

**Милятинский С.В.,
Кузьменко А.Г.,
Криворотько В.М.,
Николаев А.Н.**

Хмельницкий национальный университет,
г. Хмельницкий, Украина

**МЕТОД ИСПЫТАНИЙ
НА ФРЕТТИНГ - ИЗНОС
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
СОПРЯГАЕМЫХ С ЗАЗОРОМ**

Введение и постановка задачи

В эксплуатации подшипников качения наблюдается три основных вида изнашивания:

- 1) износ дорожек и тел качения;
- 2) износ посадочного места наружного кольца;
- 3) износ оси в контакте с внутренним кольцом подшипника качения.

В данной работе рассматривается износ оси внутренним кольцом подшипника качения.

Износ контактных поверхностей цилиндрических сопряжений при действии переменных радиальных нагрузок является результатом процесса фреттинга. Фреттинг – это явление износа между двумя поверхностями, имеющими колебательное (возвратно-поступательное) взаимоперемещение (скольжение) малой амплитуды. Данные перемещения вызваны возникновением, под действием радиальной нагрузки на упругие детали сопряжения, касательных усилий τ , которые приводят к проскальзыванию поверхностей контакта на определенных участках. Еще в 1949 году Миндлиным было сделано предположение, что там где тангенциальное напряжение сдвига больше, чем произведение нормального давления на коэффициент трения, будет происходить проскальзывание [1]. То есть присутствие проскальзывания в контакте определяется условием:

$$\tau(\varphi) \geq f\sigma(\varphi),$$

где φ – угол контакта;

f – коэффициент трения;

σ – нормальное контактное давление.

Даже когда нет макроскопических перемещений, могут иметь место микроперемещения определенных участков поверхности контакта сопряжения и явление предварительного смещения [2].

Контактная задача теории упругости для цилиндрических сопряжений с малым зазором для гладкой и шероховатой поверхностей в сопряжении при переменной радиальной нагрузке решена в работе [3]. Авторами получены зависимости, позволяющие определить геометрические характеристики контакта, величины нормальных и касательных давлений и перемещения в сопряжении.

Существует много работ и исследований явления фреттинга [1, 4, 5], влияния на повреждаемость при фреттинге различных факторов, природы материалов пары трения, условий работы. Однако проведенных исследований не достаточно для полного понимания природы процесса и прогнозирования срока службы узла, работающего в условиях фреттинга. К тому же имеющиеся результаты часто противоречивы и не достаточно систематизированы, что затрудняет разработку методов по предупреждению или снижению проявления этого отрицательного явления. Существуют работы по прогнозированию разрушения деталей данных сопряжений в результате фреттинг-усталости, но расчетных моделей для прогнозирования фреттинг-износа сопряжений данного типа нет. При испытаниях на фреттинг-износ, усложненное количественное определение процесса и определение интенсивности изнашивания на каждом участке процесса, так как, в отличие от обычного износа, здесь проще определить присутствует процесса износа или нет, чем определить количественно его величину.

Методы расчетов износостойкости деталей машин, как говорится в работе [6], базируется на экспериментально-теоретических подходах. Расчетные уравнения должны строиться на синтезе теоретических и экспериментальных исследований, описывающих природу процесса изнашивания. Для описания процессов изнашивания используют математические формы закономерностей изнашивания. Моделирование процессов изнашивания деталей и узлов отличается высокой сложностью, но данное направление исследования процессов изнашивания достаточно эффективно, поскольку позволяет исследовать их в динамике точными количественными соотношениями.

Закономерность изнашивания устанавливается из экспериментальных исследований, которые аппроксимируются определенными функциями. В преимущественном большинстве, экспериментальные закономерности подаются в виде зависимостей интенсивности изнашивания от определенных факторов (контактное давление, скорость скольжения, условия смазки, характеристики материалов пары трения, температура и др.). Основой для моделирования процессов изнашивания являются экспериментальные исследования, для проведения которых необходимо специальное оборудование. В данной работе описывается установка для модельных испытаний на фреттинг-износ цилиндрических сопряжений при действии радиальной пульсирующей нагрузки и методика определения параметров модели фреттинг-износа.

Установка для модельных испытаний на фреттинг-износ цилиндрических сопряжений

Установка для проведения экспериментальных исследований (рис. 1) разработана и изготовлена с целью проведения модельных испытаний на фреттинг-износ цилиндрических сопряжений при действии радиальной пульсирующей нагрузки определенной, заданной условиями эксперимента, величины и частоты.

Приводом установки является электродвигатель 1 постоянного тока мощностью 500 Вт, закрепленный к раме 2 при помощи хомутов 3. Крутящий момент от двигателя передается на вал 8 при помощи клиноременной передачи 6. Промежуточный шкив 7 служит для регулирования натяга ремня, а также может быть использован для изменения передаточного отношения клиноременной передачи. Ведомый шкив 5 закреплен на валу 8 при помощи призматической шпонки 9. Вал 8 вращается в подшипниках 10, размещенных в крышках корпуса 11 установки. Каждая крышка 11 крепится к корпусу 12 тремя винтами 13. На валу 8 посажен по прессовой посадке эксцентрик 14, на который напрессован шарикоподшипник 15.

При вращении вала 8 эксцентрик 14 через подшипник 15 перемещает шток 16 вдоль его оси на величину эксцентриситета. Нагрузочная пружина 25 одним концом упирается в тарелку штока 16, который имеет форму похожую на клапан, а вторым концом – в торцевую часть цилиндра 17. При перемещении штока 16 вверх пружина 25 сжимается и через цилиндр 17 задает определенную, зависящую от жесткости пружины и величины эксцентриситета, радиальную нагрузку на ось 18, посаженную во внутреннее кольцо подшипника 19. Наружное кольцо подшипника 19 упирается в упорную плиту 20.

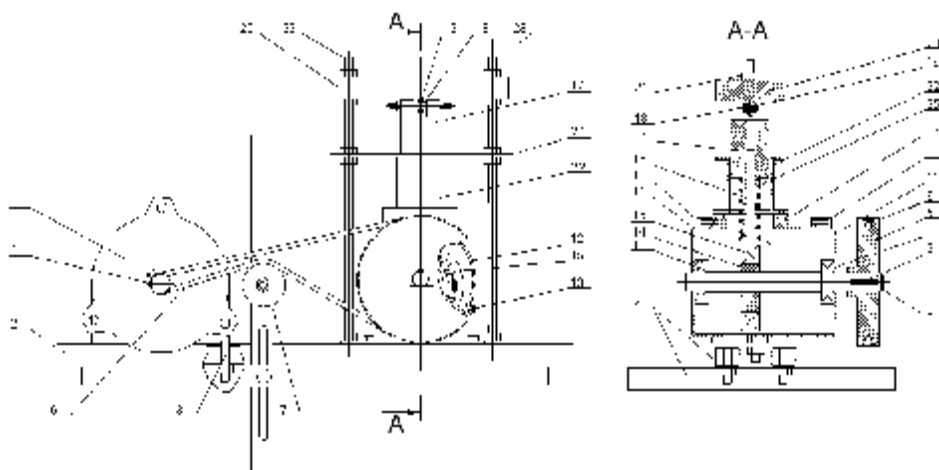


Рис. 1 – Установка для модельных испытаний на фреттинг-износ цилиндрических сопряжений:
 1 – электродвигатель постоянного тока; 2 – рама; 3 – хомут; 4 – ведущий шкив; 5 – ведомый шкив;
 6 – клиновый ремень; 7 – промежуточный шкив; 8 – вал; 9 – шпонка; 10 – подшипник крышки; 11 – крышка;
 12 – корпус; 13 – винт; 14 – эксцентрик; 15 – подшипник эксцентрика; 16 – шток; 17 – цилиндр;
 18 – испытываемый образец (ось); 19 – подшипник оси; 20 – упорная плита; 21 – гайка;
 22 – направляющая цилиндра; 23 – шпилька; 24 – распорная пластина; 25 – нагружающая пружина

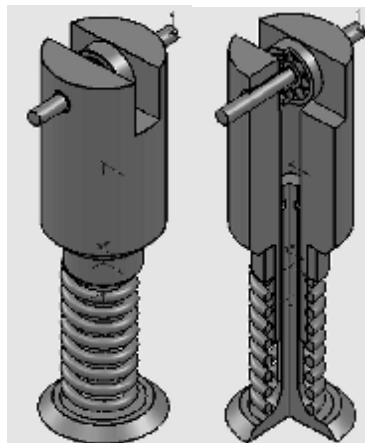


Рис. 2 – Рабочая часть установки с экспериментальными образцами
 На рис. 3 приведена электрическая схема подключения установки.

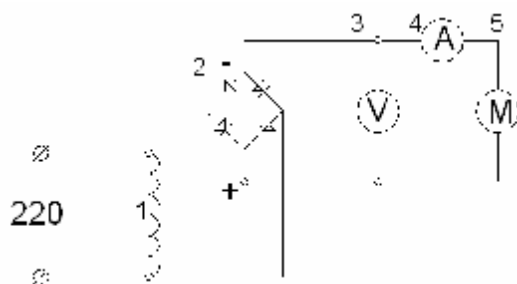


Рис. 3 – Электрическая схема подключения установки:
 1 – лабораторный автотрансформатор (латр); 2 – диодный мост (выпрямитель);
 3 – вольтметр постоянного тока; 4 – амперметр постоянного тока;
 5 – электродвигатель постоянного тока

Методика проведения эксперимента и определения параметров модели износа

Если рассмотреть контактное взаимодействие цилиндра и плоскости (рис.4) при действии радиальной нагрузки Q , то с изменением нагрузки изменяется площадка контакта, ввиду упругих свойств материалов контактирующих тел, и возникают касательные усилия τ . В участках контакта, где τ больше, чем произведение нормального давления на коэффициент трения, будут иметь место касательные перемещения (проскальзывание). Таким образом, несмотря на отсутствие макроперемещений, происходят микроперемещения, следовательно, протекает процесс фреттинга и имеет место фреттинг-износ контактных поверхностей.

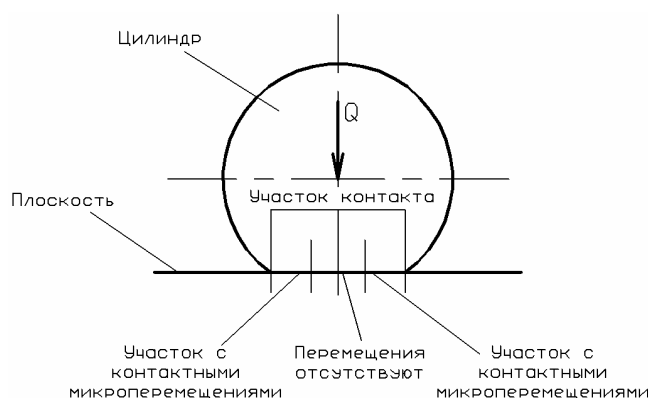


Рис. 4 – Схема контакта цилиндра с плоскостью при действии радиальной нагрузки

Примем модель фреттинг-износа для цилиндрических сопряжений при действии радиальной нагрузки в виде:

$$\frac{du_w}{dN} = k_w \sigma^m, \quad (1)$$

где u_w – величина линейного износа;

N – количество циклов контактного взаимодействия;

k_w , m – параметры модели износа.

Необходимо из экспериментов определить параметры k_w , m модели износа.

Это можно сделать, проведя эксперименты при одинаковом количестве циклов и двух разных контактных давлениях σ_1 , σ_2 . Получаем:

$$u_{w_1} = k_w \sigma_1^m N; \quad (2)$$

$$u_{w_2} = k_w \sigma_2^m N. \quad (3)$$

Разделив (2) на (3) и сократив k_w и N , имеем соотношение:

$$\frac{u_{w_1}}{u_{w_2}} = \frac{\sigma_1^m}{\sigma_2^m}. \quad (4)$$

Отсюда находим показатель степени m модели износа:

$$m = \frac{\lg\left(\frac{u_{w_1}}{u_{w_2}}\right)}{\lg\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)}. \quad (5)$$

Из (2) определяем коэффициент k_w :

$$k_w = \frac{u_{w_1}}{\sigma_1^m N}. \quad (6)$$

Значение контактных давлений зависит от радиальной нагрузки на сопряжение, которая в установке изменяется заменой пружины 25 (рис.1). Рассчитать контактные давления можно используя методику, приведенную в [3].

Для проведения экспериментов изготавливаются и подбираются испытуемая ось 18 и подшипник 19 (рис.1) с необходимыми, исследуемыми характеристиками (материал, твердость, наличие защитного покрытия и т.п.). На контактной поверхности образцов индентором (сферой или конусом) делаются отпечатки. Отпечатки наносятся при помощи прибора для измерения на твердость или другим специальным прибором. Диаметр отпечатка должен быть небольшим. Выпуклость металла вокруг отпечатка, образованная при вдавливании индентора, перед первым измерением его диагонали шлифуется. Зная радиус сферы или угол при вершине конуса, вычисляется глубина отпечатка. Разница величины глубины отпечатка до и после эксперимента является величиной линейного износа.

Проводятся эксперименты при двух разных контактных давлениях и получаются зависимости $u_w(\sigma)$. Далее по (5) и (6) определяются параметры k_w , m модели износа.

Выводы

1. Разработана и изготовлена установка для модельных испытаний на фреттинг-износ внутренних цилиндрических сопряжений с зазором при действии радиальной пульсирующей нагрузки определенной, заданной условиями эксперимента, величины и частоты.

2. Предложен метод испытаний на фреттинг-износ по схеме внутреннего контакта цилиндров, сопрягаемых с зазором.

3. В соответствии с предложенным методом, по результатам испытаний определяются параметры модели изнашивания.

Литература

1. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг коррозия / Р.Б.Уотерхауз. – Л.: Машиностроение. – 1976. – 272 с.
2. Stolarski T.A. Rolling contacts / T.A. Stolarski, S.Tobe. – London: Professional Engineering Publishing Limited. – 2000. – 446 p.
3. Кузьменко А.Г. Контактное взаимодействие с учетом износа внутреннего кольца подшипника качения и оси ступицы колеса транспортной машины. Сообщение 1. Взаимодействие элементов без учета износа / А.Г. Кузьменко, С.В. Милятинский // Проблемы трибологии. – 2010. – № 4. – С. 105-116.
4. Шевеля В.В. Фреттинг-усталость металлов / В.В. Шевеля, Г.С. Калда. – Хмельницкий: Поділля, 1998. – 299 с.
5. Голего Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля. – К.: Техніка, 1974. – 270 с.
6. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов.-М.: Высш. школа. – 1991. – 319 с.

Надійшла 21.06.2001