

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЭРОЗИИ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ

С.С. Гуцин

stickach@mail.ru

SPIN-код: 8253-6193

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Предложен метод восстановления профиля эрозии поверхности твердого тела с помощью многослойных покрытий. Распыление материала вызвано ионной бомбардировкой поверхности образца. Предварительно нанесенное многослойное покрытие состояло из оптически контрастных слоев двух металлов, меди и алюминия. Метод основан на обработке цифрового изображения многослойного покрытия, полученного с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio Imager Z2m, в программном пакете MATLAB. Для упрощения обработки изображения с фотографии были предварительно удалены различные дефекты. Применение данного метода позволяет в кратчайшие сроки оценить профиль эрозии многослойного покрытия, обработанного неоднородным ионным пучком, что является важным преимуществом предлагаемого метода.

Ключевые слова

Цифровое изображение, алгоритм, профиль эрозии, ионный пучок, многослойное покрытие, поверхность, объемная фигура, оптический контраст

Поступила в редакцию 16.10.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

При бомбардировке поверхности твердого тела ионами и атомами происходит распыление материала. При работе плазменных установок и устройств это приводит к негативным эффектам, поскольку эрозия, вызванная ионной бомбардировкой, способствует изменению профиля поверхностей.

В настоящее время для измерения ионного потока необходимо использовать либо методы, основанные на контактах с плазмой, которые сложно реализовать, что обуславливает недостатки этих методов, либо оптические методы, реализация которых является очень затратной [1–5]. Предлагаемый метод лишен этих недостатков.

Профиль выработки поверхности и профиль плотности ионного тока в потоке ионов на поверхность изделия можно определять по картинам распыления предварительно нанесенного многослойного покрытия, состоящего из оптически контрастных материалов [6]. При воздействии на поверхность многослойного покрытия неравномерного ионного пучка скорости распыления в различных ее точках будут различаться. После обработки на поверхности проявится контрастная картина травления, образованная в результате распыления различного количества слоев покрытия и повторяющая профиль выработки.

В результате по полученным изображениям с помощью микроскопа либо фотоаппарата можно восстановить профиль выработки поверхности многослойного покрытия, который необходим для нахождения распределения плотности тока, приходящего на поверхность.

Данная работа посвящена методике восстановления профиля эрозии многослойного покрытия. Метод основан на обработке цифрового изображения многослойного покрытия, состоящего из оптически контрастных материалов [7–8].

В качестве исходного материала для обработки изображений в программном пакете MATLAB [9] использовали фотографии образца с протравленным многослойным покрытием, полученные с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio Imager Z2m. Данное покрытие состоит из чередующих слоев меди и алюминия (рис. 1, а).

Для упрощения обработки изображения было выполнено удаление различных дефектов с фотографии с помощью программы Photoshop CS6. Данная процедура необходима, поскольку иначе алгоритм обработки будет работать некорректно, а получаемый результат не будет соответствовать действительности. В качестве фильтра для обработки фотографии использовали функцию «Медиана». Обработанное изображение показано на рис. 1, б.

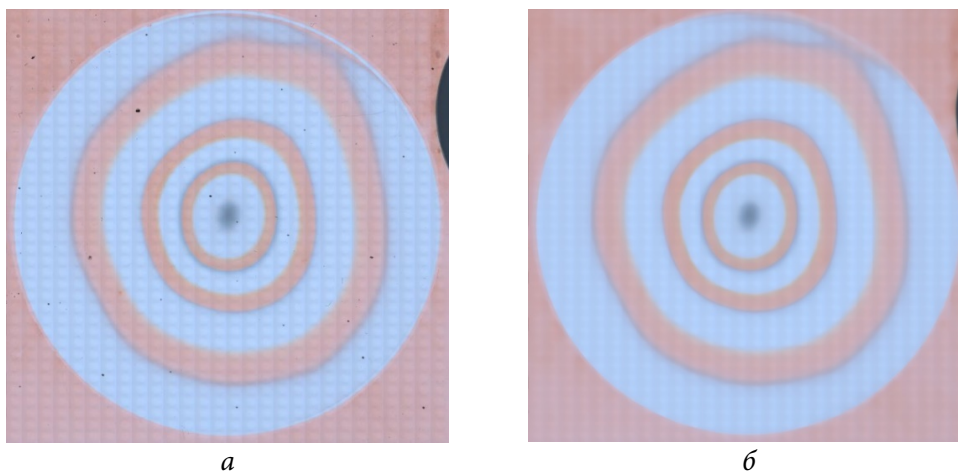


Рис. 1. Исходное изображение поверхности образца (а) и после обработки в программе Photoshop CS6 (б)

Программа для восстановления профиля эрозии многослойного покрытия написана в программном пакете MATLAB. Алгоритм обработки изображения включает следующие операции:

- 1) сегментирование изображения по слоям с его преобразованием в бинарный вид;
- 2) присвоение каждому сегменту высоты, равной толщине слоя материала многослойного покрытия;

3) выполнение бесструктурной интерполяции с предварительным прореживанием данных;

4) построение сечения полученной объемной фигуры.

Сегментирование слоев на изображении происходит с помощью RGB-составляющей. Для этого настраивают диапазон значений по каждому из каналов RGB с применением фильтрующей маски, позволяющей безошибочно отделить один слой от другого, после чего данное изображение переводится в бинарный вид (рис. 2).



Рис. 2. Исходное изображение в бинарном виде

Для построения объемной фигуры профиля эрозии необходимо присвоить заданные значения высот каждому из сегментов. Для этого в программе реализован цикл, который присваивает значения высот сначала белым сегментам на бинарном изображении, а затем черным. В результате получается объемная фигура со ступенчатыми переходами по уровням (рис. 3). Затем необходимо выполнить бесструктурную интерполяцию данных, записанных в матрицу. Для упрощения программы и увеличения ее быстродействия необходимо осуществить прореживание данных с дальнейшим построением новых сеток.

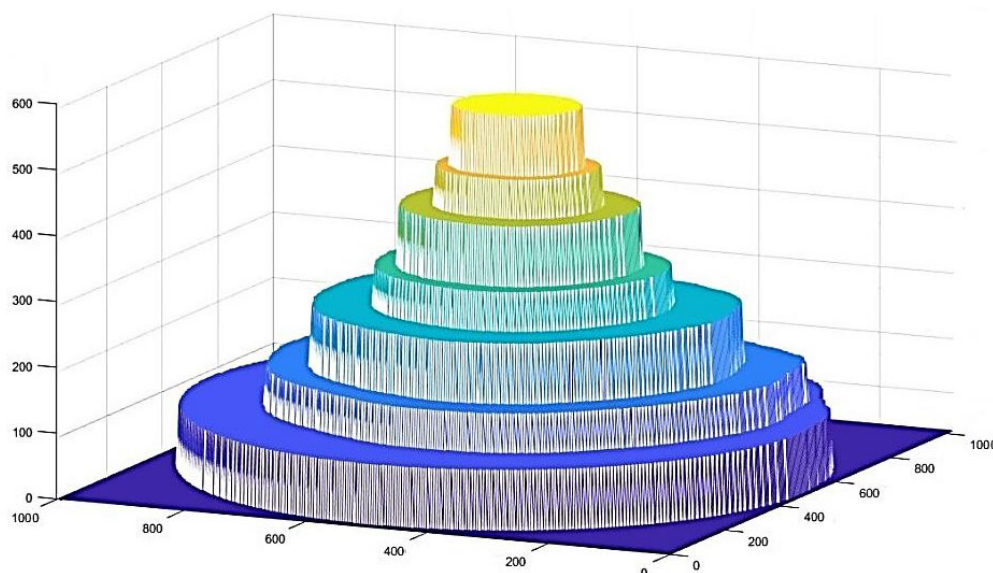


Рис. 3. Ступенчатые переходы

Бесструктурную интерполяцию выполняют путем создания областей в сетке, значения на краях которых являются узловыми точками. Разница между такими точками будет либо минимумом, либо максимумом высоты. В результате получают объемную фигуру эрозии многослойного покрытия (рис. 4).

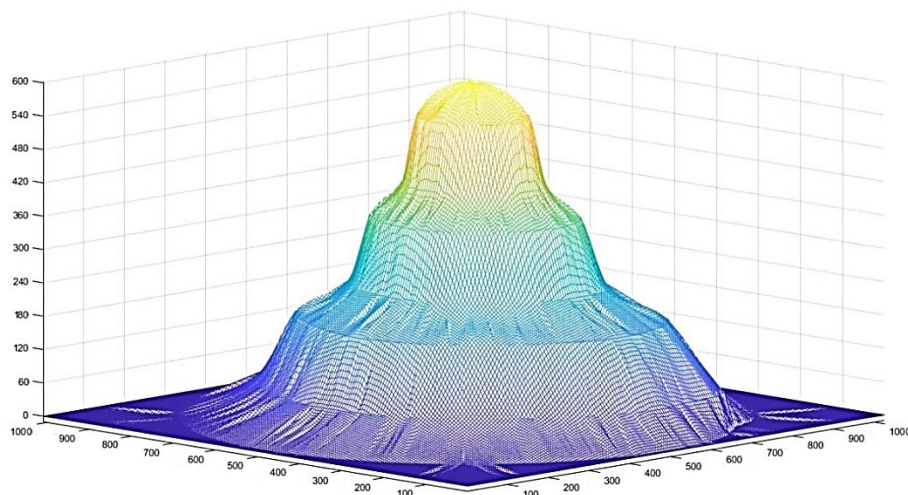


Рис. 4. Объемное изображение эрозии многослойного покрытия

Данная программа позволяет также строить сечения объемной фигуры, задавая координаты и используя новую сетку данных (рис. 5).

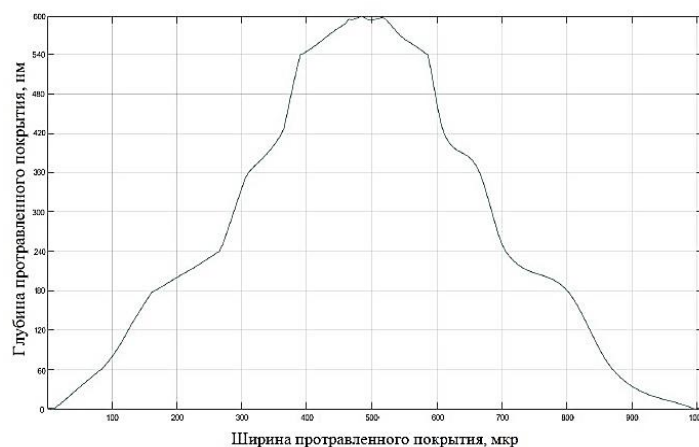


Рис. 5. Профиль эрозии многослойного покрытия

Таким образом, предложенная методика позволяет получать профили эрозии многослойного покрытия, состоящего из чередующихся оптически контрастных слоев. Преимуществами данного алгоритма являются простота обработки и высокое разрешение.

Литература

- [1] Демидов В.И., Колоколов Н.Б., Кудрявцев А.А. *Зондовые методы исследования низкотемпературной плазмы*. Москва, Энергоатомиздат, 1996, 235 с.
- [2] Absalamov S.K., Andreev V.B., Colbert T., Day M., Egorov V.V., Gnizdor R.U., Kaufman H, Kim V., Koriakin A.I, Kozubskii K.N. Measurement of plasma parameters in the stationary plasma thruster (SPT-100) plume and its effect on spacecraft components. *28th AIAA/ASME/SAE/ASE Joint Propulsion Conf. and Exhibit*, 1992, paper AIAA-1992-3156.
- [3] Кожевников В.В., Смирнов А.А., Смирнов П.Е., Черный И.А. Автоматизированная система диагностики параметров выходного пучка радиочастотного двигателя. *Труды МАИ*, 2014, № 75. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=49699>.
- [4] Shastry R., Hofer R.R., Reid B.M., Gallimore A.D. Method for analyzing ExB probe spectra from hall thruster plumes. *44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. And Exhibit*, 2008, paper AIAA 2008-4647.
- [5] Hofer R.R., Gallimore A.D. Ion species fractions in the far-field plume of a high-specific impulse hall thruster. *39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. and Exhibit*, 2003, paper AIAA 2003-5001.
- [6] Духопельников Д.В., Воробьев Е.В., Ивахненко С.Г., Ахметжанов Р.В., Обухов В.А., Попов Г.А., Хартов С.А. Методика визуализации и определения профиля эрозии поверхности, вызванной ионной бомбардировкой. *Поверхность. Рентген. синхротр. и нейтрон. исслед.*, 2016, № 1, с. 15–20.
- [7] Яне Б. *Цифровая обработка изображений*. Москва, Техносфера, 2007, 584 с.
- [8] Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. Москва, Техносфера, 2006, 616 с.
- [9] Иткин В.Ю., Кочуева О.Н. *Интерполяция и сглаживание данных в пакете MATLAB*. Москва, РГУ НИУ им. И.М. Губкина, 2016, 131 с.

Гущин Сергей Сергеевич — студент кафедры «Плазменные энергетические установки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Ивахненко Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Плазменные энергетические установки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**THE METHOD OF RESTORING THE PROFILE OF SURFACE EROSION
BY USING MULTILAYER COATINGS**

S.S. Guschchin

stickach@mail.ru

SPIN-code: 8253-6193

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The main idea of the text is a method for restoring the profile of erosion of a solid surface by means of multilayer coatings is proposed. The atomization of the material is caused by ion bombardment of the sample surface. The pre-applied multilayer coating consisted of optically contrasting layers of two metals, copper and aluminum. In his paper the author showed that the method is based on processing of digital image of multilayer coating obtained by Carl Zeiss Axio Imager Z2m microscope in MATHLAB software package. Various defects were previously removed from the photo to simplify image processing. The author points out that the application of this method makes it possible to estimate the erosion profile of a multilayer coating treated with an inhomogeneous ion beam in the shortest possible time, which is an important advantage of the proposed method.

Keywords

Digital image, algorithm, erosion form, ion beam, multilayer coating, surface, solid, optical contrast

Received 16.10.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Demidov V.I., Kolokolov N.B., Kudryavtsev A.A. Zondovye metody issledovaniya nizkotemperaturnoy plazmy [Probe research methods for low-temperature plasma]. Moscow, Energoatomizdat publ., 1996, 235 p.
- [2] Absalamov S.K., Andreev V.B., Colbert T., Day M, Egorov V.V, Gnizdor R.U., Kaufman H, Kim V., Koriakin A.I, Kozubskii K.N. Measurement of plasma parameters in the stationary plasma thruster (SPT-100) plume and its effect on spacecraft components. *28th AIAA/ASME/SAE/ASE Joint Propulsion Conf. and Exhibit*, 1992, paper AIAA-1992-3156.
- [3] Kozhevnikov V.V., Smirnov A.A., Smirnov P.E., Chernyy I.A. Computerized diagnostic system for the parameters of radio-frequency ion thruster output beam. *Trudy MAI*, 2014, no. 75. Available at: <http://trudymai.ru/published.php?ID=49699>.
- [4] Shastry R., Hofer R.R., Reid B.M., Gallimore A.D. Method for analyzing ExB probe spectra from hall thruster plumes. *44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. and Exhibit*, 2008, paper AIAA 2008-4647.
- [5] Hofer R.R., Gallimore A.D. Ion species fractions in the far-field plume of a high-specific impulse hall thruster. *39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. and Exhibit*, 2003, paper AIAA 2003-5001.
- [6] Dukhopel'nikov D.V., Vorob'yev E.V., Ivakhnenko S.G., Akhmetzhanov R.V., Obukhov V.A., Popov G.A., Khartov S.A. Technique for the visualization and determination of the surface-erosion profile caused by ion bombardment. *Poverkhnost'. Rentgen. sinkhrotr. i neytron. issled.*, 2016, no. 1, pp. 15–20. (Eng. version: *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2016, vol. 10, no. 1, pp. 10–14.)

- [7] Jähne B. Digital image processing. Springer, 2005, 608 p. (Russ. ed.: Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Moscow, Tekhnosfera publ., 2007, 584 p.)
- [8] Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L. Digital image processing using MATLAB. Pearson Prentice Hall, 2003, 609 p. (Russ. ed.: Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB. Moscow, Tekhnosfera publ., 2006, 616 p.)
- [9] Itkin V.Yu., Kochueva O.N. Interpolyatsiya i sglazhivanie dannykh v pakete MATLAB [Data interpolation and smoothing in MATLAB software]. Moscow, Gubkin University publ., 2016, 131 p.

Gushchin S.S. — Bachelor's Degree student, Department of Plasma and Power Plants, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific adviser — S.G. Ivakhnenko, PhD of Engineering, Assist. Professor, Department of Plasma and Power Plants, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.