

УДК 621.923

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОФИЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ КОЛЬЦА ПОДШИПНИКА

© 2016 О.В. Родионова

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

В статье приведены результаты компьютерного моделирования процесса шлифования дорожки качения кольца подшипника на жестких опорах в программном пакете ANSYS. С целью оптимизации установлено влияние величины остаточных напряжений на отклонение от круглости профиля дорожки качения кольца подшипника, а так же выполнен расчёт оптимальных режимов резания. *Ключевые слова:* компьютерное моделирование, процесс шлифования, программный пакет ANSYS, остаточные напряжения, отклонение от круглости профиля.

Поверхность при профильном шлифовании образуется в результате одновременного действия геометрических факторов и пластических деформаций, сопровождающих процесс шлифования, который представляет собой сумму процессов микрорезания отдельных зерен абразива, скрепленных между собой связкой в режущий инструмент. Основная механическая характеристика процесса – сила, которую можно разложить на две составляющие P_y и P_z . Под действием сил резания происходит упругопластическая деформация поверхностных слоев обрабатываемого материала, которая приводит к изменению формы зерен и их ориентации, образованию текстуры, появлению остаточных напряжений, развитию межкристаллических повреждений, изменениям физических и механических свойств поверхностного слоя и появлению наклепа. В связи с тем, что операция шлифования выполняется на заключительной стадии процесса изготовления колец подшипников, то от того, какие при этом возникнут остаточные напряжения, зависит пространственная геометрическая точность изделия, а также его эксплуатационные свойства.

Для теоретических исследований влияния остаточных напряжений на параметры качества обработанной поверхности, при профильном шлифовании дорожки качения колец подшипников, использовались компьютерные технологии – программный пакет ANSYS, основанный на методе конечных элементов. Для данных целей была создана математическая модель процесса шлифования, в которой взаимодействие шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью было заменено на возникающие при этом силы резания (рис. 1). На схеме показаны силы резания, угол α – настраиваемый угол между опорой и горизонтальной осью кольца ($5 - 20^\circ$), угол β – фиксированный угол между опорами и схема базирования.

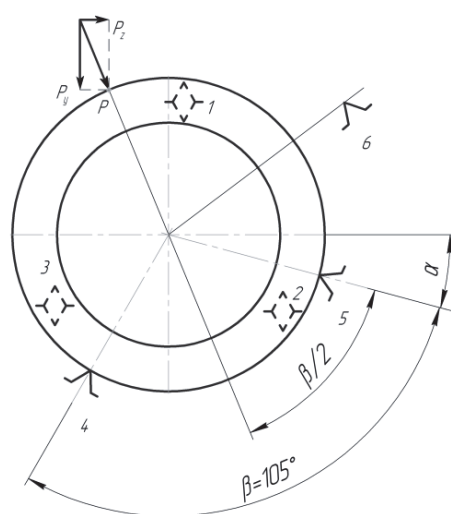


Рис. 1. Схема нагружения дорожки качения внутреннего кольца подшипника при шлифовании

На основании математической модели процесса шлифования дорожки качения колец подшипников была построена конечно-элементная модель (рис. 2).

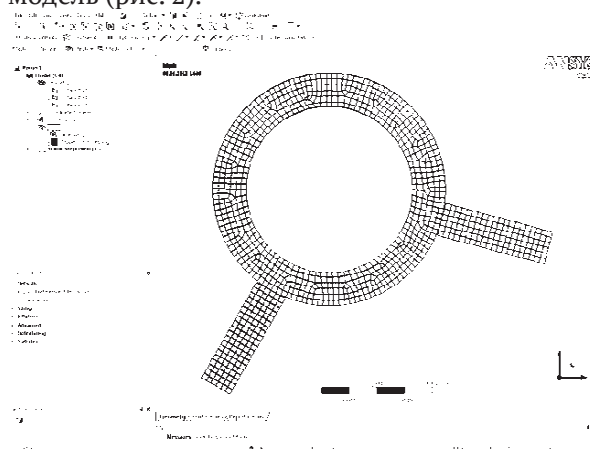


Рис. 2. Конечно-элементная модель в программном пакете ANSYS

Решались две задачи по определению деформаций при профильном шлифовании дорожки

Родионова Ольга Владимировна, аспирант кафедры «Технология машиностроения». E-mail: ov_rodionova@mail.ru

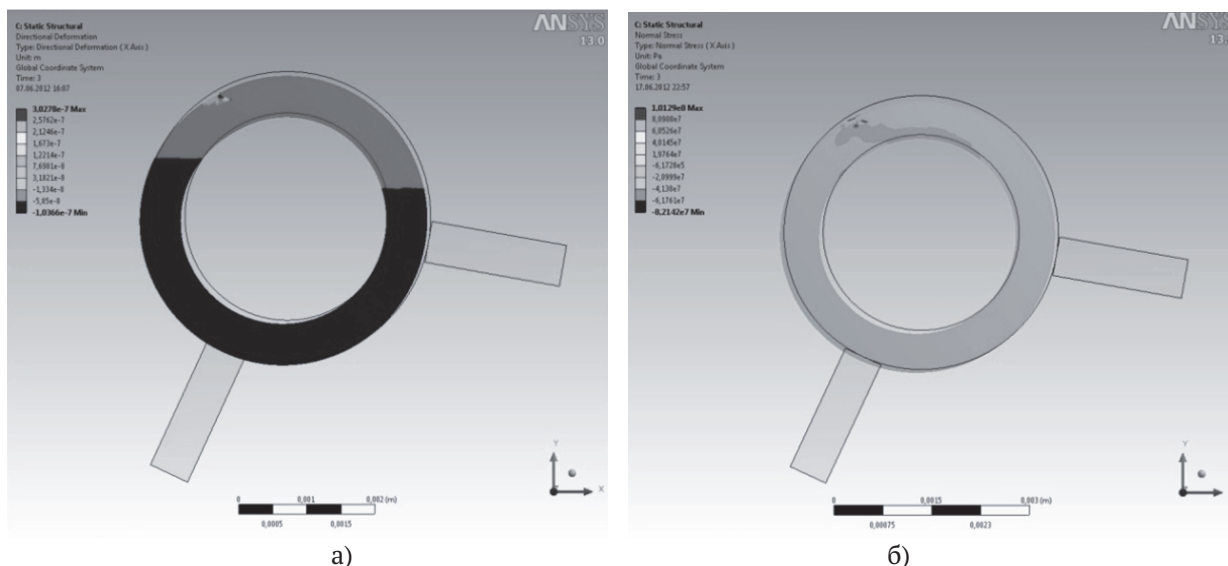


Рис. 3. Изолинии радиальных перемещений по оси X при угле $\alpha=10^\circ$, черновые режимы шлифования (а); изолинии остаточных напряжений при угле $\alpha=10^\circ$, черновые режимы шлифования (б)

качения внутреннего кольца подшипника. Решение первой задачи заключалось в наложении силовой нагрузки на обрабатываемую поверхность при разных вариантах положения жестких опор (угол α может быть равен 5, 10, 15 и 20°). В результате решения были получены изолинии радиальных перемещений по оси X и изолинии остаточных напряжений для каждого из вариантов положения опор при черновых и чистовых режимах шлифования (рис. 3).

Решение второй задачи заключалось в наложении силовой нагрузки на обрабатываемую поверхность для различных поперечных подач равных $S_2=0.15;0.3;0.45,0,6$ мм/мин для каждого из вариантов положения жестких опор. В результате решения были также получены изолинии радиальных перемещений по оси X и изолинии остаточных напряжений. Таким образом, в результате действия сил резания в поверхностном слое образовывается остаточное напряженное поле, которое не является равномерным, что приводит к короблению заготовки в радиальном направлении.

Теоретические исследования показали, что с увеличением угла α остаточные напряжения сжатия также увеличиваются, при этом повышение врезной подачи приводит к увеличению остаточных напряжений. Суммарные напряжения от действия сил резания составляют 60 - 180 МПа.

Полученные остаточные напряжения и соответственно деформации на кольце подшипника оказывают влияние на отклонение формы дорожки качения в радиальном направлении. В производственных условиях данные отклонения исследуются на приборе «Talyrond» при определении некруглости заготовки.

По результатам теоретических исследований, выполненных в программном пакете ANSYS, построены графики зависимости величины оста-



Рис. 4. Влияние величины остаточных напряжений от положения жестких опор

точных напряжений от положения жестких опор и значения поперечной подачи, а также графики зависимости величины отклонения от круглости профиля дорожки качения от положения жестких опор и значения поперечной подачи (рис. 4).

Практическими исследованиями установлено, что увеличение врезной подачи при шлифовании приводит к увеличению отклонения от круглости профиля дорожки качения, а значит и к увеличению деформации упругой системы. Поэтому для достижения оптимальных условий процесса шлифования дорожки качения, т. е. соотношения величин напряжений и отклонений от круглости, следует применять наладку жестких опор при угле $\alpha=10-15^\circ$ (рис. 5). Таким образом, в результате моделирования процесса шлифования дорожки качения внутренних колец подшипников в программном комплексе ANSYS было выявлено, что большое влияние на остаточные

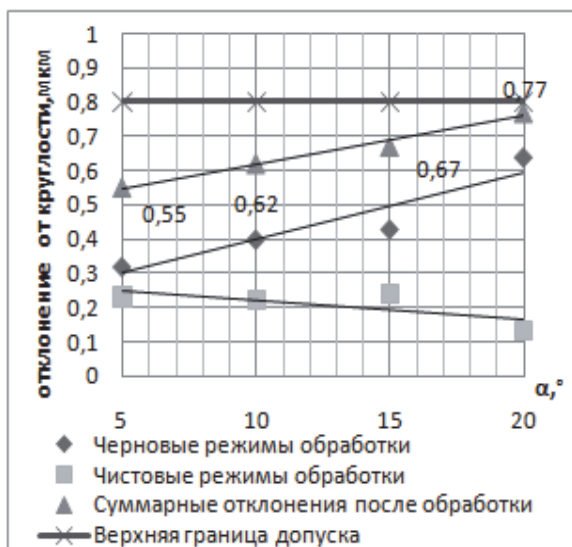


Рис. 5. Влияние режимов шлифования и угла α на величину отклонения от круглости профиля дорожки качения подшипника при шлифовании на жестких опорах

напряжения оказывают режимы шлифования и положения жестких опор (поперечная подача, скорость вращения детали).

С целью оптимизации производительности процесса врезного шлифования выполнен расчёт оптимальных режимов резания. Расчёт производился для режимов чернового шлифования внутреннего кольца подшипника №20000083, оборудование-Bryant 1-M, частота вращения шпинделя: $n_k=1750\dots1850$ об/мин; коэффициент полезного действия: $\eta=0,8$; размеры шлифовального круга: $D_k=355$ мм, $B_k=16$ мм; характеристики шлифовального круга для черновой обработки – 24АМ40СТ1К. Обработка сравнивалась с применением масляных и водных СОЖ. В процессе обработки шлифовальный круг периодически правился (через 20 колец). Режимы правки круга: поперечная подача $S_{поп}=0,015$ мм/дв.ход, продольная подача $S_{пр}=0,02$ мм/об, минутная подача $S_{мин}=S_{пр} \cdot n_{опт}=37$ мм/мин, алмаз в оправе $\alpha=900$, время правки $\tau=15$ с.

Ограничение 1.

Связано с предельно допустимой шероховатостью обрабатываемой поверхности дорожки качения подшипника

$$V_1^{y_a} \cdot S_2^{z_a} \leq \frac{R_a \cdot V_k^{x_a} \cdot d^\mu}{C_a \cdot B_k^{u_a} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}, \quad (1)$$

где $R_a=0,08$ мкм, $V_k=42$ м/с, $d=4,8$, $\mu=0,2$, $C_a=0,1$, $B_k=1$ мм, $x_a=0,9$, $y_a=0,7$, $z_a=0,45$, $K_2=1,8$, $K_3=1,4$, $K_4=1$, при шлифовании на масляной СОЖ, $K_1=1,4$, при шлифовании на водной СОЖ, $K_1=1,0$

Ограничение 2.

Связано с деформацией технологической системы, ее влиянием на фактический съём металла и погрешность обработки.

$$V_1^r \cdot S_2^y \leq \frac{\mu_U \cdot E \cdot I \cdot [f_{MAX}] \cdot V_K}{1020 \cdot C_N \cdot l_3^3 \cdot B_3 \cdot d_3^q \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7}, \quad (2)$$

где $\mu_U=0,6$, $E=200000000$ МПа, $I=12,8$ мм⁴, $[f_{MAX}]=0,0015$ мм, $V_k=42$ м/с, $C_N=0,14$, $l_3=1,2$ мм, $B_3=1,2$ мм, $d_3=4$ мм, $K_4=4,5$, $K_5=1$, $K_6=0,8$, $K_7=1,1$, $r=0,8$, $y=0,7$, $q=0,2$, при шлифовании на масляной СОЖ, $K_7=0,88$, при шлифовании на водной СОЖ, $K_7=1,1$.

Ограничение 3.

Связано с допустимым уровнем температуры шлифования Θ_{max} , влияющим на структурные и фазовые изменения в обрабатываемом материале, а в ряде случаев приводящим к возникновению прижогов и микротрещин

$$V_1^{(r-0,5)} \cdot S_2^{(x-0,25)} \leq \frac{\Theta_{KP} \cdot \lambda_M \cdot d_3^{(0,25-q)} \cdot (d_3 + D_k)^{0,25}}{943 \cdot a_M^{0,5} \cdot D_k^{0,25} \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot B_3^z}, \quad (3)$$

где $\Theta_{KP}=750$ °С, $\lambda_M=0,14$, $d_3=4$, $q=0,2$, $d_3=4$, $D_k=355$ мм, $a_M=0,065$, $K_6=0,8$, $K_7=1,1$, $B_3=1$, $z=1,2$, $r=0,8$ (1.4), $x=0,55$, при шлифовании на водных СОЖ $K_5=1,3$, при шлифовании на масляной СОЖ $K_5=1$.

Построим математическую модель процесса шлифования с масляной СОЖ без выхаживания.

Определим оптимальные режимы врезного шлифования дорожки качения внутренних колец подшипников из ШХ15 для гарантированного обеспечения шероховатости поверхности $Ra=0,08$ мкм.

Решением данной математической модели является точка пересечения, связывающая ограничения по шероховатости и точности, т.е. $X_{1опт}=1,5$, $X_{2опт}=9,5$. Тогда $V_{1онм} = e^{x_{1онм}} = e^{3,5} = 33,45$ м/мин, $n_{1опт} = 450$ об/мин,

$$S_{2онм} = \frac{e^{x_{2онм}}}{1000} = \frac{e^6}{1000} = 0,4 \text{ мм/мин. } 0,0008$$

13,3 мм/мин, $S_{20пт} = 0,03$ мм/об.

Определим время обработки при снятие припуска 0,3 мм,

$$\tau = 0,3 \times 60 / (450 \times 0,0008) = 50 \text{ с.}$$

Для $Ra=0,12$ мкм $V_{1онм} = e^{x_{1онм}} = e^{3,7} = 40$ м/мин. $n_{1опт} = 4000$ об/мин,

$$S_{2онм} = \frac{e^{x_{2онм}}}{1000} = \frac{e^{6,5}}{1000} = 0,66 \text{ мм/мин или}$$

0,000165 мм/обор. $\tau = 0,3 \times 60 / (4000 \times 0,000165) = 27$ с.

Для $Ra=0,16$ мкм

$V_{1онм} = e^{x_{1онм}} = e^{3,9} = 49$ м/мин. $n_{1опт} = 4900$ об/мин,

$$S_{2онм} = \frac{e^{x_{2онм}}}{1000} = \frac{e^7}{1000} = 1,1 \text{ мм/мин. } 0,00022$$

мм/обор. $\tau = 0,3 \times 60 / (4900 \times 0,00022) = 16,7$ с.

при $Ra=0,08$ мкм

$V_{1онм} = e^{x_{1онм}} = e^{3,3} = 27$ м/мин. 2700 об/мин.

$$S_{2онм} = \frac{e^{x_{2онм}}}{1000} = \frac{e^7}{1000} = 1,09 \text{ мм/мин. } 0,0004$$

мм/обор. $\tau = 0,3 \times 60 / (2700 \times 0,0004) = 16,7$ с.

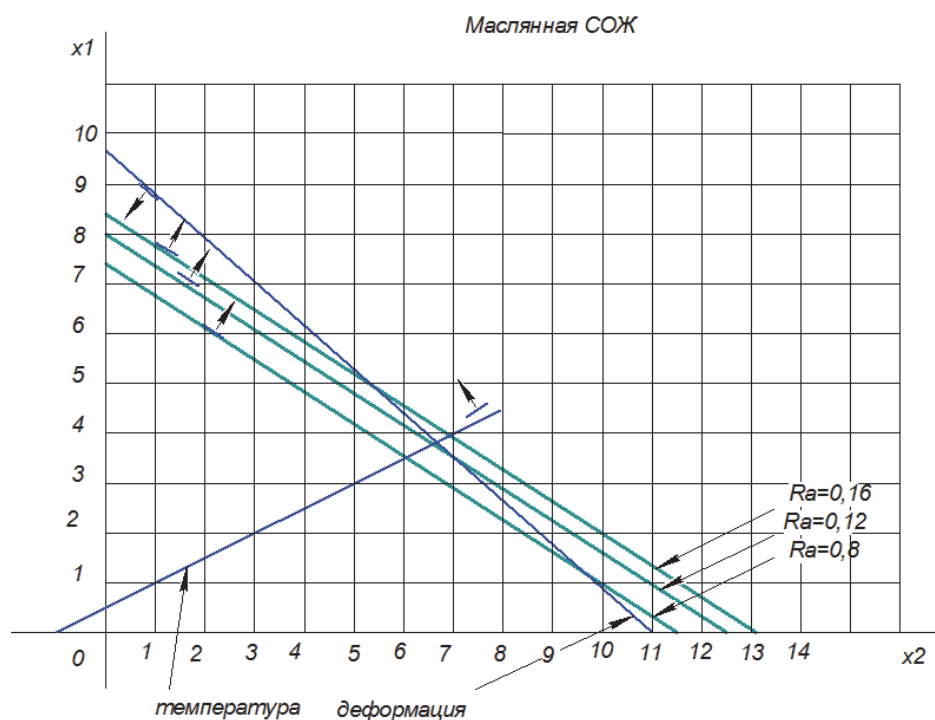


Рис. 6. Математическая модель процесса шлифования дорожки качения с применением масляной СОЖ

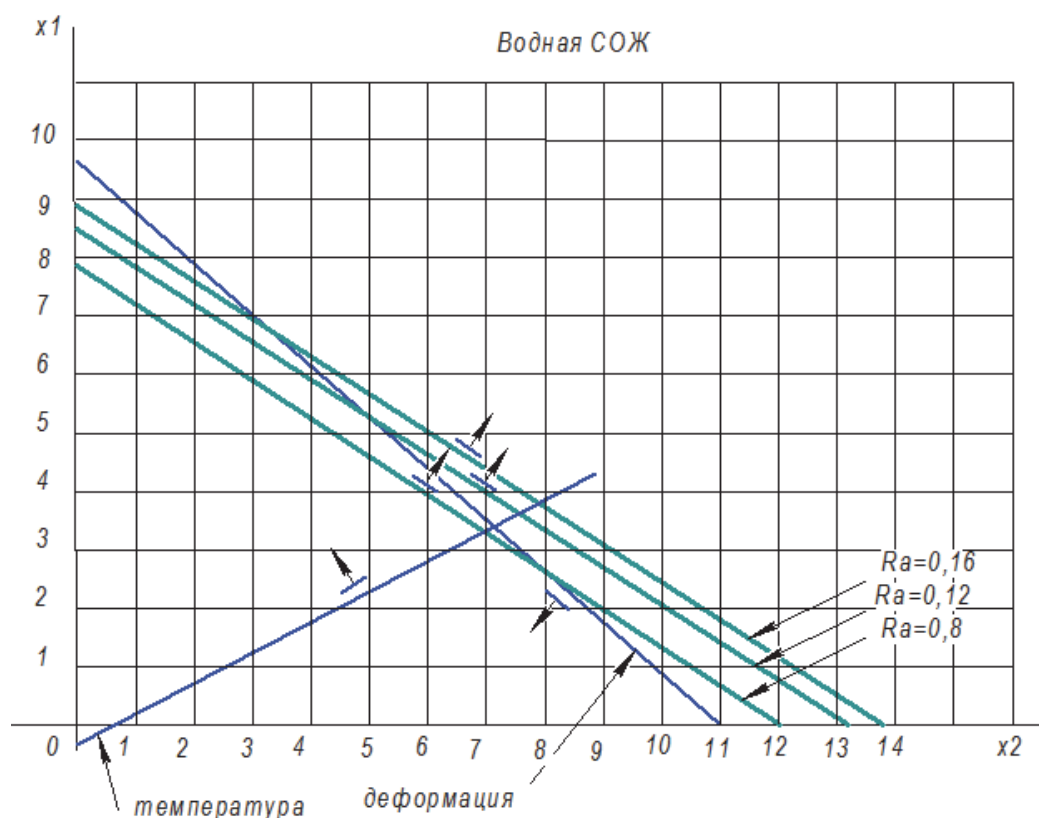


Рис. 7. Математическая модель процесса шлифования дорожки качения с применением водных СОЖ

при Ra= 0,12 мкм

$$V_{1onm} = e^{x1onm} = e^{3,6} = 36 \text{ м/мин. } 3600$$

$$S_{2onm} = \frac{e^{x2onm}}{1000} = \frac{e^{7,5}}{1000} = 1,8 \text{ мм/мин. } 0.0005$$

$$\tau = 0.3 \times 60 / (3600 \times 0.0005) = 10 \text{ с.}$$

при Ra= 0,16 мкм

$$V_{1onm} = e^{x1onm} = e^{3,8} = 44 \text{ м/мин. } 4400$$

$$S_{2onm} = \frac{e^{x2onm}}{1000} = \frac{e^{7,9}}{1000} = 2,6 \text{ мм/мин. } 0.0006$$

$$\tau = 0.3 \times 60 / (4400 \times 0.0006) = 6.8 \text{ с.}$$

Таблица 1. Сравнительные данные

Вид СОЖ	Шероховатость Ra, мкм		
	0,08	0,12	0,16
Масляная	50	27	16,9
Водная	16,7	10	6,8

В таблице приведены сравнительные данные по оптимизации поперечной подачи и трудоемкости в секундах при разных СОЖ и параметрах шероховатости поверхности.

Из приведенных данных видно, что применение водных СОЖ повышает производительность процесса в 2,5-3,0 раза при сохранении требуемых параметров шероховатости и отклонения от круглости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник [под ред. А.Н. Резникова]. М.: Машиностроение, 1977. С. 391.
2. Точность обработки при шлифовании / Э.Ф. Кана-нец, К.К. Кузьмич, В.И. Прибыльский, Г.В. Тилигузов. Мн.: Наука и техника, 1987. С. 152.
3. Носов Н.В. Абразивная обработка деталей инструментами из СВС-материалов: Научное издание. Самара: Самарский государственный технический университет, 2005. С. 362.
4. Родионов В.А., Носов Н.В., Родионова О.В. Моделирование деформаций, возникающих при шлифовании дорожки качения кольца приборного подшипника// Матер. науч.-техн. интернет-конф. с международным участием «Высокие технологии в машиностроении». Самара: СамГТУ, 2011. С. 112-113.
5. Родионов В.А., Родионова О.В. Исследование процесса шлифования приборных подшипников// Матер. науч.-техн. интернет-конф. с международным участием «Высокие технологии в машиностроении». Самара: СамГТУ, 2013. С. 52-55.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF PROFILE GRINDING OF A BEARING RING

© 2016 O.V. Rodionova

Samara State Technical University

The article presents the results of computer simulation of the process of grinding of the raceways of the bearing rings on the rigid support in the software package ANSYS. To optimize the effect of residual stresses on deviation from roundness of the profile of the raceway rings of the bearing, as well as the calculation of optimum cutting conditions.

Keywords: computer simulation, the grinding process, the software package ANSYS, residual stresses, the deviation from roundness of the profile.