

В. Б. ЮДОВИНСКИЙ, С. В. КЮРЧЕВ, О. В. ПЕНЕВ, Ю. П. МИРНЕНКО,
Р. А. БАКАРДЖИЕВ (Таврический государственный агротехнологический
университет, Мелитополь)

УСТАНОВЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ИЗНОСА МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ ТИПА «ВАЛ – ВТУЛКА»

Робота присвячена встановленню аналітичної залежності коефіцієнту зносу матеріалів деталей сполучення типу «вал – втулка».

Работа посвящена установлению аналитической зависимости коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка».

The paper is devoted to determination of analytical dependence of the wear coefficient for materials of parts of the conjugation of type “shaft-to-bushing”.

Постановка проблемы

Прогнозирование ресурса работы сопряженный возможно при наличии обобщенного показателя поведения материалов деталей сопряжения – коэффициента износа. Коэффициент износа K_U – это характеристика свойств материалов деталей сопряжений и условий изнашивания, которые зависят от распределения давлений по поверхности контакта элементов сопряжения, пути трения и конструктивной формы сопряжения, определяющей его принадлежность к тому или иному типу согласно классификации по условиям трения и износа [1].

Анализ последних исследований

Вопросам износа материалов различных сопряжений посвящено много работ [2, 3]. Однако они носят, в основном, экспериментальный характер, что затрудняет их использование при прогнозировании ресурса.

Формирование цели статьи

Целью статьи является установление аналитической зависимости определения коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка».

Основная часть

Сопряжения типа «вал – втулка» относится ко второй группе классификации, в которой условия изнашивания сохраняются постоянными для всех точек втулки. В этом случае имеет

место неравномерный износ поверхности втулки.

В сопряжениях «вал – втулка» металлорежущих станков нагрузка колеблется в пределах 300...600 Н. Проведенные исследования показали, что в диапазоне этих нагрузок для диаметра вала 30 мм суммарный износ U_{1-2} деталей сопряжения «вал – втулка» от нагрузки P представляет линейную зависимость. Следовательно, в данном диапазоне нагрузки коэффициент износа будет иметь одинаковую размерность, т.к. показатель « n » при q равен единице и не зависит от скорости относительного перемещения.

Эксперименты проводились на машине трения МИ-1М.

В данном случае втулка имеет шариковую опору, не допускающую ее проворачивание под действием сил трения. Поэтому направление возможного сближения вала и втулки при износе задано х-х (рис. 1). Форма изношенной поверхности втулки $U_2(\alpha)$ является результатом неравномерного распределения работы трения по длине дуги контакта втулки.

Если приравнять количество затраченной работы трения A_1 и работы A_2 , необходимой для образования износа, ограниченного кривой $U_2(\alpha)$, где A_1 – работа трения, возникающая в сопряжении «вал – втулка» при их относительном перемещении (вращении) и действия давления, а A_2 – работа, затрачиваемая на износ втулки под действием сил трения, то получим равенство, из которого можно определить коэффициент износа.

Элементарная затраченная работа трения dA_1 при относительном перемещении деталей сопряжения является произведением коэффициента трения, пути трения и функции распределения давления:

$$dA_1 = \mu \cdot R_1 \cdot \varphi \left[f(\alpha) R_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{d} \cdot d\alpha \right],$$

где μ – коэффициент трения;

R_1 – радиус шипа вала;

φ – угол поворота шипа (вала);

$f(\alpha)$ – функция распределения нормальных давлений;

α – половина угла контакта.

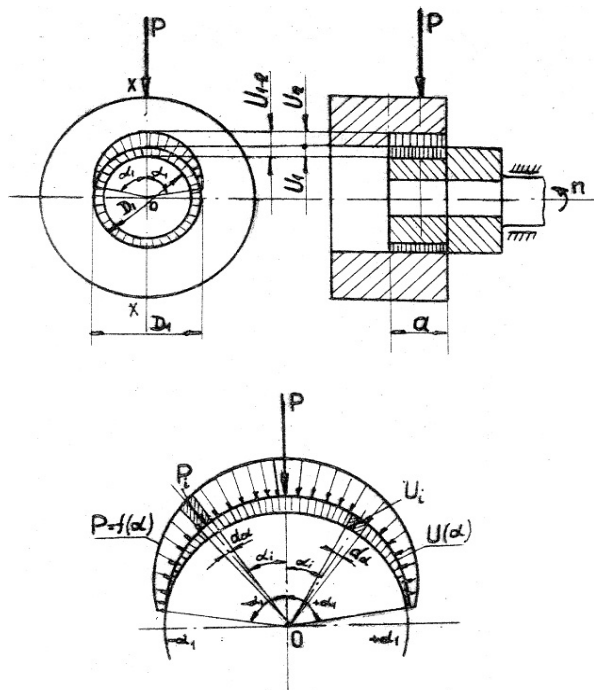


Рис. 1. Расчетная схема сопряжения типа «вал – втулка»

Вся работа трения при относительном перемещении деталей сопряжения будет

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{\mu}{a} \cdot R_1^2 \cdot \varphi \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} f(\alpha) \cdot \cos d_\alpha = \\ &= \frac{\mu \cdot R_1^2 \cdot \varphi \cdot P}{a}, \end{aligned}$$

где P – реакция в подшипнике

$$P = \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} f(\alpha) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha;$$

a – ширина подшипника (втулки).

Элементарная работа трения dA_2 , затраченная на износ по дуге контакта α_i , будет

$$\begin{aligned} dA_2 &= \frac{\mu \cdot a \cdot U_i(\alpha) d\alpha}{K_U(\alpha)} = \\ &= \frac{\mu \cdot a \cdot U_i \cdot (U_i + R_2) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha}{K_U(\alpha)}. \end{aligned}$$

Здесь $\left[\frac{K_U(\alpha)}{\mu} \right]$ показывает, на сколько

микрометров износится данный элемент поверхности при затрате единицы работы трения.

Интегрируя последнее выражение и принимая, что коэффициент износостойкости не является постоянным по всей дуге контакта из непостоянства условий трения, получим значение работы A_2 :

$$\begin{aligned} A_2 &= \mu \cdot a \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} \frac{U_i(\alpha)}{K_U(\alpha)} \cdot d\alpha = \\ &= \mu \cdot a \int_{-\alpha_1}^{+\alpha_1} \frac{U_i(U_i + R_2) \cos \alpha \cdot d\alpha}{K_U(\alpha)}, \end{aligned}$$

где $F_U = \int U_i(U_i + R_2) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha =$

$$= U_2(U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha$$

– площадь, заключенная между первоначальным внутренним контуром втулки и контуром ее после износа.

Для максимального значения износа втулки $U_i = U_2$.

Тогда элементарная площадь, заключенная между первоначальным контуром втулки и контуром ее после износа (площадь поперечного сечения износа), определяется зависимостью

$$dF_U = U_2(U_2 + R_2) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha.$$

Проинтегрируем это выражение и получим полную площадь поперечного сечения износа

$$F_U = U_2(U_2 + R_2) \sin \alpha.$$

Подставив это значение в уравнение работы, получим:

$$A_2 = \frac{\mu \cdot a \cdot U_2(U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha}{K_U(\alpha)}.$$

Приравняв равенство работ, получим коэффициент износа материалов деталей сопряжения «вал – втулка» как функцию угла контакта:

$$\frac{\mu \cdot R_1^2 \cdot \varphi \cdot P}{a} = \frac{\mu \cdot a \cdot U_2 (U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha}{K_U(\alpha)};$$

$$K_U(\alpha) = \frac{4a^2 \cdot U_2 (U_2 + R_2) \cdot \sin \alpha}{D_1 \cdot S \cdot P}, \frac{\text{мкм}}{\text{Па} \cdot \text{км}}.$$

Коэффициент износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка» показывает, на сколько микрометров износится втулка радиу-

сом R_2 при контакте с валом диаметром D_1 на пути трения S км и давлении P Па.

Экспериментальная проверка полученной зависимости проводилась на машине трения МИ-1М при различных нагрузках в сопряжении с наработкой до 80 км пути трения.

Изменение коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка» при различных нагрузках и наработке до 80 км пути трения представлено на рис. 2.

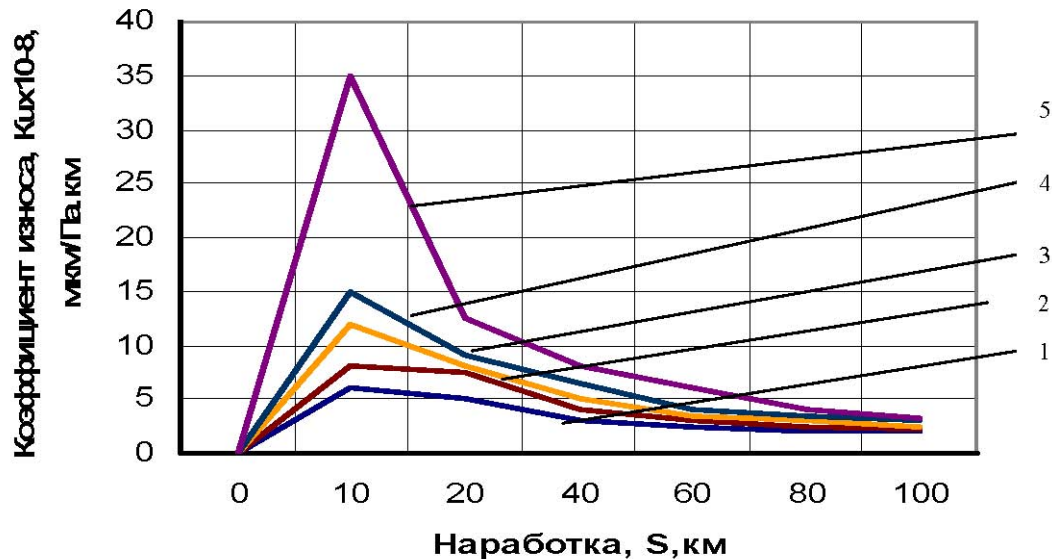


Рис. 2. Изменение коэффициента износа материалов деталей сопряжения типа «вал – втулка» во времени наработки сопряжения при $V = 0,67$ м/с и различных нагрузках: 1 – 300 Н; 2 – 350 Н; 3 – 400 Н; 4 – 500 Н; 5 – 600 Н

Из этих зависимостей видно, что период приработки сопряжений делится на две части: этап накопления деформаций в поверхностных слоях материалов деталей сопряжений и этапа приработки до стабилизации коэффициента износа, определяющего период нормального изнашивания.

Увеличение нагрузки сопряжения сказывается только на этапе накопления деформаций периода приработки.

Выводы

1. Коэффициент износа является функцией геометрических параметров сопряжения, пути трения и условий работы и позволяет прогнозировать ресурс сопряжения в зависимости от условий его работы.

2. Форсирование режимов работы сопряжения по нагрузке ведет к повышению износа деталей сопряжения в период приработки по

сравнению с нормальными эксплуатационными нагрузками.

3. Независимо от величины нагрузки период приработки для сопряжения «вал – втулка» практически остается неизменным ($S = 40$ км).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдовинский, В. Б. Обоснование комплексного показателя износостойкости материалов [Текст] / В. Б. Юдовинский, Д. П. Журавель, Г. П. Петренко // Научные тр. ТДАТА. – Мелитополь, 2007. – Вып. 42.
2. Проников, А. С. Износ и долговечность станков [Текст] / А. С. Проников. – М.: Машгиз, 1957.
3. Проников, А. С. Технологическая надежность станков [Текст] / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1971.

Поступила в редколлегию 07.12.2009.

Принята к печати 22.12.2009.