

УДК 621.822

Восстановление точностных параметров радиальных шарикоподшипников

Минченя Н. Т., Савченко А. Л.

Белорусский национальный технический университет

Несколько лет назад авторами был предложен способ восстановления радиально-упорного шарикоподшипника [1, 2]. Способ предназначен для восстановления прецизионных подшипников, вышедших из строя по точности вращения и не имеющих усталостных повреждений. Как показывает практика, преобладающим дефектом таких подшипников является абразивный износ деталей, в первую очередь шариков. Суть способа заключается в обкатке подшипника в среде абразива с составом, аналогичным составу для доводки шариков. Так как шарик в радиально-упорном подшипнике имеет двухосное вращение, то для управления кинематикой шариков и получения их точной сферической формы используются ультразвуковые колебания, приложенные к одному из колец.

В отличие от радиально-упорного, радиальный подшипник работает всем профилем дорожки качения, вследствие чего износ дорожек качения является более обширным по площади. При восстановлении радиального подшипника методом обкатки требуется, чтобы шарики обкатывались по всей поверхности желоба. В способе доработки подшипников в собранном виде [3] этого добиваются с помощью перекоса колец. Угол перекоса (рисунок 1) определяют по формуле:

$$\varphi = \frac{4\sqrt{(2r_{\text{ж}} - D_{\text{ш}})(e + \Delta e)}}{D + d},$$

где e – исходный радиальный зазор; Δe – увеличение радиального зазора в процессе приработки; D и d – посадочные диаметры подшипника; $r_{\text{ж}}$ – радиус желоба; $D_{\text{ш}}$ – диаметр шарика.

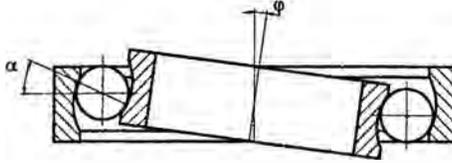


Рисунок 1 – Перекос колец в радиальном подшипнике

Вращение кольца, подвергнутого перекоосу, происходит вокруг наклоненной оси, описывающей конус с вершиной в центре симметрии подшипника. Вследствие этого шарики в процессе сферического движения обкатываются по всей поверхности дорожек качения. Сферическое движение в этом случае можно описать так же, как и в радиально-упорном подшипнике, однако угол контакта в этом случае будет непостоянным. При орбитальном движении шарика угол контакта за один оборот будет меняться от максимального до нуля, затем снова до максимального с противоположным знаком, затем снова до нуля и снова до максимума. Максимальный угол контакта α_{\max} можно определить по формуле [4]:

$$\alpha_{\max} = \arccos \left(\frac{A \cos \varphi - \left(\frac{D_{\text{в}}}{2} + d + e - r_{\text{н}} \right)}{\sqrt{(A \sin \varphi)^2 + \left[A \cos \varphi + \left(\frac{D_{\text{в}}}{2} + d + e - r_{\text{н}} \right) \right]^2}} \right),$$

где $A = \frac{D_{\text{в}}}{2} + r_{\text{в}}$; $D_{\text{в}}$ – диаметр по дну дорожки качения внутреннего кольца, $r_{\text{в}}$, $r_{\text{н}}$ – радиусы желобов внутреннего и наружного колец.

Как известно, при вращении колец подшипника шарик совершает сложное движение, состоящее из движения центра шарика по окружности, и сферического, т. е. вращения шарика вокруг собственной оси. Сферическое движение раскладывается на три составляющих:

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_{\text{к}} + \vec{\omega}_{\text{в}} + \vec{\omega}_{\text{кр}},$$

где $\overline{\omega}_k$ – угловая скорость качения, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости контакта; $\overline{\omega}_v$ – угловая скорость вращения, вектор которой находится в плоскости контакта; $\overline{\omega}_{кр}$ – угловая скорость кручения, вектор которой также находится в плоскости контакта [5]. В подшипнике составляющая $\overline{\omega}_{кр}$ равна нулю, что является причиной неравномерного износа в процессе работы или неравномерного съема материала в процессе восстановления. Использование ультразвуковых колебаний позволяет добиться условий, при которых $\overline{\omega}_{кр} \neq 0$. Определение значения $\overline{\omega}_{кр}$ показано в работах [1, 6].

Составляющая $\omega_{кр}$, т.е. угловая скорость кручения в произвольный момент времени зависит от угла контакта и для различных шариков будет различной. Для одного и того же шарика она будет изменяться в процессе орбитального движения так же, как и угол контакта, со сменой направления вращения. На величину съема материала будет влиять только скорость кручения, направление не имеет значения. Следовательно, считая закон изменения $\omega_{кр}$ синусоидальным, можно предположить, что средняя скорость кручения шарика определяется как $\omega_{кр}^{max} / \sqrt{2}$. Максимальная скорость кручения рассчитывается так же, как и для радиально-упорного подшипника, т. е. по формулам, приведенным в работах [1, 6]. Все остальные показатели кинематики и контактного взаимодействия элементов подшипника определяются аналогично методикам, приведенным в работе [7]. Силу взаимодействия тел качения с сепаратором, в контакте с которым снимается основная часть припуска, можно найти из формул, приведенных в [4]:

$$P = \frac{W(EI)_{cp}}{0,126R^3},$$

где W – набегание шарика на сепаратор (разность путей, пройденных шариком и сепаратором); $(EI)_{cp}$ – средняя жесткость колец сепаратора; R – средний радиус колец сепаратора.

Набегание шарика на сепаратор определяют по формуле:

$$W = \left(\frac{D_s}{2} + r_s + \frac{d}{2} \right) \frac{r_b \sqrt{e(2r_m - e)}}{r_m (r_m - e)} \sin \varphi,$$

где $r_m = (r_b + r_n - d)$.

Таким образом, зная показатели кинематики и контактного взаимодействия элементов подшипника, можно вычислить интенсивность съема припуска с шариков при восстановлении.

Литература

1. Савченко, А. Л. Восстановление точностных параметров радиально-упорных шарикоподшипников / А. Л. Савченко, Н. Т. Минченя // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2005. – №6. – С. 93 – 97.
2. Способ восстановления работоспособности радиально-упорного шарикоподшипника: пат. 8942 Респ. Беларусь, МПК В 23 Р 6/00 / Минченя Н. Т., Савченко А. Л.; заявитель Бел. нац. техн. ун-т. – №а20031181; заявл. 16.12.2003; опубл. 28.02.2007 //Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2007.
3. Способ доработки подшипников качения в собранном виде: заявка №2001120809/28 РФ, МПК F 16 C 1/00 / Давиденко О. Ю., Колесников М. А., Решетников М. К. – Заявл. 2001.07.24. опубл. 2003.07.10.
4. Курушин, М. И. Определение усилий и прочности сепаратора шарикоподшипника в условиях перекося колец / М. И. Курушин, А. И. Дубровкина, А. Н. Калгин // Сб. науч. тр. / Куйбышевский авиационный ин-т им. С. П. Королева. – 1969. – Вып. 40. – С. 117 – 140.
5. Филонов, И. П. Механика процессов обкатки / И. П. Филонов; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск: Наука и техника, 1985. – 328 с.
6. Савченко, А. Л. Работа радиально-упорного подшипника в условиях осевых колебаний / А. Л. Савченко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. – №1. – С. 35 – 38.
7. Савченко, А. Л. Исследование износа радиально-упорных шарикоподшипников / А. Л. Савченко, Н. Т. Минченя // Вестник БНТУ. – 2006. – №3. – С. 60 – 64.