

УДК 621.82

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ИЗНОС И РЕСУРС РАБОТЫ СОЕДИНЕНИЯ

© 2018 В.А. Прилуцкий

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 25.06.2018

Выполнен анализ характера износа соединения на примере вал - втулка при различных погрешностях расположения их поверхностей. Приведена методика расчета ресурса работы цилиндрического соединения.

Ключевые слова: точность расположения поверхностей, ресурс и износ соединения, зазор.

ВВЕДЕНИЕ

Отклонения взаимного расположения поверхностей в сопряжении увеличивают интенсивность изнашивания, сокращают долговечность сопряжения, часто являются причиной аварийного износа [1, 2, 3].

Для обобщения роли действующих факторов при изготовлении и сборке вала и подшипников выполнен анализ вариантов первичных погрешностей расположения, вызывающих взаимный поворот осей шипа и втулки (рис. 1): смещение осей втулок на величину Δ при сохранении их параллельности (рис. 1, а); смещение шипов на величину e при сохранении их параллельности (рис. 1, г); отклонение от параллельности установленных в корпус втулок (рис. 1, ж); отклонение от параллельности осей шипов вала (рис. 1, к). Характер износа трущихся поверхностей при этом различен. Так, в первом и третьем случаях на шипе образуется замкнутая поверхность вращения износа (рис. 1, б, в), а на втулке - локальная лунка, как часть конуса. Во втором и четвертом случаях втулка изнашивается по замкнутой поверхности, а шип - по лунке. В реальных соединениях могут действовать одновременно несколько вышеуказанных причин ошибок положений, и характер износа будет еще сложнее. Отклонение от параллельности контактирующих поверхностей, обусловленное указанными ошибками, способствует увеличению скорости изнашивания вследствие нарушения масляного клина и неравномерному по длине сопряжения износу. Поэтому фактически может быть изношен объем материала, меньший предельно допустимого. Но пара будет не работоспособна по точности положения.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Полагают использованный ресурс сопряжения пропорциональным объему сношенного материала. Этот объем при наличии отклонений от параллельности образующих определяют на примерах (рис. 1, б, в, з, и). При этом делают следующие допущения: поверхность шипа и втулки до износа - идеальные цилиндры; допускается свободное вращательное движение шипа и втулки; в процессе износа образующие поверхностей износа шипа и втулки продолжают оставаться идеальными прямыми; торцы втулок перпендикулярны их осям и образующей отверстия до износа; отношение размерных износов в одноименным исходных поперечных сечениях втулки и шипа $i_{\text{шт}}$ - величина постоянная.

Оси координат для соединения шип - втулка (рис. 2) расположены следующим образом: OZ - совпадает с осью отверстия втулки; OY - лежит в плоскости торца втулки. Ось вала (поверхности 1 шипа до износа) вследствие технологических погрешностей расположения поворачивается относительно оси втулки (поверхности 2 отверстия втулки) на угол α_1 . Поверхность 3 шипа в процессе износа наклонена к оси вала под углом α_1 . Обозначают длину изношенной части втулки - ЕД через l , длину втулки - $l_{\text{вт}}$. Отрезки ЕГ и ГК представляют собой размерные износы, соответственно втулки $i_{\text{вт}}$ и шипа $i_{\text{шт}}$. Тело изношенной части втулки при $l < l_{\text{вт}}$ ограничено поверхностями цилиндра 2, конуса 3 и плоскости XOY, а при $l > l_{\text{вт}}$ еще и плоскостью $z = l_{\text{вт}}$. Это тело длиной l имеет серповидное основание в плоскости XOY с вершинами в т. А и В, а вершины его Б и Ж принадлежат одновременно поверхностям цилиндра 2 и конуса 3. Определим объем тела АБЖВ.

Образующая поверхности износа вала пересекается с его осью в т. О с координатами y_o, z_o

$$z_o = -OM \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_2) = -\frac{R - i_{\text{шт}}}{\sin \alpha_2} \cos(\alpha_1 - \alpha_2), \quad (1)$$

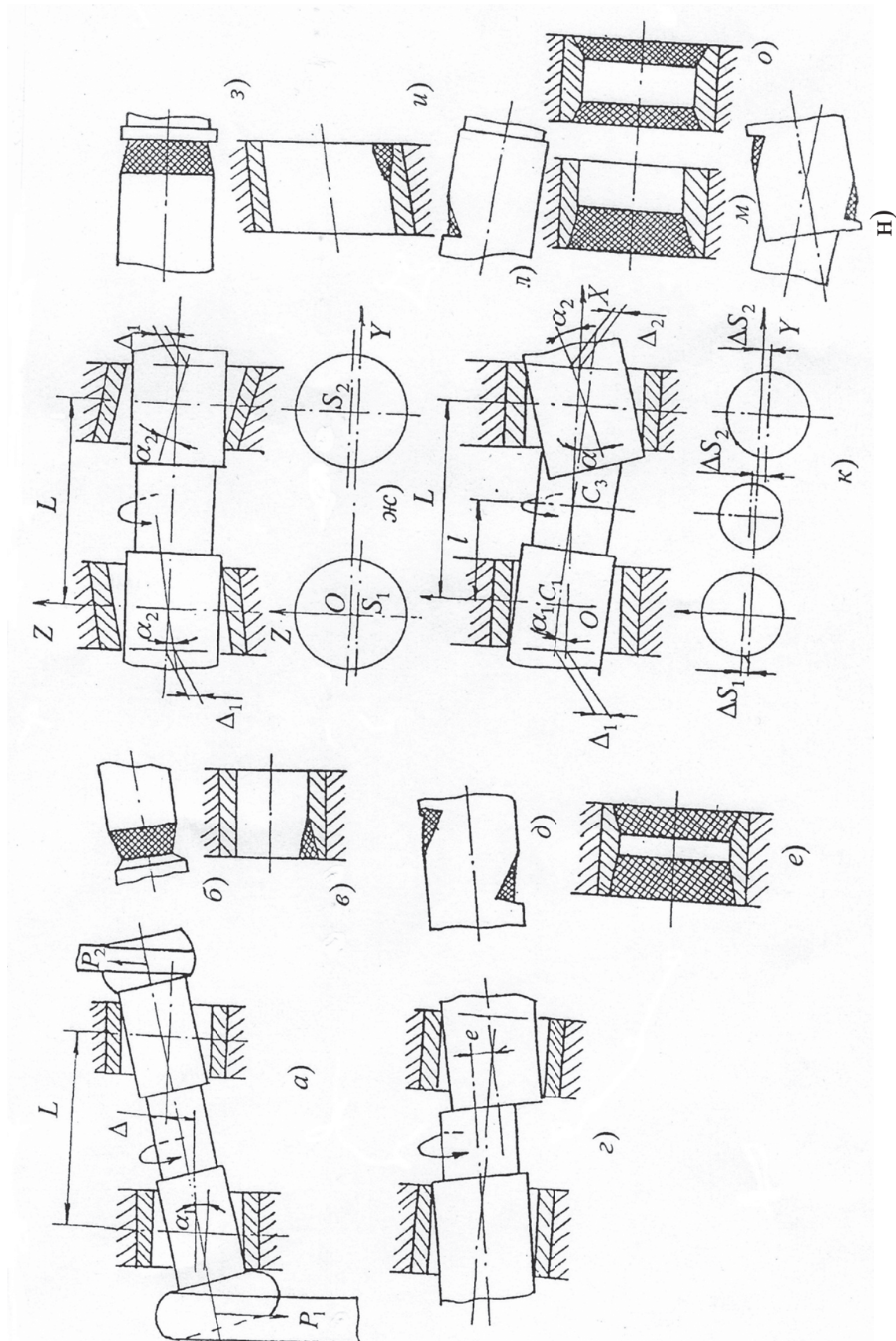


Рис. 1. Характер износа поверхностей трения при различных погрешностях расположения

$$y_o = R + i_{BM} + OM \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_2) = \\ = R + \frac{R-i_{ш}}{\sin \alpha_2} \sin(\alpha_1 - \alpha_2). \quad (2)$$

Окружность, как след пересечения цилиндра 2 плоскостью $z = 0$, описывается уравнением $X^2 + Y^2 = R^2$, а эллипс, как след пересечения конуса 3 плоскостью $z = 0$, уравнением

$$X^2 + [(y - y_o) \sin \alpha_1 - z_o \sin \alpha_1]^2 = [z_o \cos \alpha_1 + \\ + (y - y_o) \sin \alpha_1]^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_2.$$

Координату y_1 точки А, точки пересечения окружности и эллипса, определяют из уравнения $A \cdot y_1^2 + B \cdot y_1 + C = 0$, (3)

где $A = 1 + \sin^2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_2 - \cos^2 \alpha_1$;

$$B = 2(z_o \cdot \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_2 + y \cdot \cos^2 \alpha_1 + z_o \cdot \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 - \\ y_o \cdot \sin^2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_2);$$

$$C = z_o^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_2 + y^2 \sin^2 \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_1 - \\ - R^2 - y_o^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 - z_o^2 \times \\ \times \sin^2 \alpha_1 - 2z_o \cdot y_o \cdot \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_2.$$

Откуда $y_1 = -\frac{B}{2A}$. Прямые АБ, ГД, ДО₂, определяющие пределы интегрирования, описываются уравнениями

$$\dot{y} = y_1 - \frac{y_1}{l_1} z, \quad (4)$$

$$\ddot{y} = y_o - (z - z_o) \operatorname{tg}(\alpha_1 - \alpha_2), \quad (5)$$

$$\ddot{y} = \frac{R}{1 - l_1} (z - l_1), \quad (6)$$

где $l_1 = l - R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$.

Объем изношенной части втулки при $l > l_{BT}$

$$V_{BT} = 2 \int_0^{l_1 \ddot{y}} \int_0^{\ddot{y}} x_k dy \cdot dz - 2 \int_0^l \int_0^R x_{ц} \cdot dy \cdot dz + \\ + \int_{l_1 \ddot{y}}^{l \ddot{y}} (x_k - x_{ц}) dy \cdot dz, \quad (7)$$

где $x_k = \{[(z - z_o) \cos \alpha_1 - \\ - (y - y_o) \sin \alpha_1]^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_1 - [(y - y_o) \cos \alpha_1 + \\ + (z - z_o) \sin \alpha_1]^2\}^{1/2},$
 $x_y = \sqrt{R^2 - y^2}.$

Объем изношенной части шипа при $l < l_{BT}$

$$V_{ш} = \pi \sqrt{l^2 + i_{BT}^2 - i_{ш}^2} \left(R \cdot i_{ш} - \frac{1}{3} i_{ш}^2 \right). \quad (8)$$

Объемы при $l > l_{ш}$, соответственно равны

$$V_{BT} = 2 \int_0^{l_{BT} \ddot{y}} \int_0^{\ddot{y}} x_k \cdot dy \cdot dz - 2 \int_0^{l_{BT} R} \int_0^{\ddot{y}} x_{ц} \cdot dy \cdot dz, \quad (9)$$

$$V_{ш} = \pi \left(\frac{l_{BT}^2}{\cos^2 \alpha_2} - i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(R \cdot i_{ш} - \frac{1}{3} i_{ш}^2 \right). \quad (10)$$

Объемы $V_{ш}$ и V_{BT} вычисляли на примере пары шип - втулка при $R = 25$ мм, $l_{BT} = 50$ мм. Размерные износы при этом изменяли в пределах $l_{BT} = 0...0,7$ мм; $l_{ш} = 0...0,35$ мм; $l_{BT}/l_{ш} =$

1...5. Отклонение от параллельности осей втулки и шипа изменяли в угловой мере $\alpha_1 = 0...6^\circ$. На основе вычислений строили графики $V_{BT} = f_1(\alpha_1)$, $V_{ш} = f_2(\alpha_1)$. Некоторые примеры графиков приведены на рис. 3. Эти кривые позволяют установить характер изменения ресурса при изменении угла α_1 .

Расчетные зависимости объемного V и линейного i износов и угла наклона α_1 получали аппроксимацией графиков

$$V = k_1 \cdot i^n \cdot \alpha_1^{-1}, \quad (11)$$

где $n = 2$ для $\frac{i_{BT}}{i_{ш}} = 2$, k_1 - коэффициент, зависящий от геометрических и физико-механических свойств элемента соединения (таб. 1).

Ресурс работы элемента соединения в соответствии с классической кривой износа обратно пропорционален его объемному износу

$$P = k_1 \cdot k_2 \cdot i^n \cdot \alpha_1^{-1}. \quad (12)$$

ВЫВОД

Проведенный анализ позволяет количественно оценить зависимость ресурса и износа соединения втулка-шип от угла наклона их образующих и является обоснованием необходимости технологического обеспечения точности формы и расположения обрабатываемых поверхностей.

Таблица 1. Значения для коэффициента K_1

Элементы соединения	Значения коэффициента K_1 при линейных износах, мм					
	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Втулка	-	356,4	745	1902	3175	5633
Шип	132	505,4	1955	4551	3013	12211

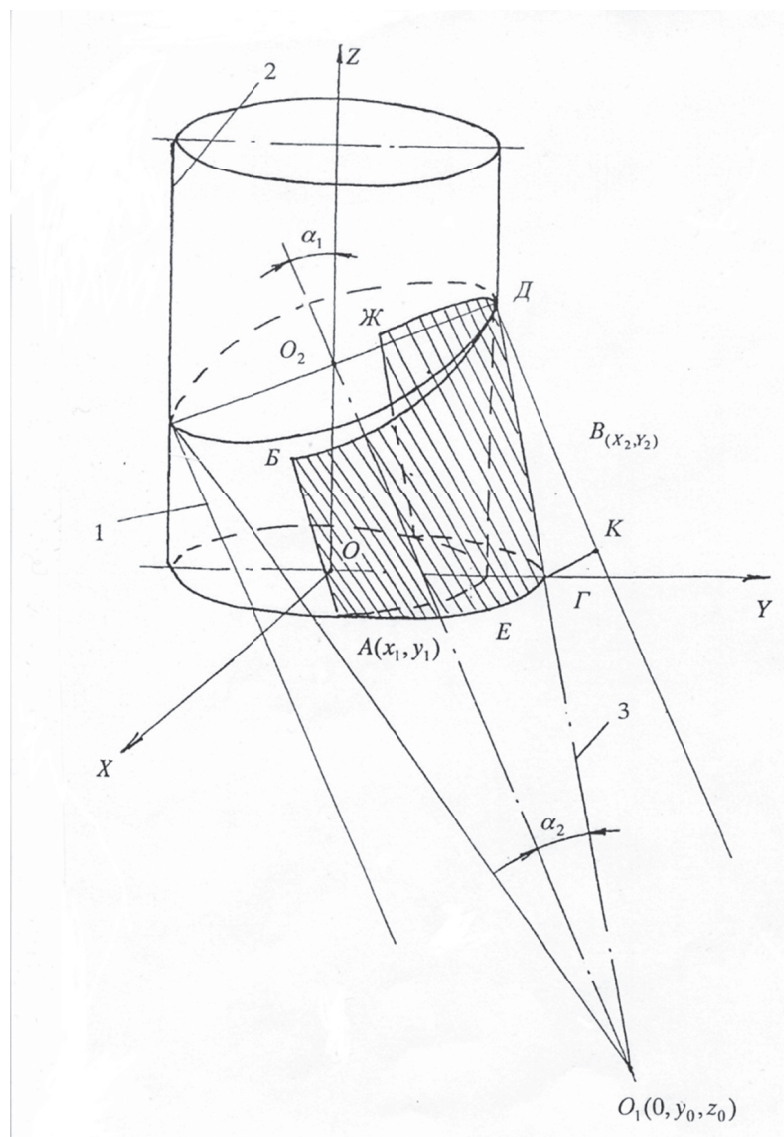


Рис. 2. Схема расчета износа цилиндрического сопряжения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. 2-е изд., испр. СПб: Издательство «Лань», 2008. 512 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
3. Киселев А.Г., Приходько О.Б. Несущая способность гидродинамических сферических радиально-упорных подшипников // «Детали машин». Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 26. Изд. «Техника». Киев, 1978.

THE INFLUENCE OF THE ACCURACY OF THE ARRANGEMENT OF SURFACES ON THE WEAR AND OPERATING LIFE OF THE CONNECTION

© 2018 V.A. Prilutsky

Samara State Technical University

Analysis of the pattern of wear of connection by the example shaft - bush is performed at different inaccuracy of the position of their surfaces. Method of analysis of operating life of cylindrical connection is presented.

Keywords: accuracy of the arrangement of surfaces, operating life and wear of the connection.