

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ПРИБОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО АЛГОРИТМА

© 2011 А.Д.Абрамов¹, А.И.Зинковский², Н.В.Носов¹, А.И.Никонов¹, В.А.Родионов¹

¹Самарский государственный технический университет

²Завод приборных подшипников («ООО ЗПП»), г Самара

Поступила в редакцию 10.11.2011

В статье предложен новый подход к оценке микрогеометрии поверхности после финишной обработки. на основе вычисления средней амплитуды переменной составляющей автокорреляционной функции, полученной в результате компьютерной обработки видеоизображения поверхности.

Ключевые слова: поверхность, микрогеометрия, подшипник, оптико-электронный метод, компьютер, технология, автокорреляция, полирование.

Качество поверхности дорожек качения приборных подшипников, во многих случаях является определяющим фактором, влияющим на долговечность и надежность при их эксплуатации.

В настоящее время оценку параметров микро-рельефа различных поверхностей деталей машин и механизмов во многих случаях выполняют с помощью измерительных оптико-электронных преобразователей, используемых совместно со средствами компьютерной обработки сигналов [1-4]. Эти методы имеют серьезные недостатки. Так, например, в [1,2] требуется использовать источники освещения исследуемой поверхности когерентные как во времени, так и в пространстве. В методах [3,4] требуется применение двух световых потоков: первый (опорный) служит для освещения исследуемой поверхности, а второй для компенсации флуктуаций мощности опорного потока, что существенно усложняет контрольно-измерительную аппаратуру данного назначения и её использование на рабочем месте.

Устранения отмеченных недостатков было выполнено с использованием оптико-электронного комплекса [5,6], который включал в себя оптическую систему, видеокамеру, компьютер и специально разработанный алгоритм обработки изображения исследуемой поверхности. Для устранения погрешностей оптико-электронный комплекс авторами работы [7] был рассмотрен как структура

информационно-измерительной системы (ИИС), которая состоит из выделенной площади ВП исследуемой части поверхности, источника опорного светового потока ИСП, видеокамеры ВК и блока цифровой обработки сигналов БЦОС. Систему состоящую из ИСП и ВК рассматривали как оптико-электронный измерительный преобразователь (ИП). Совокупность ИСП и ВП образует канал первичного рельефно-оптического преобразования. Входная величина, воздействующая на вход оптико-электронного ИП, формируется на исследуемой ВП, в которую входят r - типов элементарных площадок с различным микрорельефом. Её можно представить как среднее

арифметическое
$$P_{\mu} = \sum_{i=1}^r \alpha_{Pi} * P_{\mu i}$$
, где $P_{\mu i}$ – i -

тый компонент входной величины преобразуемого параметра микрорельефа, например, Ra ; α_{Pi} – весовой коэффициент, соответствующий доле элементарных площадок ВП с микрорельефом i -того типового уровня (при общем числе типовых уровней r). Набор значений $\{i = 1, \dots, r\}$ определяется конкретным характером механической обработки ВП.

Выходом ИСП является величина опорного светового потока Φ_o . Её действие на i -тую элементарную площадку ВП вызывает появление соответствующего отраженного светового потока величины $\Phi_{\mu i}$. Таким образом, каждой i -той элементарной площадке ВП соответствует, во-первых, один из выходов канала первичного рельефно-оптического преобразования – величина $\Phi_{\mu i}$, воздействующая, в свою очередь на входы ПЗС-матрицы, и, во-вторых, определенный электрический сигнал $U_{\mu i}$ ПЗС-матрицы.

Номинальную функцию преобразования i -того компонента входной величины P_{μ} для ИП указан-

Абрамов Алексей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности

Зинковский Андрей Игоревич заместитель гл. инженера

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, кафедры технологии машиностроения. E-mail: msf@samgtu.ru

Никонов Александр Иванович доктор технических наук профессор кафедры электронных систем и информационной безопасности. E-mail: rts@samgtu.ru

Родионов Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения

ного типа, соответствующего i -тому подмножеству одинаково обработанных элементов ВП представляли как

$$U_{\text{эин}} = K_{\text{фэ}} * \Phi_{\text{эин}} = (K_{\text{фэ}} * \Phi_{\text{он}}) * (\Phi_{\text{эин}} / \Phi_{\text{он}}) = (K_{\text{фэ}} * \Phi_{\text{он}}) * Y_{\text{эин}} = (K_{\text{фэ}} * \Phi_{\text{он}}) * f(P_{\mu i})$$

$$P_{\mu i \text{ min}} \leq P_{\mu i} \leq P_{\mu i \text{ max}},$$

где $K_{\text{фэ}}$ – коэффициент физического преобразования светового потока $\Phi_{\text{эин}}$ в электрический сигнал $U_{\text{эин}}$ ПЗС-матрицы, который в используемых диапазонах изменений измеряемой величины P_{μ} и опорного светового потока Φ_o от них не зависит; $\Phi_{\text{он}}$ – номинальное значение величины Φ_o ; $\Phi_{\text{эин}}$ – номинальное значение отражённого светового потока $\Phi_{\text{эи}}$, поступающего от любого элемента из i -того подмножества площадок ВП; $P_{\mu i \text{ min}}, P_{\mu i \text{ max}}$ – границы используемого диапазона изменений P_{μ} ; $f(P_{\mu i})$ – функциональная зависимость номинальных значений нормированного выхода канала первичного рельефно-оптического преобразования $Y_{\text{эин}}$ от i -того компонента измеряемой величины P_{μ} , а $Y_{\text{эин}}$ – характеризует отражательную способность i -того компонента ВП при воздействии на ВП номинального опорного светового потока $\Phi_{\text{он}}$. Для конкретных образцов, приведенных на рис.4,

$$P_{\mu i \text{ min}} = Ra = 0,025 \text{ мкм} \quad P_{\mu i \text{ max}} = Ra = 0,13 \text{ мкм}.$$

Саму же функцию $f(P_{\mu i})$ аппроксимировали

$$\text{полиномом степени } m : f_{\text{ан}}(P_{\mu i}) = \sum_{p=0}^m a_p * P_{\mu i}^p,$$

где a_p – степенной коэффициент аппроксимации.

При исследовании влияния мощности опорного светового потока на характеристики видеосигнала в работе [7] участок анализируемой поверхности размером $L1 \times L2$ считывался по строкам и столбцам строчно-кадровым растром черно-белой телевизионной передающей камерой с ПЗС-матрицей и аналогово-цифровым преобразователем, а в запоминающем устройстве БЦОС формировался кадр исходного полутонового изображения поверхности формата $K_1 \times K_2$ точек дискретизации – пик-селей. Сигнал яркости каждого пикселя принимал значения, лежащие в диапазоне 0 – 255 от. ед.

За номинальное значение опорного светового потока была принята величина $\Phi_{\text{он}} = 600 * 10^{-3}$ лм, а для величин $\Phi_{o \text{ min}}, \Phi_{o \text{ max}}$ – значения $200 * 10^{-3}$ лм и $1000 * 10^{-3}$ лм соответственно. Все

непредусмотренные воздействия на освещенность исследуемой поверхности можно охарактеризовать с помощью функции влияния согласно ГОСТ 8.009 – 72 “Нормируемые метрологические характеристики. Средства измерения”. Проведенными исследованиями, выполненными в работе [7], было установлено, что функция влияния носит мультипликативный характер.

Наличие мультипликативного характера функции $f_{\text{эл}}(\Delta\Phi)$, содержащейся в выражении выходной электрической величины оптико-электронного ИП, диктует выбор логометрического способа устранения рассматриваемой дополнительной погрешности [8]. Однако традиционное применение логометрирования предусматривает ведение в состав ИИС дополнительного осветительного канала и второй ПЗС-матрицы, содержащих компенсационные величины, что существенно усложняет и увеличивает габариты ИИС.

Применительно к используемой разновидности измерительного преобразования в [7] был выдвинут новый принцип коррекции дополнительной погрешности, вызываемый нестабильностью опорного светового потока в форме требования соблюдения однозначных соответствий между набором величин $(Y_{\text{эи}}(X_{\mu i}), i=1, \dots, r)$, и двумя функционалами $G_x(Y_{\text{эи}}(X_{\mu i}), i=1, \dots, r)$, $x=1, 2$, множества значений которых связываются с измеряемыми и влияющими величинами.

При реализации частного

$$G_1(Y_{\text{эи}}(X_{\mu i}), i=1, \dots, r) / G_2(Y_{\text{эи}}(X_{\mu i}), i=1, \dots, r) \quad (1)$$

одинаковые мультипликативные компоненты числителя и знаменателя $f_{\text{эл}}(\eta_{\text{ф}})$ сокращаются, что не ведёт к увеличению габаритов создаваемой ИИС.

Реализация предлагаемого способа коррекции дополнительной погрешности в предлагаемой работе была осуществлена с привлечением теории оптимальной линейной фильтрации сигналов известной формы [9], на основе известных методов цифровой обработки сигналов [10,11] по известным гостовским методикам [12]. При сравнении определяется, какой образцовой поверхностью с заданной вероятностью распознавания соответствует исследуемая поверхность, что можно рассматривать как процесс отождествления анализируемого изображения поверхности с одним из элементов множества эталонных изображений с различным микрорельефом. В качестве критерия сравнения неизвестной шероховатости исследуемой поверхности с шероховатостями эталонных поверхностей в работе [7] был предложен коэффициент корреляции, вычисляемый по классической формуле (2) [10] по полутоновому изображению исследуемой поверхности, предварительно записанного в память БЦОС.

$$r_{xu}(k_1, k_2) = \frac{\sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} (u(n_1, n_2) - m_u) * f_{\text{вЛ}}(\Delta\Phi) * (x(n_1 - k_1, n_2 - k_2) - m_x) * f_{\text{вЛ}}(\Delta\Phi)}{\sigma_1 * f_{\text{вЛ}}(\Delta\Phi) * \sigma_2 * f_{\text{вЛ}}(\Delta\Phi)} \quad (2)$$

Используемую автокорреляционную функцию можно рассматривать как частный случай поскольку она обладает искомым компенсационным свойством, не требуя при этом введения дополнительной аппаратуры.

Для вычисления двумерной автокорреляционной функции в кадре, формата $K_1 \times K_2$ точек дискретизации [5 - 7], начиная с первой строки, выделялась полоса шириной N_2 пикселя и по центру этой полосы задавался эталон (ЭИ) размером $N_1 \times N_2$ пикселей и записывался в отдельную область памяти БЦОС. Найденные значения $r_{xu}(k_1, k_2)$ сохраняют в памяти БЦОС. Закончив вычисление коэффициентов автокорреляции в первой полосе, задавалась следующая полоса того же формата в исходном изображении, что и предыдущая, но смещённая вниз на один пиксель. В этой полосе по центру задавался новый эталон, но с теми же размерами что и предыдущий, и выполняются те же самые действия для вычисления коэффициента автокорреляции и т.д. Обработка всего кадра исходного изображения по отмеченной методике, в запоминающем устройстве БЦОС формирует матрицу, размерностью $M_1 \times M_2$ коэффициенты автокорреляции или двумерную дискретную автокорреляционную функцию. Проведёнными исследованиями в работе [7] было установлено, что по средней амплитуде U_{CP} переменной составляющей автокорреляционной функции $r_{xu}(k_1, k_2)$ исследуемые поверхности с различной шероховатостью существенно отличаются друг от друга при всех указанных размерах эталона

Существенным недостатком предложенной методики определения шероховатости на основе вычисления коэффициента корреляции по классической формуле (2) с использованием полутоновых изображений является слишком большое время, затрачиваемое на его вычисление. Так, например, при использовании персональной ЭВМ с процессором Intel(R) Core (TM) 2 CPU 4300 @ 1.80GHz, время, затрачиваемое на это вычисление, составляет 160000 мс при использовании эталона с форматом 64×64 пикселя, что практически исключает использование данного метода для оперативного контроля качества поверхности в производственных условиях.

Для устранения этого основного недостатка в предлагаемой работе были рассмотрены квазиоптимальные алгоритмы для вычисления критериальных функций [13 - 19]: к которым и относится рассмотренная выше двумерная автокорреляционная функция. В приведённых работах отмечается, что сущес-

- 1) выбор вида предварительной обработки изображения;
- 2) определение критериальной функции;
- 3) определение способа поиска экстремума критериальной функции.

Для определения микрогеометрии исследуемой поверхности третий этап не является целью и поэтому в дальнейшем не рассматривается.

Полный перечень требований, которым должны удовлетворять критериальные функции, рассмотрен в [15, 16].

Анализ, выполненный в [16, 17], позволил выделить пять групп критериальных функций со сходными свойствами: корреляционные, спектральные, разностные, парные и ранговые.

Разработку квазиоптимального корреляционного алгоритма применим для исследования шероховатости дорожки качения внутреннего кольца приборного подшипника № 2000083 изготовленного из стали ШХ-15 HRC 62...65.

Шлифование дорожки качения внутреннего кольца подшипника осуществлялось на оборудовании Bruant 1-M с режимами: частота вращения шпинделя – $n_k=1750...1850$ об/мин; коэффициент полезного действия – $\eta=0,8$; размеры шлифовального круга – $D_k=355$ мм, $B_k=16$ мм; применяемый АК для черновой обработки – 24АМ40СТ1К; правка круга – поперечная подача $S_{\text{поп}}=0,015$ мм/дв.ход, продольная подача $S_{\text{пр}}=0,02$ мм/об, минутная подача $S_{\text{мин}}=S_{\text{пр}} \times n_0=0,02 \times 1850=37$ мм/мин, алмаз в оправе $\alpha=90^\circ$, время правки $\tau=15$ с.

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 720×576 пикселей. В связи с выявленными особенностями, опорный световой поток при исследовании шероховатости дорожки качения был направлен вдоль дорожки и под большим углом – $\alpha=70^\circ$. Изображения поверхностей эталонных образцов формата 720×576 пикселей. Шероховатость эталонных образцов определялась традиционными гостовскими методами при помощи профилографа SJ – 201P.

Поскольку в настоящее время не существует [15, 16] формального способа выбор вида предварительной обработки и типа критериальной функции производили эвристически. На основе проведённого анализа были выбраны парные критериальные функции, которые предполагают

обработку изображений в цифровой форме с числом уровней квантования два и более.

При этом наиболее употребляемые парные критериальные функции [18,19] это: функции Рао, Дже-карда, Дейка, Соукала и Снита, Кулзинского, Род-жерса и Танимото №1 и №2, Соукала и Мишнера, Юла, Хаммана.

С помощью метода парных критериальных функций может быть получено несколько корреляционно – экстремальных алгоритмов. В выполненной работе 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 N – количество сравниваемых элементов в ЭИ и ТИ.

Бинаризация исходного полутонового изображения проводилась 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 [20]. В выделенном окне преобразовывался каждый пиксель, а перемещение окна по преобразуемому изображению осуществляется с шагом, определяемым размерами окна. Отмеченное преобразование использует все три вида фильтрации изображения, то есть каузальную, некаузальную и полу- каузальную 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. 1 приведены бинарные изображения эталонных образцов, полученные при использовании адаптивного окна бинарного преобразования с размерами 16×16 пикселей.

Принципиальное отличие нового метода определения двумерной автокорреляционной функции заключается в способе её вычисления по квазиоптимальному корреляционному алгоритму на основе применения парных критериальных функций $F_{1,1}(\Delta)$ и $F_{0,0}(\Delta)$, а не по классическому методу при использовании квазиоптимального корреляционного алгоритма по подсчету количества совпавших пикселей S_{xy} в текущем фрагменте бинарного изображения B_T и эталоне B_Δ . Для получения нормированного значения этой суммы она делится на размер эталона, то есть на то значение суммы, которое получается при полном совпадении эталона и текущего фрагмента бинарного изображения.

Таким образом, этой нормированной сумме с полным основанием можно придать смысловое значение коэффициента корреляции $r_{xu}(k_1, k_2)$, так как она отвечает всем требованиям стохастической связи, приведенными в [16, 17], в частности $0 \leq r_{xu}(k_1, k_2) \leq 1$. При использовании данного метода также компенсируется дополнительная погрешность, возникающая в результате воздействия функции влияния $f_{\text{вл}}(\Delta\Phi, \Delta\alpha)$ в связи с тем, что в точке совпадения значений пикселей эталона B_Δ и выделенного фрагмента текущего бинарного изобра-

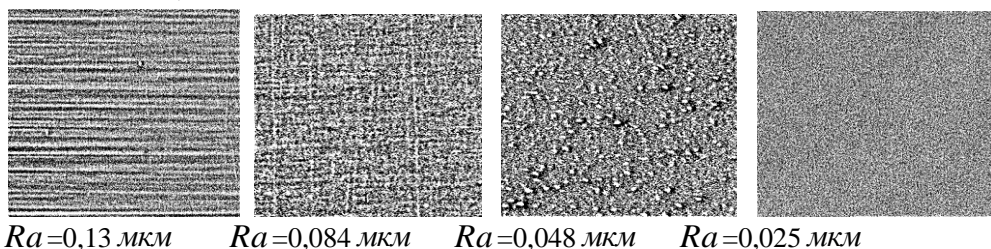


Рис. 1. Бинарные изображения поверхностей эталонных образцов.

жения B_T она будет умножаться на ноль, то есть

$$\begin{aligned} \Delta B &= B_T \times f_{\text{вл}}(\Delta\Phi, \Delta\alpha) - B_\Delta \times \\ f_{\text{вл}}(\Delta\Phi, \Delta\alpha) &= f_{\text{вл}}(\Delta\Phi, \Delta\alpha) \times (B_T - B_\Delta) \\ &= f_{\text{вл}}(\Delta\Phi, \Delta\alpha) \times 0 \text{ при } B_T = B_\Delta. \end{aligned}$$

Кроме того, только в этой точке наращивается, отмеченная выше сумма $S_{xy} = S_{xy} + 1$, то есть мера корреляции эталона и текущего фрагмента изобра-

жения, согласно алгоритму применения парных критериальных функций $F_{1,1}(\Delta)$ и $F_{0,0}(\Delta)$.

Для микрорельефа рассматриваемых поверхностей с помощью оптико-электронного комплекса, в работе были выполнены исследования влияния шероховатости поверхности эталонных образцов на среднюю амплитуду переменной составляющей авто-корреляционной функции $Ra = f(U_{CP})$.

Для каждого образца также было обработано по 30 изображений с различных участков исследуемой поверхности, то есть $n = 30$ и СКО оценки при определении U_{CP} определялось по формуле [21].

$$\sigma_t = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

При этом формат эталона и размер окна бинарного преобразования для выполненных исследований составлял 16×16 пикселей.

Следовательно, задавая вероятность распознавания шероховатости исследуемой поверхности $P=0,99$ и $t_\beta = 2,576$, для образцов поверхности с

$Ra = 0,13$ мкм имеем $\sigma_t = 0,31$ мкм, для образцов с

$Ra = 0,084$ мкм имеем $\sigma_t = 0,24$ мкм, для образцов

с $Ra=0,048$ мкм имеем $\sigma_t = 0,15$ мкм и для

образцов с $Ra = 0,025$ мкм имеем $\sigma_t = 0,018$ мкм.

Используя выражение для доверительного интервала [21] $I_\beta = (U_{CP} - t_\beta \times \sigma_t ; U_{CP} + t_\beta \times \sigma_t)$ получим следующие величины доверительных интервалов:

$$Ra = 0,13 \text{ мкм} - I_\beta = 0,8 \text{ отн. ед. } 15,2 \text{ отн. ед.}$$

$$\text{ед.} \leq U_{CP} \leq 16,8 \text{ отн. ед.};$$

$$Ra = 0,084 \text{ мкм} - I_\beta = 0,6 \text{ отн. ед.}$$

$$11,6 \text{ отн. ед.} \leq U_{CP} \leq 12,8 \text{ отн. ед.};$$

$$Ra = 0,048 \text{ мкм} - I_\beta = 0,4 \text{ отн. ед.}$$

$$9,5 \text{ отн. ед.} \leq U_{CP} \leq 10,3 \text{ отн. ед.};$$

$$Ra = 0,025 \text{ мкм} - I_\beta = 0,05 \text{ отн. ед.}$$

$$7,81 \text{ отн. ед.} \leq U_{CP} \leq 7,91 \text{ отн. ед.}$$

График зависимости $I_\beta = f(U_{CP})$ для формата изображения исследуемой поверхности 720×76 пикселей приведён на рис. 2. Как видно из приведённых данных доверительные интервалы для U_{CP} с увеличением шероховатости возрастают, но не перекрываются, при этом зависимость $I_\beta = f(U_{CP})$ имеет нелинейный характер. Используя метод наименьших квадратов, для данного доверительного интервала было получено аналитическое выражение в виде

$$I_\beta = (0,09 \times U_{CP}^3 - 4,2 \times U_{CP}^2 + 68,5 \times U_{CP} - 314,9) \times 10^{-2} \text{ отн. ед.} \quad (3)$$

Согласно приведённому графику, рассматриваемая зависимость $Ra = f(U_{CP})$ для исследуемых образцов имеет линейный характер и с

помощью метода наименьших квадратов может быть представлена в виде

$$Ra = 0,0013 \times U_{CP} - 0,078 \text{ мкм} \quad (4)$$

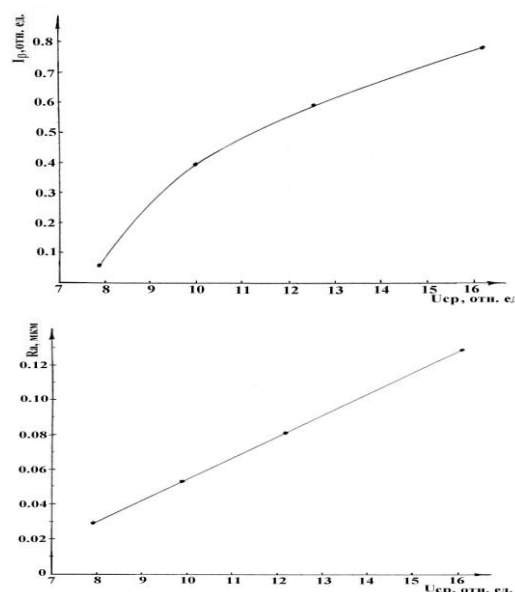


Рис. 2. Зависимость доверительного интервала I_β и величины Ra от амплитуды переменной составляющей автокорреляционной функции U_{CP} .

При исследовании поверхности очень важно определить наличие различных дефектов на дорожки качения, которые ввиду своей малой величины не фиксируются контролерами ОТК. Визуальные исследования дорожек качения с помощью оптико-электронного комплекса показали, что на её поверхности образуются дефекты в виде рисок и точек, которые встречаются у 95% колец обработанных на шлифовальных станках марки Brgant 1M с применением масляной СОЖ. Риски, как правило, разнонаправленные, что говорит о случайном процессе их образования.

На рис.3 приведены полутоновые и бинарные изображения типичных дефектов на участках поверхности дорожки качения внутренних колец приборных подшипников № 2000083 после операции шлифования с применением масляной СОЖ.

Ввиду сильной кривизны дорожки качения максимальный формат анализируемых участков поверхности не превосходил значения 450×400 пикселей из общего формата 720×576 пикселей, формируемого в памяти компьютера оптикоэлектронного комплекса.

Из 30 колец, которые были исследованы, на 27 кольцах обнаружены дефекты (90%).

Важно знать глубину этих дефектов. Анализ приведенных данных показал, что в местах образования повреждений дорожки качения (дефектов) наблюдается возрастание амплитуды переменной составляющей автокорреляционной функции.

Измерения глубины дефектов дали следующие значения: для участка №1 $U_{CP} = 12,5$ отн. ед., для участка №2 $U_{CP} = 14,34$ отн. ед., для участка №3 $U_{CP} = 14,3$ отн. ед.

Подстановка этих значений в выражения (3) и (4) дала следующие результаты для среднего арифметического отклонения профиля поверхности дорожки качения в повреждённых местах:

участок №1 – $I_{\beta} = 0,6$ отн. ед.;

$Ra_{min} = 0,077$ мкм, $Ra_{max} = 0,092$ мкм,

участок №2 – $I_{\beta} = 0,7$ отн. ед.;

$Ra_{min} = 0,099$ мкм, $Ra_{max} = 0,117$ мкм,

участок №3 – $I_{\beta} = 0,69$ отн. ед.;

$Ra_{min} = 0,098$ мкм, $Ra_{max} = 0,116$ мкм.

При общей высоте шероховатости равной 0,24 мкм дефекты соизмеримы с общим фоном и контролерам не удается их обнаружить.

Исследования дорожки качения оптико-электронным комплексом показали, что после шлифования колец с водной СОЖ количество и глубина дефектов значительно уменьшилось до 0,05-0,07 мкм. На рис. 4. приведены полутоновые и бинарные изображения участка дорожки качения после

шлифования с водной СОЖ, а также график изменения коэффициента корреляции и автокорреляционная поверхность.

Амплитуда переменной составляющей автокорреляционной функции в этом случае имела значение $U_{CP} = 7,9$ отн. ед. Следовательно, доверительный интервал согласно выражению (3) составил 0,09 отн. ед. и среднее арифметическое отклонение профиля поверхности дорожки качения при использовании выражения (4) находится в диапазоне $Ra_{min} = 0,024 \dots 0,026$ мкм, что вполне отвечает требуемым техническим условиям.

Применением полирования шероховатость, была снижена до уровня $Ra = 0,018 - 0,19$ мкм.

На основе полученной информации был разработан и внедрён в производство процесс шлифования дорожек качения в среде водных СОЖ, что позволило резко снизить процент брака на данной технологической операции.

В заключении данной работы можно также отметить, что на рассмотренный оптико-электронный комплекс и способ определения шероховатости исследуемой поверхности на его основе получен патент Российской Федерации № 2413179 “Способ контроля шероховатости поверхности.”

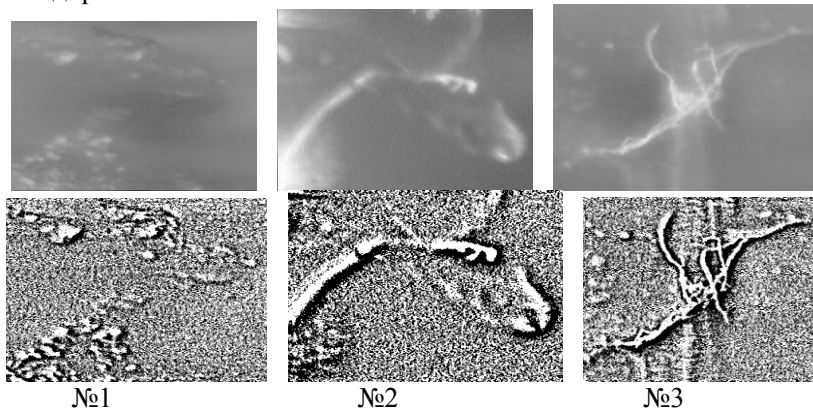


Рис. 3. Изображения дефектов на участках дорожек качения внутренних колец приборного подшипника № 2000083 после операции шлифования с применением масляной СОЖ

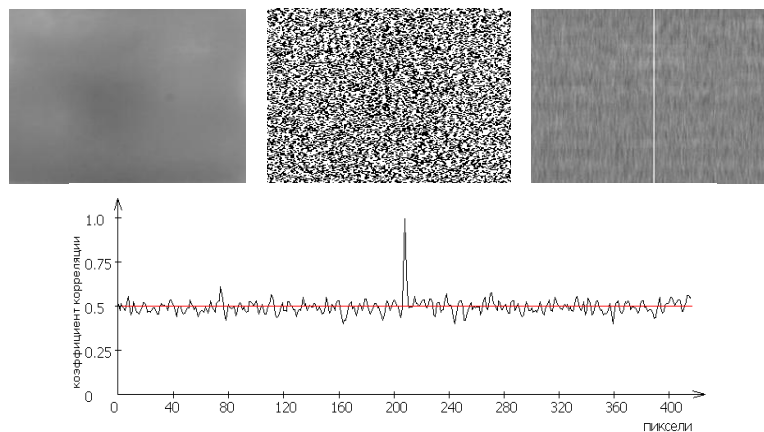


Рис. 4. Полутоновое и бинарное изображения дорожки качения подшипника после шлифования с водной СОЖ, автокорреляционная поверхность и график автокорреляционной функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев А.В. Разработка параметров шероховатости поверхности, оцениваемых на плоскости по её изображению /Методы и устройства передачи и обработки информации. Межвуз. сб. научн. тр – Вып.3 /Под. ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – СПб: Гидрометеоиздат, – 2003, с. 203-207.
2. Миловзоров А.Н., Яковлев А.В. Контроль шероховатости поверхности с применением ЭВМ /Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 10-й Международной науч.-техн. конф. Рязань: Рязанская государственная радиотехническая академия, 2001. с. 155-158.
3. Менделеев В.Я. Сковородко С.Н. Устройство для контроля шероховатости изделия. Патент, №2011163, RU, G 01 B 11/30, - 15.04.1994.
4. Азарова В.В., Горбачёв Ю.А., Соловьёва Н.М. Бесконтактный фотометрический способ измерения высоты шероховатости поверхности образцов. SU, патент, №1839881, кл. G 01B 11/30, - 20.06.2006.
5. Абрамов А.Д., Носов Н.В. Оптико-электронный метод исследования шероховатости поверхности деталей //Актуальные проблемы современной науки: Труды 1-го Международного форума 6-й Международной конференции: Самара: Изд-во СамГТУ, 2005. с.40 – 43..
6. Абрамов А.Д., Носов Н.В., Хаустов В.И. Исследование шероховатости поверхности бомбинированных роликов на основе анализа их автокорреляционных функций. Вестник СГАУ. Серия “Авиационная и ракетно-космическая техника”. 2009, №3 (19), с.45-53.
7. Абрамов А.Д., Никонов А.И. Метод компенсации дополнительной погрешности измерения параметров микрорельефа на основе использования оптико-электронного комплекса. Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2010. № 8. с. 34-42.
8. Евтихеев Н.Н., Купершмидт Я.А., Папуловский В.Ф., Скугоров В.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин. Учеб. пособие для вузов. – М.: “Энергоатомиздат”, 1990. – 352 с.:ил.
9. Солонина А.И., Улахович Д.А. и др. Основы цифровой обработки сигналов. – СПб.:БХВ – Петербург, 2003. – 594 с.:ил
10. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Том 2 – М.: Мир, 1982. – 790 с.:ил
11. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. – М., Мир, 1988. – 488 с.:ил.
12. ГОСТ 2789 – 73. Шероховатость поверхности. Параметры, характеристики и обозначения. М.: Изд-во стандартов, 1987. – 10с
13. Красовский А.А., Белоградов И.Н., Чигин Г.П. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем. – М.: Наука, 1979, 447с.
14. Белоглазов И.Н., Тарасенко В.П. Корреляционно-экстремальные системы. - М.: Соврадио, 1979. – 400с.
15. Бочкарёв А.М. Корреляционно-экстремальные системы навигации. //Зарубежная радиоэлектроника, 1981, №9 с. 28-53.
16. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные системы навигации и наведения. – Тверь: ТО Книжный клуб, 2009, 360с.
17. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий /под. ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, 280с.
18. Digital Pattern Recognition/ Ed. K. S. Fu. Berlin, New-York: Springer Verlag, 1976.
19. Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов. – М.: Статистика, 1977, 257с.
20. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьёв Н.В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности. – СПб: Изд-во СПбГУАП, 2005. 154с.
21. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебник для вузов. 5-е изд. – М.: Высшая школа, 1998. – 576с.

**THE ESTIMATION OF ROUGHNESS WITH DETERMINATED
PROBABILITY BLADES ON THE FOUNDATION COMPUTER
TECHNOLOGIES OF OPTICO-ELECTRONICS SURFACE MEANS**

© 2011 A.D. Abramov¹, A.I.Zinovskij², N.V. Nosov¹, A.I.Nikonov¹, V.A.Rodionov¹

¹Samara State Technical University

²«Trade House of Miniature Bearings Factory» Ltd

In this article is offered the new approach to an estimation of microgeometry surface final polishing. Determination of a microgeometry is based on a calculated average amplitude of alternative component of the autocorrelative function as result of computer technologies of optic-electronics surface means.

Key words: surface, microgeometry, optic-electronic means, computer, technologies, autocorrelation, polishing

Abramov Alexey Dmitrievich, Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair of electronic systems and information security

Zinovskiy Andrey Igorevich the assistant of the engineer

Nosov Nikolay Vasilevich, a Dr.Sci.Tech., the professional EC-rubbish, chairs of technology of mechanical engineering. An E-mail: msf@samgtu.ru

Nikonov Alexander Ivanovich a Dr.Sci.Tech. the professor of chair of electronic systems and information security of a.E-mail: rts@samgtu.ru

Rodionov Vladimir Anatolevich, Cand.Tech.Sci., the senior lecturer of chair of technology of mechanical engineering