

УДК 621.89; 534.32:531

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

С. В. КОРОТКЕВИЧ, О. В. ХОЛОДИЛОВ, В. В. КРАВЧЕНКО,  
А. В. БУТКЕВИЧ  
РУП «ГОМЕЛЬЭНЕРГО»  
УО «БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТРАНСПОРТА»  
УО «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Ф. Скорины»  
ООО «МИКРОТЕСТМАШИНЫ»  
Гомель, Минск, Беларусь

Контроль состояния граничного смазочного слоя (ГСС) в опорах качения позволяет вовремя выявить начало наступления критического режима эксплуатации оборудования. Масляное голодание приводит к повышенному изнашиванию, задиру и схватыванию сопряжённых поверхностей, что сопровождается повышением температуры, вибрации и выходом узлов энергетического оборудования из строя. Обнаружение перехода от полимолекулярного ГСС к нанометровому мономолекулярному слою по уровню величины падения напряжения позволяет на ранней стадии определять критический режим эксплуатации подшипников качения. Реализация системы обратной связи путём подачи смазочного материала (СМ) в зону трения позволяет устранить аварийный режим.

Ранее было показано [1], что при приложении фиксированного напряжения к подвижному и неподвижному электродам (опора качения или скольжения) и регистрации величины туннельного тока удаётся создать систему контроля толщины ГСС между двумя электродами. Использование 4-проводной схемы позволяет создать систему контроля перехода от жидкостного к граничному трению, а при граничном трении выявлять режимы перехода от полимолекулярного к мономолекулярному ГСС и далее к «сухому» (без СМ) трению.

Для оценки эксплуатационных свойств подшипников качения была изготовлена установка на базе машины трения СМТ-1 [1]. Испытания проводились при ступенчатом радиальном нагружении подшипника до 2 кН. Скорость вращения подшипника составляла 0,5 м/с. Подшипник вымывался полярными и неполярными растворителями и заполнялся исследуемым СМ. В ходе эксперимента были установлены следующие этапы состояния подшипников качения:

1) формирование на кольцах подшипника мономолекулярных и полимолекулярных хемосорбированных смазочных слоёв (или формирование устойчивых диссипативных структур);

- 2) динамическое равновесие между формированием и изнашиванием смазочных слоёв;
- 3) разрушение слоёв и преобладание «сухого» (без СМ) режима контактирования;
- 4) режим интенсивного окисления сопряжённых поверхностей и накопления им упругой энергии;
- 5) режим изнашивания поверхностей;
- 6) режим интенсивного селективного изнашивания поверхностей;
- 7) заклинивание подшипника.

Каждому этапу или состоянию подшипника соответствует определённое значение контактного сопротивления.

Так, снижение значения контактного сопротивления до  $\approx 0,2 \div 0,5$  Ом означает начало разрушения мономолекулярной составляющей граничного смазочного слоя, снижение до  $\approx 1$  мОм означает начало интенсивного окисления, диспергирования, формирования развитой дислокационной структуры, приводящей к локальному во времени интенсивному изнашиванию поверхности и заклиниванию подшипника качения. Эти значения можно использовать в качестве критериев, которые позволяют на ранней стадии, до наступления критических разрушений подшипника, осуществлять в процессе эксплуатации контроль его состояния.

Была проведена оценка эксплуатационных свойств пластичных смазочных материалов различных производителей: Пролонг (США), SKF, Литол-24, МРУС-4, 158 М, Солидол (СНГ). Установлены особенности кинетики формирования и разрушения ГСС исследуемых пластичных смазок [3]. Анализ зависимости контактного сопротивления, температуры и коэффициента трения от нагрузки показал, что наиболее прочно связанный с поверхностью хемосорбированный слой формирует смазками SKF, Пролонг и Литол-24.

Показана инвариантность полученных результатов оценки эксплуатационных свойств пластичных смазок относительно направления прохождения электрического тока, что существенно упрощает использование электрической схемы для реальных трибосопряжений на практике, например, для диагностики узлов энергетического оборудования. При максимально задаваемых нагрузках разрушение ГСС, формируемого смазкой SKF, не наблюдалось. Это подтверждается результатами измерений контактного сопротивления, анализом АСМ-изображений, электронной микроскопией, Оже- и Фурье-спектроскопией внутренней поверхности колец. Было установлено, что на их поверхности формируется хемосорбированный слой, обладающий высокими антифрикционными и противозадирными свойствами.

Ресурсные испытания подшипников проводились при максимальной радиальной нагрузке 2 кН и скорости вращения 0,5–1,5 м/с. Смазочный материал предварительно вымывался полярными и неполярными растворителями. В результате ресурсных испытаний подшипников качения ZVL6302/16 (Словакия) и 6202-2 RS d16 c3 (США) было установлено, что пробег второго подшипника в шесть раз больше.

Эксплуатационные свойства подшипников со смазкой заводского наполнения исследовались на разработанной установке на базе машины трения СМТ-1. Было установлено, что подшипники производства SKF, США обладают высоким уровнем контактного сопротивления ( $\approx$  мОм), что свидетельствует, с одной стороны, о малой площади контакта шариков с кольцами подшипников, и, как следствие, высокой твёрдости и прочности используемых подшипниковых сталей и высоком качестве обработки рабочих поверхностей, а с другой, о высоком качестве пластичных смазок, используемых в подшипниках.

В ходе эксперимента было установлено, что подшипники производства СНГ обладают контактным сопротивлением  $\approx$  кОм, что свидетельствует, с одной стороны, о недостаточной твёрдости и прочности используемых подшипниковых сталей, качестве обработки рабочих поверхностей и технологии производства подшипников, а с другой, о необходимости разработки новых смазок с триботехническими свойствами выше, чем у пластичной смазки SKF.

Авторами разработан стенд для входного контроля подшипников качения. Конструктивной особенностью стенда является использование для закрепления и нагружения подшипников системы из прямого и обратного конусов. Использование данной схемы позволяет самоцентрировать подшипник и проводить испытания с широким набором диаметров колец подшипника. Упорная схема нагружения для подшипников качения является наиболее тяжёлой, что дает возможность максимально приблизить испытания к натурным.

В процессе испытания подшипника, на данном стенде контролируются момент трения в подшипнике, акустические параметры; контактное сопротивление; температура (определяет энергетические потери при трении).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Короткевич, С. В.** Износостойкость металлов при граничном трении / С. В. Короткевич, В. Г. Пинчук, С. О. Бобович. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины». – 2011. – 237 с.
2. **Короткевич, С. В.** Разрушение металлов при фрикционном взаимодействии / С. В. Короткевич [и др.] // Тяжёлое машиностроение. – 2008. – № 3 –С. 12–16
3. **Короткевич, С. В.** Диагностика смазочных материалов в подшипниковых узлах трения / С. В. Короткевич [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2010. – Т. 5. – № 2. – С. 59–63

E-mail: korotstv@tut.by