DOI: 10.17117/na.2016.10.03.421

Поступила (Received): 24.10.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.421.pdf>

Старостин Н.П., Тихонов Р.С.
Тепловая диагностика трения при стендовых
испытаниях подшипников скольжения

Starostin N.P., Tikhonov R.S.
Thermal diagnostics of friction at tests bench of sliding bearings

Для оценки эффективности метода тепловой диагностики трения в системе подшипников скольжения сопоставлены значения моментов трения, полученные решением обратной задачи теплообмена и измерением датчиком серийной машины трения

Ключевые слова: система подшипников скольжения, тепловая диагностика, обратная задача, момент трения

To assess the effectiveness of the method thermal diagnostics of friction system of sliding bearings values of frictional moments were compared. The values were obtained by solving the inverse problem of heat transfer and measurement sensor series of friction machines

Key words: system of sliding bearings, thermal diagnostic, inverse problem, frictional moment

Старостин Николай Павлович

Доктор технических наук, профессор, зав.
Лабораторией

Институт проблем нефти и газа Сибирского
отделения РАН

г. Якутск, ул. Автодорожная, 20

Starostin Nikolay Pavlovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of
Laboratory

Institute of oil and gas problems the Siberian branch
of RAS

Yakutsk, Avtodorozhnaya st., 20

Тихонов Роман Семенович

Младший научный сотрудник

Институт проблем нефти и газа Сибирского
отделения РАН

г. Якутск, ул. Автодорожная, 20

Tikhonov Roman Semenovich

Junior Researcher

Institute of oil and gas problems the Siberian branch
of RAS

Yakutsk, Avtodorozhnaya st., 20

Полимерные подшипники скольжения имеют широкое применение в различных областях техники – авиационной, легкой промышленности, медицине, сельхозтехнике и др. При проведении стендовых и эксплуатационных испытаний узлов трения практически невозможно получить количественную информацию о моменте трения громоздкими механическими устройствами в силу компактности реальных механизмов. Нами предлагается метод тепловой диагностики трения, позволяющего по температурным данным определять момент силы трения в цилиндрических сопряжениях путем решения граничной обратной задачи [1]. Стендовые испытания проводились на машине трения СМТ-1 в системе из четырех полимерных подшипников скольжения (рис.1), расстояние между которыми составляет 8 см, при постоянной скорости вращения вала с частотой 30 об/мин. Суммарный момент трения регистрировался

торсионным датчиком машины трения. Испытывались подшипники скольжения из антифрикционного композиционного материала Ф4К20 (фторопласта, наполненного на 20% коксом) в виде цилиндрических втулок размером $\varnothing 26 \times \varnothing 32 \times 20$ мм. Нагрузка, на испытываемые втулки, передается через штыри посредством рычагов, на каждую из которых подвешиваются гири с одинаковым весом. Термодатчики во втулках устанавливались на расстоянии 0,5 мм от поверхности зоны трения, температуры регистрировались с помощью 16 канального многофункционального модуля АЦП / ЦАП Е-502-Х-У-Д (ЗАО «Л-КАРД») в четырех точках каждого подшипника с частотой 180 Гц.

Рис. 1. Модуль для испытаний на трение износ антифрикционных полимерных композиционных материалов

Зависимости теплофизических свойств антифрикционного материала от температуры имеют вид:

$$\lambda_2 = 0,07(T - 100)/150 + 0,35 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{°C))},$$

$$C_2 = (6 \cdot 10^{-3}(T - 30) + 3) \cdot 10^6 \text{ (Дж/(м}^3 \cdot \text{°C))},$$

материала вала и корпусов средних подшипников:

$$\lambda_1 = \lambda_3 = 30,5(T - 100)/150 + 55,5 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{°C))},$$

$$C_1 = C_3 = (1,2 \cdot 10^{-3}(T - 30) + 3,7) \cdot 10^6 \text{ (Дж/(м}^3 \cdot \text{°C))},$$

материала корпуса крайних подшипников:

$$\lambda_3 = 0,205 \text{ (Вт/(м} \cdot \text{°C))},$$

$$C_3 = 1,911 \cdot 10^6 \text{ (Дж/(м}^3 \cdot \text{°C))}.$$

Коэффициент теплообмена с поверхности вращающегося вала вычислялся по формуле [2]:

$$\alpha_1 = Nu \frac{\lambda_{603}}{2R_1}, \quad Nu = 0,95(2Re^2 + Cr)^{0,35}$$

и равнялся 6,32 (Вт/(м²·°C)), где λ_{603} – коэффициент теплопроводности окружающей среды; Re – критерий Рейнольдса; Cr – критерий Грасгофа. Для не-

подвижных свободных поверхностей системы узлов трения коэффициент теплообмена равнялся 20 (Вт/(м²·°C)). Температура окружающей среды равна $T_0 = 24$ °C.

Для упрощения моделирования на одном конце поверхности вала регистрировались значения температуры. Расстояние точки замера до ближайшего подшипника скольжения составляет 0,05 м. Распределение температуры в вале по угловой и радиальной переменной на таком расстоянии от подшипника можно считать однородным и задавать граничное условие первого рода. На другом конце вала задается условие конвективного теплообмена.

Так как кривые измеренных температур имели сильно осциллирующий характер, в промежутке между расчетными значениями времени с шагом 1/18 секунд дополнительно измерялись 10 значений температур для фильтрации медиальным методом. Согласно этому методу значения температур упорядочивались в порядке возрастания, и в качестве значения температуры бралось среднее 5-го и 6-го членов. Тем не менее, после такой обработки остались выраженные осцилляции значений температур. Для снижения уровня осцилляций временные зависимости температур строились с использованием сглаживающих кубических сплайнов [3].

Полученные таким способом температурные данные использовались для восстановления функций удельной интенсивности теплообразования путем решения обратной задачи. Зависимости моментов трения от времени определяются по формуле:

$$M_k(t) = \frac{R_1 d_k}{\Omega(t)} \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} Q_k(\varphi, t) d\varphi.$$

При решении обратной задачи по восстановлению момента трения на каждой итерации решаются три краевые задачи: прямая, сопряженная и для приращений температуры.

Рис. 2. Временные зависимости суммарных моментов трения:
1- восстановленные по температурным данным; 2 – измеренные торсионным датчиком трения

На рис. 2 представлено сопоставление зависимостей суммарного момента силы трения, полученных по температурным данным решением обратной задачи и измерением торсионным датчиком машины трения на части отрезка времени испытаний, поскольку поведение кривых со временем не изменяется.

Расхождение расчетных и измеренных значений моментов трения в начале временного интервала обусловлено инерционностью реального теплового процесса, которое не учитывается используемым уравнением теплопроводности. В связи с этим, расчетные значения момента трения в течение 30-40 секунд в начале процесса трения как не информативные могут быть исключены. Тогда расхождение между расчетным и измеренным значениями моментов трения не превышает 10-15 %.

Список используемых источников:

1. Старостин Н.П., Тихонов Р.С. Моделирование теплового процесса и восстановление фрикционных тепловыделений в системе полимерных подшипников скольжения по температурным данным // Тепловые процессы в технике. 2016. Т. 8, № 3. С. 137-145
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с
3. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошников В.Л. Методы сплайн-функций. Л.-М.: Наука, 1980. 352 с.

© 2016, Старостин Н.П., Тихонов Р.С.
Тепловая диагностика трения при стендовых
испытаниях подшипников скольжения

© 2016, Starostin N.P., Tikhonov R.S.
Thermal diagnostics of friction at tests bench of
sliding bearings