

УДК 621.923.46

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РОЛИКОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

© 2014 Н.В. Носов, Л.Н. Михайлова

Самарский государственный технический университет

Рассмотрены методы шлифования сферических торцов конических роликов торцом и периферией круга. Показаны пути повышения точности сферического торца при обработке периферией шлифовального круга, заправленного по радиусу, и обеспечения качества поверхности, связанной с неравномерным износом круга. Установлено, что повышение эффективности шлифования сферических поверхностей ролика осуществляется путём снижения случайной и систематической составляющей погрешности обработки. Представлены результаты шлифования корригированным радиусом обработки и устройства для непрерывного шлифования сферических торцов роликов. Исследована структура поверхностей сферических торцов роликов с помощью оптико-электронного комплекса, способного уменьшить влияние кривизны исследуемой поверхности на её изображение. Рассмотрен алгоритм использования бинаризации исходного полутонового изображения для анализа структуры обработанной поверхности, обеспечивающий обработку и вывод результатов на экран монитора ПЭВМ. Приведены бинарные изображения структуры поверхностей сферических торцов роликов с различной шероховатостью. Выполнены исследования влияния средней амплитуды колебания автокорреляционной функции от шероховатости поверхности. Показаны связи шероховатости профиля поверхности с параметрами автокорреляционной функции. Определены оптимальные параметры структуры поверхности, амплитуды автокорреляционной функции и математическое ожидание, которые будут обеспечивать повышение эксплуатационных свойств контактных поверхностей.

*Шлифование сферических торцов, роликов, конических подшипников.*

Для успешной работы подшипникового узла необходимо, чтобы величина момента трения была минимальной и находилась в узких пределах. Момент трения имеет наименьшее и стабильное значение при полном прилегании роликов к опорному борту. Характер контакта торца ролика с опорным бортом может быть различным в зависимости от соотношения конструктивных параметров и внутренней геометрии конического роликоподшипника. Ролики со сферическим торцом имеют минимальные контактные напряжения и максимальное сопротивление перекоосу. Наилучшие результаты даёт сопряжение сферического торца ролика и сферического борта внутреннего кольца.

Даже при неточном изготовлении контактирующих сферических поверхностей площадь их контакта будет больше, чем при других сопряжениях. Погрешности сферических контактирующих поверхностей существенно влияют на кинематику подшипника, а также на уровень вибрации и шума.

Для повышения надёжности работы подшипника необходимо при определении радиуса сферы торца ролика обеспечить условие, при котором контактная площадка располагается в середине опорного борта внутреннего кольца. Это зависит как от точности, так и структуры обработанной сферической поверхности.

Форма рабочей поверхности инструмента, взаимное расположение детали с инструментом, характер подачи, вид базирования и количество одновременно обрабатываемых деталей определяют метод обработки сферических торцов роликов и их технологические возможности.

Существуют следующие методы шлифования сферических торцов роликов: врезное шлифование торцом и периферией круга и сквозное шлифование торцом и периферией круга (рис.1).

Недостатком врезного шлифования (рис.1а, б), как торцом, так и периферией круга являются высокие требования, предъявляемые к обеспечению точности устройства для правки круга. При сквоз-

ном шлифовании торцом чашечного круга (рис.1в) можно осуществлять предварительную обработку сферического торца ролика.

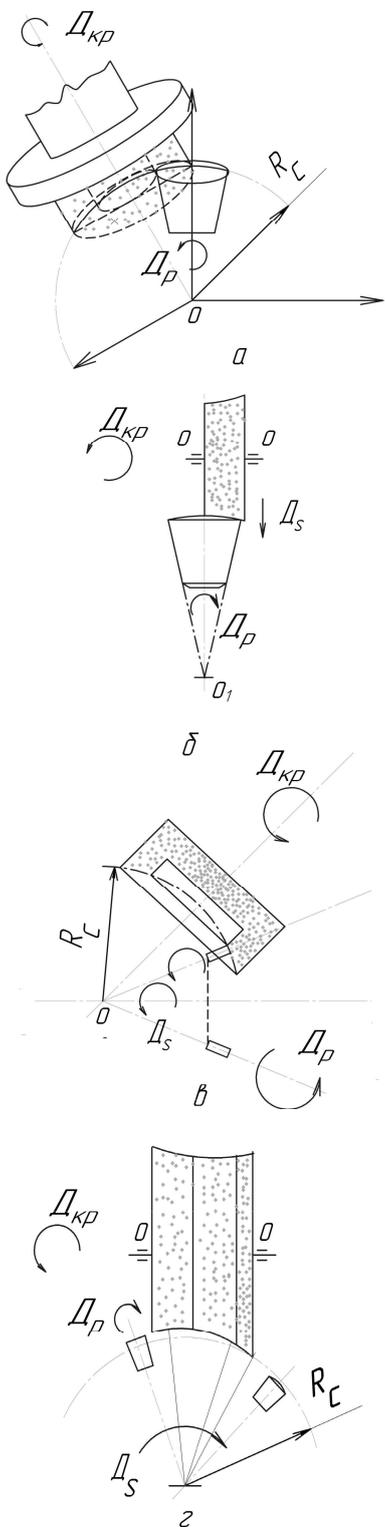


Рис.1. Методы шлифования сферических торцов конических роликов:  
 а – врезной торцом круга, б – врезной периферией круга, в – сквозной торцом круга, г – сквозной периферией круга

Наибольшее распространение получил метод сквозного или непрерывного шлифования периферией круга.

При данном методе шлифования обрабатываемая деталь имеет два вращательных движения: вокруг собственной геометрической оси и оси круговой подачи. Третьим движением является вращение шлифовального круга. В отличие от врезного шлифования форма образующей круга не копируется на изделии.

В работе [1] рассмотрено образование погрешности формы сферического торца конического ролика при непрерывном шлифовании поверхностью периферии круга, заправленного по радиусу (рис.1г), равному радиусу сферической поверхности торца ролика.

Для повышения точности обработки предлагались: дополнительная операция суперфиниширования, исправляющая погрешность сферы торца ролика; введение увеличенных размеров диаметра большого основания и угла конуса заготовки ролика для обработки радиусом, меньшим заданного на величину допускаемого отклонения, дополнительная операция для исправления диаметра большого основания и угла конуса при шлифовании образующей конуса роликов.

Для повышения точности сферического торца ролики обрабатывались периферией шлифовального круга, заправленного радиусом с учётом коррекции на величину возникающей погрешности.

Результаты исследований шлифования сферического торца роликов с корригированным радиусом обработки, определяемым по предлагаемой зависимости в работе [1], показали, что осуществлено повышение точности сферических торцов роликов путём снижения погрешности обработки.

Наряду с радиусом сферы торца при производстве роликов малозумных подшипников имеется трудность в обеспечении качества сферической поверхности, связанной с износом шлифовального круга. Вследствие периодического воздействия роликов на круг при их заходе в рабо-

чую зону, происходит неравномерный износ, который приводит к образованию волнообразного профиля периферии круга на глубину до 0,2 мм с шагом, близким к угловому шагу расположения гнёзд сепаратора.

Причиной образования волн является периодическая нагрузка, приходящаяся на одни и те же участки образующей круга, из-за пульсации силы резания при заходе с постоянным шагом роликов в рабочую зону.

Для повышения качества сферической поверхности использовалась конструкция устройства для непрерывного шлифования сферических торцов роликов с переменным шагом расположения гнёзд сепаратора, методика расчёта которых изложена в работе [2].

Исследование влияния износа шлифовального круга на качество сферических торцов роликов проводилось при равномерном и неравномерном расположении гнёзд сепаратора и, следовательно, деталей в зоне обработки.

Установлено, что при конструкции сепаратора с равномерным шагом гнёзд в межправочный период торцовое биение увеличивается в два-три раза, шероховатость поверхности имеет разброс  $Ra = 0,2 - 0,6$  мкм, огранка у 30% роликов была выше нормы.

При шлифовании с использованием конструкции устройства для непрерывного шлифования сферических торцов роликов 6-7705У с переменным шагом расположения гнёзд сепаратора в течение четырёх часов работы станка волнистость и огранка поверхности находились в допустимых пределах, а торцовое биение снизилось до 2,5...3,8 мкм.

При дальнейших исследованиях было проверено, как изменяется торцовое биение, огранка и шероховатость в начале и в конце межправочного периода при использовании скорректированного радиуса обработки и конструкции с переменным шагом гнёзд сепаратора.

Результаты показали, что процесс стабилизировался: параметры торцового

биения в конце межправочного периода были в допустимых пределах значений до 5 мкм, шероховатость обработанной поверхности имела  $Ra < 0,16$  мкм, особенно улучшилось качество по огранке – не менее 98% роликов соответствовали значениям до 4 мкм.

Особое внимание уделялось в работе анализу структуры сферической поверхности торца ролика, которая является комплексной величиной и определяет условия контакта двух сферических поверхностей. Параметры исследовательского оптико-электронного комплекса были настроены таким образом, чтобы уменьшить влияние кривизны исследуемой поверхности на её изображение в фокальной плоскости оптической системы. В данном случае участок анализируемой поверхности имел размер  $1,2 \times 1$  мм, а формат записываемого в память компьютера изображения составлял  $720 \times 576$  пикселей. Кроме того, при направлении опорного светового потока перпендикулярно направлению поверхности, из-за её сильной кривизны в фокальной плоскости оптической системы, наблюдается либо очень сильное светлое пятно при небольших углах падения светового потока ( $\alpha = 0^\circ - 15^\circ$ ), либо появление тени от кромки ролика при больших углах падения потока ( $\alpha > 15^\circ$ ). В связи с выявленными особенностями, опорный световой поток при исследовании структуры сферической поверхности был направлен под углом  $\alpha = 70^\circ$  (рис. 2).

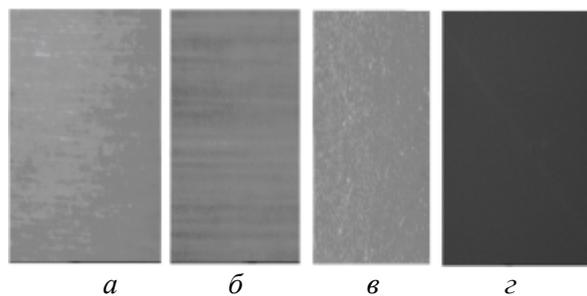


Рис. 2. Изображения поверхностей сферических торцов роликов из стали ШХ – 15 при формате кадра  $720 \times 576$  пикселей: а-  $Ra=0,13$  мкм, б-  $Ra=0,084$  мкм, в-  $Ra=0,048$  мкм, г-  $Ra=0,025$  мкм

Полученные изображения нельзя идентифицировать и поэтому разработана

специальная программа по анализу структуры поверхностей [3]. Отметим, что в настоящее время не существует формального способа выбора вида предварительной обработки и типа критериальной функции. В связи с этим синтез квазиоптимальных корреляционных алгоритмов производится эвристически. На основе проведенного анализа для построения двумерных автокорреляционных функций были выбраны парные критериальные функции, которые предполагают обработку изображений в цифровой форме с числом уровней квантования два и более.

С помощью метода парных критериальных функций может быть получено несколько корреляционно – экстремальных алгоритмов. При исследовании был выбран алгоритм, построенный с использованием парной критериальной функции, в виде:

$$R_r(\Delta) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{2^{n-1}} F_{ii}(\Delta),$$

где  $R_r(\Delta)$  - отклонение парной критериальной функции;

$N$  – количество сравниваемых элементов в эталонном изображении размером  $n_1 \times n_2$  и текущем изображении с шагом в 1 пиксель;

$F_{ii}(\Delta)$  – площадь изображения по координатам в пикселях.

Для анализа структуры поверхности проводилась бинаризация исходного полутонового изображения по следующему алгоритму.

Всё исходное изображение исследуемой поверхности разбивалось на независимые квадратные фрагменты (окна) и в каждом окне подсчитывался средний уровень яркости видеосигнала  $B_T(x, y)$ . Этот средний уровень и являлся порогом бинарного преобразования для яркости пикселей в данном окне, то есть скользящим порогом.

В выделенном окне преобразовывался каждый пиксель, а перемещение окна по преобразуемому изображению осуществлялся с шагом, определяемым

размерами окна. Отмеченное преобразование использует все три вида фильтрации изображения, то есть каузальную, некаузальную и полукаузальную фильтрации.

В результате сравнения каждого байта  $B_i(x, y)$  с пороговым значением  $B_T(x, y)$  ему придавалось новое значение по правилу:  $B_i(x, y) = 0FFH$ , если  $B_i(x, y) \geq B_T(x, y)$  и  $B_i(x, y) = 00H$ , если  $B_i(x, y) < B_T(x, y)$ . Такой формат бинарного изображения был выбран для того, чтобы обеспечить возможность его обработки языками высокого уровня и вывода результатов обработки на экран монитора ПЭВМ. На рис. 3 приведены бинарные изображения эталонных образцов, полученные при использовании адаптивного окна бинарного преобразования с размерами  $16 \times 16$  пикселей структуры поверхностей сферических торцов роликов с различной шероховатостью.

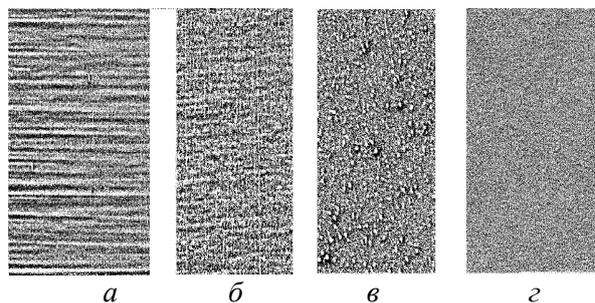


Рис. 3. Бинарные изображения структуры поверхностей сферических торцов роликов: а-  $Ra=0,13$  мкм, б-  $Ra=0,084$  мкм, в-  $Ra=0,048$  мкм, з-  $Ra=0,025$  мкм

Для микрорельефа рассматриваемых поверхностей с помощью оптико-электронного комплекса были выполнены исследования влияния эталонных образцов на среднюю амплитуду переменной составляющей автокорреляционной функции  $Ra = f(U_{CP})$ . Зависимость средней амплитуды колебания автокорреляционной функции  $U_{CP}$  от шероховатости поверхности при формате изображения поверхности  $720 \times 576$  пикселей приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты исследований шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности $Ra$ , мкм	0,13	0,084	0,048	0,025
Амплитуда автокорреляционной функции, $U_{cp}$	16,0	12,2	9,9	7,86
$\sigma$	1,7	1,3	0,8	0,1

Из приведённых данных видно, что в зависимости от величины шерохо-

ватости изменяются параметры структуры поверхности, которые влияют на эксплуатационные свойства сферической поверхности роликов. С этой точки зрения наиболее предпочтительной является поверхность с однородной, равной во всех направлениях структурой, т. е. поверхность с  $Ra = 0,025$  мкм,  $U_{cp} = 7,86$  и  $\sigma = 0,1$ .

### Библиографический список

1. Носов Н.В., Михайлова Л.Н. Повышение точности обработки сферических торцов конических роликов подшипников // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 3(34), ч. 1. С. 259-264.

2. Михайлова Л.Н. Повышение качества шлифования сферических торцов конических роликов // Материалы Всероссийской науч.-техн. интернет-конференции с международным участием

«Высокие технологии в машиностроении». Самара: Самарский государственный технический университет, 2011. С. 12-15.

3. Абрамов А.Д., Носов Н.В., Хаустов В.И. Исследование шероховатости поверхности бомбинированных роликов на основе анализа их автокорреляционных функций // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2009. № 3(19), ч. 2. С. 45-54.

### Информация об авторах

**Носов Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». Самарский государственный технический университет. E-mail: [nosov@samgtu.ru](mailto:nosov@samgtu.ru). Область научных интересов: инновационные технологии в машиностроении.

**Михайлова Людмила Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы». Самарский государственный технический университет. E-mail: [mih ln@mail.ru](mailto:mih ln@mail.ru). Область научных интересов: шлифование сферических торцов, роликов, подшипников.

## STUDY OF THE STRUCTURE OF SPHERICAL ROLLER SURFACES IN GRINDING

© 2014 N.V. Nosov, L.N. Mikhailova

Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

The methods of grinding the spherical ends of tapered rollers using the wheel end and periphery are considered. The ways of improving the accuracy of the spherical end when processing using the periphery of a grinding wheel, radially refilled, and ensuring the surface quality due to uneven wear of a wheel are shown. It has been established that increasing the efficiency of grinding the spherical surfaces of a roller is carried out by reducing random and systematic error components of processing. The results of grinding using the corrected radius and the processing device for continuous grinding of spherical roller ends are represented. The structure of surfaces of spherical roller ends using the optical-electronic complex that could reduce the influence of the cur-

vature of the surface under study on its image is investigated. An algorithm of using binarization of an original halftone image for analyzing the structure of the treated surface, which provides processing and output of the results on the PC screen is considered. The binary images of the surface structure of spherical roller ends with different roughness are shown. The studies of the effect of the average amplitude of oscillation of the autocorrelation function depending on the surface roughness are performed. Thus, the relationship of roughness of the surface profile with the parameters of the autocorrelation function is shown. The optimum parameters of the surface structure, the amplitude of the autocorrelation function and the mathematical expectation that will provide an increase in performance properties of the contact surfaces are determined.

*Grinding spherical ends, rollers, tapered roller bearings.*

### References

1. Nosov N.V., Mikhailova L.N. *tekhnologii v mashinostroenii». Samara: Samara State Technical University, 2011. P. 12-15. (In Russ.)*
2. Mikhailova L.N. *Povyshenie kachestva shlifovaniya sfericheskikh tortsov konicheskikh rolikov // Materialy Vserossiyskoy nauch.-tekhn. internet-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vysokie*
3. Nosov N.V., Abramov A.D., Haustov V.I. *Research of roughness of surface rollers with modified contact on the basis of analysis of their autocorrelation functions // Vestnik of the Samara State Aerospace University. 2009. No. 3(19), part 2. P. 45-54. (In Russ.)*

### About the authors

**Nosov Nikolai Vasilyevich**, Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the Department "Mechanical Engineering". Samara State Technical University. E-mail: [nosov@samgtu.ru](mailto:nosov@samgtu.ru). Area of Research: innovative technologies in mechanical engineering.

**Mikhailova Lyudmila Nikolayevna**, Candidate of Science (Engineering). Associate Professor of the Department "Automated machine tools and tooling systems." Samara State Technical University. E-mail: [mih\\_ln@mail.ru](mailto:mih_ln@mail.ru). Area of Research: grinding spherical ends, rollers, tapered bearings.