

В. А. ГОЛУБКОВ, А. В. ГОЛУБКОВ

## ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ КОЛЕЦ НА ВИБРОАКТИВНОСТЬ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ

Проанализированы спектральные характеристики сил, вызывающих вибрацию шарикоподшипника, связанную с дефектами его элементов, а также неоднородностью физико-механических свойств материала.

**Ключевые слова:** вибрация, подшипник, неоднородность.

Экспериментальные исследования показывают, что упругие свойства элементов шарикоподшипника зависят не только от их дефектов, радиусов кривизны, материала, но также в значительной степени определяются неоднородностью структуры материала. Влияние неоднородности на возникновение сил, вызывающих вибрацию, и предстоит проанализировать.

Для анализа упругих свойств материала колец по дну желоба были выбраны подшипники марки 180605. Для того чтобы определить, с каким шагом целесообразно измерять конструктивные параметры колец по дну желоба колец, необходимо оценить геометрические размеры пятна контакта шарика с кольцами [1]. Габаритные размеры подшипника следующие: внутренний диаметр подшипника  $d = 25$  мм, наружный диаметр  $D = 62$  мм, ширина  $B = 24$  мм, диаметр шарика  $d_0 = 11,509$  мм, число шариков  $m = 7$ .

Внутренние размеры подшипника:

— радиус поперечного профиля дорожек качения колец  $r = 0,515 d_0 = 5,927$  мм;

— наименьшая толщина колец по желобу  $h = 0,5 \left( \frac{D-d}{2} - d_0 \right) = 3,496$  мм;

— радиус наименьшей окружности дорожки качения внутреннего кольца и наибольшей окружности наружного кольца  $R_1 = d/2 + h = 15,9955$  и  $R_2 = D/2 - h = 27,5045$  мм соответственно.

Величина усилия, приходящегося на наиболее нагруженный шарик при воздействии статической нагрузки  $Q = 84$  Н, определяется по следующей формуле:

$$P_0 = 5Q / m = 60 \text{ Н.}$$

Упругая постоянная соприкасающихся тел в случае, если модуль упругости стали  $E = 212 \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup>, а коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ :

$$\eta = 2(1-\mu) / E = 8,585 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2/\text{Н.}$$

Учитывая главные кривизны соприкасающихся тел (шарика с кольцами)  $\rho_q$  и геометрический параметр  $\tau_q$  этих тел при начальном угле контакта  $\beta_0 = 15,642^\circ$

$$\rho_q = \frac{4}{d_0} + (-1)^q \frac{\cos \beta_0}{R_q + (-1)^q r (1 - \cos \beta_0)} - \frac{1}{r}, \quad \rho_1 = 0,144, \quad \rho_2 = 0,239,$$

$$\tau_q = \frac{(-1)^q \frac{\cos \beta_0}{R_q + (-1)^q r (1 - \cos \beta_0)} + \frac{1}{r}}{\rho_q}, \quad \tau_1 = 0,9283, \quad \tau_2 = 0,9705,$$

по таблице [2] находим значения вспомогательных коэффициентов  $n_a=3,55$  и  $n_b=0,428$  для наружного кольца ( $q=1$ ), используя которые, рассчитываем размеры полуосей эллипса площадки контакта наиболее нагруженного шарика с наружным кольцом

$$a = n_a \sqrt[3]{\frac{3\eta P_0}{2\rho_1}} = 0,622 \text{ мм}, \quad b = n_b \sqrt[3]{\frac{3\eta P_0}{2\rho_2}} = 0,075 \text{ мм}.$$

Таким же образом определяется размер площадки контакта того же шарика с внутренним кольцом при  $n_a=4,38$ ,  $n_b=0,384$ :  $a=0,65$ ,  $b=0,057$  мм.

Принимая во внимание геометрические размеры колец и площадок контакта, для определения упругих свойств колец целесообразно на наружном кольце делать не более 2300 замеров по дну желоба беговой дорожки, а на внутреннем — не более 1700.

Оценка упругих свойств колец основана на измерении перемещения шарика при изменении нагрузки на величину  $\Delta P$ . Это перемещение пропорционально деформации в точках контакта кольца с шариком. Нагрузки  $P_0$  и  $\Delta P$  выбирались исходя из известных действующих нагрузок.

На рис. 1 представлена конструкция прибора для анализа физико-механических свойств колец шарикоподшипников ( $a$  — внутреннего кольца;  $b$  — наружного): 1 — оправка, 2 — кольцо, 3 — шайба, 4 — гайка, 5 — шарик, 6 — рычаг, 7 — измеритель перемещения.

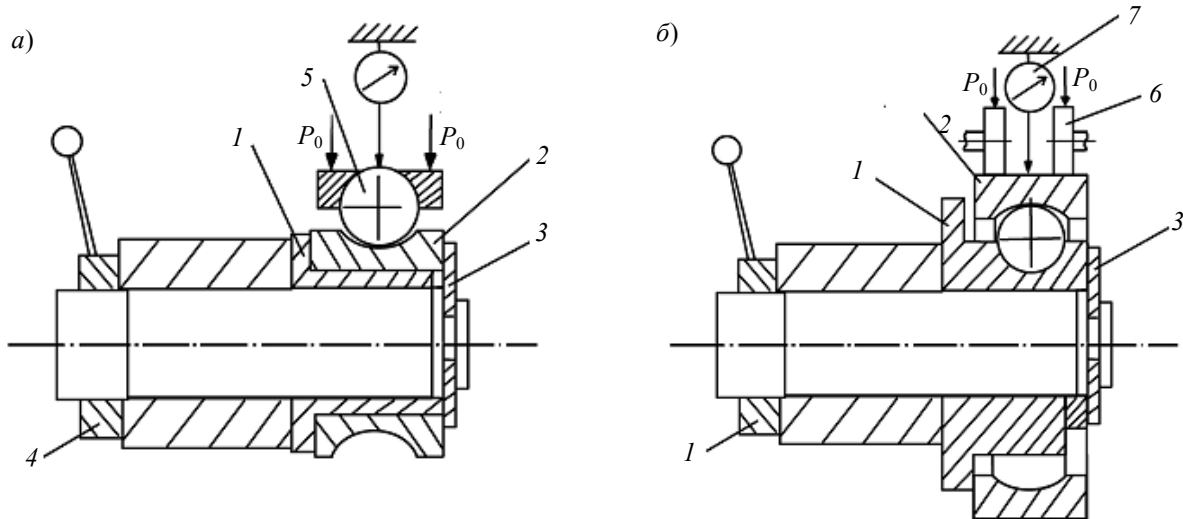


Рис. 1

Согласно теории Герца—Беляева, силу упругости, действующую со стороны  $i$ -го шарика на  $q$ -е кольцо, можно представить следующим образом:

$$F_{qi} = K_q \delta_{qi}^{3/2} e(\delta_{qi}),$$

где  $\delta_{qi}$  — деформация  $i$ -го шарика в контакте с  $q$ -м кольцом;  $K_q$  — конструктивный коэффициент.

В эксперименте использовались кольца наружные и внутренние шарикоподшипников типа 180605, изготовленных по технологии общего потока.

Измерения приращений деформаций  $\Delta\delta_{qi}$  проводились в 256 точках, равномерно распределенных по окружности беговых дорожек при изменении нагрузки  $P_0$  на величину  $\Delta P$ . Деформация в каждой точке контакта определялась путем осреднения многократных измерений при приложении и снятии нагрузки  $\Delta P$ . Погрешность измерений перемещений шарика составила 0,01 мкм.

Конструктивный параметр кольца рассчитывался по формуле

$$K_q = \frac{\Delta P}{\Delta\delta_{qi}^{3/2}}.$$

Результаты расчета по измеренным данным для наружного кольца представлены на рис. 2 ( $n$  — номер точки измерения). Видно, что значения  $K$  в зависимости от точки на беговой дорожке кольца изменяются в широком диапазоне. Амплитуды гармоник спектрального разложения отклонений конструктивного параметра  $K$  от его среднего значения для наружного кольца представлены на рис. 3 ( $N$  — номер гармоники).

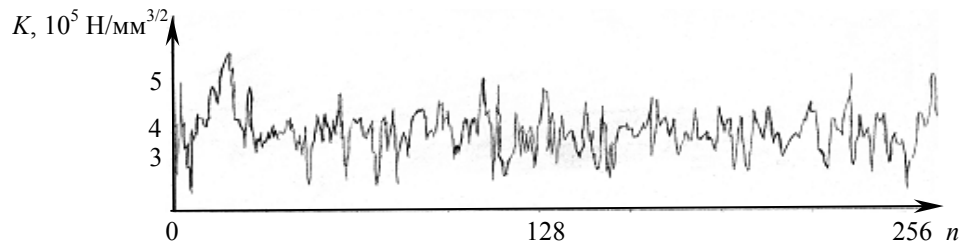


Рис. 2

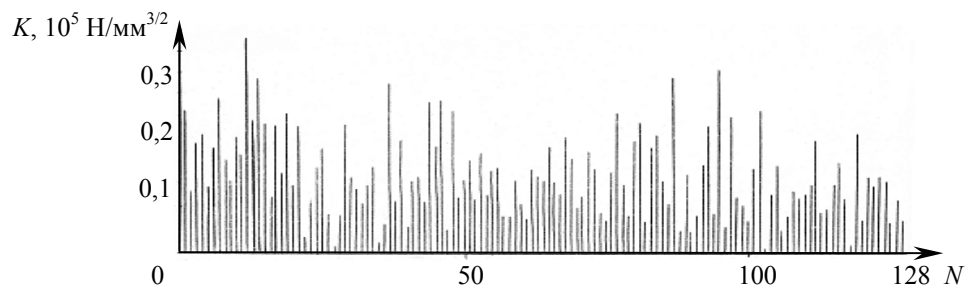


Рис. 3

Дополнительные спектральные составляющие вынуждающих сил, обусловленные технологическими погрешностями изготовления и сборки шарикоподшипников, с учетом неоднородности физико-механических свойств материала имеют широкий диапазон, они представлены в работе [3].

Анализ показывает, что неоднородность физико-механических свойств материала подшипника в значительной степени влияет на его виброактивность. Учет фактора неоднородности материала элементов подшипника позволяет объяснить многие спектральные составляющие вибрации, которые до сих пор не находили своего подтверждения, и более точно оценивать ресурс работы электромеханических устройств, в состав которых входят шарикоподшипники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приборные шариковые подшипники. Справочник / Л. К. Волков, Г. А. Веркович, В. А. Голубков и др. М.: Машиностроение, 1981. 351 с.
2. Эльперин А. И. и др. Диагностирование динамики систем трения. СПб: Наука, 1998. 142 с.
3. Ефимов А. А., Голубков В. А., Голубков А. В. Гармонический анализ сил, вынуждающих вибрацию в опорах качения // Сб. докл. „Завалишинские чтения“. СПб: ГУАП, 2007. С. 51—54.

#### Сведения об авторах

- Виктор Александрович Голубков** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра электротехники и технической диагностики; E-mail: viktor-golubkov@yandex.ru
- Александр Викторович Голубков** — Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра электротехники и технической диагностики; ассистент; E-mail: kaerulus2@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
электротехники и технической диагностики

Поступила в редакцию  
29.12.09 г.