

## УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Дитиненко С.А., Снисаренко И.Н., Машко А.А., Черненко А.В.

(ХНЭУ, г. Харьков, Украина)

### Введение

На практике получил применение процесс шлифования твердосплавных изделий алмазными кругами на металлических связках с их непрерывной электроэрозионной правкой [1, 2]. Он позволяет существенно повысить производительность обработки за счет обеспечения высокой режущей способности алмазного круга. Вместе с тем, это приводит к довольно большим значениям 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, в настоящей работе проведем теоретический анализ условий уменьшения параметра шероховатости обработки  $R_a$  за счет искусственного создания значительных площадок на режущих зернах алмазного круга. Цель работы – обоснование условий уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании.

### Основное содержание работы

Расчет параметра шероховатости обработки  $R_a$  произведем 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 функцию – относительную полноту профиля круга – аналогичную классической функции относительной опорной длины микропрофиля обработанной поверхности (рис. 1).

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/м<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.

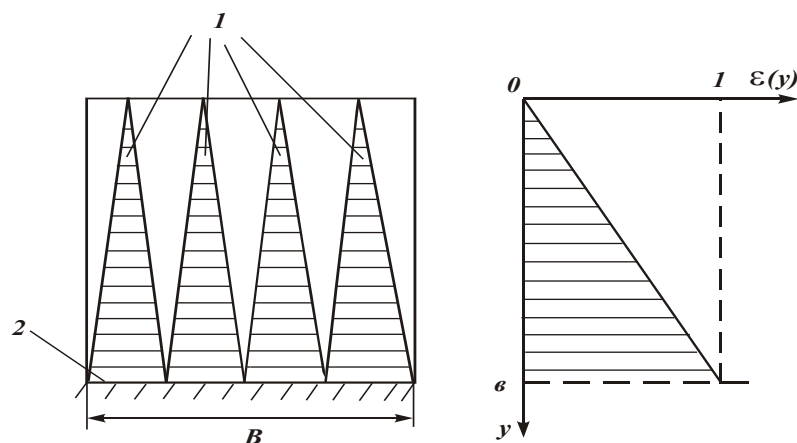


Рис. 1. Расчетная схема относительной полноты профиля круга:  
1 – зерна круга; 2 – связка круга

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

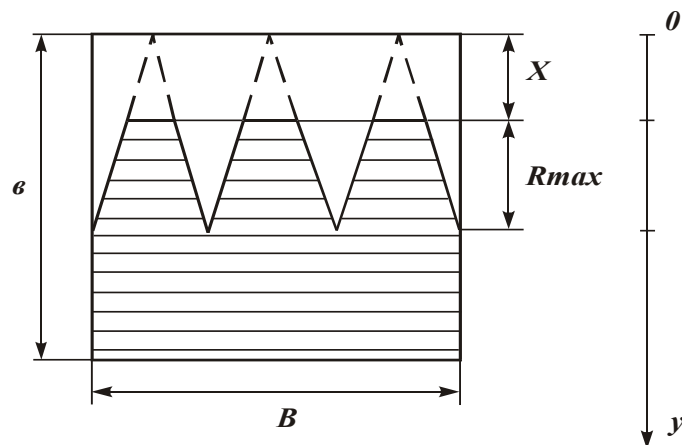


Рис. 2. Расчетная схема параметра шероховатости обработки  $R_{\text{max}}$ , учитывающая износ зерен круга.

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

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

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

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

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

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  $\frac{2 \cdot tg \gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}}}{V_{дем}}$  за счет увеличения  $k$ ,  $V_{кр}$  и  $R_{кр}$  и уменьшения  $V_{дем} \rightarrow 0$ . Так как увеличение параметров  $k$ ,  $V_{кр}$  и  $R_{кр}$  ограничено, выполнить данное условие можно за счет уменьшения  $V_{дем} \rightarrow 0$ . 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  $x$ .

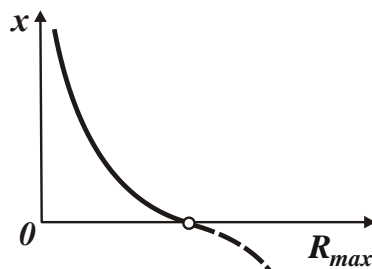


Рис. 3. Примерная зависимость величины  $x$  от  $R_{max}$

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 из-

мерялся параметр шероховатости обработки  $R_a$ . После установки круга на станок, с помощью электроэрозионной правки произведено выведение биения круга и вскрытие алмазносного 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 показало, 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  $R_a$ .

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 алмазного круга не удалось существенно уменьшить шероховатость поверхности, ее уменьшение возможно в результате искусственного создания на круге плосковершинных зерен.

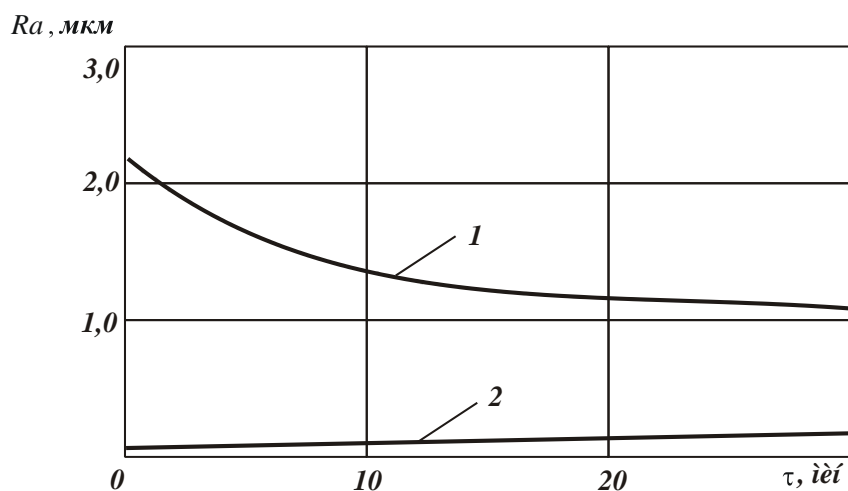


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости поверхности  $R_a$  от времени обработки  $\tau$ :

- 1 – после электроэрозионной правки алмазного круга;
- 2 – после создания на алмажном 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 алмазными 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, а также 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., Стрелков В.Б., Цокур В.П. Влияние времени обработки на коэффициент шлифования твердого сплава ВК15 // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Х.: ХНПК “ФЭД”. – 2007. – С. 172-179. 3. Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Теоретический анализ путей повышения точности и качества алмазно-абразивной обработки // 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, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

### УМОВИ ЗМЕНШЕННЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБКИ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Дитиненко С.О., Снісаренко І.М., Машко А.О., Черненко А.В.

У роботі наведені результати аналітичних і експериментальних досліджень шорсткості обробки при шліфуванні алмазними кругами на металевих зв'язках. Показана можливість її зменшення за рахунок примусового формування значних площадок на вершинах ріжучих зерен. Це дозволяє об'єднати попереднє і остаточне шліфування, а у ряді випадків виключити трудомістку операцію доведення вільним абразивом з технологічного процесу обробки.

## УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Дитиненко С.А., Снисаренко И.Н., Машко А.А., Черненко А.В.

В работе приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований шероховатости обработки при шлифовании алмазными кругами на металлических связках. Показана возможность ее уменьшения за счет принудительного формирования значительных площадок на вершинах режущих зерен. Это позволяет объединить предварительное и окончательное шлифование, а в ряде случаев исключить трудоемкую операцию доводки свободным абразивом из технологического процесса обработки.

## CONDITIONS OF REDUCTION OF THE ROUGHNESS OF PROCESSING AT GRINDING

Ditinenko S.A., Snisarenko I.N., Mashko A.A., Chernenko A.V.

In the work the results of analytical and experimental researches of the roughness of processing are resulted at grinding by diamond wheels with metal binder. The opportunity of its reduction is shown due to compulsory formation of significant areas at tops of cutting grains. It allows to unit rough and finish grinding, and in some cases to exclude labour-consuming operation of loose abrasive finishing from technological process of machining.

*Рецензент: д.т.н., проф. Матюха П.Г.*