

УДК 621. 9

А.В. Королев, д.т.н., проф., **А.А. Королев**, **Л.С. Рыжкина**, студентка,
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А.
Гагарина

Моделирование процесса формообразования поверхности вращения наклонным к оси вращения тороидальным инструментом

В статье рассматриваются вопросы моделирования процесса формообразования поверхности вращения наклонным к оси вращения тороидальным инструментом на примере шлифования колец шарикоподшипников.

Ключевые слова: формообразование, шлифование наклонным кругом, шарикоподшипник.

A.V. Korolev, A.A. Korolev, L.S. Ryzhkina

Simulation of the Process of Shaping the Surface of Rotation Inclined to the Axis of Rotation of the Toroidal Tool

The article deals with the modeling process of shaping the surface of rotation inclined to the axis of rotation of the tool on the example of the toroidal ring grinding ball.

Keywords: shaping, grinding inclined circle bearing.

Повышение долговечности и эксплуатационных свойств подшипников является важнейшей задачей современного машиностроения. Не секрет, что наиболее значимым фактором, влияющим на долговечность механизма, является взаимодействие рабочих поверхностей – тел и дорожек качения.

Обеспечение рациональной геометрической формы рабочих поверхностей упруго контактирующих деталей позволяет повысить эксплуатационные свойства подшипников и значительно улучшить параметры упругого контакта тел качения.

Современные способы шлифования и доводки поверхностей вращения подходят в основном для обработки и получения поверхностей деталей относительно простой геометрической формы с круговым или прямолинейным профилем. Для изготовления деталей типа колец шариковых подшипников сложного профиля самым простым и приемлемым является способ врезного шлифования с правкой шлифовального круга алмазным роликом. Недостатком такого метода является дороговизна алмазных роликов. Применение их для правки шлифовальных кругов экономически оправдывает себя лишь в массовом

производстве. Однако в настоящее время подшипники высокой точности и долговечности производятся в основном небольшими партиями.

Способ шлифования поверхностей деталей типа колец подшипников шлифовальным кругом с осью вращения скрещивающейся с осью заготовки или, по-другому - шлифование наклонным кругом, открывает большие возможности для получения различных поверхностей вращения сложного профиля.

При таком способе шлифования инструмент устанавливается под углом к оси вращения заготовки. Рабочая поверхность инструмента имеет тороидальную форму с радиусом профиля r . Перед началом обработки шлифовальный круг подвергается правке алмазным карандашом. В ходе обработки инструмент вращается вокруг своей оси и смещается в радиальном направлении к вращающейся вокруг своей же оси заготовке. Врезаясь в заготовку инструмент снимает припуск и образует на поверхности заготовки сложную форму с определенными геометрическими параметрами.

Уравнение рабочей поверхности тороидального шлифовального инструмента, ось вращения которого параллельна оси вращения заготовки имеет вид:

$$(\sqrt{(x - A)^2 + z^2} - R + r)^2 + y^2 = r^2$$

Где x, y, z – координаты любой окружности круга в выбранной системе координат $XOYZ$;

A – расстояние между осями шлифовального инструмента и заготовки;

R – радиус инструмента;

r – радиус рабочей поверхности инструмента.

При повороте тороидального инструмента на угол α возникает система координат $XOY'Z'$. В результате преобразований, с учетом взаимосвязи двух систем координат уравнение рабочей поверхности шлифовального круга имеет вид:

$$F = (x - A)^2 + y^2 + z^2 + R_0^2 - 2R_0\sqrt{(x - A)^2 + (y\sin\alpha + z\cos\alpha)^2} - r^2 = 0$$

где $R_0 = R - r$

При определении координат точек контакта круга в каждом из сечений плоскостью ZOX ($y = \text{const}$) с получаемой при обработке поверхностью заготовки вводится полярная система координат:

$$\begin{cases} x = \rho \cos \varphi \\ y = \rho \sin \varphi \end{cases}$$

После преобразований мы имеем систему уравнений относительно ρ и φ :

$$\rho^2 - 2A\rho\cos\varphi + y^2 + A^2 + R^2 - 2Rr - 2(R-r)\sqrt{(\rho\cos\varphi - A)^2 + (y\sin\alpha + \rho\sin\varphi\cos\alpha)^2} = 0$$

$$\begin{aligned} &\rho^2 \operatorname{tg}\varphi - 2\sin\varphi \left(A - \frac{(R-r)^2}{A} \sin^2\alpha \right) \rho \\ &+ (A^2 + y^2 + R^2 - 2Rr - 2(R-r)^2) \operatorname{tg}\varphi \\ &- 2y \sin\alpha \cos\alpha \frac{(R-r)^2}{A} = 0 \end{aligned}$$

Из системы можно определить ρ и φ , а затем вычислить координаты точки взаимодействия шлифовального инструмента с заготовкой при заданных значениях A , R , r , α в плоскости ZOX . Проходя через точку с координатами $(x;y)$ заготовка описывает в заданном сечении окружность радиуса $\rho^2 = \sqrt{x^2 + y^2}$. Т.е. точки $(\rho;y)$ образуют профиль заготовки.

Очевидно, что при разных значениях A , R , r , α будут меняться координаты точки $(x;y)$.

Таким образом, можно сделать вывод, что изменение угла наклона шлифовального инструмента относительно оси заготовки позволяет получить и проконтролировать сложную геометрическую форму профиля поверхности вращения на изготавливаемой детали.

После построения математической модели процесса формообразования поверхностей вращения наклонным тороидальным инструментом были проведены эксперименты в ходе которых были подтверждены полученные ранее показатели данного способа обработки:

- профиль дорожки качения, полученный шлифованием наклонным кругом, обеспечивает более близкий контакт дорожки и шарика в начальной точке контакта, что увеличивает несущую способность контакта;

- профиль получается как бы «разваленным» на некотором удалении от начальной точки контакта, что ограничивает размер площадки контакта и уменьшает трение в подшипнике;

- шлифование наклонным инструментом позволяет регулировать размер площадки контакта, в результате чего уменьшается трение в подшипнике и соответственно повышается его работоспособность;

- при снижении размера площадки контакта одновременно снижается уровень контактных напряжений в центре площадки контакта – в 1,25 раз при угле наклона инструмента 20° , что увеличивает работоспособность подшипника в 9 раз;

- долговечность подшипников, изготовленных наклонным инструментом повышается в 2-2,5 раза, быстроходность более чем в 2 раза, момент трения снижается на 36%, волнистость уменьшается на 11ДБ.

Список литературы

1. **Королев А.В., Королев А.А.** Патент № 2000916 РФ. МПК В24В19/06 Способ обработки фасонных поверхностей / заявитель и патентообладатель Королев А.В., Королев А.А.// Б.И. – 1993. № 37.

2. **Королев А.А.** Математическое моделирование упругих тел сложной формы. – Саратов: СГТУ. – 2001. – С. 128.