

А.М. Бровченко, инж., Т.Г. Сабирзянов, проф., д-р техн. наук,

И.Ф. Пономаренко, доц., канд. хим. наук

Кировоградский технический национальный университет

## Оценка состояния режущей поверхности круга

В статье приведены результаты использования нестандартных характеристик для оценки качества подготовки режущей поверхности круга и определения его потенциальной режущей способности.

**геометрия рельефа, система характеристик, потенциальная режущая способность**

Режущая способность, удельный износ алмазов и производительность алмазно-электрохимического шлифования в значительной мере определяются состоянием режущей способности круга. Для оценки состояния режущей поверхности круга наиболее часто используются такие геометрические характеристики его микропрофиля как: число зерен, приходящееся на единицу режущей поверхности, высота выступания зерен над уровнем связки, расстояние между зернами, ориентация зерен на рабочей поверхности круга, суммарная площадь профиля неровностей, выступающих на фиксированном уровне и относительная опорная длина профиля [1,2,3,4,6]. Полагают [2], что максимальный съем твердого сплава пропорционален квадрату разности высот зерен:

$$Q = C \cdot h_3^2, \text{ мм}^3/\text{мин.}$$

Однако практика показала, что использование одного параметра для оценки состояния рабочего профиля и последующей прогнозной оценки потенциальной режущей способности круга не может обеспечить достоверных результатов. Характер расположения зерен по глубине рабочего слоя определяется на основании закона распределения высоты выступания зерен над уровнем связки. Известно [1], что наиболее благоприятное расположение зерен обеспечивается при таком законе распределения высоты выступания зерен над уровнем связки, который имеет левостороннюю асимметрию. В этом случае фактическое количество работающих зерен на заданном фиксированном уровне будет наибольшим. Однако, как оказалось, при определении геометрических параметров микропрофиля круга возникают определенные трудности. Известные методики определения разности высот зерен путем профилирования микрорельефа круга имеют один общий недостаток, они не позволяют идентифицировать алмазные зерна на профилограмме и не учитывают наличия выступов связки в дисперсии профиля. Это может привести к завышенным оценкам при прогнозировании режущей способности алмазных кругов. Использование таких информационных показателей состояния режущего рельефа круга, как относительная опорная длина профиля и суммарная площадь профиля неровностей, выступающих на фиксированном уровне, имеют аналогичный недостаток. Для более достоверной оценки состояния режущего профиля круга предлагается оценивать по комплексу следующих характеристик: фактическому количеству работающих зерен, высоте выступания зерна над уровнем связки, площади поперечного сечения выступающей части зерна и суммарной площади поперечного сечения выступающей части зерен над уровнем связки. Известно, что численные значения геометрических характеристик рельефа зависят от прочности алмазных зерен, зернистости алмазного круга, концентрации алмазов, и физико-механических свойств связки. Так, например, площадь поперечного сечения

алмазных зерен для алмазов различных марок соответственно равна: АСО - 0,055 мм<sup>2</sup>, АС4 – 0,060 мм<sup>2</sup>, АС6 – 0,074 мм<sup>2</sup>, А – 0,080 мм<sup>2</sup>. При неизменности этих параметров на геометрию рельефа решающее значение оказывают условия обработки, включая продолжительность рабочего цикла и условия правки. Приведенные выше характеристики определяют топографию поверхности круга, его режущие свойства и характер износа. Считают, что расстояние между зернами определяет картину распределения напряжений по величине и знаку на поверхности круга, и что величина вылета зерна определяется физико-механическими свойствами связки. На практике количество зерен в 1 мм<sup>3</sup> можно определить по формуле [1]:

$$n = \frac{K0,878}{\gamma 100 v_3},$$

где  $\gamma$  - плотность алмаза, мг/г.  $\gamma = 3,52$  мг/мм<sup>3</sup>;  
 $v$  = объем одного зерна, мм<sup>3</sup>.

На основании проведенных нами ранее исследований установлено [5], что оптимальной моделью при осуществлении алмазно-электрохимического шлифования является такое распределение высоты выступания зерен над уровнем связки, которое соответствует закону Пуассона.

Тогда, фактическое количество работающих зерен можно определить, как:

$$n_{\phi} = n_m \cdot \omega, \text{ шт/мм},$$

где  $\omega$  – вероятность участия зерен в работе;  
 $n_m$  - теоретическое количество зерен.

Суммарную величину выступающей части определяем как сумму площадей сечений выступающей части зерен:

$$F_{\text{сум в.ч.з}} = \sum F_{\text{в.ч.з}} = n_{\phi} \cdot F_3, \text{ мкм}.$$

Теоретическую формулу для определения  $F_{\text{сум в.ч.з}}$  можно определить следующим образом. Условимся, что форма зерна удовлетворительно описывается эллипсоидом вращения. Поместив начало координат в вершине зерна, получим уравнение, описывающее контур зерна:

$$y = k \cdot x^2.$$

Определим зависимость коэффициента  $k$  от радиуса зерна при вершине:

$$k = \frac{[y'']}{[1 + (y'')^2]^{3/2}}.$$

Тогда,

$$\rho = \frac{1}{k} = \frac{[1 + (y')^2]^{3/2}}{[y'']} = \frac{[1 + (y')^2]^{3/2}}{[2k]}$$

при  $x = 0$

$$\rho = \frac{1}{2k}.$$

Отсюда,

$$k = \frac{1}{2\rho}.$$

Площадь сечения при  $y = t$

$$F = \pi r^2 = 2\pi\rho.$$

Считаем, что на элементарном участке шлифовального круга  $n$  зерен, тогда

$$d \cdot F = 2\pi n t \rho.$$

Площадь сектора равна:

$$F = \frac{1}{2} \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} R^2 d\varphi.$$

Тогда суммарная площадь, перекрытая алмазными зернами равна:

$$\begin{aligned} F_{\text{сум}} &= 4 \frac{1}{2} 2\pi n t \rho R_1^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi - 4 \frac{1}{2} 2\pi n t \rho R_2^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi = \\ &= 4\pi n t \rho R_1^2 \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - 4\pi n t \rho R_2^2 \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \\ &= 4\pi n t \rho R_1^2 \frac{\pi}{2} - 4\pi n t \rho R_2^2 \frac{\pi}{2} = \\ &= 2\pi^2 n t \rho b (R_1^2 - R_2^2) \\ F_{\text{сум в.ч.з}} &= 2\pi^2 n t \rho b (R_1^2 - R_2^2). \end{aligned}$$

Величина суммарной площади сечения выступающей части алмазных зерен  $F_{\text{сум в.ч.з}}$  на фиксированном уровне у алмазных кругов различной зернистости приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Суммарная площадь сечения выступающей части зерен над уровнем связки М1-05. Уровень сечения профиля 20 мкм

Зернистость	63/50	100/80	125/100	160/125	200/160	250/200
$F_{\text{сум в.ч.з.}} \cdot \text{мм}^2$	1,40	1,57	1,38	2,60	2,70	3,50

Для практических расчетов, приняв форму зерна за эллипсоид вращения, определим площадь, ограниченную параболой:

$$F_{\text{в.ч.з}} = \frac{2d_{\text{cp}} h_{\text{cp}}}{3},$$

где  $h_{\text{cp}}$  - среднеарифметическое вероятностное значение величины выступления зерен над уровнем связки;

$d_{\text{cp}}$  - среднеарифметическое вероятностное значение диаметра зерна на уровне его выступления из связки;

$F_{\text{в.ч.з}}$  площадь (ограниченная параболой) выступающей части зерна.

$$d_{\text{cp}} = 2^{0,587} \sqrt[0]{100h}.$$

Среднеарифметическое вероятностное значение расстояний между алмазными зернами можно определить следующим образом:

$$l = \frac{h - (dn_{\text{cp}})}{n_{\text{cp}}} \text{ мм.}$$

Величина суммарной площади сечений выступающей части алмазных зерен на единице длины рабочего профиля определится, как :

$$F_{\text{сум в.ч.з.м}} = \frac{4hn_{\phi}^{0,587} \sqrt[0]{100h}}{3}.$$

Результаты расчета геометрических параметров рельефа рабочей поверхности круга представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Геометрические параметры рельефа рабочей поверхности алмазного круга

Характеристика алмазного инструмента	Геометрические характеристики рельефа рабочей поверхности алмазного круга						
	h, мкм	b, мкм	n <sub>ф</sub> шт/см	l, мм	$\eta$	F <sub>вчз</sub> мм <sup>2</sup>	F <sub>вчз сум</sub> мм <sup>2</sup>
Величина напряжения 6 В							
АС4125/100 М2-1	8,7	27,0	33	0,27	0,10	0,017	1,22
АС6125/100 М2-1	10,4	31,6	39	0,22	0,12	0,028	1,98
АС4125/100 М1-01	21,1	28,1	30	0,17	0,11	0,039	2,77
Величина напряжения 12 В							
АС4125/100 М2-1	10,5	26,7	39	0,23	0,10	0,018	1,98
АС6125/100 М2-1	7,8	32,2	52	0,16	0,16	0,017	1,92
АС4125/100 М1-01	8,4	22,5	41	0,22	0,09	0,012	1,70

Результаты расчетов геометрических параметров рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на связках Cu–Sn и Cu–Al, показали, что круги на основе Cu –Sn, состоящие из более прочных алмазов выступают на большую высоту над уровнем связки как при напряжении 6В, так и при напряжении 12В. Они имеют также большую плотность расположения зерен на рабочей поверхности и, соответственно, их потенциально возможная режущая способность больше, что подтверждают расчеты суммарной площади сечения выступающей части алмазных зерен. Потенциальная режущая способность кругов на связке Cu–Al, при напряжении 6В значительно меньше и существенно возрастает она при повышении напряжения до 12В. Однако уменьшение высоты выступания зерен над уровнем связки не позволяет в полной мере ее реализовать. Не реализуется и потенциально возможная режущая способность кругов на основе Cu–Sn из-за того, что не обеспечены условия работы круга в режиме самозатачивания. Обеспечить эффективную работу кругов на этой основе можно, совместив обработку и правку в одном рабочем цикле. Результаты расчета площади сечения зерен выступающих над уровнем связки для кругов на основе Cu–Sn с различной зернистостью приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Геометрические характеристики рельефа рабочей поверхности алмазных кругов

Характеристика алмазного круга	Геометрические характеристики рельефа					
	n, шт/мм		l, мкм		F <sub>сум в.ч.з.</sub>	
	Уровень прохождения секущей плоскости					
	10	15	10	15	10	15
АС4 63/50 М1-05	12	59	19,8	23,4	0,030	1,45
АС4 100/80 М1-05	8	28	31,8	37,8	0,045	1,58
АС4 125/100 М1-05	9	28	40,2	46,8	0,065	1,45
АС4 160/125 М1-05	7	17	63,6	79,4	0,067	1,62
АС4 200/160 М1-05	7	14	56,4	58,5	0,137	2,75
АС4 250/200 М1-05	4	12	81,0	94,2	0,120	3,44

Анализ результатов, показывает, что этот показатель возрастает с увеличением зернистости. Однако реализация потенциальной режущей способности зависит от того, какое фактическое количество зерен будет работать в реальных условиях при назначении режимов шлифования. Для осуществления прогнозной оценки режущей способности круга можно использовать величину суммарной площади сечений выступающей части зерен. Однако, при этом, уровень прохождения секущей плоскости, от которой вычисляется высота выступления зерна, должен соответствовать реальной величине внедрения зерна в обрабатываемый материал. Расчеты показали, что наибольшей потенциальной режущей способностью при поперечной подаче 0,01 - 0,15 мм обладают круги зернистостью 100/80, что совпадает с результатами производственных испытаний. Известно [4], что зависимость производительности алмазно-электрохимической кругами на связке Sn-Al от зернистости носит экстремальный характер. Экспериментальным путем установлено, что между производительностью алмазно-электрохимического шлифования и суммарной площадью выступающей части зерен существует корреляционная зависимость.

$$Q = K_3 F_{\text{сум в.ч.з}}, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий влияние зернистости круга.

Установлено, что для круга зернистостью 63/80  $K_3 = 2,85 \times 10^2$ , для круга, зернистостью 100/80  $K_3 = 2,53 \times 10^2$ ; для круга зернистостью 250/200  $K_3 = 0,9 \times 10^2$ .

Максимальная производительность съема достигается при работе кругами зернистостью 100/80, вследствие того, что которой обеспечивается более лучшие условия поступления электролита в межэлектродное пространство, а большее фактическое число зерен, участвующих в резании, обеспечивает оптимальную для данных условий толщину единичных срезов. Установлено, что средняя площадь поперечного сечения выступающей части зерен и сечение единичного среза взаимосвязанные величины. Если известна средняя площадь сечения выступающей части зерен, то среднюю величину площади единичного среза можно определить по формуле:

$$S_{\text{сеч}} = CF_{\text{сум в.ч.з}}, \text{ мкм}^2,$$

где  $C$  - коэффициент, учитывающий условия шлифования. По результатам замеров параметров стружки можно судить о механизме съема. Толщину и ширину единичного среза можно определить по параметрам стружки. Известно, что при толщине среза 0,2-0,4 мкм обеспечиваются наиболее благоприятные условия для осуществления резания.

Установив взаимосвязь параметров стружки с параметрами режущего микропрофиля круга можно формировать микрорельеф с заранее заданными геометрическими параметрами.

Выводы:

1. Предложена новая модель режущей поверхности для исследования процесса шлифования, представляющая сплошную режущую кромку, что позволяет рассматривать процесс шлифования с позиций классического резания;
2. Использование новой нестандартной характеристики режущего профиля круга в сочетании с характеристиками известными ранее позволяет получить более достоверную картину его готовности к работе после правки и составить прогнозную оценку его потенциальной режущей способности;
3. Применение в расчетах методик, позволяющих идентифицировать алмазные зерна при осуществлении профилирования режущего микрорельефа и определение фактического количества режущих зерен на заданных реальных глубинах шлифования,

позволяют приблизить результаты теоретического моделирования к данным, полученным на практике;

4. Полученные данные позволяют технологически обеспечить формирование регламентированного режущего рельефа круга путем управляющего воздействия при совмещении правки и обработки в одном рабочем цикле.

## Список литературы

1. М.Ф. Семко, М.Д. Узунян, Ю.А. Сизый, М.А. Пивоваров. Работоспособность алмазных кругов.- К.; Техніка,1983.- 95 с.
2. В.П. Тутлис. Исследование прочности зерен алмазных шлифовальных кругов и их влияние на качество поверхностного слоя изделий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва .1971.– 30 с.
3. И.П. Захаренко, Ю.Я. Савченко. Алмазно–электролитическая обработка инструмента. К., Наук.думка. 1978.– 224с.
4. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно – абразивная обработка металлов и твердых сплавов. М., ”Машиностроение”.1977. – 263 с.
5. Бровченко А.М., Пономаренко И.Ф. Исследование влияния напряжения технологического тока на состояние режущего рельефа алмазных кругов при алмазно – электрохимическом шлифовании. Збірник наукових праць КНТУ. „Техніка в сільськогосподарському виробництві,галузеве машинобудування, автоматизація” Вип. 18, 2007.– С. 77 – 81.
6. Л.М. Терещенко, С.А. Попов. Рельеф режущей поверхности алмазных кругов. Сб. Алмазы. М., НИИМАШ. №5.1970.– С. 20 -26

The results of using nonstandard characteristics for the quality appraisal of the preparation of circle cutting surface and the definition of their potential cutting ability are given in the article.

В статті приведені результати використання нестандартних характеристик для оцінки якості підготовки ріжучої поверхні і визначення потенційної ріжучої здатності.