротивления, предлагается заменить на синтетическую, обладающую достаточной электропроводностью. В качестве такой смазки может быть жидкость ПГВ или 40 % раствор ПЭГ 115 с добавлением 1...5 % солей натрия. Величина тока в цепи анод — катод составляет 50...200 мА и зависит от размеров подшипника, условий эксплуатации [4–7].

Масса металла m , откладывающаяся на катоде при электролизе, определяется по закону Фарадея.

В электролите помимо ионов металла присутствуют и другие заряженные частицы — водород, гидроокиси металла и др. Они вызывают неизбежные потери электроэнергии, которые учитываются коэффициентом

$$\eta = \frac{(G_2 - G_1)}{m} \quad (1)$$

где G_1 — масса детали до осаждения, г;

G_2 — масса детали после осаждения, г.

Время (в часах) процесса электролиза (осаждения металла) в зависимости от толщины нарастающего слоя определяется по формуле

$$T_{\text{осж}} = 1000\gamma h / \alpha\eta D_k \quad (2)$$

где γ — плотность металла покрытия;

h — толщина слоя покрытия, мм;

α — электрохимический эквивалент, г/А·ч;

η — коэффициент потерь;

D_k — катодная плотность тока, А/дм².

Важной проблемой при реализации выбранного метода повышения долговечности подшипникового узла является определение тех критериев, которые могут адекватно отражать техническое состояние машины. В то же время способы получения исходной информации для анализа состояния оборудования должны быть достаточно простыми и доступными. Наиболее доступными для измерений являются такие параметры, как температура, давление масла, уровень механических колебаний и т.д. Наиболее универсальными, с точки зрения механики, параметрами для определения технического состояния оборудования являются механические колебания или вибрация.

Анализ параметров вибрации машины позволяет «безразборно» определять техническое состояние оборудования. При проведении регулярных измерений вибрации может быть выявлено появление новых неисправностей и прослежено их развитие. А также может быть спрогнозировано время достижения опасного уровня вибрации, т.е. тот момент, когда необходимо проводить ремонтные мероприятия или техническое обслуживание. В нашем случае важно определить достаточность внешнего воздействия для восстановления изношенных частей подшипника.

Виброакустические методы являются одними из наиболее распространенных и интенсивно развивающихся. Их сущность заключается в измерении и анализе параметров виброакустического сигнала, излучаемого самим подшипником при его работе (рабочее диагностирование) или исследовании частотных характеристик канала «излучатель подшипник — первичный преобразователь» при передаче по этому каналу сигнала от излучателя (тестовое диагностирование).

Вибродиагностические методы позволяют наблюдать сигналы, характеризующие степень износа деталей подшипника без их разборки, что крайне важно для наших условий исследований. Для выполнения исследований был выбран программно-аппаратный комплекс оперативной вибродиагностики «Прогноз» [1].

Контроль проводился с целью проверки соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определения на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени (например, работоспособное или неработоспособное), на основе чего возможно прогнозирование состояния объекта.

Обобщенная структурная схема комплекса вибродиагностики приведена на рис. 1.

Большую практическую ценность представляет определение тепловыделений непосредственно из контактных зон деталей, что позволяет оценить характер взаимодействия отдельных деталей подшипника и, следовательно, его состояние. Однако измерение температуры в этих зонах связано со значительными трудностями, обусловленными конструктивными особенностями подшипника, условиями их использования.

Следует отметить, что средства диагностирования по температуре могут эффективно использоваться для экспресс-диагностирования как отдельного подшипника, так и сложных механизмов и машин в процессе их эксплуатации. Широко используется данный метод и при создании систем аварийной сигнализации, поскольку отказу подшипника обычно предшествует существенное повышение его температуры.

По температуре элементов конструкции можно определять состояние смазки в подшипнике, а также величину нагрузки подшипникового узла [5, 6].

Методика исследований включала лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания исследуемых смазочных материалов.

Методы исследования. В работе использовались аналитические и экспериментальные методы определения зависимости выходов подшипников из строя от режимов работы в процессе эксплуатации и в условиях эксперимента; методы математического моделирования; классификации и идентификации состояний.

Лабораторным испытаниям подвергали товарный смазочный материал и экспериментальные смазочные композиции, приготовленные с использованием НРП металлов и их соединений. В ходе лабораторных испытаний исследовали антифрикционные, противозносные и противопиттинговые свойства смазочных материалов.

Стендовые и эксплуатационные испытания проводили с целью определения влияния разработанной смазочной композиции на ресурс соответственно роликовых радиально-упорных подшипников качения и подшипников ступиц колес автотракторной техники.

Записи выходных сигналов с вибродатчиков, полученные с помощью программно-аппаратного комплекса «Прогноз-1», приведены на рис. 2.



Рис. 1. Обобщенная структурная схема комплекса вибродиагностики:

ОД — объект диагностирования, ДО — датчик оборотов,
 ВД — датчик вибрации, ЛС — линии связи, К — коммутатор,
 БУФ — блок усиления и фильтрации,
 АЦП — аналогово-цифровой преобразователь,
 СП — сигнальный процессор, ПК — персональный компьютер,
 И — индикатор, РИ — регистратор информации

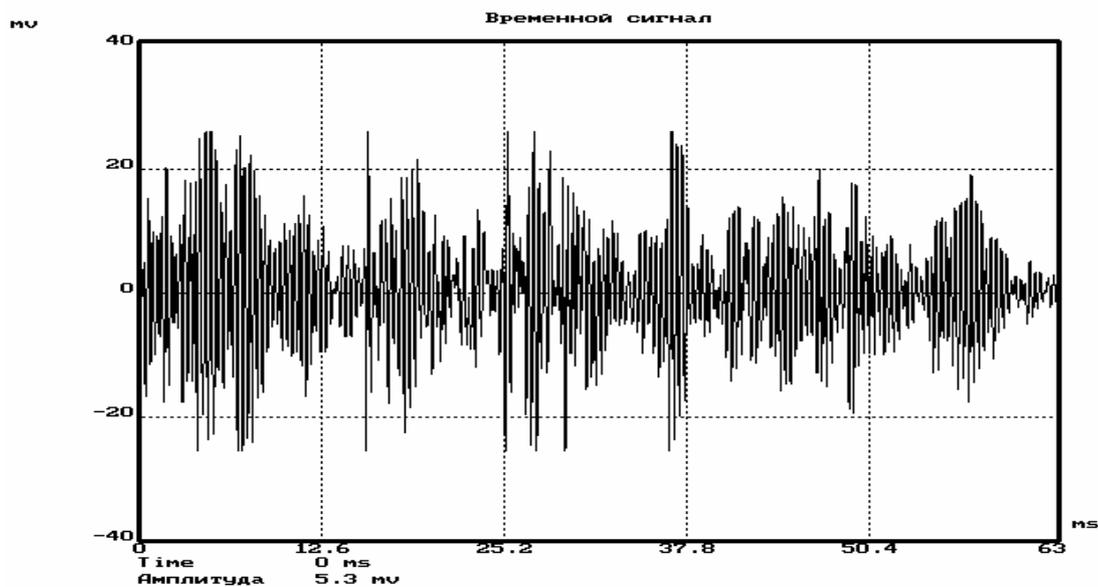


Рис. 2. Выходной сигнал с вибродатчика

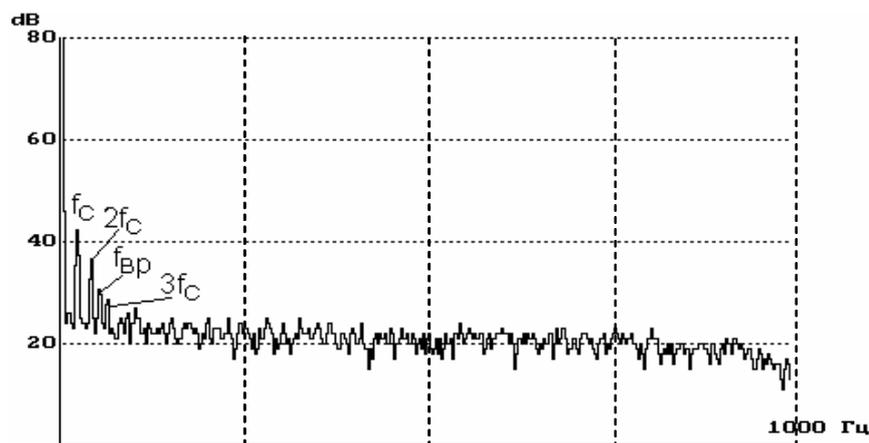


Рис. 3. Спектр огибающей вибрации при износе тел качения

Износ тел качения и сепаратора в подшипнике относится к типичным дефектам. По спектру огибающей вибрации обнаруживается, в первую очередь, дефект, представляющий собой выкрашивание поверхности одного (группы) тела качения. Косвенно это указывает и на ускоренный износ того участка сепаратора, который контактирует с дефектным телом качения. Именно этот признак является общим для рассмотренных двух дефектов подшипника. Для

непосредственного измерения величины износа сепаратора можно применять другие методы, например, метод измерения флуктуаций интервалов между ударными импульсами в подшипнике, однако, эти удары появляются далеко не при всех видах дефектов. Признаком износа тела качения является появление в спектре огибающей вибрации гармонической составляющей с частотой f_c (при статической нагрузке на подшипник) или $f_{вр} - f_c$ (при вращающейся

нагрузке). Составляющие с кратными гармониками по мере роста кратности быстро уменьшаются по амплитуде (рис. 3).

Проверка достоверности выдвинутой гипотезы о восстановлении трибосистемы с использованием энергии и вещества от посторонних источников явилась целью экспериментальных исследований. Исследованы закономерности восстановления подшипника при сочетании различных вариантов осуществления ЭХМО. Особенностью используемых экспериментальных методов исследования является их комплексный характер.

Результаты испытаний обрабатывали методами математической статистики с использованием типовых программ на персональной ЭВМ.

В результате экспериментальных исследований процесса изнашивания пар трения-скольжения в условиях ЭХМ компенсации износа установлено:

1. Водно-глицериновая жидкость с загустителем ПЭГ-115 является вполне приемлемым заменителем нефтяных смазочных и рабочих жидкостей. Она обладает хорошими трибологическими свойствами и рядом преимуществ перед жидкостями на нефтяной основе: не горит, имеет относительную стабильность эксплуатационных свойств, экологически чистая, электропроводная, сравнительно дешевая.

2. Суммарная интенсивность изнашивания пар трения в условиях ЭХМ компенсации износа имеет тот же порядок, что и при избирательном переносе. А это дает основание для утверждения об эффекте безызносности.

Применение принципов самоорганизации трибосистем ставит задачу разработки эффективных методов построения технических механизмов и использования их в различных условиях производства и эксплуатации.

Можно выделить следующие направления в создании систем с использованием электрохимикомеханической обработки:

1. Создание систем, повышающих эффективность приработки механизмов.

2. Разработка методов и устройств повышения долговечности машин и механизмов методом автокомпенсации износа деталей.

Выводы:

1. Выявлена возможность компенсации износа деталей подшипника от постороннего источника ионов металла под действием электрического тока.

2. Результаты стендовых испытаний подшипников качения показали увеличение ресурса в 2,1 раза в

случае применения электрохимикомеханической компенсации износа.

3. Созданный экспериментальный стенд и методика испытаний используются сотрудниками и аспирантами Омского филиала Военной академии материально-технического обеспечения.

Библиографический список

1. Тэттер, В. Ю. Разработка оборудования и технологий для вибродиагностики колесно-моторных блоков : дис. ... канд. техн. наук / В. Ю. Тэттер. — Новосибирск, 2004. — 193 с.
2. Пат. 2278365 Российская Федерация, МПК G01M 7/02. Способ диагностирования роторных механизмов / Тэттер В. Ю., Щедрин В. И., Телегин О. М., Макаренко Н. Г.; заявитель и патентообладатель Тэттер В. Ю. — № 2004126882; заявл. 06.09.04; опубл. 20.06.06, Бюл. № 17. — 3 с.
3. Пат. 2284021 Российская Федерация, МПК G01M 7/02. Многофакторный способ диагностирования роторных, механических, подшипниковых и редукторных узлов / Тэттер В. Ю., Щедрин В. И., Барайшук В. С., Макаренко Н. Г.; заявитель и патентообладатель Тэттер В. Ю. — № 2004132288/28; заявл. 04.11.04; опубл. 10.04.06, Бюл. № 26. — 3 с.
4. Макаренко, Н. Г. Повышение долговечности трибосистем методом автокомпенсации износа трущихся поверхностей / Н. Г. Макаренко // Трение и износ. — 2005. — Т. 26. — № 1. — С. 90—93.
5. Пат. 2088817 Россия, МПК 6 F 16 C 33/66, 33/78. Подшипник качения / Н. Макаренко, И. Кравец, А. Макаренко; заявитель и патентообладатель Макаренко Н. Г. — № 5065933/28; заявл. 13.10.92; опубл. 27.08.97, Бюл. № 24.
6. Пат. 2250410 Российская Федерация, МПК F 16N15/00. Способ повышения долговечности трибосистемы / Макаренко Н., Вивденко Ю., Мамаев О., Красноштанов А., Эдигаров В., Макаренко А., Резин С.; заявитель и патентообладатель Омский танковый инженерный институт. — № 2003122245; заявл. 16.07.03; опубл. 20.04.05, Бюл. № 11. — 3 с.
7. Пат. 91958 Российская Федерация, МПК B61K 9/00. Бортовая система контроля. Патент на полезную модель / Головаш А. Н., Макаренко Н. Г.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИТКД», Рубежанский П. Н. — № 2009143365/22; заявл. 23.11.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 7. — 3 с.

ДЕГТЯРЬ Владимир Владимирович, начальник кафедры эксплуатации бронетанковой и автомобильной техники.

Адрес для переписки: macnik@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.03.2013 г.

© В. В. Дегтярь

Книжная полка

Чернов, Г. И. Техническая термодинамика : курс лекций / Г. И. Чернов ; ОмГТУ. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. — 114 с. — ISBN 978-5-8149-1360-9.

Представлены разделы курса «Техническая термодинамика»: основные понятия и законы термодинамики; свойства веществ; процессы, протекающие в машинах и аппаратах теплоэнергетических и низкотемпературных установок; рассмотрены основы термодинамических циклов; основные теплосиловые циклы.