

УДК 621.9.02

В.Л. Доброскок, д-р техн. наук, Харьков, Украина,
А.Н. Шпилька, Полтава, Украина, В.Б. Котляров, Харьков, Украина

ПОЛУЧЕНИЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Розглянуто методологію отримання триангуляційної моделі рельєфу шліфувальних кругів і її морфологічного аналізу. Модель створюється з набору фотографій досліджуваної ділянки робочої поверхні круга, які відрізняються між собою різною просторовою орієнтацією області глибини різко зображуваного простору в процесі зйомки.

Рассмотрена методология получения триангуляционной модели рельефа шлифовальных кругов и ее морфологического анализа. Модель создается из набора фотографий исследуемого участка рабочей поверхности круга, которые отличаются между собой различной пространственной ориентацией области глубины резко изображаемого пространства в процессе съемки.

The methodology of receiving of a triangulation model of the working surface of grinding wheels and morphological analysis was considered. The model creates from the set of photos of researching area of working surface of grinding wheel, which differ between each other by the different spatial orientation and the depth of sharply represented space during the process of recording.

Введение. Поддержание высокой режущей способности кругов является одним из главных факторов обеспечения эффективности процесса шлифования. При исследованиях и разработке рациональных методов формирования и поддержания развитого рельефа шлифовальных инструментов применяются различные способы регистрации и анализа его геометрических характеристик. Эти способы подразделяются на контактные и бесконтактные. Они имеют как преимущества, так и недостатки (ограничения по точности, сложности реализации и затратам). Недостатком профилографирования является искажающее влияние геометрических параметров ощупывающей иглы на степень достоверности результатов [1]. Лазерное сканирование лишено такого недостатка, но не позволяет выделять поверхности связки и зерен, а также требует применения дорогостоящего оборудования [2]. Применяется также топографирование, осуществляемое следующими способами: многократное профилографирование [3]; последовательное снятие шлифов [4]; нанесение многослойных покрытий, отличающихся по цвету или фактуре и снятия шлифа по уровню наиболее выступающих зерен [5]; стереофотографирование [6]. Однако метод топографирования не получил достаточного распространения из-за его сложности и достаточно большой трудоемкости.

Целью данной статьи является рассмотрение методологии получения 3D модели рельефа рабочей поверхности шлифовальных кругов, пригодной для анализа ее характеристик в системе морфологического анализа триангуляционных моделей [7, 8], разработанной на кафедре интегрированных технологий им. М.Ф. Семко, НТУ «ХПИ».

Основное содержание работы. На первом этапе была рассмотрена возможность реализации методологии получения 3D модели участка рабочей поверхности шлифовального круга путем многократного фотографирования одного и того же участка под различными углами с помощью цифрового USB-микроскопа Supereyes B008 и сведения массива полученных фотографий в 3D модель. При этом подходе применялась программа Autodesk 123D Catch. При реализации данного подхода использовалось устройство для пространственной ориентации микроскопа относительно исследуемой поверхности с возможностью поворота оптической оси вокруг точки фокусировки для съемки под заданными углами.

При макросъемке рельефа рабочей поверхности шлифовального круга отклонение оси оптической системы от нормали к исследуемой поверхности приводит к выходу значительной доли площади изображения за пределы глубины резко изображенного пространства (ГРИП) [9]. Чем больше отклонение, тем меньшая площадь исследуемой поверхности остается в зоне резкости. Данная проблема была решена использованием программы HeliconSoft Helicon Focus Professional, которая позволяет получить одно сфокусированное изображение из нескольких частично сфокусированных, комбинируя сфокусированные области.

При практической реализации методики формирования 3D модели путем ее получения из 10÷15 снимков, сфотографированных с различных ракурсов и под различными углами, были установлены требования, обеспечивающие адекватность 3D модели:

- механическая система с 6-ю степенями свободы должна обеспечивать пространственную ориентацию микроскопа относительно исследуемого фрагмента рабочей поверхности круга с точностью ± 10 мкм на линейные и $\pm 30^\circ$ на угловые перемещения;

- для компенсации малой величины ГРИП оптической системы микроскопа необходимо каждый из 10÷15 резких по всей площади снимков получать из 4÷6, снятых в условиях последовательного перемещения области ГРИП;

- в процессе съемки необходимо поддерживать постоянные интенсивность и угол падения освещения на исследуемую поверхность и не допускать возникновения бликов и рефлексов [9].

Наличие этих требований обуславливает сложность технической реализации рассматриваемой методологии. Применение такого подхода, вследствие механических перемещений камеры и поэтапного формирования

изображений, неизбежно приводит к накоплению погрешностей и снижению уровня адекватности 3D модели.

Уменьшение влияния погрешностей на точность фиксации начальных данных было достигнуто путем минимизации перемещения микроскопа относительно исследуемого участка поверхности инструмента и сокращением необходимого количества снимков до 4÷6. Этот подход был реализован с использованием программы HeliconSoft Helicon Focus Professional. Его суть заключается в имитации послойного сканирования рельефа поверхности путем последовательного получения снимков с пошаговым вертикальным перемещением области ГРИП. На рис. 1 и 2 представлены фотографии поверхностей абразивного круга ПВ 25А 40 80×63×20 СМ 2 и алмазного круга АСВ 125/100 МВ1 100 с кратностью увеличения ×160 (а), OBJ-модели с наложенными растровыми текстурами (б), и те же модели показаны повернуто с целью демонстрации рельефа (в).

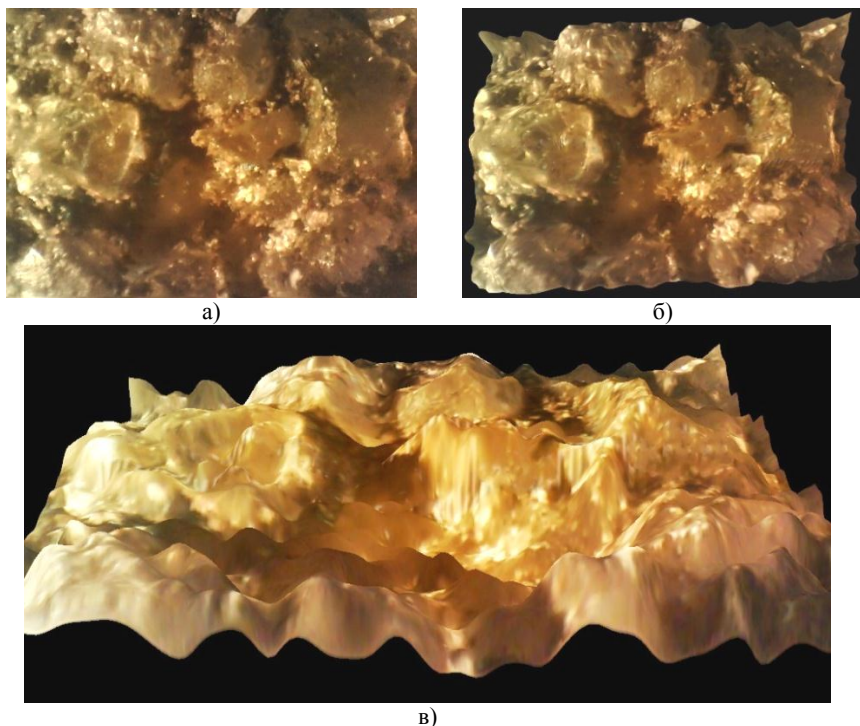


Рисунок 1 – Участок рабочей поверхности абразивного круга
ПВ 25А 40 80×63×20 СМ 2:

а – фотография участка рабочей поверхности абразивного круга;
б, в – 3D модели рабочей поверхности

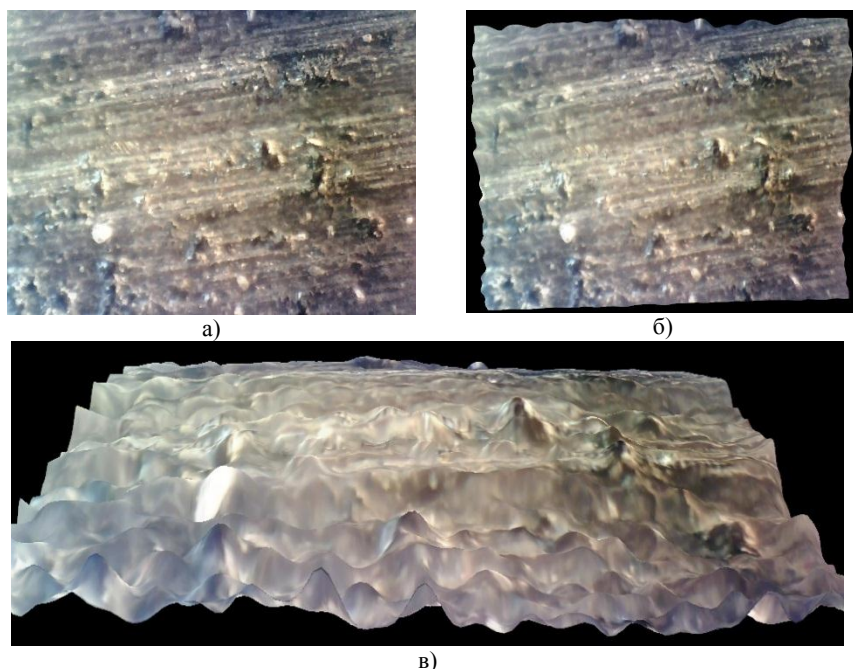


Рисунок 2 – Участок рабочей поверхности алмазного круга АСВ 125/100 МВ1 100:
а – фотография участка рабочей поверхности алмазного круга;
б, в – 3 D модели рабочей поверхности

Уровень адекватности получаемых 3D моделей зависит от следующих основных факторов: разрешения цифровой матрицы, разрешающей способности и кратности увеличения оптической системы, а также особенностей программного обеспечения. Проверка адекватности 3D моделей осуществляется путем анализа геометрических характеристик теней, отбрасываемых выступами рельефа исследуемого участка (рис. 3). Измеряется длина тени l от выступающего из связки на высоту h зерна, отбрасываемая источником света, расположенного под углом α к оптической оси микроскопа. С учетом кратности оптического увеличения K микроскопа, высоту выступления зерна над уровнем связки можно рассчитать по зависимости $h \approx l \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot K^{-1}$.

Основным преимуществом предложенной методологии является возможность получения адекватных 3D моделей исследуемых поверхностей шлифовальных кругов при относительно невысокой сложности реализации.

На рис. 4 представлена блок-схема получения базы данных 3D модели фрагмента рабочей поверхности шлифовального круга.

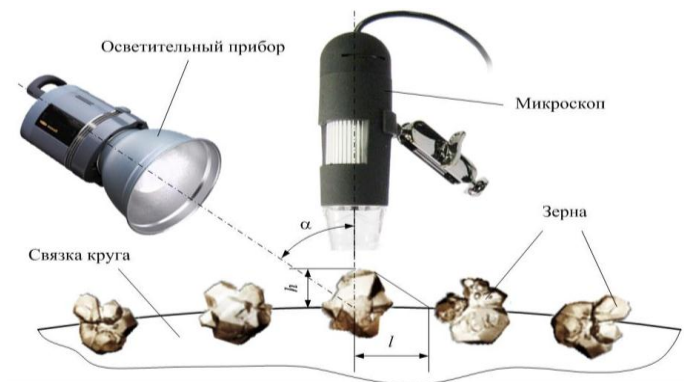


Рисунок 3 – Схема определения высоты выступающих зерен над уровнем связки шлифовального круга

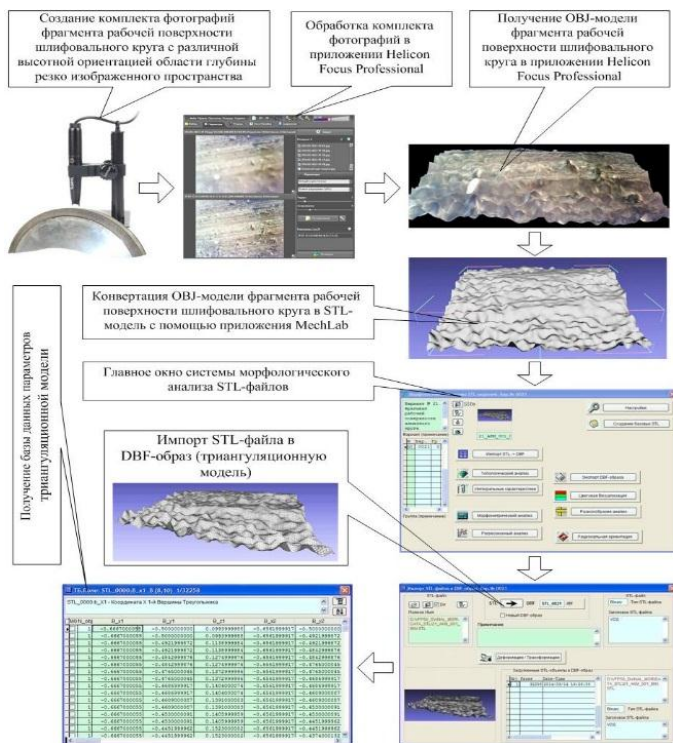


Рисунок 4 – Блок-схема получения базы данных триангуляционной модели фрагмента рабочей поверхности шлифовального круга

На рис. 5 представлена главная экранная форма системы морфологического анализа. Применительно к исследованию 3D модели фрагмента рабочей поверхности шлифовального круга, данная система позволяет реализовать:

- преобразование STL-файла в DBF-образ (рис. 6) с заданной точностью округления координат вершин;
- топологический анализ (определение характеристики Эйлера-Пуанкаре, рода поверхности, анализ смежности граней и ребер);
- определение интегральных характеристик (линейных, угловых, поверхностных и объемных);
- морфометрический анализ модели (определение статистических характеристик исследуемых признаков на базе элементов вершин, ребер и граней);
- корреляционный и функционально-регрессионный анализ взаимосвязи исследуемых признаков с использованием заданного набора уравнений регрессии;
- цветовую визуализацию по заданным признакам;
- экспорт данных DBF-образа в форматы STL, PLY, OBJ и OFF.



Рисунок 5 – Главная экранная форма программы морфологического анализа STL-моделей

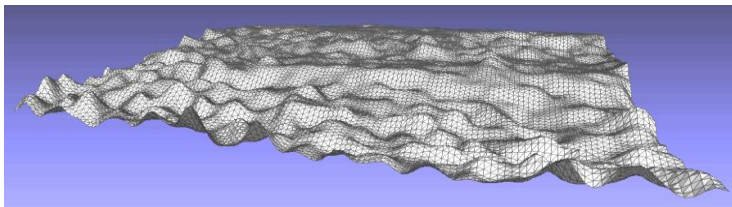


Рисунок 6 – Триангуляционная модель участка рабочей поверхности алмазного круга АСВ 125/100 МВ1 100 %

Блок-схема морфологического анализа триангуляционной модели участка поверхности шлифовального круга представлена на рис. 7.

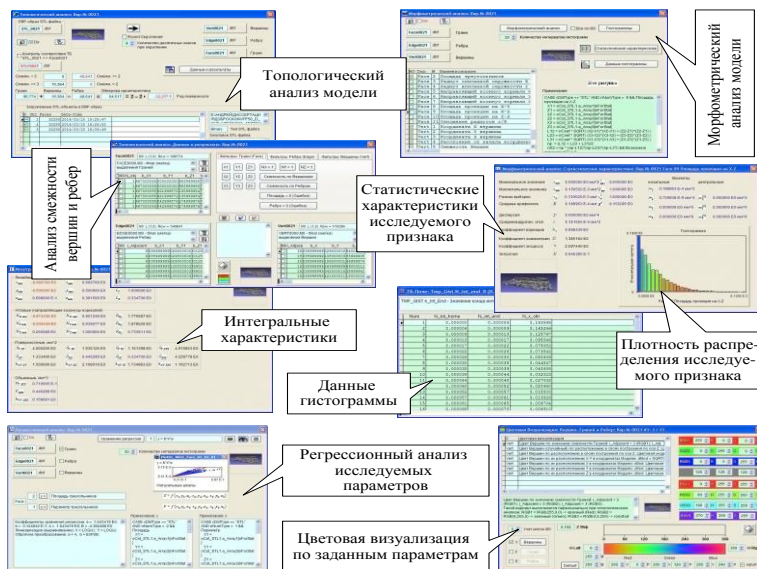


Рисунок 7 – Блок-схема морфологического анализа триангуляционных моделей

Для оценки параметров продольного профиля [10] рабочей поверхности шлифовального инструмента в систему морфологического анализа необходимо добавить комплекс исследуемых признаков, позволяющих дифференцировать высоту t_g и шаг волнистости h_g 3D модели. В этот комплекс необходимо включить характеристики, позволяющие выявить регулярные изменения величин координат вершин модели.

Выводы. Для получения адекватных 3D моделей поверхности шлифовального инструмента рационально применять методологию

последующего фотографирования с пошаговым смещением области глубины резко изображенного пространства оптической системы цифрового микроскопа. Система морфологического анализа триангуляционных моделей, разработанная на кафедре интегрированных технологий им. М.Ф. Семко НТУ «ХПИ» позволяет реализовать топологический, морфометрический и регрессионный анализ триангуляционных моделей, получать их статистические и интегральные характеристики. В перспективе планируется расширение возможностей системы по анализу морфометрических характеристик рельефа рабочей поверхности шлифовального инструмента.

Список использованных источников: 1. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 2. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Федорович В.А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебн. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с. 3. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с. 4. Электроимпульсная обработка металлов / А.Л. Лившиц, А.Т. Кравец, И.С. Рогачев, А.Б. Сосенко. – М.: Машиностроение, 1967. – 294 с. 5. Способ исследования неровностей поверхности: А.с. 1054669 СССР, МКИ G 01 B 5/28. / В.Л. Доброскок, В.Ф. Дрожин, А.И. Грабченко, А.И. Михайлов. № 3360097/15-28; Заявлено 20.11.81; Опубл. 15.11.83, Бюл. № 42. – 3 с. ил. 6. Сильвестров В.Д. Безалмазная правка шлифовальных кругов. – М.: Оборонгиз, 1955. – 128 с. 7. Доброскок В.Л., Фадеев В.А. и др. Морфологический анализ триангуляционных моделей промышленных изделий // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2011. – Вып. 79. – С. 52-63. 8. Доброскок В.Л., Абдурайимов Л.Н., Чернышов С.И. Интегральные характеристики триангуляционных 3D моделей изделий // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2011. – Вып. 80. – С. 92-101. 9. Яштold-Говорко В.А. Фотосъемка и обработка. Съемка, формулы, термины, рецепты. Изд. 4-е, сокр. – М.: «Искусство», 1977. – 343 с. 10. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.

Bibliography (transliterated): 1. Popov S.A., Malevskij N.P., Tereshhenko L.M. Almazno-abrazivnaya obrabotka metallov i tverdykh splavov. - M.: Mashinostroenie, 1977. - 263 s. 2. Grabchenko A.I., Dobroskok V.L., Fedorovich V.A. 3D modelirovaniealmazno-abrazivnykh instrumentov i processov shlifovaniya: Uchebn. posobie. - KHar'kov: NTU "KHPI", 2006. - 364 s. 3. Dunin-Barkovskij I.V., Kartashova A.N. Izmerenie i analiz sherokhozatosti, volnistosti i nekruglosti poverkhnosti. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 232 s. 4. EHлектроимпуль'snaya obrabotka metallov / A.L. Livshic, A.T. Kravec, I.S. Rogachev, A.B. Sosenko. - M.: Mashinostroenie, 1967. - 294 s. 5. Sposob issledovaniya nerovnostej poverkhnosti: A.s. 1054669 SSSR, MKI G 01 B 5/28. / V.L. Dobroskok, V.F. Drozhin, A.I. Grabchenko, A.I. Mikhajilov. № 3360097/15-28; Zayavleno 20.11.81; Opubl. 15.11.83, Byul. № 42. - 3 s. il. 6. Sil'vestrov V.D. Bezalmaznaya pravka shlifoval'nykh krugov. - M.: Oborongiz, 1955. - 128 s. 7. Dobroskok V.L., Fadeev V.A. i dr. Morfologicheskij analiz triangulyacionnykh modelej promyshlennykh izdelij // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh. - KHar'kov: NTU "KHPI". - 2011. - Vyp. 79. - S. 52-63. 8. Dobroskok V.L., Abdurajimov L.N., Chernyshov S.I. Integral'nye kharakteristiki triangulyacionnykh 3D modelej izdelij // Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh. - KHar'kov: NTU "KHPI". - 2011. - Vyp. 80. - S. 92-101. 9. YAshtold-Govorko V.A. Fotos'emka i obrabotka. S'emka, formuly, terminy, recepty. Izd. 4-e, sokr. - M.: "Iskusstvo", 1977. - 343 s. 10. Abrzivnaya i almaznaya obrabotka materialov: Spravochnik / Pod red. d-ra tekhn. nauk prof. A.N. Reznikova. - M.: Mashinostroenie, 1977. - 391 s.

Поступила в редколлегию 17.06.2014