

УДК 620.178:539.431(045)

И. М. Закиев, канд. техн. наук, ст. науч. сотруд.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНОГО 3D ПРОФИЛОМЕТРА «MICRON-BETA» ДЛЯ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗНОСА

Национальный авиационный университет, micron-g@ya.ru

Предложен новый метод, позволяющий точно измерять износ пар трения при сложной геометрической форме изношенной поверхности. Описана установка для измерений.

Введение. Одним из выходных параметров трибологического процесса является износ. Выбор метода измерений износа определяется требуемой точностью получаемых результатов. Так, например, при измерении линейного износа с помощью штангенциркуля погрешность (дисперсия) составляет 10^{-1} мм, с помощью микрометра – $8 \cdot 10^{-3}$ мм, с помощью оптиметра – 10^{-3} мм [1].

В основном для измерения износа трибосопряжений применяются следующие методы.

Гравиметрический метод. Устанавливается массовый износ детали (исследуемого образца) взвешиванием на аналитических весах. Данный метод не может быть использован при проникновении в исследуемый материал продуктов износа или абразива, а также в случае материалов, которые вступают в химическое взаимодействие с исследуемой средой или поглощают ее.

Феррографический метод. Применяется при исследовании износа при наличии жидкой смазки. Состоит в определении количества продуктов износа в пробе масла с помощью соответствующих методов анализа.

Метод искусственных баз. С целью измерения износа на поверхности образуются углубления разной формы (коническое, пирамидальное, сферическое, щель от дисковой фрезы). Величина износа устанавливается вследствие измерения изменения размеров углублений до и после исследования.

Метод радиоактивных изотопов. С целью оценки износа в исследуемый материал вводится радиоактивный изотоп. Во время износа радиоактивные частицы с продуктами износа накапливаются в масле и по интенсивности их излучения можно определить массовый износ.

Применения датчиков омического сопротивления (тензодатчиков) и датчиков индукционного типа. В первом случае при износе образца вследствие его перемещения изменяется сопротивление датчика, которое позволяет с помощью специальной аппаратуры количественно оценить линейный износ. Во втором случае измерение износа осуществляется путем измерения изменения индуктивности датчика при перемещении образца.

Линейный метод. Для определения линейного износа измерения образца или детали проводят до и после изнашивания. Размеры определяют при помощи контактных механических измерительных инструментов: штангенциркуля, микрометра, индикатора, профилометра. Эти методы применимы если величина износа существенно превышает высоту микронеровностей поверхности образца, а материал образца обладает твердостью, достаточной, чтобы при прикосании к нему измерительного инструмента контактные деформации не искажали результата измерений [1; 2].

Решение задачи. Для новых микроэлектромеханических и наноэлектромеханических системах, в которых трибологические процессы происходят в микро- и наномасштабах, методы и средства классической трибологии не применимы. Для измерения линейного износа в наномасштабах могут использоваться сканирующий туннельный микроскоп, атомный силовой микроскоп, лазерный сканирующий и конфокальный микроскопы. Однако в трибологии эти классы приборов не получили широкого распространения из-за их высокой стоимости и сложности эксплуатации [2; 3].

Для решения задачи бесконтактного определения с нанометровой точностью величины износа (объема вытесненного материала) предлагается использовать профилометр «Micron - beta» [4].

«Micron-beta» (рис. 1) изготовлен на базе компактного оптического микроскопа и включает оптико-электронный блок и специальное программное обеспечение. Благодаря применению



Рис. 1. Профилометр «Micron-beta»

современных энергосберегающих микропроцессоров и твердотельных излучателей света питание и управление прибором осуществляется непосредственно от USB порта компьютера.

Принцип действия «Micron-beta» заключается в следующем (рис.2).

Пучок света от светодиода 7, яркость которого регулируется 8 разрядным ЦАП 13, проходит через круглую входную ирисовую диафрагму 6, объектив входного коллиматора 5 и падает на полупрозрачное зеркало 4, на котором он расщепляется на два пучка – проходящий и отраженный. Первый пучок отражается от подвижного зеркала 11, проходит через объектив 10 и часть его направляется зеркалом 4 в объектив выходного коллиматора 3 и на ПЗС матрицу 2. Положением подвижного зеркала 11 управляет 16 разрядный ЦАП 12.

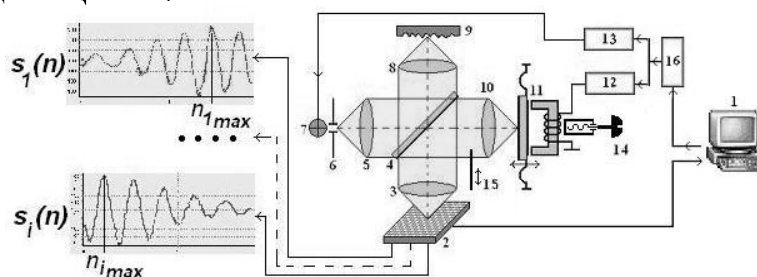


Рис. 2. Блок-схема «Micron-beta»

Второй пучок падает через объектив 8 на поверхность исследуемого образца 9. При зеркальной поверхности образца луч отражается от нее и, возвращаясь обратно, проходит через зеркало 4. Идя далее по одному пути с первым пучком он интерферирует с ним, создавая на ПЗС матрице 2 интерференционную картину, соответствующую разности хода обеих пучков. Эта картина, в случае зеркальной поверхности образца, представляет собой систему колец с синусоидальным распределением интенсивности и с выраженным максимумом регистрируется компьютером 1. Максимумы и минимумы картины соответствуют разностям хода, равным целому и половинному количеству волн.

Шторка 15 служит для перевода интерферометра в режим микроскопа. При включенной шторке лучи перекрываются и не попадают на подвижное зеркало 11. Винт 14 служит для грубой настройки положения подвижного зеркала.

На рис. 2 показаны интенсивности s сигналов в i -х точках поля интерференции, где индексом i обозначена точка, определяемая парой дискретных координат (p, q) , которые являются номерами столбца и строки в матрице отсчетов ПЗС. Максимум видности (яркости) интерференционных полос в i -й точке наблюдается при нулевой разности хода световых волн в интерферометре при соответствующем положении подвижного (эталонного) зеркала. По последовательности кадров восстанавливаются искомые характеристики поверхности объекта, т.е. регистрируются значения максимумов (высот) во всех точках матрицы ПЗС.

Иными словами, максимум видности совпадает с точкой нулевой разности хода световых волн в интерферометре и в общем случае достигается для каждой точки i в матрице (p, q) при различных положениях подвижного отражателя. Поэтому регистрация номера кадра n , соответствующего максимуму видности для точек (p, q) , позволяет получить информацию о топографии в каждой проецируемой точке поверхности исследуемого объекта с точностью $\frac{1}{2} \lambda / 2^8$ ($\lambda = 0,53$ мкм – длина волны для белого света, 2^8 – разрядность ЦАП), что составляет 1,05 нм.

По трехмерному массиву данных каждой точки поверхности (X, Y, Z) можно с помощью специально разработанной программы восстановить на экране 2D и 3D изображения поверхности. Кроме этого программа позволяет строить профилограммы в любом указанном месте поверхности, просчитывать все известные параметры шероховатости, вычислять площади, объемы и радиусы закруглений отдельных фрагментов, фильтровать и устранять тренды.

В качестве примера на рис. 3 показаны трехмерные изображения дорожек трения (a – вид сверху, b – вид снизу), зарегистрированные на профилометре «Micron-beta». Дорожка трения получена в результате испытаний по схеме палец – диск при возвратно поступательном движении.

Из полученных изображений видно, что вследствие неравномерного износа дорожка трения имеет сложную форму – непостоянную глубину и ширину, наличие значительного навала с большим разбросом высоты и ширины (рис.3). Поэтому измерение износа традиционным выборочным профилированием может привести к значительным ошибкам.

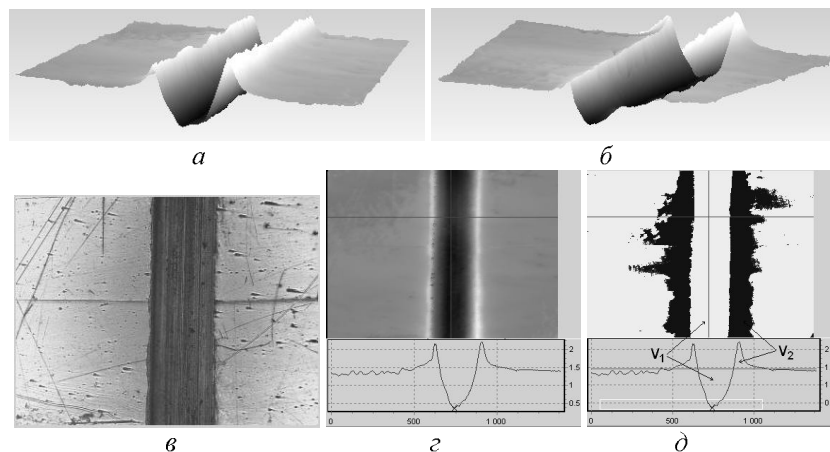


Рис. 3. Вид дорожки трения: *а, б* – 3D изображения; *в* – микрофотография; *г* – 2D изображение с профилограммой в узкой части дорожки; *д* – 2D изображение с выделенными участками вытесненного материала

Для увеличения точности измерения износа программное обеспечение «Micron-beta» позволяет вычислять разницу объемов вытесненной части материала. Так, измеренный объем навала (рис.3) равен $V_2 = 0,011 \text{ мм}^3$, самой дорожки – $V_1 = 0,015 \text{ мм}^3$, разность объемов – $0,004 \text{ мм}^3$. Таким образом, кажущийся на первый взгляд большой износ (рис.3, *в*) обусловлен пластическим вытеснением материала в виде навала.

В качестве следующего примера на рис. 4 приведены изображения дорожки трения, где рельеф поверхности соизмерим с глубиной дорожки трения, а навалы практически отсутствуют. В данном случае износ составил $0,021 \text{ мм}^3$, что намного больше, чем в предыдущем примере.

На рис. 5 представлены лунки абразивного износа для разных материалов, полученные при испытании на приборе «Калотестер» в одинаковых условиях [5]. Традиционным методом зарегистрировать профиль лунки в нескольких направлениях и точно по центру представляется невозможным. А регистрация трехмерного профиля по всей площади предлагаемым методом позволяет легко вычислить объем всей лунки и соответственно износ. Для рассматриваемого примера износ составил для бронзы $0,029 \text{ мм}^3$, а для Д-16 – $0,037 \text{ мм}^3$.

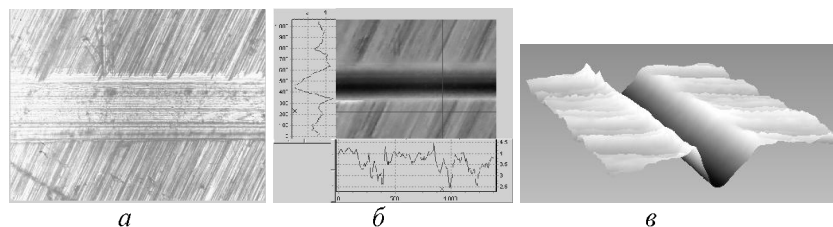


Рис. 4. Вид дорожки трения: *а* – микрофотография; *б* – 2D изображение с взаимно перпендикулярными профилограммами; *в* – 3D изображение

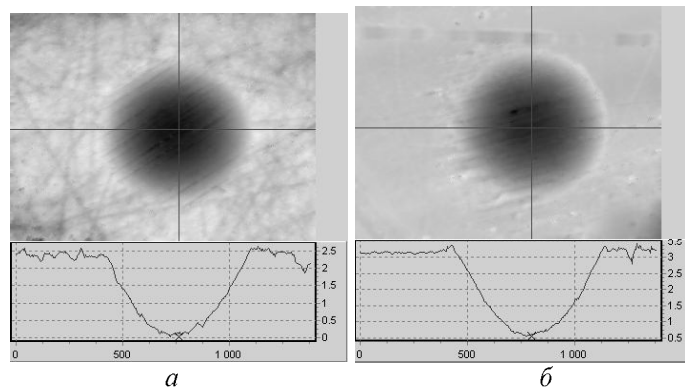


Рис. 5. Топографии с профилограммами лунок абразивного износа для материалов: *а* – бронзы; *б* – Д-16

Выводы. Прибор «Micron-beta» позволяет бесконтактно и с нанометровым разрешением измерять величину износа пар трения со сложной геометрической формой поверхности износа. По воссозданной трехмерной модели поверхности можно легко вычислять объемы отдельных участков поверхности контакта.

Список литературы

1. Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д., и др. /под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.
2. Фролов К.В. Современная трибология: итоги и перспективы. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 480 с.
3. Инженерия поверхности деталей; под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
4. Пат. на корисну модель № 39972 Україна, G01B 9/02; 11/30. Безконтактний тривимірний профілометр / С.Р. Ігнатович, І.М. Закієв, В.І.

Закієв, С.С. Юцкевич (Україна). – u200809989; Заявл. 01.08.2008; Опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. – 3 с.: 2 іл.

5. *Игнатович С.Р., Закиев И.М., Пугачевская Е.П.* Прибор для испытаний материалов и покрытий на микроабразивный износ / Игнатович С.Р., Закиев И.М., Пугачевская Е.П. // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2008. – Вип. 50. – С.50–57.

УДК 620.178:539.431(045)

Закієв І.М. Застосування безконтактного 3D профілометра «Micron-beta» для точного визначення зношу // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 52. – С.194–200.

Запропоновано новий метод, який дозволяє точно вимірювати знос пар тертя складної геометричної форми зношених поверхонь. Описано прилад для вимірювання.

Рис. 5, список літ. 5 найм.

Zakiev I.M. **Correction of the load-displacement curve for DSI taking into account of initial contact feature**

Proposed new method which allows exactly determines wear of tribological pair with complicated geometry of worn surface. Instrument for measurement is described.

Стаття надійшла до редакції 28.10.09.