

Е. А. Бабенко, В.А. Фадеев, д-р техн. наук,
В. А. Федорович, д-р техн. наук, Харьков, Украина,
Ф. Фидлер, Магдебург, Германия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПУТЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО 3D ТОПОГРАФИИ

У статті розглянуто сучасні способи визначення рельєфу ріжучої поверхні алмазних шліфувальних кругів і наведені дані про лабораторних дослідженнях топографії алмазних кругів на металічній та органічній зв'язці.

В статье рассмотрены современные способы определения рельефа режущей поверхности алмазных шлифовальных кругов и приведены данные о лабораторных исследованиях топографии алмазных кругов на металлической и органической связке.

*E. A. BABENKO, V.A. FADEEV, V. A. FEDOROVICH, F. FIDLER
DEFINITION OF A DIAMOND GRINDING WHEEL CUTTING SURFACE DETERIORATION
BY RESEARCH 3D TOPOGRAPHY*

The article deals with modern methods of determining the relief cutting surface of diamond grinding wheels and the data on laboratory studies of the topography of diamond wheels for metal and organic binder.

Введение: Алмазное шлифование является сложным дорогостоящим процессом, требующим грамотного применения алмазного инструмента и понимания природы износа шлифовальных кругов. Для предотвращения несвоевременного разрушения режущей поверхности алмазного круга необходимы сведения о топографии активной поверхности, интенсивности износа абразива и связки, отклонения геометрии круга и его пористости. Макро и микро топография рабочей поверхности алмазного круга является весомым фактором, определяющим чистоту обработанной поверхности детали [1]. Сегодня исследование геометрии рельефа режущей поверхности алмазного шлифовального инструмента относится к актуальным направлениям в теории резания материалов.

Абразивная поверхность шлифовального круга всегда является шероховатой поверхностью, представляющей собой совокупность абразивных зерен, соединенных посредством связующего. Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств абразивного инструмента в конкретных условиях его использования необходимо оценивать геометрию рельефа не только качественно по косвенным параметрам, но и количественно путем непосредственных измерений. Накопление известного опыта и понимание основных закономерностей, связывающих геометрические и физические параметры рельефа режущей поверхности с параметрами процесса резания и критериями качества

поверхности обрабатываемых деталей, в дальнейшем позволят сделать следующей необходимым шаг: перейти к нормированию и контролю основных характеристик рельефа режущей поверхности [2].

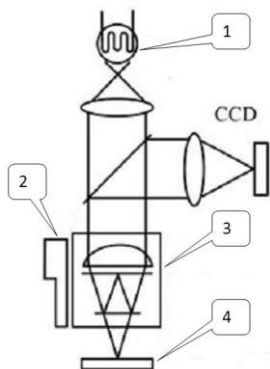
Для экспериментальной оценки геометрии рельефа режущей поверхности инструментов можно использовать различные методы. В зависимости от целей и поставленных задач исследования их можно разделить на два основных класса. Методы первого класса позволяют оценить рельеф с помощью геометрических характеристик, а второй класс методов позволяет исследовать рельеф с помощью интегральных методов характеристик, которые по косвенным параметрам дают определенное представление о состоянии рельефа рабочей поверхности инструмента [2]. К интегральным характеристикам можно отнести режущие свойства абразивной поверхности, шероховатость поверхности детали, тепловой режим в зоне обработки, силы резания при шлифования и т.п. В свою очередь, геометрические характеристики рельефа можно также разделить на две группы:

- 1) методы исследования топографии участков поверхности инструмента;
- 2) методы исследования профиля поверхности в нормальном сечении.

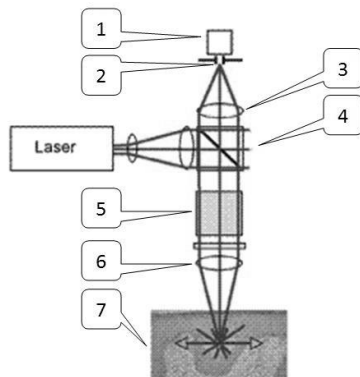
Методы второй группы уже получили широкое распространение, ввиду того, что они удобны в использовании и позволяют оценивать рельеф поверхности по достаточно известным параметрам, используемыми при контроле качества поверхности готовой детали [2]. К таким методам относятся метод профилографирования алмазной иглой, метод тепловой проекции, метод светового сечения, фотоэлектрический метод, метод теневой проекции и т.п. Наряду с достоинствами подобных методов, существуют и недостатки, которые зачастую приводят к погрешностям измерений. Так, при профилографировании абразивных поверхностей иногда возникают определенные трудности, вызванные большой поверхностной пористостью и значительными углами наклона граней на зернах. При непрерывном ощупывании таких поверхностей относительное перемещение происходит с большими углами давления, которые даже при малой массе подвижных элементов датчика могут вызвать значительные силы, вызывающие перекося измерительной системы, а иногда и поломки иглы [2]. Для устранения подобных трудностей разрабатываются необходимые методики, но все же не удастся полностью избежать дефектов получаемой профилограммы.

На сегодняшний день, уровень развития техники позволяет все чаще прибегать к более сложным методам первой группы геометрических характеристик рабочей поверхности. При изучении таких развитых поверхностей, как алмазоносный слой шлифовального круга, прибегают к исследованию комплексной топографии определенной площади поверхности, что позволяет получить полные сведения о ее состоянии и рельефе. Основываясь на параметрах, используемых при описании двумерных профилограмм поверхности в нормальном сечении, в 2007 году техническим комитетом ТС213 были ут-

вержены параметры (ISO-25178), с помощью которых трехмерная(3D) поверхность инструмента либо детали может быть описана стандартными параметрами шероховатости [3].



Принцип работы интерферометрического микроскопа 1) подсветка белым светом; 2) пьезоэлектрический датчик; 3) интерферометрический объектив; 4) исследуемая поверхность.



Принцип работы конфокального микроскопа 1) датчик; 2)точечное отверстие; 3) фокусирующая линза; 4) светодетектор; 5)сканирующая оптика; 6) объектив; 7) исследуемая поверхность.

Рисунок 1 – Принципиальная схема работы оптических приборов используемых для исследования топографии поверхности алмазных шлифовальных кругов

Существует ряд приборов, основанных на различных принципах измерения, которые позволяют исследовать топографию определенной площади круга с помощью получения 3D-поверхности в виртуальном пространстве [4]. Наиболее часто используются контактные и оптические измерительные системы. Контактное исследование производят с использованием координатных измерительных систем и щупа, подобно двумерному профилографированию. Отличие заключается в используемой трехмерной системе координат, а также в используемом пошаговом параллельном перемещении щупа. Оптические измерительные системы имеют преимущество в скорости измерений при сопоставимой точности результата. Существуют различия в используемых оптических системах, работающих по принципу микроскопии, интерферометрии или оптической триангуляции. В таких оптических приборах могут использоваться как простые однокоординатные, так и более сложные трехкоординатные датчики расстояния. Используемые принципы оптического измерения позволяют с высокой точностью определить геометрические параметры режущей поверхности алмазного круга (длину, профиль, форму либо общую топографию поверхности). К широко применяемым оптическим приборам для исследования топографии поверхности шлифкругов относятся:

- 1) интерферометр белого света;
- 2) конфокальный микроскоп;
- 3) растровый электронный микроскоп;
- 4) приборы лазерной триангуляции.

Необходимо подчеркнуть, что наноразмерные трехмерные изображения поверхности могут быть получены лишь при работе с конфокальным микроскопом и интерферометром белого света, что неоспоримо относится к преимуществам данной измерительной техники (рис. 1).

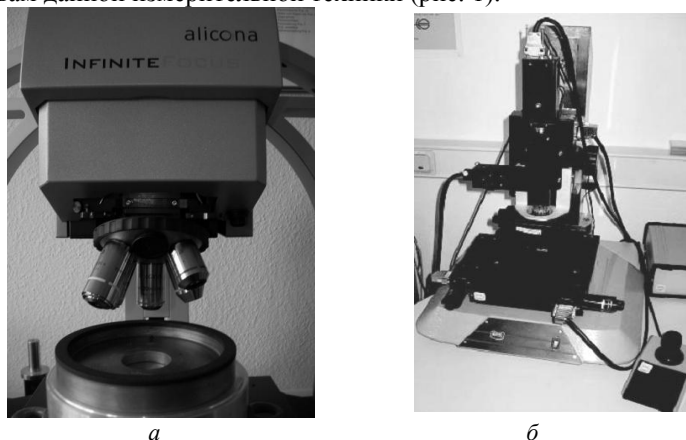


Рисунок 2 – Оптический измерительный прибор

Объект исследования: Используя современные измерительные приборы проведен эксперимент по определению величины износа рабочей поверхности шлифовального круга путем визуализации поверхности и измерения топографии. Эксперимент проводился для кругов на металлической и органической связке в несколько этапов. На первом этапе производилось топографическое измерение и 3D-визуализация рабочей поверхности круга до его использования. Просчитывались параметры, характеризующие профиль поверхности. На втором этапе проводилась интенсивная заточка твердосплавных сменных многогранных пластин на станке LACH-Diamant Werkzeuge GmbH модели PCD100. На завершающем этапе вновь производилось исследование поверхности на площади 4 см^2 ($2 \text{ см} \times 2 \text{ см}$), причем путем маркировки и базирования круга удалось достигнуть совпадения исследуемой площади до и после шлифования.

Известно, что работоспособность трущихся поверхностей инструментов функционально связана с величиной несущей или опорной поверхности. Именно величина опорной и относительной опорной длины профиля служила параметром характеристики исследуемой поверхности (ГОСТ 2789-73/ DIN EN ISO 4287). Сумма длин отрезков M_1, M_2, \dots, M_n , отсекаемых на данном

уровне C в материале выступов измеряемого профиля линией, эквидистантой средней линии в пределах базовой длины, называется опорной длиной профиля $Ml(C)$. Отношение опорной длины профиля $Ml(C)$ к базовой длине L называется относительной опорной длиной профиля $Rmr(C)$ на уровне C сечения профиля. В основном, в зарубежных работах, величина $Rmr(C)$ приводится в процентах (формула 1.1).

$$Rmr(C) = \frac{1}{L} (Ml_1 + Ml_2 + \dots Ml_n) \cdot 100 = \frac{1}{L} \cdot Ml(C) \cdot 100 [\%] \quad (1.1)$$

Кроме того, для характеристики относительной опорной кривой длины профиля использовались параметры R_k , R_{pk} и R_{vk} , значения которых находили с помощью стандартного программного обеспечения. Параметр R_{pk} дает представление о среднем значении высоты вершин профиля, а R_{vk} – о среднем значении глубины впадин. Для наглядности используют относительную опорную кривую длины профиля, которая отображает зависимость значения относительной опорной длины $Rmr(C)$ от уровня сечения C (рис. 3).

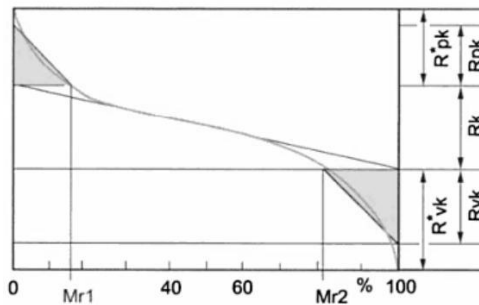


Рисунок 3 – Относительная опорная кривая длины профиля алмазного круга, параметры кривой R_k , R_{pk} , R_{vk}

На базе кафедры Технологии изготовления и обеспечения качества (Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung), кафедры Деталей машин и трибологии (Institut für Maschinenkonstruktion Maschinenelemente und Tribologie) Магдебургского университета, а также Шмалькальденского института менеджмента качества (IWQ) проведен ряд опытов по исследованию топографии участка рабочей поверхности алмазных кругов марок ПМ12×АС6×100×200/160 и В201×АС4×100×125/100. В ходе исследований получено трехмерное изображение режущей поверхности круга до шлифования, а также этой же поверхности после интенсивной работы. Для исследования топографии и создания 3D-изображения активной поверхности использовался измерительный прибор Alicona InfiniteFocus и OMG3 (рис. 2). В основе измерительных приборов заложен принцип интерферометра белого света, а в случае InfiniteFocus используется доработанная оригинальная оптика “Focus Variation”. Измерительный прибор InfiniteFocus имеет 6 сменных объективов (от 2,5 до 100-кратного увеличения) со скоростью сканирования до 112 мкм/сек. С помощью данного измерительного прибора могут быть получены

общепринятые параметры шероховатости поверхности, вплоть до наноразмерных величин. Кроме того, прибор поставляется со стандартным программным обеспечением и позволяет визуализировать в двухмерном либо трехмерном пространстве исследуемую поверхность.

Полученное трехмерное изображение топографии рабочей поверхности алмазных кругов до и после шлифования позволило определить степень износа рабочей поверхности не только визуально, но и основываясь на значениях параметров $Rmr(C)$, Rk , Rpk и Rvk . К примеру, значения параметров для алмазного круга на металлической связке марки ПМ12×АС6×100×200/160 до и после шлифования составили $Rk=20,4$ мкм, $Rpk=9,4$ мкм, $Rvk=7,2$ мкм и $Rk=18,5$ мкм, $Rpk=5,8$ мкм, $Rvk=7,6$ мкм (рис. 4). Такие значения свидетельствуют об интенсивном износе рабочей поверхности и появлении площадок износа на алмазных зернах.

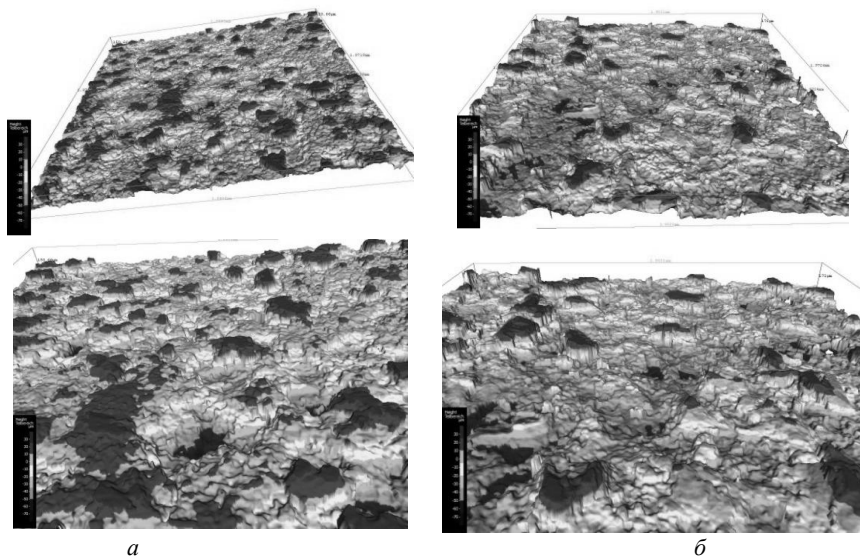


Рисунок 4 – Топография поверхности алмазного круга на металлической связке до (а) и после (б) шлифования. Шкала: 30 мкм (max) — -70 мкм (min)

Используя ранее разработанную методологию топографической приспособляемости [5], представляется возможным совместить экспериментальный этап получения сведений об износе рабочей поверхности и теоретический этап моделирования напряженно-деформируемого состояния зоны шлифования. Можно предположить, что на различных этапах шлифования приспособляемость может играть различную роль.

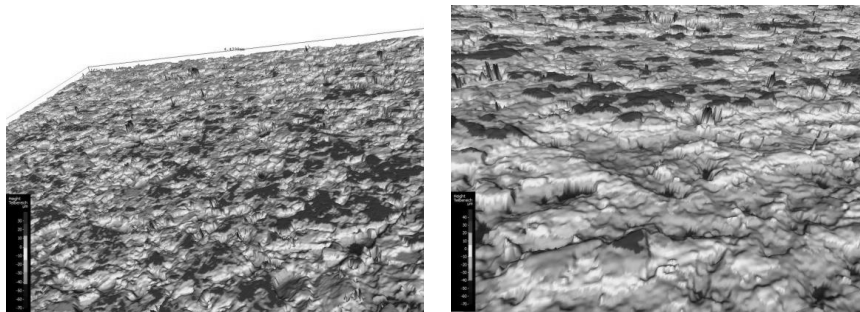


Рисунок 5 – Топография поверхности алмазного круга на органической связке до (а) и после (б) шлифования. Шкала: 30 мкм (max) — -70 мкм (min)

Управляя степенью интенсивности приспособляемости, можно один и тот же процесс алмазного шлифования трансформировать из высокопроизводительного в прецизионный и наоборот. Трехмерная визуализация топографии кругов позволяет оценивать не только величину, но и характер износа, так для кругов на металлической связке наблюдалось интенсивное изнашивание алмазных зерен и образование площадок износа. При изучении поверхности кругов на органической связке отмечен иной характер износа (рис. 5), связанный со слабыми удерживающими свойствами связки. Наблюдались характерные области «вырывания» зерен из связывающего.

Общие выводы: Использование современных измерительных систем позволяет быстро экспериментально получить сведения о степени износа алмазного круга и величине образовавшихся площадок на алмазных зернах. Используя 3D-визуализацию рабочей поверхности шлифовального круга, можно количественно и качественно оценить характер износа. Предложенный подход измерения степени износа совместно с ранее разработанной методологией топографической приспособляемости позволит оптимизировать сложный процесс алмазного шлифования и увеличить его производительность, что в конечном итоге отразится на себестоимости алмазной обработки.

Список использованных источников: 1. *Friemuth T.*: Herstellung spanender Werkzeuge; Dr.-Ing. habil., Fachbereich Maschinenbau der Universität Hannover/IFW; Fortschritt-Berichte. VDI Reihe 2 Nr. 615, VDI Verlag, 2002, S. 24–26 2. *Попов С. А., Малевский Н. П., Терещенко Л. М.* Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов, М.- «Машиностроение», 1977, с. 15–18 3. *Hübner Ch., Mauren F.* Charakterisierung von Schleifscheibentopographien aus fertigungstechnischer Sicht, dihw IV, 2009, S. 40–47 4. *Hocken R.J., Chakraborty N., Brown C.*: Optical Metrology of Surfaces. Annals of the CIRP, Vol. 54/2/2005, pp. 705-719 5. *Грабченко А. И., Федорович В. А.* 3D моделирование процессов алмазно-абразивной обработки. Монография. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008, с. 144–146.

Поступила в редколлегию 13.04.2011

Bibliography (transliterated): 1. *Friemuth T.*: Herstellung spanender Werkzeuge; Dr.-Ing. habil., Fachbereich Maschinenbau der Universität Hannover/IFW; Fortschritt-Berichte. VDI Reihe 2 Nr. 615, VDI Verlag, 2002, S. 24–26 2. *Popov S. A., Malevskij N. P., Terewenko L. M.* Almazno-abrazivnaja obrabotka metallov i tverdyh splavov, M.- «Mashinostroenie», 1977, s. 15–18 3. *Hübner Ch., Mauren F.* Charakterisierung von Schleifscheibentopographien aus fertigungstechnischer Sicht, dihw IV, 2009, S. 40–47 4. *Hocken R.J., Chakraborty N., Brown C.*: Optical Metrology of Surfaces. Annals of the CIRP, Vol. 54/2/2005, pp. 705-719 5. *Grabchenko A. I., Fedorovich V. A.* 3D modelirovanie processov almazno-abrazivnoj obrabotki. Monografija. – Har'kov: NTU «HPI», 2008, s. 144–146.