УДК 621.923

А. В. Байков, канд. техн. наук, **В. В. Полтавец**, канд. техн. наук, доцент,
Н. В. Азарова, канд. техн. наук, доцент, **Е. П. Мельникова**, д-р техн. наук, проф.
Донецкий национальный технический университет
Тел. +38 (062) 3010805; *E-mail:* tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗНОВЫСОТНОСТИ АКТИВНЫХ ЗЕРЕН НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

В статье проведен анализ распределения вершин зёрен алмазного шлифовального круга относительно поверхности связки при различных состояниях поверхности круга и выполнена оценка разновысотности активных зёрен на различных этапах процесса шлифования. Количество активных зерен при заданной глубине рельефа рабочей поверхности круга может быть описано квадратичным уравнением регрессии. Установлено, что в процессе шлифования активные зёрна шлифовального интенсивно изнашиваются круга и вершины наиболее выступающих из них нивелируются на одном уровне, более низком по сравнению с состоянием круга после правки.

Ключевые слова: *шлифовальный круг, активное зерно, разновысотность, однородность, распределение зёрен, регрессия.*

A. V. Baykov, V. V. Poltavets, N. V. Azarova, E. P. Melnikova

ESTIMATION OF INDEXES OF DIFFERENCE OF ALTITUDE OF ACTIVE GRAINS ON WORKING SURFACE OF GRINDING WHEEL AT DIAMOND GRINDING

In the paper the analysis of distribution of grain tops for diamond grinding wheel is quoted in relation to the binder surface at the different states of wheel surface and the estimation of difference of altitude of active grains is performed on the different stages of grinding process. The amount of active grains at the set relief depth of wheel working surface can be described by quadratic regression equation. It is set that at grinding process active grains of grinding tool intensively wear out and top of most salient from them leveled at one level, which is more low as compared to the wheel state after dressing.

Keywords: *grinding wheel, active grain, difference of altitude, homogeneity, grain distribution, regression.*

1. Введение

На показатели качества обработанной поверхности и производительность обработки при шлифовании определяющее влияние оказывает характер геометрии рабочей поверхности шлифовального круга (РПК). Наиболее весомыми из факторов, на основе которых выполняется математическое описание геометрии РПК в статике, являются следующие четыре: форма и закон распределения размеров зерен, закон распределения центров зерен в абразивном пространстве, пространство абразивного слоя и поверхность связки, определенным образом расположенная в абразивном пространстве, распределение вершин зерен относительно поверхности связки [1].

Последний из перечисленных факторов имеет особо важное значение для моделирования и исследования процессов абразивно-алмазной обработки, так как изменение состояния РПК в процессе шлифования проявляется, в частности, в изменении вида или параметров закона распределения вершин зерен по высоте [2]. Различное положение вершин зерен по высоте оценивается через величину разновысотности, причём за начало отсчёта при определении этой величины принимается либо уровень связки, либо наиболее выступающее из рабочей поверхности круга зерно.

В практических целях закон распределения разновысотности вершин зерен получают на основании обработки экспериментальных данных как о непосредственно из-

меренной величине разновысотности [3], так и по косвенной информации, по результатам измерения профиля обработанной поверхности [4].

Для установления вида закона распределения разновысотности чаще всего описывают плотность вероятности распределения всех выступающих над уровнем связки абразивных или алмазных зерен. На основании статистического анализа большого объёма экспериментальных данных установлено, что распределение разновысотности после длительной работы шлифовального круга существенно изменяется относительно исходного состояния рельефа круга после правки [2, 5].

Вместе с тем известно, что в удалении обрабатываемого материала и формировании шероховатости обработанной поверхности принимают участие преимущественно наиболее выступающие (т.н. «активные») зерна, поэтому законы распределения, полученные для всех выступающих из поверхности связки зерен, дают определенную погрешность в описании характера расположения вершин данной группы зерен [6].

Поскольку при решении широкого круга задач, связанных как с определением выходных параметров процесса обработки шлифованием, так и с изучением физики самого процесса резания, необходимо учитывать, кроме прочих факторов, состояние активных зерен на поверхности шлифовального круга и динамику его изменения, целью данной работы является оценка различия состояния активных зерен при различных методах подготовки шлифовального круга к работе и после его длительной работы, когда происходит относительная стабилизация нового состояния рельефа круга.

2. Основное содержание и результаты работы

Исследования распределения вершин зерен по высоте проводили на измерительном комплексе, позволяющем регистрировать рельеф рабочей поверхности кругов на металлической связке методом профилографирования с последующей записью данных на ПЭВМ [7]. Параметры разновысотности рельефа определяли по результатам профилографирования рабочей поверхности шлифовального круга 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01 на различных этапах жизненного цикла: в состоянии поставки (правка шлифованием абразивным кругом в условиях завода-изготовителя), после правки электроэрозионным способом и после 30 минут шлифования образцов из стали Р6М5Ф3 на плоскошлифовальном станке. Электроэрозионная правка шлифовального круга проводилась непосредственно на станке мод. 3Д711АФ11 при следующих условиях: правящий электрод из меди М1 закреплялся на столе станка и, соответственно, правка осуществлялась в рабочей зоне, продольная скорость стола отключена, поперечная подача осуществлялась вручную, вертикальная подача шпиндельной бабки $S_в$ = 0,002…0,007 мм/поперечный ход, скорость круга $v_к$ = 30 м/с, средняя сила тока I = 5…8 А, напряжение холостого хода U_{xx} = 50 В. Обработка образцов проводилась без поперечной подачи на следующих режимах: скорость круга $v_к$ = 30 м/с, продольная скорость стола $v_{ст}$ = 6 м/мин, глубина резания на один проход t = 0,015 мм. Профилограммы рабочей поверхности записывались в направлении, перпендикулярном оси круга. Разновысотность алмазных зерен определялась относительно наиболее выступающего зерна.

Выборки данных формировались из профилограмм на ПЭВМ с помощью специально разработанной программы. Затем по полученным данным определяли статистические характеристики выборок, их значения для различных способов формирования РПК приведены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики распределения разновысотности алмазных зерен на рабочей поверхности круга 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01, сформированной в различных условиях

Способ формирования РПК	№ трассы	Объем выборки, шт.	Выборочное среднее, мкм	Выборочное среднее квадратичное отклонение, мкм
Электроэрозионная правка	1	200	61,18	29,04
	2	200	62,42	26,99
Правка шлифованием абразивным кругом	1	200	42,17	17,24
	2	200	40,60	15,53
Плоское алмазное шлифование в течение 30 мин	1	200	43,80	23,95
	2	200	42,92	22,22

Дисперсионный анализ результатов измерения разновысотности алмазных зерен с использованием критериев Фишера и Стъюдента подтвердил однородность выборочных средних и выборочных дисперсий по различным трассам для каждого способа формирования РПК.

Различие выборочных средних разновысотности вершин алмазных зерен на поверхности круга, полученной в результате электроэрозионной правки и после 30 мин. шлифования образца из стали Р6М5Ф3 оказалось довольно существенным и статистически значимым (значение критерия Стьюдента t = 6,52 при $t_{кр}$ = 1,96). Это свидетельствует о значительном изменении состояния РПК после длительной работы круга в результате износа и скалывания вершин работающих зерен.

Различие между выборочными средними разновысотности вершин зерен шлифовального круга в состоянии поставки (правка шлифованием абразивным кругом в условиях завода-изготовителя) и после 30 мин шлифования образца несущественно (значение критерия Стьюдента t = 1,58 при $t_{кр}$ = 1,96 для наиболее различающихся значений выборочных средних). Незначимость указанного различия выборочных средних является дополнительным подтверждением неэффективности способа правки абразивным кругом, при котором режущая способность шлифовального круга обеспечивается преимущественно за счет формирования новых режущих выступов на зернах путём скалывания вершин затупившихся зерен. Напротив, электроэрозионная правка позволяет в большей степени обновить режущий рельеф круга за счёт обнажения не работавших ранее зерен и тем самым повысить исходную режущую способность шлифовального круга.

Оценка показателей разновысотности активных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга проводилась при шлифовании образцов из быстрорежущей стали Р6М5Ф3 алмазным кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01, заправленным электроэрозионным способом на указанных выше режимах. Режимы шлифования быстрорежущей стали Р6М5Ф3 назначались из условия недопущения появления прижогов на обработанной поверхности образца. Исходя из этих условий, глубина резания за

один проход была ограничена величиной 15 мкм. Поэтому в качестве активных зёрен были приняты только те зёрна, разновысотность которых относительно наиболее выступающего зерна не превышает 23 мкм.

На основании результатов предыдущих исследований, распределение вершин наиболее выступающих из связки зёрен целесообразно описывать, аппроксимируя результаты распределения не всей совокупности данных профилографирования, а только лишь активных зёрен [6]. Для трех рассматриваемых состояний шлифовального круга: после электроэрозионной правки, после правки абразивным кругом и после 30 мин. шлифования наиболее близко (коэффициент корреляции составляет r = 0,994…0,996, рис. 1) количество активных зерен при заданной глубине рельефа РПК описывается квадратичным выражением вида:

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2,$$

где x – расстояние от наиболее выступающего зерна, мкм;

a, b и c – коэффициенты уравнения регрессии.

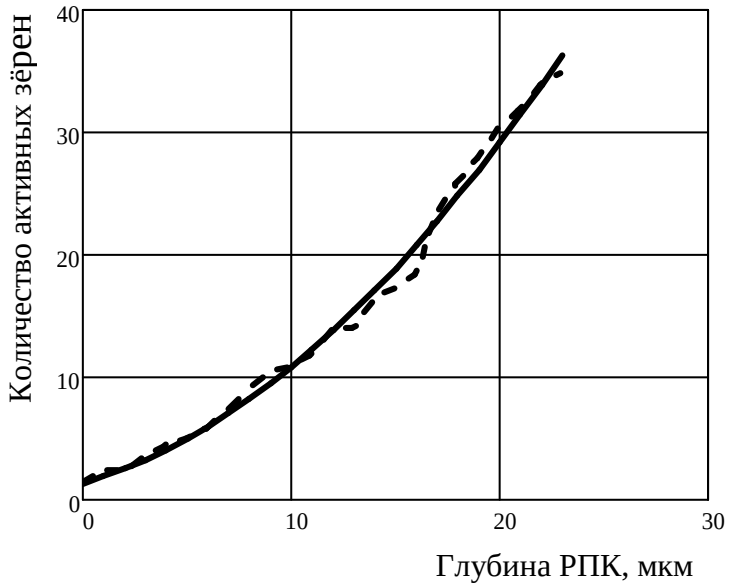

Рис. 1. Распределение вершин зёрен шлифовального круга 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01 по глубине РПК после электроэрозионной правки:
– – – экспериментальные данные
——— данные, аппроксимированные квадратичной зависимостью

Значения коэффициентов уравнения регрессии, описывающего количество активных зерен на заданной глубине РПК, для различных состояний шлифовального круга указаны в таблице 2, а графики соответствующих уравнений регрессии приведены на рис. 2.

Анализ полученных данных показывает, что характер распределения вершин активных зерен шлифовального круга после правки тем или иным способом достаточно близок, однако у круга, заправленного электроэрозионным способом, значение свободного члена уравнения (коэффициент a) почти в 1,5 раза меньше, чем у круга, заправленного абразивом. Учитывая, что высота РПК после электроэрозионной правки в 1,5

раза больше, чем после правки абразивным кругом, очевидно, что при правке абразивным кругом наиболее выступающие зерна в первую очередь вырываются из связки, тем самым препятствуя повышению степени развитости рельефа РПК.

Таблица 2. Значения коэффициентов уравнения регрессии, описывающего количество активных зерен на заданной глубине поверхности шлифовального круга 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01 при различных её состояниях

Состояние поверхности шлифовального круга	Коэффициенты уравнения регрессии		
	a	*b*	*c*
После электроэрозионной правки	1,36	0,51	0,04
После правки абразивным кругом	1,86	0,10	0,06
После шлифования образца из быстрорежущей стали Р6М5ФЗ	4,08	1,55	0,01

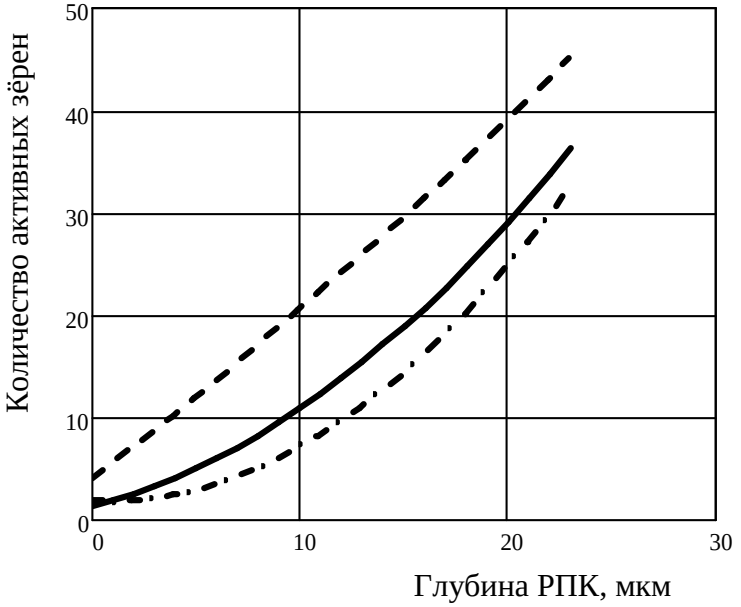

Рис. 2. Распределение вершин зёрен шлифовального круга 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01 по глубине РПК:
——— после электроэрозионной правки;
— — — после шлифования образца в течение 30 мин
—·—·— после правки абразивным кругом

Для круга после 30 мин шлифования образца из быстрорежущей стали Р6М5ФЗ значение свободного члена уравнения регрессии существенно больше, чем при обоих рассмотренных способах правки. Это свидетельствует о том, что в процессе шлифования происходит абразивное изнашивание активных зёрен круга и вершины наиболее выступающих из них нивелируются на одном уровне. На остальных уровнях количество активных зерен затупившегося после шлифования круга также значительно больше, чем у круга после правки. Очевидно, что в связи с износом наиболее выступающих зёрен, происходит смещение точки нулевого отсчета ближе к поверхности связки.

3. Заключение

Проведенные исследования распределения вершин зёрен по высоте на рабочей поверхности алмазного шлифовального круга показали, что электроэрозионная правка обеспечивает большую степень развитости режущего рельефа круга за счёт обнажения не работавших ранее зерен и тем самым позволяет повысить исходную режущую способность шлифовального круга. Количество активных зерен при заданной глубине рельефа РПК может быть описано квадратичным уравнением регрессии, анализ коэффициентов которого является основанием для вывода о том, что правка шлифовального инструмента абразивным кругом приводит к уменьшению количества наиболее выступающих из связки зёрен и, соответственно, к снижению возможности заполнения межзёренного пространства продуктами шлифования. Это существенно снижает режущую способность шлифовального круга. В процессе шлифования происходит абразивное изнашивание активных зёрен круга и вершины наиболее выступающих из них нивелируются на одном уровне, более низком по сравнению с состоянием РПК после правки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабченко А. И. Параметрическая вероятностная модель рабочей поверхности абразивных инструментов / А. И Грабченко, В. Л. Доброскок, Я. Н. Гаращенко, А. Н. Шпилька // Сверхтвёрдые материалы. Научно-теоретич. журнал.. – Киев: Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля. 2010. – № 4. – с. 177-191.

2. Полтавец В. В. Разновысотность алмазных зёрен при шлифовании по упругой схеме / В. В. Полтавец // Вісник Інженерної академії України. 2001. – № 3 (Частина 1). – С. 423-426.

3. Азарова Н. В. Определение закона и параметров распределения разновысотности алмазных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга / Н. В. Азарова // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія Машинобудування і машинознавство. 2011. – Вип. 8 (190). – С. 78-87.

4. Носенко В. А. Методика расчета распределения вершин зерен на рабочей поверхности шлифовального круга по профилограммам шероховатости обработанной поверхности / В. А. Носенко, Е. В. Федотов, Л. К. Морозова // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 10: межвуз. сб. науч. статей / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 20 (123). – С. 45-47.

5. Матюха П. Г. Научные основы стабилизации выходных показателей алмазного шлифования с помощью управляющих воздействий на рабочую поверхность круга: автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.03.01 / Матюха Петр Григорьевич; ХГПУ. – Харьков, 1996. – 48 с.

6. Байков А. В. Погрешность математического описания разновысотности активных зерен алмазного шлифовального инструмента / А. В. Байков, В. В. Полтавец, Г. И. Добровольский // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – Вып. 4 (50). – С. 35-40.

7. Пат. 75483 С2 Україна, МПК G01D 7/00. Пристрій для реєстрації рельєфу поверхні абразивних інструментів на металевій зв'язці / П. Г. Матюха, С. В. Константинов, В. П. Цокур, Н. В. Азарова, В. В. Полтавець, О. В. Литвиненко; заявник і патентовласник Донецький нац. техн. ун-т. − № 20040604600; заявл. 14.06.2004; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.

Поступила в редколлегию 12.01.2016 г.