

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЛОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ И ЕЕ ПОИСК ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ

**А.А. Пинус, С.П. Пронин, А.В. Собачкин**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

В статье смоделировано изменение начального изображения поверхности пьезоэлемента, полученного с помощью оптического профилометра. Для визуального поиска и оценки фрагмента измененного изображения использован метод подчеркивания границ. Для автоматизированного поиска фрагмента изображения использована двумерная корреляционная функция.

**Ключевые слова:** оптическое изображение, обработка изображений, корреляционная функция.

При исследовании или контроле новых материалов, покрытий широко используют оптические методы и средства, в частности оптический профилометр Wyko NT [1-3].

Данный прибор способен передать изменения в профиле поверхности, измерить параметры шероховатости, однако в нем отсутствуют функции поиска определенной локальной области на поверхности. Такая задача возникает, например, при исследовании поверхности в локальной области до и после механического сдвига одной поверхности относительно другой в пределах 1 мкм.

Для решения этой задачи вначале необходимо зафиксировать изображение исследуемой области до воздействия, а потом найти эту же область и зафиксировать изображение после воздействия. Однако изучаемая площадь очень маленькая. Для оптического профилометра она составляет 230x310 мкм. Очевидно, что очень проблематично отыскать исследуемую микронную область на общей площади поверхности в несколько квадратных миллиметров [4]. Тем более, что после воздействия изображение исследуемой области может отличаться от начального эталонного изображения.

Цель работы – смоделировать изменения начального изображения поверхности, полученного с помощью оптического профилометра, выполнить обработку изображения и дать оценку проведенному исследованию.

На рисунке 1 представлено исходное изображение исследуемой поверхности, полученное на профилометре. На рисунке 2 – топография исследуемой области в 3D. На рисунке 2 выступы имеют геометрическую фигуру в виде «сердца». При тщательном визуальном осмотре рисунка 1 наибольшая

высота выступов «сердца» видна как небольшая светлая полоска. В процессе механического смещения поверхностей вероятны разрушения выступов. На рисунке 3 представлено исходное изображение, в котором светлая полоска заретуширована, т.е. смоделирован процесс изменения структуры исследуемой поверхности. Исследуемая область выделена светлым прямоугольником.

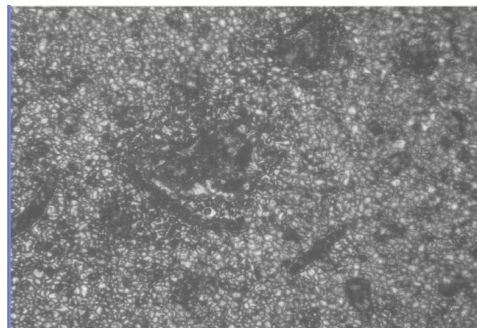


Рисунок 1 – Исходное изображение области исследуемой поверхности

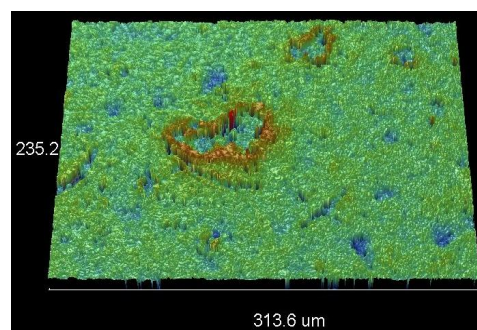


Рисунок 2 – Топография исследуемой области в 3D

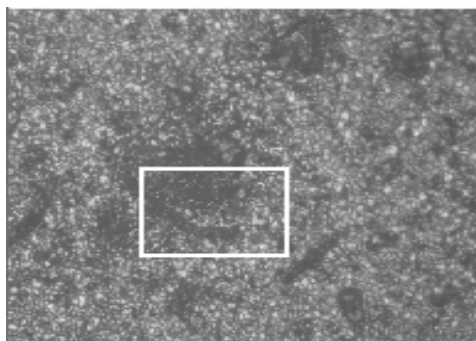


Рисунок 3 – Модель изображения поверхности с механическим повреждением

Для улучшения визуального восприятия использовали алгоритм подчеркивания границ, реализованный в программном продукте MathCad. Данный метод усиливает контрастность границ раздела однородных областей [5, 6]. Ниже представлен фрагмент программы, реализующий этот алгоритм:

$$f3 := \begin{cases} \text{for } i \in 0..300 \\ \quad \text{for } j \in 0..300 \\ \quad \quad b_{i,j} \leftarrow (f_{i,j} - U)^n \end{cases} b$$

Функция  $f_{i,j}$  - это исходное изображение,  $U$  – задаваемый уровень порога,  $n$  - коэффициент усиления. Результат обработки представлен на рисунке 4.

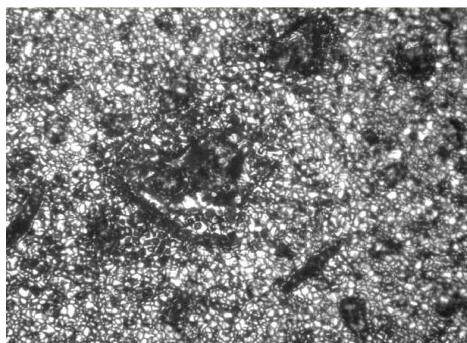


Рисунок 4 – Обработанное изображение поверхности объекта по методу подчеркивания границ

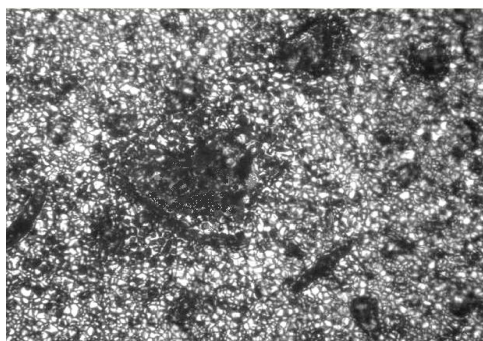


Рисунок 5 – Обработанное изображение «поврежденной» поверхности объекта по методу подчеркивания границ

Этот же алгоритм был использован при обработке изображения с «поврежденной» поверхностью (рисунок 5).

Как видно из представленных изображений, «повреждения» видны гораздо лучше, чем в исходном изображении, полученном на профилометре.

Для анализа полученных изображений и поиска фрагмента изображения в автоматизированном режиме использовали двумерную корреляционную функцию [6].

В качестве эталонного изображения был взят фрагмент из исходного изображения размером  $70 \times 130$  пикселей.

Расчет двумерной корреляционной функции был реализован в программе MathCad:

$$f2 := \begin{cases} \text{for } i \in -270..140 \\ \quad \text{for } j \in -190..300 \\ \quad \quad c1 \leftarrow \text{submatrix}(f, i+270, i+340, j+190, j+320) \\ \quad \quad c2 \leftarrow \text{submatrix}(f, 270, 340, 190, 320) \\ \quad \quad b_{i+270, j+190} \leftarrow \text{corr}(c1, c2) \end{cases} b$$

График сечения корреляционной функции объекта «исходное изображение – фрагмент исходного изображения» представлен на графике рисунка 6. Поскольку и исследуемое изображение, и фрагмент – это одни и те же объекты, то естественно максимум корреляции равен единице в области пространственного совпадения фрагмента и изображения.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЛОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ И ЕЕ ПОИСК ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ

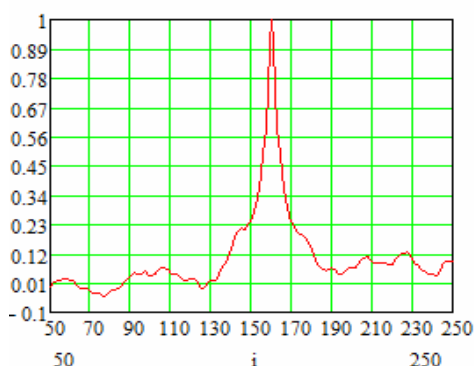


Рисунок 6 – График сечения корреляционной функции исходного изображения с фрагментом исходного изображения

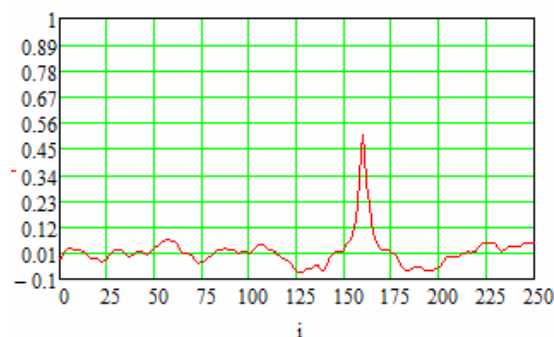


Рисунок 7 – График сечения корреляционной функции «поврежденного» изображения с фрагментом исходного изображения

График сечения корреляционной функции объекта «изображение с механическим повреждением – фрагмент исходного изображения» представлен на графике рисунка 7. Как видно из рисунка, при полном пространственном совпадении эталона и «поврежденного» изображения максимальное значение функции корреляции не превышает 0,56.

### Выводы.

Оптический профилометр дает малоконтрастное изображение поверхности. Чтобы оценить и исследовать изменения профиля поверхности в локальной области до и после механического воздействия требуется обработка регистрируемых изображений.

На первом этапе необходимо повысить контраст изображения, чтобы визуально оценить локальные области изучаемой поверхности.

На втором этапе выделить фрагмент первоначального изображения локальной области, который будет представлять эталон, и найти корреляционную функцию эталона и изображения с измененной поверхностью.

На третьем этапе по профилограмме измерить изменения высоты рельефа.

В предложенной методике оценки изменения профиля не рассмотрены возможные малые угловые смещения эталона относительно изображения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манякин Д. С., Чардынцев В. В., Лунькова А.А. и др. Исследование структуры и шероховатости гидрофобных композиционных покрытий на основе полисульфона [Электронный ресурс] / Электронный научный журнал "Современные проблемы науки и образования". Режим доступа: <http://www.science-education.ru>
2. Степаненко Е. В. Разработка научных и технологических принципов формирования адгезионных подслоев на твердосплавном инструменте для осаждения алмазных покрытий [Текст]. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук: 05.16.06 / Степаненко, Екатерина Владимировна. – Москва, 2011.
3. Кузнецов В. П., Макаров А. В., Саврай Р. А и др. Финишная обработка термоупрочненной высокохромистой стали однопроходным алмазным выглаживанием на токарно-фрезерном центре инструментом с узлом динамической стабилизации // Вестник научно-технического развития. – 2011. – №5(45). – С.20 – 36.
4. Chi, T., Ballinger, T. Surface Texture Analysis Using Dektak Stylus Profilers [Текст] / T. Chi, T. Ballinger. – USA, 2004. – 4 с.
5. Брейсуэлл, Р. Преобразование Хартли: перевод с англ. [Текст] / Р. Брейсуэлл. – М.: Мир, 1990. – 175 с.
6. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений [Текст] / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – 790 с.

**Пинус Анатолий Андреевич** – студент, тел.: (3852) 29-09-13, e-mail: PkHell@yandex.ru; **Пронин Сергей Петрович** – д.т.н., профессор; **Собачкин Алексей Викторович** – аспирант.