

УДК 621.923

Н. В. Азарова, канд. техн. наук, доц., **В. П. Цокур**, канд. техн. наук, доц.
Донецкий национальный технический университет, ДНР
Тел./Факс: +38(062) 3010807; E-mail: mc@meth.dgtu.donetsk.ua

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО КРУГА В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ

Определены параметры распределений разновысотности зерен, расстояния между ними и величины выступания зерен из связки на рабочей поверхности алмазного круга 1A1 250×76×15×5 AC6 100/80-4-M2-01 и показан характер их изменения за 30 минут плоского шлифования быстрорежущей стали Р6М5Ф3.

Ключевые слова: шлифовальный круг, алмазные зерна, связка.

N. V Azarova., V. P. Tsokur

CHANGE PARAMETERS OF DIAMOND WHEEL WORKING SURFACE IN THE GRINDING PROCESS

The parameters of distribution law of the grain height difference, the distances between them and the height of grains above bind on diamond wheel working surface are determined and the character of their change in 30 minutes of flat grinding of high-speed steel is shown.

Keywords: grinding wheel, diamond grains, bind.

1. Введение

Применение алмазных кругов на металлической связке, которая прочно удерживает зерна в алмазоносном слое, позволяет повысить производительность и снизить себестоимость обработки за счет изменения глубины резания и подачи и снижения удельного расхода алмазов при принятых режимах резания.

Параметры рабочей поверхности круга (РПК), к числу которых относятся количество режущих зерен, расстояние между ними, разновысотность зерен и величина выступания зерен из связки, являются основой для определения формы и размеров среза, шероховатости обработанной поверхности, назначения оптимальных режимов обработки. При шлифовании в результате взаимодействия алмазных зерен с обрабатываемым материалом происходят изменения параметров рабочей поверхности алмазного круга [1, 2], которые необходимо учитывать при моделировании процесса и прогнозировании выходных технологических показателей шлифования, что является актуальной задачей.

Целью работы является исследование влияния процесса шлифования на изменение разновысотности зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояния между зернами и величины выступания зерен из связки на РПК.

2. Основное содержание и результаты работы

Исследовали параметры распределений разновысотности зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояния между зернами и величины выступания зерен из связки рабочей поверхности круга 1A1 250×76×15×5 AC6 100/80-4-M2-01 после электроэрозионной правки и после 30 минут плоского алмазного шлифования стали Р6М5Ф3 методом профилографирования с последующей записью данных на ПЭВМ по разработанной нами методике [3] на измерительном комплексе, который позволяет регистрировать рельеф зерен и связки с точностью до 0,001 мм.

Правку осуществляли в рабочей зоне на рабочей скорости круга бруском из меди М1 длиной 30 мм с ручной поперечной подачей и вертикальной подачей 0,002...0,007 мм/ход, средняя сила тока 5...8 А при напряжении холостого хода 50 В,

Эксперименты проводили на станке модели 3Д711Ф11, скорость круга 30 м/с, скорость стола 6 м/мин, глубина шлифования 0,015 мм.

Формирование выборок выполняли на ПЭВМ по двум профилограммам рабочей поверхности, записанным в направлении, перпендикулярном оси круга, со смещением трасс профилографирования вдоль оси круга. Затем определяли статистические характеристики выборок и подбирали теоретические законы, описывающие распределения исследуемых параметров РПК [3].

Принадлежность выборок объемом n_1 и n_2 одной генеральной совокупности проверяли путем сравнения выборочных средних \bar{x}_1 , \bar{x}_2 и дисперсий s_1^2 , s_2^2 выборок. Выборки считали однородными, если подтверждались гипотезы о равенстве выборочных средних и дисперсий выборок.

Для проверки гипотезы о равенстве средних значений \bar{x}_1 , \bar{x}_2 находили экспериментальное значение критерия $t_{эксн} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2}}$. По заданному уровню значимости $\alpha=0,05$ и числу степеней свободы $f=n_1+n_2-2=200+200-2=398$ определяли критическую точку $t_{кр}(\alpha, f)$ из таблицы критических точек распределения Стьюдента. Гипотеза о равенстве выборочных средних подтверждалась, если $t_{эксн} < t_{кр}$. Для проверки гипотезы о равенстве выборочных дисперсий s_1^2 , s_2^2 находили отношение большей выборочной дисперсии к меньшей $F_{эксн} = s_1^2 / s_2^2$. По таблице критических точек распределения Фишера-Снедекора по уровню значимости $\alpha=0,05$, числам степеней свободы $f_1=n_1-1=200-1=199$ и $f_2=n_2-1=200-1=199$ находили критическую точку $F_{кр}(\alpha, f_1, f_2)$. Гипотеза о равенстве выборочных дисперсий подтверждалась, если $F_{эксн} < F_{кр}$.

Результаты сравнения выборочных средних и выборочных дисперсий распределений разновысотности зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояния между зернами и величины выступления зерен из связки на рабочей поверхности круга 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80-4-М2-01, сформированной в процессе электроэрозионной правки и 30 мин плоского алмазного шлифования стали Р6М5Ф3, сведены в таблицу 1.

Как видно из таблицы 1, статистические характеристики выборок значений исследуемых параметров РПК, найденные для каждого из рассмотренных способов формирования РПК, по двум различным трассам отличаются незначимо. Выборочное среднее и выборочная дисперсия с достаточной полнотой характеризуют всю генеральную совокупность значений каждого из исследуемых параметров РПК.

Статистическая проверка законов распределения (нормального, экспоненциального, гамма-распределения, распределения Вейбулла и др.) по критерию согласия Пирсона [3] показала следующее.

Наиболее подходящим для описания всех возможных случаев закона распределения разновысотности зерен на РПК является двухпараметрическое распределение Вейбулла [4], которое имеет частные случаи, с право- и левосторонней асимметрией.

Распределения расстояний между зернами на рабочей поверхности алмазного шлифовального круга, сформированной указанными способами, могут быть описаны экспоненциальным законом [5].

Наиболее подходящим для описания закона распределения величины выступления зерен из связки на РПК является двухпараметрическое гамма-распределение [6], которое также используется для описания асимметрично распределенных величин.

Таблица 1. – Сравнение параметров рабочей поверхности круга 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80-4-М2-01, сформированной различными способами

Параметры РПК	Способ формирования РПК	Трасса	Объем выборки	Выборочное среднее, мкм	Выборочная дисперсия, мкм ²	Критерий Фишера		Критерий Стьюдента	
						$F_{набл}$	$F_{кр}(\alpha=0,05)$	$t_{набл}$	$t_{кр}(\alpha=0,05)$
Разновысотность зерен	Электроэрозионная правка	1	200	37,62	257,14	1,04	1,64	1,25	1,26
		2	200	39,61	246,41				
	Плоское алмазное шлифование стали Р6М5Ф3	1	200	23,59	176,89	1,06		0,89	
		2	200	22,39	186,64				
Расстояние между зернами	Электроэрозионная правка	1	200	53,52	7435,67	1,05	1,64	0,21	1,26
		2	200	51,70	7072,15				
	Плоское алмазное шлифование стали Р6М5Ф3	1	200	194,60	39822,07	1,04		1,24	
		2	200	219,58	41581,39				
Выступание зерен из связки	Электроэрозионная правка	1	200	3,57	25,46	1,25	1,64	1,23	1,26
		2	200	2,98	20,44				
	Плоское алмазное шлифование стали Р6М5Ф3	1	200	2,00	10,51	1,03		0,19	
		2	200	2,40	10,86				

Построим графики плотности распределений разновысотности зерен, расстояния между зернами и величины выступания зерен из связки (рис. 1, а, б, в) с использованием параметров подобранных нами теоретических распределений [3-6]. Рассмотрим, как влияет процесс шлифования на исследуемые характеристики РПК.

Сравним распределения разновысотности зёрен после электроэрозионной правки и после 30 мин плоского алмазного шлифования. Средняя разновысотность зерен (см. табл. 1) после электроэрозионной правки превышает среднюю разновысотность зерен после 30 мин плоского алмазного шлифования в 1,6 – 2,2 раза. Выборочная дисперсия распределения разновысотности зерен (см. табл. 1) после электроэрозионной правки превышает дисперсию после 30 мин плоского алмазного шлифования в 1,3 – 2,0 раза. График плотности вероятности распределения Вейбулла разновысотности зерен на РПК (см. рис. 1, а), сформированной электроэрозионной правкой симметричен, а график плотности распределения разновысотности зерен на РПК, сформированной в процессе плоского алмазного шлифования стали Р6М5Ф3 имеет явно выраженную правостороннюю асимметрию. В зоне больших разновысотностей наблюдается резкое уменьшение частот. Это может быть обусловлено механическим истиранием зерен алмаза в процессе шлифования, выпадением наиболее выступающих зерен, засалива-

нием субмикрорельефа контактных площадок зерен, а также межзеренного пространства продуктами обработки [1].

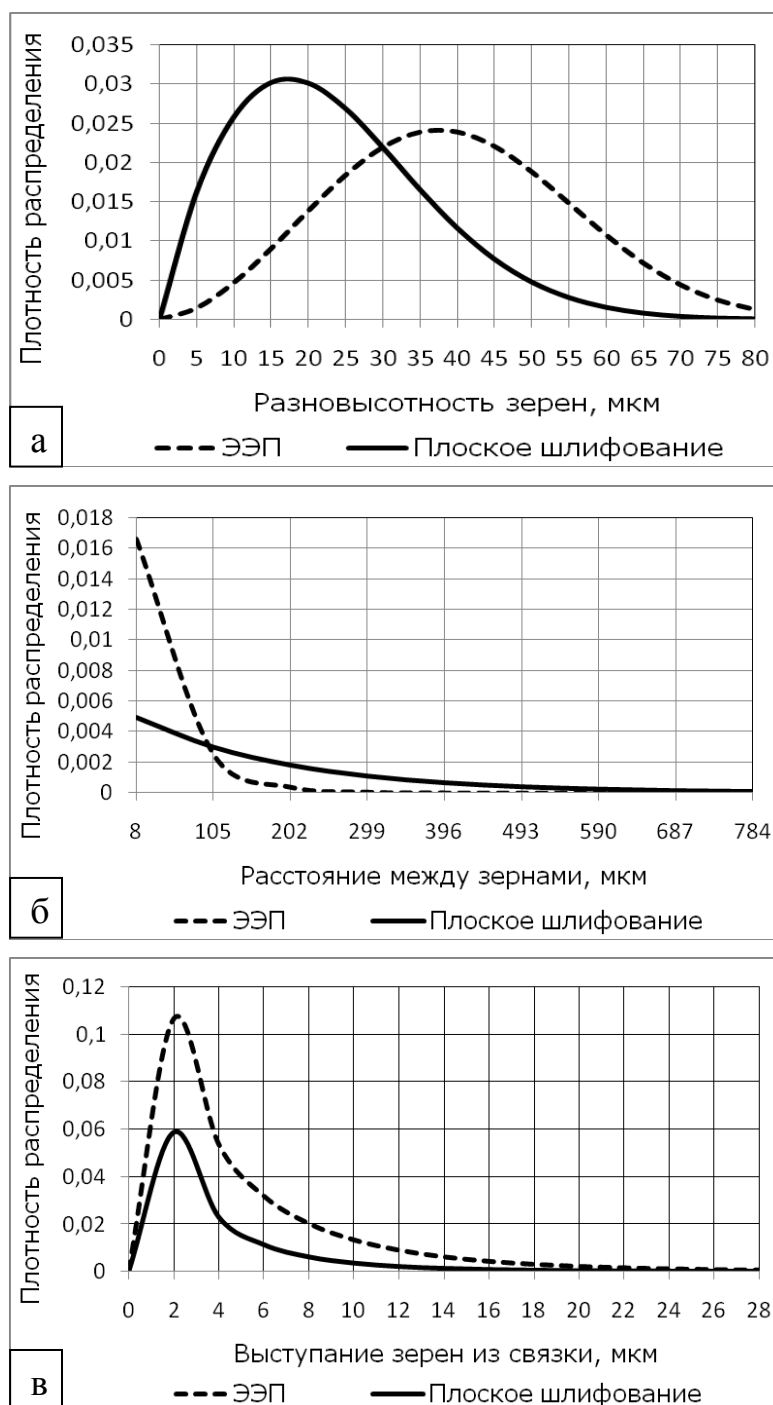


Рисунок 1. Плотность распределений разновысотности зерен (а), расстояний между зернами (б) и величины выступания зерен из связки (в) на рабочей поверхности круга 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80-4-М2-0, сформированной различными способами

Сравним распределения расстояний между зернами на РПК после электроэрозионной правки и после 30 мин плоского алмазного шлифования. Графики плотности распределений расстояний между зернами (см. рис. 1, б), построенные с использовани-

ем параметров показательного распределения, показывают, что распределения расстояний между зернами на РПК после 30 мин плоского алмазного шлифования имеют большее математическое ожидание и дисперсию по сравнению с распределениями расстояний между зернами после электроэрозионной правки. Среднее расстояние между зернами (см. табл. 1) после 30 мин плоского алмазного шлифования превышает среднее расстояние между зернами после электроэрозионной правки в 3,5 – 4,2 раза. Выборочная дисперсия распределения расстояний между зернами (см. табл. 1) после 30 мин плоского алмазного шлифования превышает дисперсию после электроэрозионной правки в 4,2 – 5,9 раза. Это может быть обусловлено уменьшением числа режущих зерен в процессе шлифования [1].

Сравним распределения выступания зерен из связки после электроэрозионной правки и после 30 мин плоского алмазного шлифования. Графики плотности распределений величины выступания зерен из связки (см. рис. 1, в), построенные с использованием параметров гамма-распределения, показывают, что величина выступания зерен из связки на РПК после электроэрозионной правки имеет сходное распределение с величиной выступания зерен из связки после шлифования (графики имеют явно выраженную правостороннюю асимметрию, в зоне больших величин наблюдается резкое уменьшение частот), однако распределения для электроэрозионной правки имеют большее математическое ожидание и дисперсию. Средняя высота выступания зерен из связки (см. табл. 1) после правки электроэрозионным способом превышает аналогичный параметр после шлифования в 1,2 – 1,8 раза. Выборочная дисперсия распределения величины выступания зерен из связки (см. табл. 1) после электроэрозионной правки превышает дисперсию после шлифования в 1,9 – 2,4 раза. При этом максимальная высота выступания зерен из связки после электроэрозионной правки превышает аналогичный параметр после 30 мин плоского алмазного шлифования [1] в среднем в 1,6 раза (табл. 2).

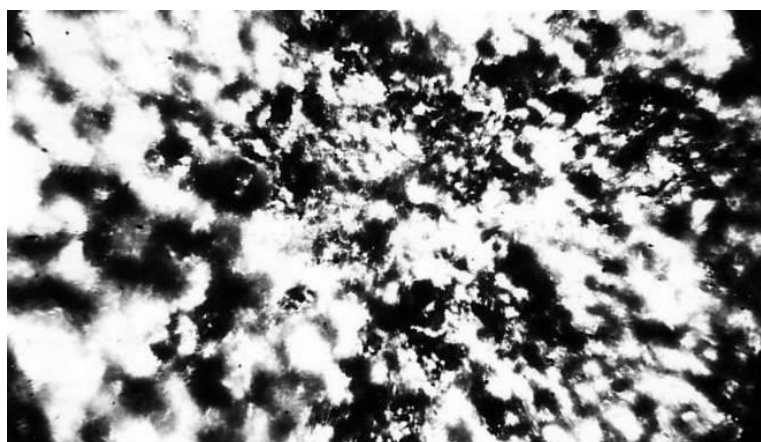
Таблица 2. – Максимальная высота выступания зерен из связки, мкм, на рабочей поверхности круга 1A1 250×76×15×5 AC6 100/80-4-M2-01, сформированной различными способами

Способ формирования РПК		Трасса	Объем выборки	Максимальная высота выступания зерен из связки, мкм
Электро-эрозионная правка	ЭЭП 1	1	200	29,67
		2	200	27,37
	ЭЭП 2	1	200	27,83
		2	200	29,70
Плоское алмазное шлифование стали Р6М5Ф3		1	200	16,77
		2	200	18,04

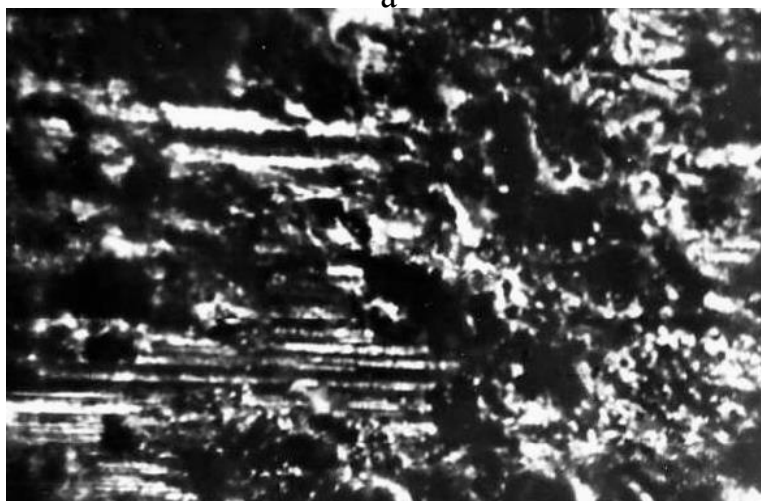
Это может быть связано с образованием на рабочей поверхности круга участков, где зерна не выступают над связкой, что происходит либо вследствие скалывания или вырывания зерен под действием сил резания, либо из-за заполнения шламом межзеренного пространства [1].

После электроэрозионной правки РПК представляет собой поверхность с развитым рельефом, сформированным выступающими из металлической связки алмазными зернами (рис. 2, а). В первые минуты шлифования стали Р6М5Ф3, твердость которой значительно выше твердости материала электрода, начинается интенсивное удаление и

скалывание острых вершин наиболее выступающих из связки зерен, в результате чего разновысотность и выступание зерен из связки уменьшаются. Наиболее слабо закрепленные зерна активно удаляются в течение первых 15 минут шлифования. В это же время на вершинах контактирующих зерен начинают образовываться площадки, субмикрорельеф которых заполняет обрабатываемый материал. При дальнейшей обработке контактные площадки увеличиваются в размерах, начинается образование площадок на других зернах, которые вследствие разновысотности вначале участия в обработке не принимали. Кроме того, наблюдается засаливание межзеренного пространства, которое увеличивается с увеличением времени обработки (рис. 2, б). Все это приводит к увеличению расстояний между контактирующими зернами. В результате происходит снижение работоспособности шлифовального круга, что может привести к снижению качества обработанной поверхности.



а



б

Рисунок 2. Рабочая поверхность круга 1А1 250×76×15×5 АС6 100/80-4-М2-01 а) после ЭЭП; б) после 30 мин плоского алмазного шлифования стали Р6М5Ф3

3. Заключение

Предложенная нами методика исследования РПК позволяет определить закон и параметры распределений разновысотности зерен относительно наиболее выступающего зерна, расстояния между зернами, а также высоты выступания зерен из связки на рабочей поверхности алмазного шлифовального круга. Однако, предложенная нами ме-

тодика определения характеристик рабочей поверхности алмазного шлифовального круга требует значительных временных затрат на проведение экспериментальных исследований. Использование статистического имитационного моделирования позволяет значительно снизить трудоемкость исследований [7], необходимых для прогнозирования параметров шероховатости шлифованной поверхности.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Разновысотность зерен на рабочей поверхности круга 1A1 250×76×15×5 AC6 100/80-4-M2-01 после электроэрозионной правки и после 30 мин плоского алмазного шлифования стали Р6М5Ф3 описывается распределением Вейбулла; расстояние между зернами – экспоненциальным распределением; величина выступания зерен из связки – гамма-распределением.

2. Числовые характеристики распределений разновысотности зерен, расстояний между зернами и величины выступания зерен из связки на РПК, сформированной электроэрозионной правкой и плоским алмазным шлифованием стали Р6М5Ф3 в течение 30 мин, различны. Так, после 30 мин плоского алмазного шлифования средняя разновысотность зерен уменьшается в 1,9 раза, среднее расстояние между зернами увеличивается в 3,8 раза, а средняя высота выступания зерен из связки уменьшается в 1,5 раза по сравнению с аналогичными параметрами после электроэрозионной правки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Новиков, Ф. В. Механика и производительность алмазного шлифования с учетом износа зерен круга / Ф.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко, В.И. Полянский, В.В. Ивкин // Резание и инструменты в технологических системах. – Харьков, 2018. – Вып. 88. – С. 142-157.

2. Гусев, В. В. Оценка параметров рабочей поверхности алмазного шлифовального круга / В.В. Гусев, Д.А. Моисеев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – № 4 (59) – С. 11-17.

3. Азарова, Н. В. Применение статистических методов к исследованию рабочей поверхности шлифовального круга / Н. В. Азарова, А. Н. Маленко, В. П. Цокур // Сборник научно-методических работ. – Вып. 10. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 3-10.

4. Азарова, Н. В. Определение закона и параметров распределения разновысотности алмазных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга / Н. В. Азарова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 8 (190). – С. 78-87.

5. Азарова, Н. В. Определение закона и параметров распределения расстояний между зернами на рабочей поверхности алмазного шлифовального круга / Н. В. Азарова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Вип. 9 (205). – С. 82-89.

6. Азарова, Н. В. Определение закона и параметров распределения величины выступания алмазных зерен из связки на рабочей поверхности шлифовального круга / Н. В. Азарова // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – Вип. 42. – С. 3-10.

7. Азарова, Н. В. Имитационное моделирование параметров рабочей поверхности шлифовального круга / Н. В. Азарова, А. Н. Маленко // Сборник научно-методических работ. – Вып. 9. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 11-15.

Поступила в редколлегию 21.01.2020 г.