

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ АЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Дитиненко С.А.**, канд. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнеца)

**Минчев Р.М.**

(ГБУЗ “Приазовский государственный технический университет”, Мариуполь)

*We justify the conditions of effective use of diamond wheels on metal bonds for grinding carbide products. It is shown that by creating a flat-topped round the diamond grains can significantly reduce the height of the microscopic irregularities on the surface to be treated*

Применение алмазных кругов на металлических связках позволяет существенно повысить производительность обработки деталей из материалов с повышенными физико-механическими свойствами. На практике получил широкое применение процесс шлифования твердосплавных изделий алмазными кругами на металлических связках с их непрерывной электроэрозионной правкой [1, 2]. Этот метод позволяет существенно повысить производительность обработки за счет обеспечения высокой режущей способности алмазного круга, однако приводит к увеличению шероховатости обработки  $R_a = 0,5 \dots 2$  мкм.

В работе [3] показаны возможности применения алмазных кругов на металлических связках для решения задачи уменьшения параметра шероховатости обработки  $R_a$ . Для этого производится специальная подготовка к работе алмазного круга на металлической связке М1-01 путем шлифования алмазным кругом алмазного карандаша с продольной подачей. В результате происходит срезание вершин алмазных зерен круга (т.е. притупление режущих кромок), что позволяет в процессе шлифования твердого сплава получить шероховатость обработки на уровне  $R_a = 0,2$  мкм и ниже при одновременном обеспечении высокой производительности обработки. Для выявления условий эффективного использования данного процесса шлифования необходимо провести теоретический анализ условий уменьшения параметра шероховатости обработки  $R_a$  за счет искусственного создания значительных площадок на режущих зернах алмазного круга. Поэтому целью работы является обоснование условий уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании.

Расчет параметра шероховатости обработки  $R_a$  произведен по методике, предложенной в работе [4]. Ее суть состоит в аналитическом описании приведенного режущего профиля, образованного от наложения проекций режущих зерен на фиксированную плоскость обрабатываемой детали, расположенную перпендикулярно движению зерен круга. Для описания приведенного режущего профиля предложено использовать вероятностную функцию – относительную полноту профиля круга – аналогичную классической функции относительной опорной длины микропрофиля обработанной поверхности (рис. 1).

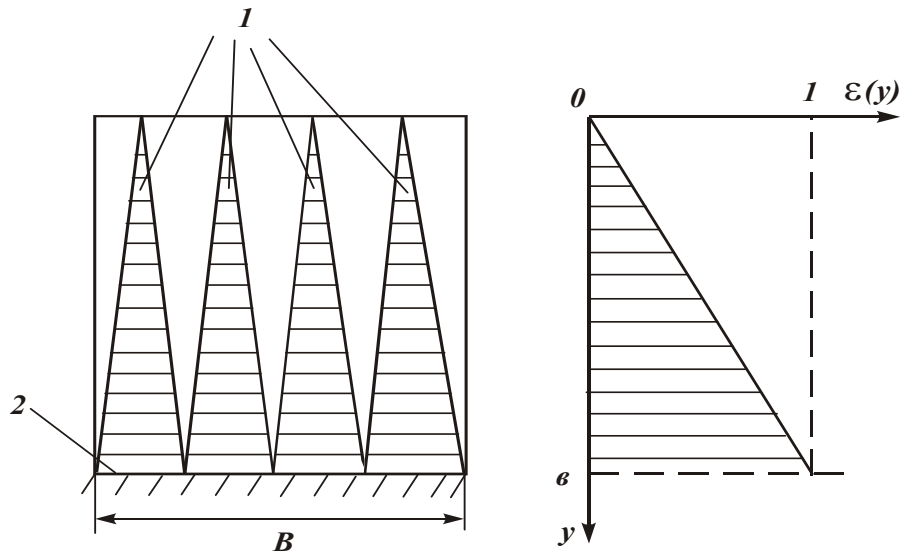


Рис. 1. Расчетная схема относительной полноты профиля круга:  
1 – зерна круга; 2 – связка круга

Относительная полнота профиля круга  $\varepsilon(y)$ , без учета перекрытия проекций зерен, описывается зависимостью

$$\varepsilon(y) = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot y \cdot n}{B}, \quad (1)$$

где  $n = k \cdot B \cdot l$  – число зерен, расположенных на рабочей поверхности шлифовального круга площадью  $B \cdot l$ ;  $k$  – поверхностная концентрация зерен круга, шт/мм<sup>2</sup>;  $B$  – ширина круга, м;  $l$  – длина рабочей поверхности круга, участвующая в формировании параметра шероховатости  $R_a$ , м;  $\gamma$  – половина угла при вершине конусообразного режущего зерна;  $y$  – координата, вдоль которой определяется высота профиля круга (высота выступания зерен над уровнем связки круга), м.

Подчиняя зависимость (1) условию  $\varepsilon(y = R_{max}) = 1$ , имеем

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot l}. \quad (2)$$

Параметр шероховатости обработки  $R_{max} = 5 \cdot R_a$  тем меньше, чем больше  $k$  и  $l$ . Зернистость круга явно не входит в зависимость (2), она влияет на параметр шероховатости обработки  $R_{max}$  посредством изменения параметра  $k$ . В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (2) значения  $R_a$  для исходных данных:  $l = 10$  мм,  $k = 50$  шт/мм<sup>2</sup>,  $\gamma = 45^\circ$ .

Таблица 1

Расчетные значения  $R_a$  в мкм

$l$ , мм	10	20	50	100
$k$ , шт/мм <sup>2</sup>				
50	0,2	0,1	0,04	0,02
500	0,02	0,01	0,004	0,002
5000	0,002	0,001	0,0004	0,0002

Как следует из табл. 1, параметр шероховатости обработки  $R_a$  принимает значение 0,2 мкм, что соответствует практическим данным. Увеличение параметров  $k$  и  $l$  приводит к существенному уменьшению параметра шероховатости обработки  $R_a$ , реализовать которые на практике фактически не возможно.

Определим параметр шероховатости обработки  $R_a$  при плоском шлифовании торцом круга с условно одновысотным выступанием зерен. Для этого выразим параметр  $l$  зависимостью:  $l = V_{кр} \cdot B / V_{дет}$  (где  $V_{кр}$ ,  $V_{дет}$  – соответственно скорости круга и детали, м/с) и подставим его в зависимость (2). В результате получим:

$$R_a = \frac{0,1 \cdot V_{дет}}{tg \gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр}} \quad (3)$$

При плоском шлифовании периферией круга с условно одновысотным выступанием зерен над уровнем связки параметр  $l$  выражается зависимостью:  $l = V_{кр} \cdot L / V_{дет} = V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot R_{max}} / V_{дет}$ , где  $R_{кр}$  – радиус круга, м. Тогда

$$R_a = 2,5 \cdot 3 \sqrt{\left( \frac{V_{дет}}{tg \gamma \cdot k \cdot V_{кр}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_{кр}}} \quad (4)$$

При шлифовании торцом круга параметры  $k$ ,  $V_{дет}$  и  $V_{кр}$  в большей степени влияют на  $R_a$ , чем при шлифовании периферией круга. Параметр  $B$  входит в зависимость (3) в первой степени, тогда как параметр  $R_{кр}$  входит в зависимость (4) в степени 0,33, т.е. за счет увеличения параметра  $B$  можно значительно уменьшить  $R_a$ .

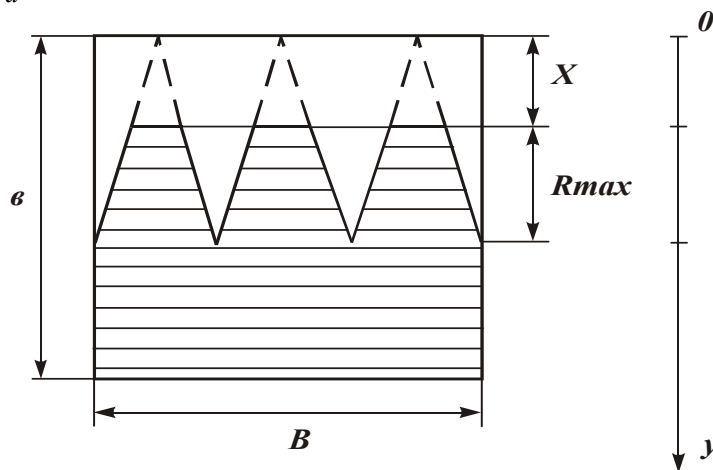


Рис. 2. Расчетная схема параметра шероховатости обработки  $R_{max}$ , учитывающая износ зерен круга

С учетом износа зерен (рис. 2) параметр шероховатости обработки  $R_{max}$  определится из зависимости (1) при условии  $\varepsilon(y = R_{max} + x) = 1$ :

$$R_{max} = \frac{1}{2 \cdot tg \gamma \cdot k \cdot l} - x, \quad (5)$$

где  $x$  – величина линейного износа зерен круга, м.

При плоском шлифовании торцом круга с учетом зависимости  $l = V_{кр} \cdot B / V_{дет}$ :

$$R_{max} = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр}} - x. \quad (6)$$

При плоском шлифовании периферией шлифовального круга для  $l = V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot R_{max}} / V_{дет}$ :

$$x = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot R_{max}}} - R_{max}. \quad (7)$$

Согласно зависимостям (6) и (7), параметр шероховатости обработки  $R_{max}$  уменьшается с увеличением  $x$ , причем при шлифовании торцом круга более интенсивно. При выполнении условия  $x \rightarrow \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot B \cdot V_{кр}}$  параметр шеро-

ховатости обработки  $R_{max} \rightarrow 0$ , т.е. для каждого режима шлифования и каждой характеристики круга существует вполне конкретное значение  $x$ , при котором  $R_{max} \rightarrow 0$ . Для реализации данного условия необходимо обеспечить линейный износ зерна на величину  $x = \frac{V_{дет}}{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}$ .

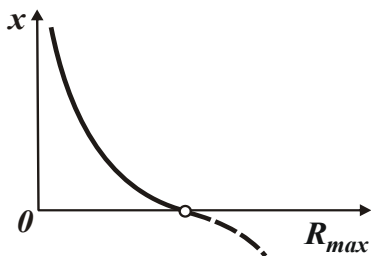


Рис. 3. Примерная зависимость величины  $x$  от  $R_{max}$

Данное условие выполнимо при плоском шлифовании торцом круга. При плоском шлифовании периферией круга, исходя из зависимости (7), условие  $R_{max} \rightarrow 0$  требует неограниченного увеличения первого слагаемого и величины  $x$ . Согласно рис. 3, с увеличением величины  $x$  от 0 до  $\infty$  параметр шероховатости обработки  $R_{max}$  уменьшается, асимптотически приближаясь к значению  $R_{max} \rightarrow 0$ . Для того чтобы уменьшить  $x$ , необходимо существенно увеличить

множитель  $\frac{2 \cdot tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}}}{V_{дет}}$  за счет увеличения  $k$ ,  $V_{кр}$ ,  $R_{кр}$  и уменьшения

$V_{дет} \rightarrow 0$ . Так как увеличение параметров  $k$ ,  $V_{кр}$  и  $R_{кр}$  ограничено, выполнить данное условие можно за счет уменьшения  $V_{дет} \rightarrow 0$ . Однако, это ведет к существенному снижению производительности обработки. Таким образом, теоретически показана возможность существенного уменьшения (вплоть до нуля) параметра шероховатости обработки  $R_a$  при плоском шлифовании торцом круга за счет увеличения величины износа зерен  $x$ .

Для оценки возможностей практического использования данного теоретического решения были проведены экспериментальные исследования процесса круглого наружного шлифования твердосплавных инструментов алмазным кругом формы 1A1 300·25 зернистостью АС6 125/100 на металлической связке М1-01, в ходе которых измерялся параметр шероховатости обработки  $R_a$ . По-

сле установки круга на станок, с помощью электроэрозионной правки произведено выведение биения круга и вскрытие алмазного слоя круга, а затем с помощью алмазного карандаша типа “Славутич”, установленного в специальное устройство для правки на круглошлифовальном станке, произведено притупление режущих кромок алмазного круга. Опытами установлено, что подготовленный таким образом к работе круг в процессе шлифования в начальный период обеспечивал шероховатость обработки  $R_a = 0,1 \dots 0,2$  мкм.

Приблизительно через 30 минут работы круга параметр шероховатости увеличился до значения 0,3 мкм. Наблюдение за процессом показали, что это произошло вследствие выпадения из связки круга затупленных зерен и подключение в работу новых зерен с острыми кромками. Режущий рельеф стал более развитым, что привело в конечном итоге к уменьшению степени затупления зерен (уменьшению величины  $x$ ) и в соответствии с зависимостью (7) – к увеличению параметра шероховатости обработки. Повторное притупление режущих кромок алмазного круга с помощью алмазного карандаша позволило опять же добиться при шлифовании снижения параметра шероховатости обработки  $R_a$  до значений 0,1...0,2 мкм.

Опытами установлено также то, что с уменьшением производительности обработки алмазный круг более длительное время сохраняет исходный режущий рельеф (после притупления режущих кромок) и обеспечивает при шлифовании меньшие значения параметра шероховатости обработки  $R_a$ .

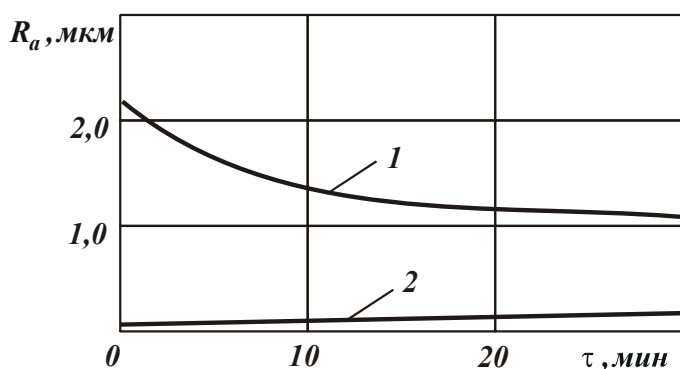


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости поверхности  $R_a$

от времени обработки  $\tau$ : 1 – после электроэрозионной правки алмазного круга; 2 – после создания на алмазном круге плосковершинных зерен

Необходимо отметить, что при шлифовании вновь заправленным кругом на металлической связке (после его электроэрозионной правки) параметр шероховатости обработки  $R_a$  принимал значение 2,2 мкм (рис. 4). После 30 минут шлифования он уменьшился, однако не значительно – до уровня 1,2 мкм. Этим установлено, что за счет приработки ал-

мазного круга не удалось существенно уменьшить шероховатость поверхности, ее уменьшение возможно в результате искусственного создания на круге плосковершинных зерен. Результаты исследований использованы при финишной обработке осевых многолезвийных твердосплавных инструментов (а также рейберов – инструментов для обработки отверстий методами пластического деформирования), на ГП “Харьковский машиностроительный завод “ФЭД”. В ряде случаев обработки удалось исключить трудоемкие операции доводки инструментов алмазным порошком, обеспечивая требуемую шероховатость поверхности  $R_a = 0,1 \dots 0,2$  мкм на предшествующих операциях шлифования ал-

мазного круга не удалось существенно уменьшить шероховатость поверхности, ее уменьшение возможно в результате искусственного создания на круге плосковершинных зерен. Результаты исследований использованы при финишной обработке осевых многолезвийных твердосплавных инструментов (а также рейберов – инструментов для обработки отверстий методами пластического деформирования), на ГП “Харьковский машиностроительный завод “ФЭД”. В ряде случаев обработки удалось исключить трудоемкие операции доводки инструментов алмазным порошком, обеспечивая требуемую шероховатость поверхности  $R_a = 0,1 \dots 0,2$  мкм на предшествующих операциях шлифования ал-

мазными кругами на металлических связках после искусственного создания на режущих зернах значительных площадок.

**Выводы.** Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность существенного уменьшения шероховатости поверхности при круглом наружном шлифовании в условиях высокопроизводительного съема относительно больших припусков за счет принудительного формирования площадок на вершинах режущих зерен алмазного круга на металлической связке. Это позволяет объединить предварительное и окончательное шлифование, в ряде случаев исключить трудоемкую операцию доводки свободным абразивом из технологического процесса обработки.

**Список литературы:** 1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Харьк. гос. техн. ун-т. – Харьков, 1995. – 56 с. 2. Матюха П.Г. Влияние времени обработки на коэффициент шлифования твердого сплава ВК15 / П.Г. Матюха, В.Б. Стрелков, В.П. Цокур // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии.– Х.: ХНПК “ФЭД”.–2007.–С. 172-179. 3. Новиков Г.В. Теоретический анализ путей повышения точности и качества алмазно-абразивной обработки / Г.В. Новиков, С.А. Дитиненко // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ. – Вип. 10, 2002. – С.197-202. 4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.