

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ
МЕТОДОМ КОНФОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ****В. Д. Докукин***Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Волнянко

Развитие новых прогрессивных технологических методов способствует конструированию более современных машин, снижению их себестоимости, уменьшению затрат труда на их изготовление. К числу важных достижений науки, открывающих новые возможности значительного повышения надежности машин, относятся новые методы оценки морфологии поверхностей обработанных деталей.

В настоящее время существуют две группы методов измерения шероховатости поверхности: щуповые и оптические. Щуповые – это контактные методы, когда измерения проводятся при помощи профилометра, чувствительного датчика, оборудованного тонкой иглой, с так называемой ощупывающей головкой. Оптические – это бесконтактные методы измерения шероховатости. К ним можно отнести измерения, проводимые с помощью приборов теневого сечения, приборов светового сечения, микроскопов интерференционных, действие которых основано на двулучевой интерференции света.

С появлением конфокальных лазерных сканирующих микроскопов (КЛСМ) у материаловедов появился прибор, при помощи которого можно построить 3D-модель рельефа поверхности исследуемого материала в широком диапазоне увеличений. Микроскоп позволяет получать полностью сфокусированное изображение объемных объектов с реалистичной цветопередачей при большом увеличении с высоким разрешением, недостижимым с помощью оптических микроскопов. В КЛСМ используются два источника света: источник белого света при работе в обычном оптическом режиме и лазер при работе в режиме лазерного сканирующего микроскопа.

В обычном оптическом режиме работы КЛСМ происходит многократная съемка поверхности излома при разных фокусных расстояниях оптической системы при полихромном освещении (светодиод белого свечения). Затем проводится программная обработка полученных изображений с целью получения интегрального 2D-изображения плоскости поверхности излома в натуральных цветах, состоящего из участков с максимальной резкостью.

В конфокальном режиме работы КЛСМ используется монохромное лазерное излучение, а матрица ПЗС (прибора с зарядовой связью) датчика находится в фокусе. Благодаря конфокальной плоскости отсекаются световые лучи, приходящие не из точки фокуса, что позволяет более точно определить профиль рельефа поверхности излома. Свет, излучаемый лазерным источником сканирующего микроскопа, фокусируется при помощи оптической системы, сканирующей по координатам x и y . В границах поля зрения сфокусированный луч сканирует по координатам x и y поверхность образца, и свет, отраженный от каждой точки, регистрируется записывающим устройством. Затем объектив смещается по координате z и сканирование поверхности повторяется. Это позволяет регистрировать информацию об интенсивности отраженного света для каждой точки области сканирования при всех возможных положениях объектива по оси z , принимая наиболее яркое отражение для каждой точки за положение фокуса. Таким образом, становится возможным синтезировать 3D-изображение по критерию яркости, отображающее профиль объекта. В дальнейшем осуществляется программная обработ-

ка, в процессе которой полученные результаты пересчитываются в z -координаты каждой точки поверхности, что позволяет получить 3D-модель поверхности и черно-белое 2D-изображение поверхности более высокого разрешения, чем в режиме оптического микроскопа.

Данные, полученные по лазерному каналу, объединяются затем с изображением, полученным от источника белого света. Итоговое изображение, помимо информации о яркости, включает в себя данные о цвете и профиле поверхности объекта [2]. В результате пользователь получает картинку, соперничающую по разрешению с растровым электронным микроскопом (РЭМ) [3] при увеличении до $\times 5000$ и являющуюся при этом полноцветным изображением [4], [5].

Метод КЛСМ позволяет проводить измерения профилей рельефа поверхности и шероховатости без повреждения объекта, бесконтактный метод позволяет работать даже с мягкими объектами, например биологическими. Тонкий лазерный луч меньше диаметра иглы обычного профилометра, поэтому дает возможность проводить более точные измерения объектов сложной формы [6]. С применением метода КЛСМ стало возможным измерение геометрических характеристик профиля поперечного сечения, объема объектов на поверхности, площади поверхности и отношения заданной площади к общей площади объекта в любом месте на экране. Доступны такие функции, как высокоскоростное и высокоточное сшивание изображения с применением функции широкоформатного сканирования, что устраняет ограничения поля зрения при большом увеличении.

Метод КЛСМ позволяет получать три типа изображений исследуемой поверхности:

- 1) полностью сфокусированные цветные 3D- (рис. 2, *а*) и 2D-изображения (рис. 2, *б*) рельефа поверхности, которые нельзя получить с помощью РЭМ и оптического микроскопа;
- 2) изображение интенсивности отраженного света лазера, подобное изображению, полученному методом РЭМ (рис. 2, *в*);
- 3) цветовую карту высоты исследуемой поверхности (рис. 2, *г*). Возможно получение изображения изучаемой поверхности в виде сетки с задаваемым шагом (рис. 2, *д*) [2], [3].

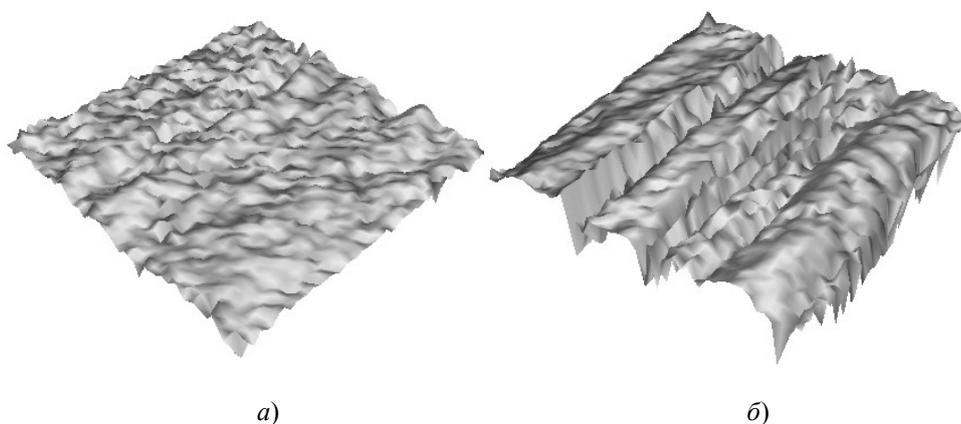


Рис. 1. Изображение стальных поверхностей трения со смазочными материалами, содержащими:
а – жидкие кристаллы; *б* – ультрадисперсный фторопласт

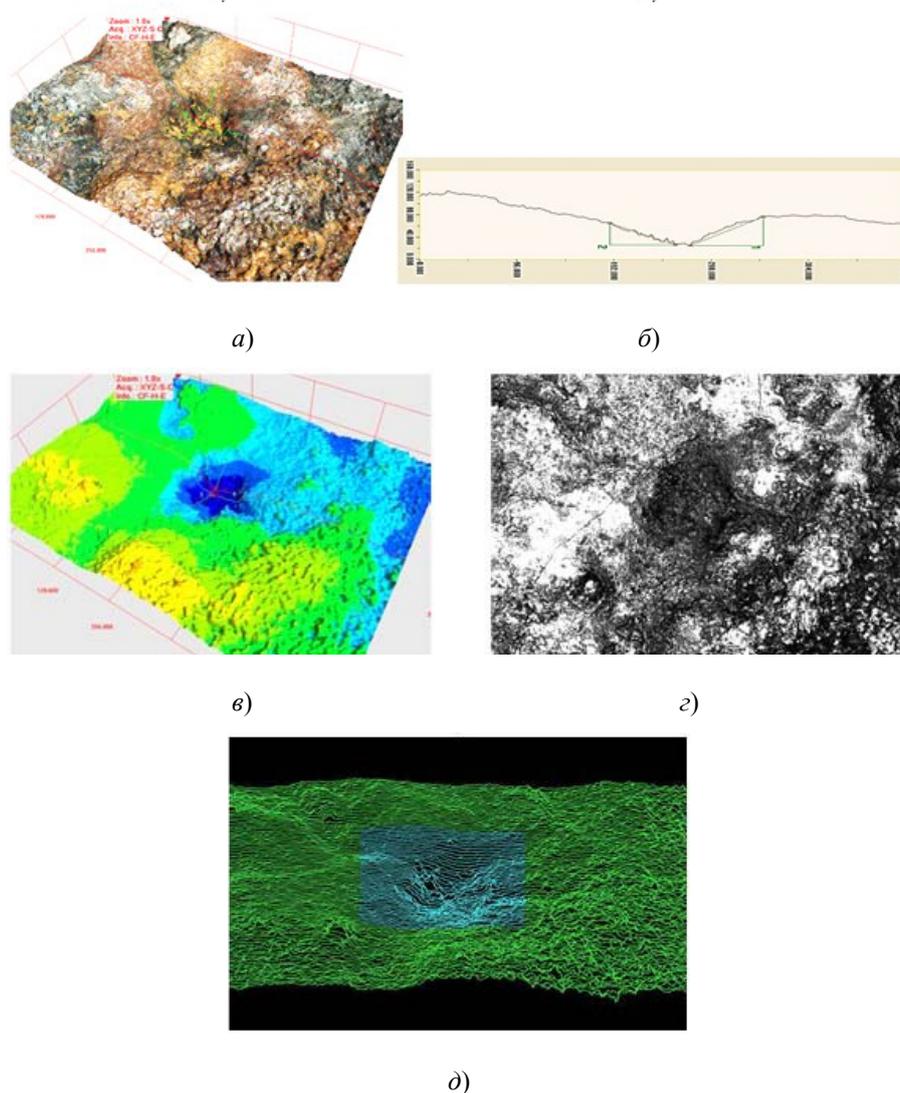


Рис. 2. Исследование коррозионных повреждений методом КЛСМ

Целесообразно применение метода КЛСМ для исследования коррозионных повреждений широкого спектра конструкционных материалов (рис. 2), изношенных поверхностей (рис. 1), получая 3D-модели поврежденной поверхности материалов с распределением цветовой гаммы продуктов коррозии и износа, топографии поверхностей трения, видимой в оптическом диапазоне света.

Литература

1. Демкин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. – М. : Машиностроение, 1981. – 244 с.
2. Исходжанова, И. В. Применение конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для решения материаловедческих задач / И. В. Исходжанова // Прочность неоднородных структур : сб. материалов VII Евразийской науч.-практ. конф. – М. : МИСиС, 2014. – 138 с.
3. Применение методов аналитической микроскопии и рентгеноструктурного анализа для исследования структурно-фазового состояния материалов / Е. Б. Чабина [и др.] // Тр. ВИАМ, 2013. – № 5. – Ст. 06 (viam-works.ru).

4. Клевцов, Г. В. О возможности использования конфокального лазерного сканирующего микроскопа для исследования микрорельефа поверхности разрушения металлических материалов / Г. В. Клевцов, Е. Д. Мерсон // *Фундамент. исслед.* – 2012. – № 11. – С. 1185–1189.
5. Novis, D. B. The use of laser scanning confocal microscopy (LSCM) in materials science / D. B. Novis, A. H. Neuer // *Journal of Microscopy.* – 2010. – Vol. 240, № 3. – P. 173–180.
6. Кларк, Э. Р. Микроскопические методы исследования материалов / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхардт. – М. : Техносфера, 2007. – 376 с.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ОБЪЕМНОЙ АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ

Е. В. Хазеев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

В области машиностроения в настоящее время все большее значение приобретают теоретические и экспериментальные исследования неустановившихся процессов, в частности исследования, направленные на изучение гидравлических систем с объемной адаптацией к нагрузке мобильных машин. Данный интерес к нестационарным процессам вызван непрерывно растущими технико-экономическими требованиями к мобильным машинам в области машиностроения [1].

Целью настоящей работы является создание математической модели гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке и выполнение подбора основных математических моделей гидравлических элементов системы с объемной адаптацией к нагрузке для случая равномерного распределения суммарного расхода, настроенного на исполнительных органах в течение рабочего цикла.

Математическое описание исследуемой гидравлической системы представляет собой динамическую модель системы алгебраических и дифференциальных уравнений. Данные уравнения системы описывают работу гидравлического привода на каждом этапе рабочего цикла и отражают основные рабочие параметры гидравлической системы.

В начале разработки математической модели допускается принять следующими условия:

- рабочая жидкость является несжимаемой и однородной, неустановившийся поток не влияет на величину потерь;
- возникновение кавитации сводится к минимуму;
- коэффициенты расхода дросселирующих устройств и параметры рабочей жидкости являются постоянными значениями;
- потери давления по длине и потери на сухое трение являются малыми значениями, в результате чего данные величины в расчете допускается не учитывать.

Для определения основных узлов гидравлической системы с адаптацией к нагрузке построим ее структурную схему (рис 1). Из структурной схемы выделяем основные узлы и составляем системы уравнений для формирования математической модели.

Основные узлы системы:

- узел регулируемого насоса с чувствительным к нагрузке управляющим золотником, который состоит из регулируемого аксиально-поршневого насоса, регулятора насоса с чувствительным к нагрузке золотником и цилиндра;