

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОЩАДОК НА ВЕРШИНАХ РЕЖУЩИХ ЗЕРЕН АЛМАЗНОГО КРУГА ПРИ ЕГО СПЕЦИАЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Ковальчук А.Н.
(Харьковский национальный экономический университет)

В работе приведены результаты теоретических исследований механизма разрушения алмазных зерен круга и образования на них площадок. Показана сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Обеспечение высоких показателей шероховатости обработки является одной из важных проблем алмазного шлифования твердосплавных изделий. В работах [1–3] показана возможность существенного уменьшения шероховатости поверхности (до уровня $R_a=0,1$ мкм) при круглом наружном шлифовании твердосплавных изделий алмазным кругом на металлической связке за счет принудительного создания на вершинах зерен значительных площадок. Однако при этом возникли определенные сложности. Например, их не удалось получить длительной приработкой алмазного круга на металлической связке М1-01 в процессе круглого наружного шлифования твердого сплава, а так же при “шлифовании” алмазного круга на более твердой металлической связке М2-01. Положительным решением стало применение специальной механической обработки алмазного круга с помощью алмазного правящего карандаша. В этом случае удалось добиться образования на вершинах зерен круга значительных площадок, что позволило обеспечить при круглом наружном шлифовании твердосплавных изделий алмазным кругом на металлической связке М1-01 шероховатости обработки на уровне $R_a=0,1$ мкм. Попытки дальнейшего уменьшения шероховатости обработки к положительным результатам не привели.

Поэтому целью настоящей работы является теоретический анализ механизма образования площадок на вершинах алмазных зерен круга в процессе их взаимодействия с обрабатываемым материалом.

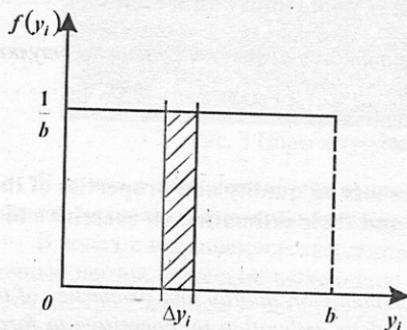


Рис. 1. График функции $f(y_i)$.

Рассмотрим условия контакта неподвижного алмазного круга с пластинкой из синтетического сверхтвёрдого материала (СТМ). Предположим, что выступание вершин зерен над условным уровнем связки алмазного круга подчиняется равномерному закону распределения с плотностью $f(y_i)=1/b$, где b – максимальная высота выступания зерен над условным уровнем связки, рис. 1. Физически это означает, что в каждом интервале

длиной Δu_i по координате y_i находится одинаковое число зерен. Зная количество зерен n_0 , расположенных на рабочей поверхности круга площадью, равной площади рассматриваемой пластинки, и их максимальную высоту выступания b , можно определить среднее расстояние между вершинами зерен по координате y_i (разновысотность) как отношение b/n_0 .

Предположим, что алмазная пластинка прижимается к неподвижному алмазному кругу радиальным усилием P_y . Учитывая то, что внедрение зерен круга в алмазную пластинку практически невозможно, то данную силу (в связи с разновысотным выступанием вершин зерен над связкой) будет воспринимать лишь одно максимально выступающее зерно. Очевидно, под действием силы, превышающей предельное значение, это зерно поверхностно разрушится. Длина разрушенной части зерна может быть или меньше, или равной, или больше величины разновысотности b/n_0 . Рассмотрим третий случай, как наиболее вероятный. Тогда в контакт с алмазной пластинкой вступит новое нижерасположенное зерно, которое также поверхностно разрушится и приведет к нагружению и последующему поверхностному разрушению определенного количества зерен n_1 из всех рассматриваемых n_0 зерен, ограниченных площадью пластинки.

В итоге сила P_y будет уравниваться системой сил, действующих на пластинку со стороны поверхностно разрушенных зерен.

Необходимо отметить, что величина разрушенной части зерна определяется пределом прочности его на сжатие $\sigma_{сж}$. Разрушение зерна происходит не мгновенно, а в течении непродолжительного, но физически ощутимого промежутка времени.

Рассмотренный механизм разрушения хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными проф. Грабченко А.И. при исследовании процесса шлифования алмазным кругом синтетического сверхтвердого материала АСПК, рис. 2,а [4]. Как следует из рис. 2,а, с течением времени шлифования высоты выступания вершин зерен над уровнем связки алмазного круга первоначально (в течении ≈ 30 с) интенсивно уменьшаются, затем стабилизируются и процесс шлифования практически переходит в процесс трения износостойкой пары “зерно – обрабатываемый материал”. При этом на вершинах зерен образуются значительные площадки износа, и процесс съема обрабатываемого материала и износа алмазных зерен практически отсутствует. Следовательно, процесс поверхностного разрушения зерен происходит в основном в течении первых 30 с.

Если учесть, что диаметр обрабатываемой алмазной пластинки равен ≈ 5 мм, а длина периферии рабочей поверхности алмазного круга формы 12А2 150х10х3х32 АС6 100/80 М1-01 4 равна $\pi \cdot 150$ мм ≈ 450 мм, в действительности процесс поверхностного разрушения одного зерна происходит почти в 100 раз быстрее, т.е. за 0,3 с. Из этого можно заключить, что процесс интенсивного шлифования (в течении ≈ 30 с) обусловлен “инерционностью” поверхностного разрушения зерен и с физической точки зрения очень мало связан с процессом их износа. Иными словами, в течении первых 30 с происходит процесс

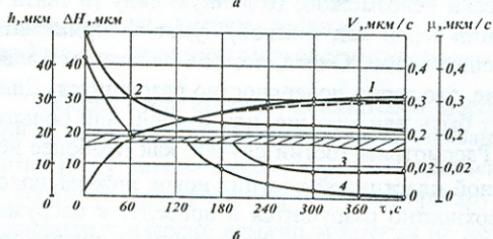
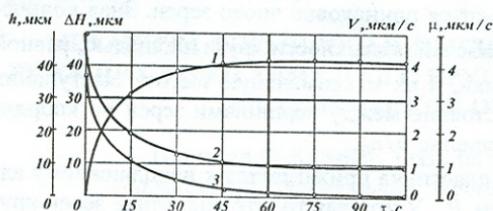


Рис. 2. Влияние продолжительности обработки на износ круга ΔH (1), высоту зерен h (2), скорость износа круга V (3) и скорость снижения высоты зерен μ (4) в переходной фазе шлифования при скорости круга $V_{кр} = 20$ м/с: а – АСПК, $P_n = 3,0$ МПа; б – ВК20, $P_n = 1,4$ МПа [4].

много конуса с углом при вершине 2γ , а высоты их выступания над уровнем связки круга подчинены равномерному закону, как это показано на рис. 1.

Предположим, что поверхностное разрушение зерна в сечении, удаленном на расстояние H от его вершины, происходит от предельных напряжений сжатия, вызванных действием радиальной силы P_{y1} , приложенной к вершине зерна. Тогда силу P_y , действующую на алмазную пластинку, можно представить в виде

$$P_y = \sigma_{сж} \cdot F_{факт}, \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие алмаза (алмазного зерна), Н/м²; $F_{факт}$ – фактическая площадь контакта поверхностно разрушенных зерен с алмазной пластинкой, м²;

$$F_{факт} = \sum_{i=1}^{n_1} F_i = \sum_{i=1}^{n_1} \pi \cdot r_i^2 = \sum_{i=1}^{n_1} \pi \cdot tg^2 \gamma \cdot H_i^2 = \int_0^H \pi \cdot tg^2 \gamma \cdot H_i^2 \cdot dn_1, \quad (2)$$

F_i , r_i – соответственно площадь и радиус контакта алмазной пластинки с поверхностью разрушенным зерном; H_i – длина разрушенной части отдельного зерна, м.

Параметр H_i подчиняется равномерному закону распределения с плотно-

поверхностного разрушения зерен от действия на них радиальной силы P_y , т.е. процесс поверхностного разрушения зерен является первичным, а процесс съема обрабатываемого материала (алмаза) – вторичным. Об этом также свидетельствуют экспериментально полученные данные по удельному расходу алмаза, согласно которым на съем единицы объема обрабатываемого материала (алмаза) затрачивается значительно больший объем алмазного слоя круга [4].

Произведем расчет длины разрушенной части H наиболее выступающего из связки круга алмазного зерна при условии прижатия алмазной пластинки к неподвижному алмазному кругу с силой P_y . Будем

считать, что зерна имеют фор-

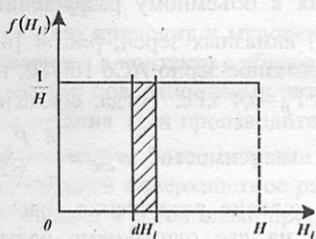


Рис. 3. График функции $f(H_i)$.
ки, м².

Выразим параметры k и b известными соотношениями [5]:
 $k = \frac{3m \cdot (1-\varepsilon)}{200\pi \cdot \bar{X}^2}$; $b = \bar{X} \cdot (1-\varepsilon)$, где m – объемная концентрация зерен круга; \bar{X} – зернистость круга, м; $(1-\varepsilon)$ – коэффициент, учитывающий степень выступания зерен над уровнем связки круга. Тогда

$$n_1 = \frac{3m \cdot \alpha \cdot F_{nl} \cdot H}{200\pi \cdot \bar{X}^3}, \quad (4)$$

$$F_{факт} = \frac{tg^2 \gamma \cdot m \cdot \alpha \cdot F_{nl} \cdot H^3}{200 \cdot \bar{X}^3}. \quad (5)$$

Подставляя зависимость (5) в (1), имеем

$$H = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{200 \cdot P_n}{tg^2 \gamma \cdot m \cdot \alpha \cdot \sigma_{сж}}}, \quad (6)$$

где $P_n = P_y / F_{nl}$ – нормальное давление, Н/м².

Параметр H тем больше, чем больше зернистость круга \bar{X} , нормальное давление P_n и меньше величины γ , m , α , $\sigma_{сж}$.

Если рассматривать зависимость (6) применительно к процессу шлифования по упругой схеме ($P_n = const$) алмазной пластинки, то увеличить параметр H , а следовательно повысить ресурс работы зерна при резании можно прежде всего уменьшением объемной концентрации зерен m , т.к. увеличение нормального давления P_n ограничено собственно прочностью алмазной пластинки. Сделанный вывод согласуется с соответствующими данными проф. Федоровича В.А., приведенными в его кандидатской диссертации, посвященной механике алмазного шлифования СТМ. Вместе с тем, исходя из зависимости (6), влияние m на параметр H незначительно, что ограничивает возможности повышения эффективности процесса шлифования.

Произведем расчет параметра H для исходных данных шлифования (рис. 2,а): $P_n = 3 \text{ МПа} = 0,3 \text{ кгс/мм}^2$; $m = 100$; $\bar{X} = 0,1 \text{ мм}$; $\gamma = 45^\circ$.

Значение $\sigma_{сж}$ в общем случае зависит от марки и зернистости алмазного порошка круга. Его можно определить на основе графика предельных нагрузок

стью $f(H_i) = \frac{1}{H}$, рис. 3. С учетом

$$dn_1 = n_1 \cdot f(H_i) \cdot dH_i = n_1 \cdot \frac{1}{H} \cdot dH_i, \text{ имеем}$$

$$F_{факт} = \frac{\pi \cdot tg^2 \gamma \cdot n_1 \cdot H^2}{3}. \quad (3)$$

Представим $n_1 = \alpha \cdot n_0$; $n_0 = k \cdot F_{nl} \cdot \frac{H}{b}$, где

$\alpha < 1$; k – поверхностная концентрация зерен круга, шт/м²; F_{nl} – площадь алмазной пластинки,

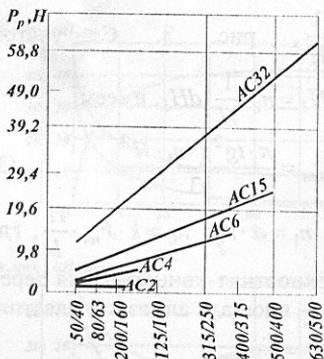


Рис. 4. Гарантированные нормы прочности P_p шлифпорошков различных марок и зернистости синтетических алмазов.

P_p , приводящих к объемному разрушению (раскалыванию) алмазных зерен, рис. 4 [6]. Рассматривая алмазное зерно АС6 100/80, из рис. 4 следует $\dot{P}_p=0,4$ кгс. Тогда, согласно

$$\text{аналитической зависимости } \sigma_{\text{сж}} = \frac{4 \cdot P_p}{\pi \cdot \bar{X}^2},$$

определяющей условие разрушения (раскалывания) зерна на две одинаковые части, имеем $\sigma_{\text{сж}}=50$ кгс/мм².

Для приведенных исходных данных зависимость (6) принимает вид:

$$H = 23 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{\alpha}}, \text{ мкм.} \quad (7)$$

Расчетные значения параметра H приведены в таблице.

α	1,0	0,5	0,3	0,1
H , мкм	23	29	34	50

Таблица

Как видно из таблицы, при $\alpha=0,3$ параметр H принимает значение 34 мкм, что приблизительно равно величине изношенной части (40 мкм) наиболее выступающего над уровнем связки круга алмазного зерна при шлифовании пластинки из поликристаллического синтетического сверхтвердого материала АСПК, рис. 2,а [4]. Этим количественно подтверждена возможность поверхностного разрушения алмазных зерен от действия предельных напряжений сжатия, вызванных радиально приложенной к зернам силой P_y .

При взаимодействии зерен круга с пластинкой из мягкого материала (с той же силой P_y), в связи с их возможностью внедряться в материал пластинки, в контакте будет находиться большее количество зерен. Это приведет к снижению нагрузок, действующих на отдельные зерна, и замедлению их поверхностного разрушения во времени, что хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при алмазном шлифовании твердого сплава ВК20, рис. 2,б [4].

Рассмотренный механизм поверхностного разрушения зерен также хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при исследовании алмазного шлифования по упругой схеме пластинки из синтетического сверхтвердого материала с применением непрерывной автономной электрохимической правки алмазного круга на металлической связке, рис. 5 [4]. В этом случае наблюдается периодичность процесса (рис. 5,а), которая может быть связана с периодичностью выпадения из связки круга зерен с образовавшимися на них площадками. За счет электрохимического растворения металлической связки круга происходит уменьшение глубины заделки зерен связки и прочности их удержания. В определенный момент времени одно или несколько наиболее выступающих зерен (с наибольшими площадками на вершинах) выпадают

из связки.

Это приводит к мгновенному увеличению нагрузок, действующих на оставшиеся в контакте с обрабатываемой алмазной пластинкой зерна, и их интенсивному поверхностному разрушению. В результате происходит "всплеск" силы резания P_z и производительности обработки Q , т.к. в этот момент резание производится более острыми зернами. Через весьма непродолжительный период времени поверхностное разрушение зерен прекращается, и процесс резания переходит в устойчивый процесс трения обрабатываемой алмазной пластинки с образовавшимися на зернах площадками. И так происходит периодически.

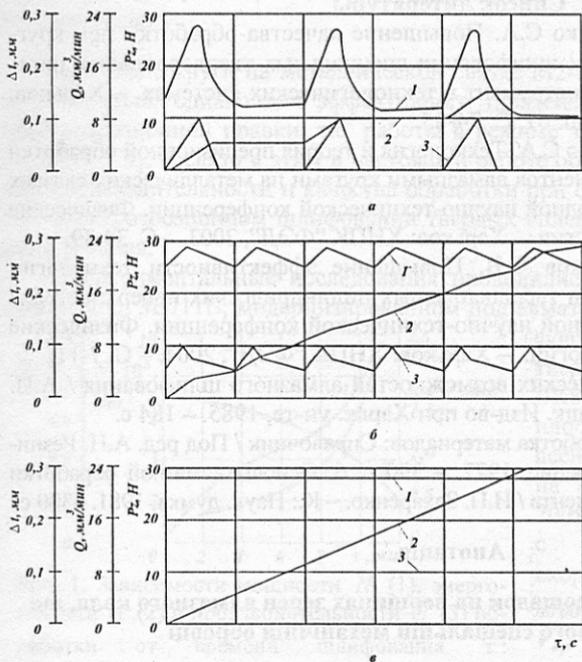


Рис.5. Осциллограммы, отражающие влияние силы тока в цепи управления на выходные показатели обработки синтетического композиционного материала: 1 - P_z ; 2 - линейный сьем материала Δr ; 3 - Q . а - $I=30\text{А}$; б - $I=110\text{А}$; в - $I=150\text{А}$.

В этом состоит основной эффект от применения непрерывной автономной электрохимической правки алмазного круга на металлической связке при шлифовании алмаза и других синтетических сверхтвердых материалов.

Таким образом показано, что для решения задачи формирования значительных площадок на вершинах алмазных зерен круга (с целью существенного сниже-

С увеличением силы тока I в цепи управления процессом и соответственно увеличением скорости электрохимического растворения металлической связки круга частота "всплесков" параметров P_z и Q увеличивается (рис. 5,б), а при силе тока $I=150\text{А}$ "всплески" практически исчезают (рис. 5,в). В последнем случае имеет место интенсивное выпадение мало разрушенных алмазных зерен из связки. Зерна, не успев поверхностно разрушиться на всю величину H , обусловленную пределом прочности алмаза на сжатие, покидают связку круга, обеспечивая при этом более производительный сьем материала (алмаза).

ния шероховатости поверхности при шлифовании твердосплавных изделий) эффективно производить специальную механическую обработку алмазного круга с помощью поликристаллического синтетического сверхтвердого материала (в виде пластинки или алмазного правящего карандаша). Теоретически и экспериментально обосновано, что чем больше сила прижатия обрабатываемой алмазной пластинки к зернам круга P_y , тем больше величина поверхностного разрушения зерен H и больше образующиеся на них площадки. Для достижения относительно больших значений P_y целесообразно использовать жесткую схему обработки.

Список литературы

1. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Повышение качества обработки при круглом наружном алмазном шлифовании специальных твердосплавных инструментов // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2004. – Вып. 67. С. 74-85.
2. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Технология и теория прецизионной обработки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках // Труды 8-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 34-39.
3. Дитиненко С.А., Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии прецизионной обработки твердосплавных цилиндрических поверхностей // Труды 9-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2004. – С. 7-11.
4. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / А.И. Грабченко. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. – 184 с.
5. Абразивно-алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с. 6. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И.П. Захаренко. – К.: Наук. думка, 1981. – 300 с.

Анотація

Механізм формування площадок на вершинах зерен алмазного кола, що ріжуть, при його спеціальній механічній обробці

У роботі приведені результати теоретичних досліджень механізму руйнування алмазних зерен кола й утворення на них площадок. Показано збіжність розрахункових і експериментальних даних.

Abstract

The mechanism of formation of platforms at tops of cutting grains of the diamond circle at his special machining

In work results of theoretical researches of the mechanism of destruction of diamond grains of a circle and formation on them of platforms are resulted. Convergence settlement and experimental data is shown.