

УДК 621.923

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Дитиненко С.А.

(г. Харьков, Украина)

Ways of improvement of quality of processing at round external grinding cutting tools.

Проблеме шлифования алмазными кругами на металлических связках твердосплавных инструментов в научно-технической литературе уделено большое внимание [1,2,3]. Однако в полном объеме данная проблема не решена. Это связано с рядом факторов: относительно низкими показателями производительности и качества обработки, повышенным расходом алмаза и т.д. В особой мере это относится к обработке цилиндрических поверхностей специальных твердосплавных инструментов, где необходимо обеспечить шероховатость обработки на уровне $R_a = 0,1$ мкм и съем больших припусков (более 2 мм на сторону).

Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование условий существенного уменьшения шероховатости обработки специальных твердосплавных инструментов при круглом наружном шлифовании алмазными кругами на металлических связках.

Экспериментальные исследования шероховатости обработанной поверхности проводились при круглом наружном продольном шлифовании алмазным кругом на металлической связке 1А1 300х20х5 АС6 125/100 М1-10 4. В качестве обрабатываемой детали использовался инструмент (рейбер) из твердого сплава ВК8. После установки алмазного круга на круглошлифовальный станок производилось вскрытие алмазоносного слоя круга и устранение биения с использованием электроэрозионной правки. Был применен источник постоянного тока (напряжение - $U = 36$ В, сила тока - $I = 0 \dots 100$ А). Электродом служила стальная цилиндрическая заготовка, которая крепилась в центрах круглошлифовального станка и совершала вращательное и продольное движения. Электроэрозионная правка производилась с силой тока до 100 А. Регулирование силы тока осуществлялось за счет поперечной подачи электрода. Время начального вскрытия алмазоносного слоя круга и устранения биения до уровня 0,01 мм составило приблизительно 20 минут.

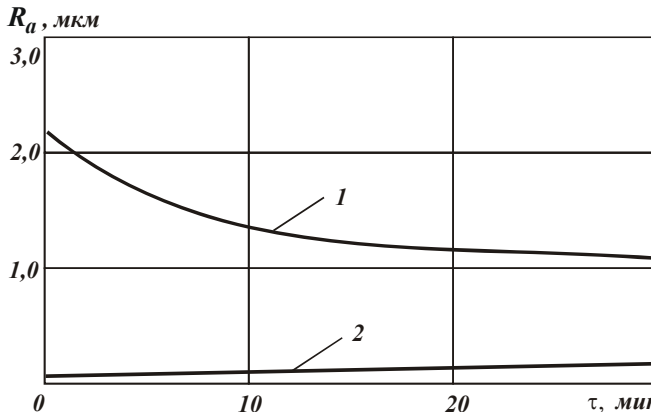


Рис. 1. Зависимость параметра шероховатости обработки $R_{a, \dots}$ от времени τ : 1 – после электроэрозионной правки

обрабатываемого материала. С течением времени обработки в связи с износом и затуплением режущих зерен круга параметр шероховатости R_a уменьшается, однако не столь значительно, рис. 1.

Необходимо отметить, что изменение параметров режима шлифования: $V_{дет}$, S_{np} , t также не привело к заметному изменению параметра R_a .

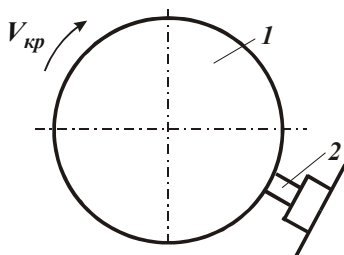


Рис. 2. Схема обтачивания алмазного круга на металлической связке алмазным правящим карандашом: 1 – алмазный круг; 2 – алмазный правящий карандаш.

Шлифование твердосплавного рейбера производилось без применения электроэрозионной правки (т.е. при отключенном источнике технологического тока).

Опытами установлено, что шероховатость обработки при шлифовании вновь заправленным алмазным кругом составляет $R_a = 2,2$ мкм ($V_{кр} = 30$ м/с; $V_{дет} = 15$ м/мин; $S_{np} = 5$ мм/об; $t = 0,05$ мм). Такое большое значение параметра R_a обусловлено тем, что шлифование производилось алмазным кругом с “острым” режущим рельефом, сформированным в процессе электроэрозионной правки и характеризующимся значительной высотой выступающих зерен над уровнем связки круга. Шлифование данным кругом обеспечивает высокопроизводительный съём обрабатываемого материала.

Были проведены опыты по оценке влияния величины притупления режущих кромок алмазного круга на шероховатость обработки. С этой целью с помощью алмазного правящего карандаша МААС способом обтачивания произведено притупление режущих кромок алмазного круга согласно схеме, приведенной на рис. 2. Применялись следующие условия обтачивания алмазного круга: $V_{кр} = 30$ м/с; $S_{np} = 0,3$ м/мин; $t = 0,02$ мм/дв.ход. Подготовленный таким способом к работе алмазный круг обеспечивал шероховатость обработки при шлифовании $R_a = 0,1 \dots 0,2$ мкм. Следовательно, притупление режущих кромок алмазного круга позволило уменьшить параметр шероховатости обработки при шлифовании R_a с 2,2 мкм до 0,1...0,2 мкм, т.е. приблизительно в 10...20 раз.

С течением времени обработки кругом с притупленными режущими кромками параметр R_a несколько увеличивался (рис. 1), что связано с выпадением из связки круга притупленных зерен и подключением в работу новых зерен с

острыми кромками. Режущий рельеф круга становился более развитым, что приводило к уменьшению величины линейного износа зерен и соответственно к увеличению параметра шероховатости обработки R_a .

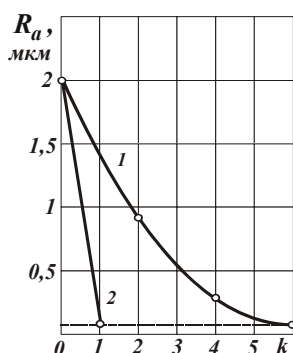


Рис. 3. Зависимость параметра шероховатости обработки R_a при шлифовании от количества k продольных ходов алмазного правящего карандаша при obtачивании алмазного круга на металлической связке: 1 - $t = 0,02$ мм/дв.ход; 2 - $t = 0,1$ мм/ход.

При $t = 0,02$ мм/дв.ход (при obtачивании) значения шероховатости обработки при шлифовании $R_a = 0,1-0,2$ мкм достигаются приблизительно за шесть проходов алмазного карандаша.

Опытами, проведенными в течении 30 минут шлифования, установлено, что алмазный круг с притупленными режущими кромками обладает высокой размерной стойкостью. Это позволяет использовать его на чистовых операциях шлифования для обеспечения высоких показателей шероховатости и точности обработки, что открывает новые технологические возможности шлифования. По сути, одним алмазным кругом можно одновременно снимать относительно большие припуски с высокой производительностью и обеспечивать шероховатость поверхности на уровне операций чистовой обработки.

Были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния глубины шлифования на шероховатость обработки при шлифовании алмазным кругом 1A1 300x20x5 AC6 100/80 M1-01 4 после его obtачивания алмазным правящим карандашом. Установлено, что при глубине шлифования $t = 0,01-0,025$ мм в течении 30 мин обработки параметр шероховатости R_a изменяется в пределах 0,1-0,2 мкм, рис. 4,а. При глубине шлифования $t = 0,05$ мм параметр шероховатости R_a за тоже время обработки изменился в значительно больших пределах: 0,1-0,4 мкм.

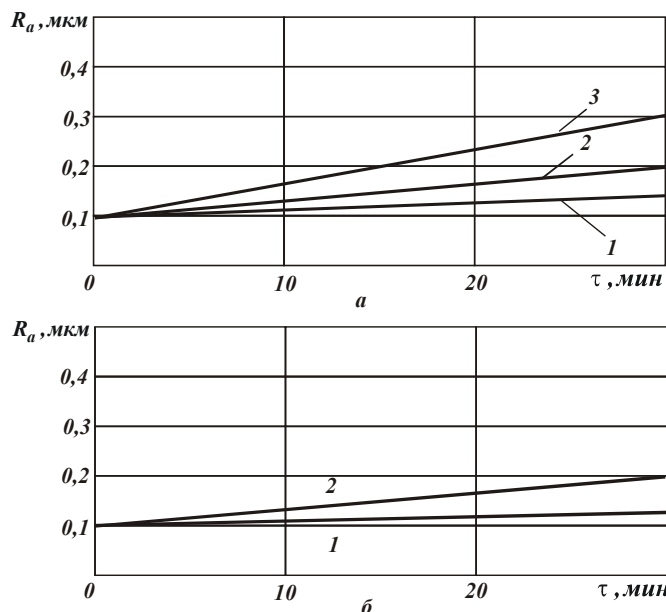


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости обработки R_a от времени обработки τ : а - алмазный круг на металлической связке M1-01; 1 - $t = 0,01$ мм; 2 - $t = 0,025$ мм; 3 - $t = 0,05$ мм; б - алмазный круг на металлической связке M1-10; 1 - $t = 0,01$ мм; 2 - $t = 0,05$ мм.

\bar{R}_{max} - значение параметра шероховатости R_{max} для $x=0$. На рис. 5,а приведены графики, полученные с учетом образования на режущих зернах площадок износа, а на рис. 5,б - графики, не учитывающие образование на режущих зернах площадок износа. Сравнивая эти графики, нетрудно видеть, что с учетом образования на зернах площадок износа параметр шероховатости обработки R_{max} уменьшается более интенсивно с увеличением величины x (рис. 5,а), чем в случае, не учитывающем образование на зернах площадок износа (рис. 5,б).

На рис. 3 показано влияние числа проходов K алмазного правящего карандаша при obtачивании алмазного круга на параметр шероховатости обработки R_a при шлифовании. Условия obtачивания алмазного круга: $V_{кр} = 30$ м/с; $S_{np} = 0,3$ м/мин. Как видим, с увеличением числа проходов K параметр шероховатости обработки R_a уменьшается. При глубине резания $t = 0,1$ мм/ход (при obtачивании) значения шероховатости обработки при шлифовании $R_a = 0,1-0,2$ мкм достигаются за один проход алмазного карандаша.

Для сравнения были проведены экспериментальные исследования шероховатости обработки при шлифовании алмазным кругом 1A1 300x20x5 AC6 125/100 M1-10 4 после его obtачивания алмазным правящим карандашом, рис. 4,б. Установлено, что за 30 мин обработки при глубине шлифования $t = 0,05$ мм параметр шероховатости R_a изменился в пределах 0,1-0,2 мкм. Это можно объяснить более высокой износостойкостью данного алмазного круга.

Проведем теоретический анализ экспериментальных данных шероховатости поверхности. На основе полученных аналитических зависимостей [4] определим условие, вызывающее столь значительное уменьшение параметра шероховатости обработки R_a (с 2,2 до 0,1 мкм) при шлифовании алмазным кругом на металлической связке после его obtачивания алмазным правящим карандашом. Для этого были построены графики R_{max} - x для различных значений \bar{R}_{max} (рис. 5), где R_{max} - параметр шероховатости обработки, мкм; x - величина линейного износа максимально выступающего над уровнем связки зерна, мкм;

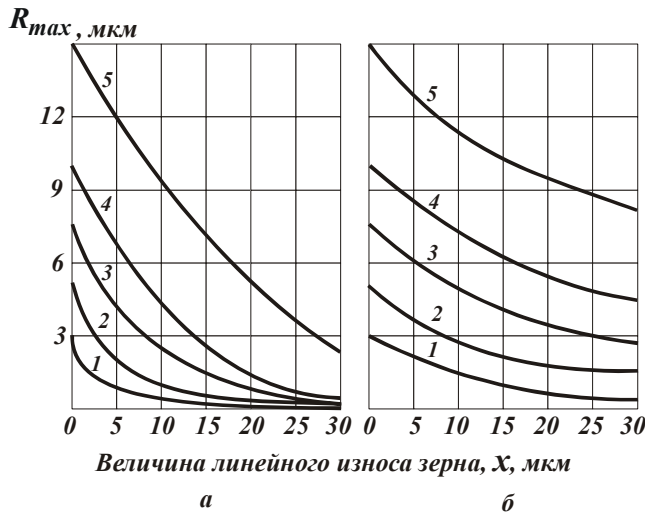


Рис. 5. Зависимости параметра шероховатости R_{max} от величины линейного износа зерна x : 1 - $\bar{R}_{max} = 3$ мкм; 2 - $\bar{R}_{max} = 5$ мкм; 3 - $\bar{R}_{max} = 7,5$ мкм; 4 - $\bar{R}_{max} = 10$ мкм; 5 - $\bar{R}_{max} = 15$ мкм.

роховатости обработки R_a равен 0,12 мкм ($R_{max} \approx 0,5$ мкм). Следовательно, за счет обработки алмазного круга алмазным правящим карандашом произошло уменьшение параметра R_{max} приблизительно в 20 раз. Это хорошо согласуется с расчетными данными, приведенными на рис. 5,а. На основе проведенного анализа можно заключить, что выравнивание вершин зерен (путем обтачивания круга алмазным правящим карандашом) происходит в результате микроразрушений алмазных зерен с образованием на них площадок износа.

Приведенные на рис. 5 графики показывают практически неограниченное уменьшение параметра шероховатости обработки R_{max} с увеличением величины линейного износа зерен x , т.е. раскрывают потенциальные возможности уменьшения параметра R_{max} за счет существенного увеличения величины x (при условии образования на зернах площадок износа).

Произведем численный расчет параметра шероховатости обработки R_{max} (для $x=0$) на основе зависимости [4]

$$R_{max} = \left(\frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет}}{6 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{1}{D_{кр}} + \frac{1}{D_{дет}}} \right)^{0,4}, \quad (1)$$

(где \bar{X} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен круга; 2γ - угол при вершине конусообразного зерна; $V_{кр}, V_{дет}$ - скорости круга и детали, м/с; $D_{кр}, D_{дет}$ - диаметры круга и детали, м) для условий круглого наружного шлифования свежевскрытым (после электроэрозионной правки) алмазным кругом 1A1 300x20x5 AC6 100/80 M1-01 4. Исходные данные для расчета: $\text{tg} \gamma = 1$; $m = 100$; $\bar{X} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м; $V_{кр} = 30$ м/с; $V_{дет} = 15$ м/мин; $D_{кр} = 0,3$ м; $D_{дет} = 0,014$ м. В результате установлено: $R_{max} = 4,3$ мкм ($R_a \approx 0,2 \cdot R_{max} = 0,86$ мкм). Экспериментально установленное значение R_a для данных условий шлифования равно 1,9 мкм. Следовательно, расчетное значение R_a более чем в два раза меньше экспериментально установленного значения. Данное расхождение следует рассматривать достаточно большим, требующим уточнения. Наблюдаемое расхождение значений R_a может быть обусловлено двумя факторами:

- 1) не учет в расчетной схеме разновысотного расположения вершин зерен в пределах толщины слоя, равного параметру шероховатости R_{max} ;
- 2) не учет вероятностного характера участия зерен в резании в связи с возможностью их прохождения «след в след».

Оценим влияние разновысотного расположения вершин режущих зерен на шероховатость поверхности. Для упрощения анализа рассмотрим схему плоского шлифования, рис. 6,а. Формирование шероховатости на обрабатываемом образце будем рассматривать в направлении линии ОА, считая, что скорости $V_{дет}$ и $V'_{дет}$ связаны соотношением

$$V'_{дет} = 2 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{кр}}}. \quad (2)$$

Следовательно, добиться существенного уменьшения параметра R_{max} только лишь за счет выравнивания вершин режущих зерен (уменьшения высот выступания вершин зерен над уровнем связки круга) достаточно сложно. Необходимо обеспечить образование на режущих зернах площадок износа. Из этого можно сделать вывод о том, что экспериментально установленное существенное уменьшение параметра шероховатости обработки R_{max} (в 20 раз) произошло главным образом вследствие образования на режущих зернах площадок износа.

Проведем анализ полученных графиков для значения $\bar{R}_{max} = 10$ мкм, соответствующего экспериментальному значению, полученному при шлифовании свежевскрытым алмазным кругом на металлической связке ($R_a = 2,2$ мкм). С увеличением величины x от 0 до 30 мкм параметр шероховатости обработки R_{max} уменьшился в 22,2 раза (рис. 5,а) и в 2,28 раза (рис. 5,б) соответственно. Как установлено экспериментально, при шлифовании алмазным кругом, обработанным алмазным правящим карандашом, параметр шероховатости обработки R_a равен 0,12 мкм ($R_{max} \approx 0,5$ мкм).

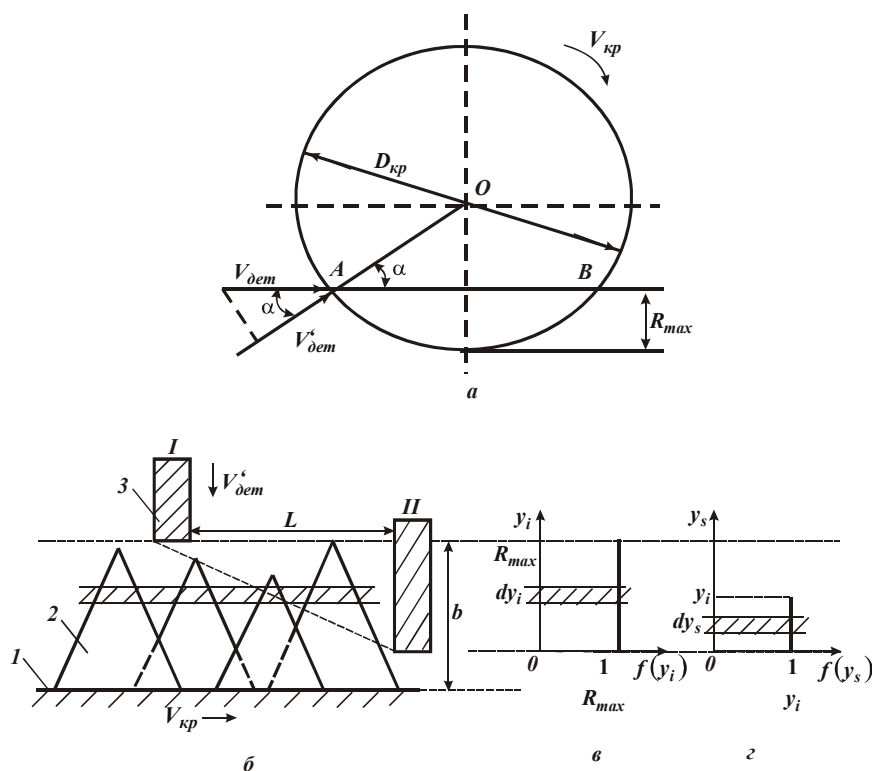


Рис. 6. Расчетная схема шероховатости поверхности: 1 – уровень связки круга; 2 – режущее зерно; 3 – обрабатываемый образец.

ца, высоты проекций зерен на образец будут различны. Характер изменения высот проекций зерен y_s будет подчиняться равномерному закону с плотностью распределения $f(y_s) = \frac{1}{y_i}$ (рис. 6,г). Определим суммарную длину оснований рассматриваемых проекций зерен dB :

$$dB = \int_0^{y_i} 2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot y_s \cdot dn_s = \operatorname{tg} \gamma \cdot y_i \cdot dn_i, \quad (3)$$

где $dn_s = dn_i \cdot f(y_s) \cdot dy_s$; $dn_i = n_0 \cdot f(y_i) \cdot dy_i$; $f(y_i) = \frac{1}{R_{max}}$; $n_0 = k \cdot B \cdot L \cdot \frac{R_{max}}{b} = k \cdot B \cdot V_{kp} \cdot \tau \cdot \frac{R_{max}}{b}$ - число зерен, расположенных на участке поверхности круга длиной L и выступающих над уровнем связки на высоту, более $(b - R_{max})$.

Определим суммарную длину оснований проекций зерен $\int_0^{R_{max}} dB$ от всех слоев зерен толщиной dy_i :

$$\int_0^{R_{max}} dB = \int_0^{R_{max}} \operatorname{tg} \gamma \cdot n_0 \cdot f(y_i) \cdot y_i \cdot dy_i = \int_0^{R_{max}} \operatorname{tg} \gamma \cdot \frac{n_0}{R_{max}} \cdot y_i \cdot dy_i = \frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot n_0 \cdot R_{max}}{2}. \quad (4)$$

Параметр шероховатости обработки R_{max} определим из условия:

$$\int_0^{R_{max}} dB = B, \quad (5)$$

где B - ширина обрабатываемого образца, м.

Откуда

$$R_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot b}{\operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{kp} \cdot \tau}}. \quad (6)$$

Для круглого наружного шлифования:

$$\tau = \frac{2}{V_{dem}} \cdot \sqrt{\frac{R_{max}}{\left(\frac{1}{D_{kp}} + \frac{1}{D_{dem}}\right)}}, \quad R_{max} = \sqrt[5]{\left(\frac{200 \cdot \pi \cdot X^3 \cdot V_{dem}}{3 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{kp}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{D_{kp}} + \frac{1}{D_{dem}}\right)}. \quad (7)$$

Предположим, за время τ прямолинейный обрабатываемый образец, движущийся со скоростью V'_{dem} по нормали к рабочей поверхности круга, внедрился в слой зерен круга на глубину R_{max} , рис. 6,б. Будем считать, что выступание вершин зерен над уровнем связки круга подчинено равномерному закону распределения.

Выделим часть зерен, вершины которых расположены в слое бесконечно малой толщины dy_i , т.е. имеют высоту выступления y_i над условным уровнем $(b - R_{max})$, где b - максимальная высота выступления вершин зерен над уровнем связки круга, м (рис. 6,в). Рассмотрим условия образования шероховатости поверхности от наложения проекций этих зерен на движущийся образец. В результате взаимного движения круга и образца,

высоты проекций зерен на образец будут различны. Характер изменения высот проекций зерен y_s будет подчиняться равномерному закону с плотностью распределения $f(y_s) = \frac{1}{y_i}$ (рис. 6,г). Определим суммарную

длину оснований рассматриваемых проекций зерен dB :

$$dB = \int_0^{y_i} 2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot y_s \cdot dn_s = \operatorname{tg} \gamma \cdot y_i \cdot dn_i, \quad (3)$$

где $dn_s = dn_i \cdot f(y_s) \cdot dy_s$; $dn_i = n_0 \cdot f(y_i) \cdot dy_i$; $f(y_i) = \frac{1}{R_{max}}$; $n_0 = k \cdot B \cdot L \cdot \frac{R_{max}}{b} = k \cdot B \cdot V_{kp} \cdot \tau \cdot \frac{R_{max}}{b}$ - число зерен, расположенных на участке поверхности круга длиной L и выступающих над уровнем связки на высоту, более $(b - R_{max})$.

Определим суммарную длину оснований проекций зерен $\int_0^{R_{max}} dB$ от всех слоев зерен толщиной dy_i :

$$\int_0^{R_{max}} dB = \int_0^{R_{max}} \operatorname{tg} \gamma \cdot n_0 \cdot f(y_i) \cdot y_i \cdot dy_i = \int_0^{R_{max}} \operatorname{tg} \gamma \cdot \frac{n_0}{R_{max}} \cdot y_i \cdot dy_i = \frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot n_0 \cdot R_{max}}{2}. \quad (4)$$

Параметр шероховатости обработки R_{max} определим из условия:

$$\int_0^{R_{max}} dB = B, \quad (5)$$

где B - ширина обрабатываемого образца, м.

Откуда

$$R_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot b}{\operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{kp} \cdot \tau}}. \quad (6)$$

Для круглого наружного шлифования:

$$\tau = \frac{2}{V_{dem}} \cdot \sqrt{\frac{R_{max}}{\left(\frac{1}{D_{kp}} + \frac{1}{D_{dem}}\right)}}, \quad R_{max} = \sqrt[5]{\left(\frac{200 \cdot \pi \cdot X^3 \cdot V_{dem}}{3 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{kp}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{D_{kp}} + \frac{1}{D_{dem}}\right)}. \quad (7)$$

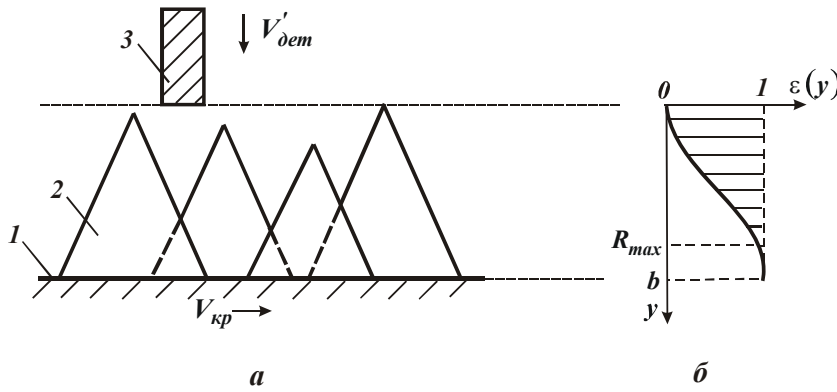


Рис. 7. Схема формирования относительной полноты профиля круга $\varepsilon(y)$ и график функции $\varepsilon(y)$: 1 – уровень связки круга; 2 – режущее зерно; 3 – обрабатываемый образец.

зерен в пределах слоя толщиной R_{max} приводит к увеличению шероховатости обработки.

Произведем расчет шероховатости поверхности с учетом вероятностного характера участия зерен в резании. Для этого рассмотрим теоретический подход к расчету шероховатости обработанной поверхности, предложенный нами в работе [5]. Согласно данного подхода, область сплошного перекрытия проекций зерен на плоскости прямолинейного образца, движущегося со скоростью $V'_{дем}$ по нормали к рабочей поверхности круга, описана с помощью вероятностной функции (функции распределения) – относительной полноты профиля круга $\varepsilon(y)$, рис. 7:

$$\varepsilon(y) = 1 - \exp\left(-\frac{tg\gamma \cdot k \cdot V_{кр}}{3 \cdot b \cdot V'_{дем}} \cdot y^3\right). \tag{8}$$

Заштрихованным на рис. 7,б показан неснятый материал (в виде микронеровностей) обрабатываемого образца. Функция $\varepsilon(y)$ изменяется в пределах 0...1: при $y = 0 \rightarrow \varepsilon(y = 0) = 0$, по мере увеличения координаты y функция $\varepsilon(y)$ стремится к значению $\varepsilon(y) \rightarrow 1$. Исходя из этого, установить параметр шероховатости обработки R_{max} можно с определенным приближением, задавая значение $\varepsilon(y)$, например, равным $\varepsilon_0 = 0,9; 0,95; 0,99$ и т.д. Тогда

$$R_{max} = \sqrt[3]{-\frac{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V'_{дем} \cdot \ln(1 - \varepsilon_0)}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}}. \tag{9}$$

В работе [5] для выполнения расчетов параметра шероховатости обработки R_{max} принято $\varepsilon_0 = 0,895$; $\ln(1 - \varepsilon_0) = -2,25$. Тогда окончательно зависимость (9) опишется

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{450 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V'_{дем}}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}}. \tag{10}$$

Для оценки полученного решения определим значение ε_0 на основе экспериментальных данных отношения R_{max} / R_a , которое, как известно, может изменяться в пределах 4...8 для различных условий шлифования и обрабатываемых материалов. Для этого произведем численный расчет функции $\varepsilon(y)$, описываемой зависимостью (8), для различных значений y , задаваясь определенным шагом Δy (рис. 8).

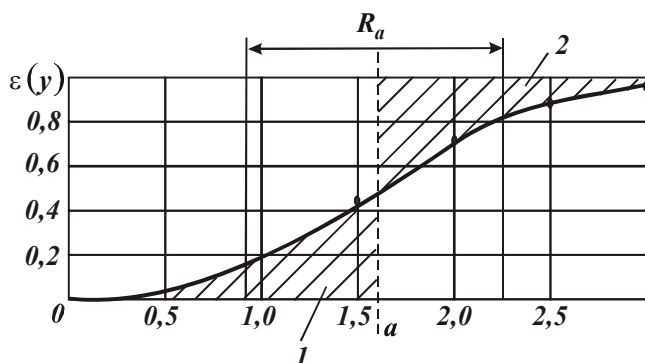


Рис. 8. Расчетная схема параметра шероховатости обработки R_a на основе зависимости $\varepsilon(y)$.

Затем, на основе полученного графика определим параметр шероховатости обработки R_a .

Из геометрических соображений параметр R_a равен

$$R_a = \frac{F_1 + F_2}{1}, \tag{11}$$

где F_1, F_2 - заштрихованные на рис. 8 площади 1 и 2 ($F_1 = F_2$).

Значение 1 в знаменателе зависимости (11)

Зависимости (1) и (7) отличаются лишь множителем $\sqrt[3]{4^2} = 1,74$. Тогда, рассчитанное по зависимости (7) значение $R_a \approx 0,2 \cdot R_{max}$ для указанных выше условий шлифования, равно 1,5 мкм. Это на 21% меньше экспериментально установленного значения $R_a = 1,9$ мкм. Как видим, зависимость (7) позволяет более точно рассчитать параметр шероховатости обработки R_{max} и соответственно параметр R_a по сравнению с зависимостью (1). Таким образом показано, что учет разновысотного расположения вершин режущих

соответствует условию $\varepsilon(y) \approx 1$. Используя график функции $\varepsilon(y)$, приведенной на рис. 8, первоначально определим положение средней линии $y = a$. Оно определяется из условия $F_1 = F_2$. Зависимость (8) преобразуем:

$$\varepsilon(y) = 1 - \exp\left(-\frac{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V'_{дем}} \cdot y^3\right). \quad (12)$$

Для исходных данных: $tg\gamma = 1$; $m = 100$; $x = 10^{-4}$ м; $V_{кр} = 30$ м/с; $V'_{дем} = 2 \cdot 10^{-3}$ м/с зависимость (12) выражается:

$$\varepsilon(y) = 1 - \exp(-0,15 \cdot y^3). \quad (13)$$

В табл. 1 приведены расчетные значения площадей F_1 и F_2 для функции $\varepsilon(y)$, описываемой зависимостью (13). Нетрудно видеть, что при $y = 1,62$ мкм площади F_1 и F_2 равны между собой: $F_1 = F_2 = 0,34$. Тогда, исходя из зависимости (11), параметр шероховатости обработки R_a равен 0,68 мкм.

Таблица 1

Расчетные значения параметров															
y , мкм	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,62	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25
$\varepsilon(y)$	0	0,003	0,025	0,082	0,18	0,3	0,42	0,48	0,55	0,71	0,83	0,9	0,96	0,98	0,999
F_1 , мкм	0	0,0007	0,014	0,034	0,08	0,15	0,26	0,35	0,4	0,58	0,79	1,0	1,25	1,5	
F_2 , мкм	-	-	-	1,0	0,8	0,59	0,41	0,33	0,27	0,155	0,08	0,04	0,015	0,02	

В табл. 2 приведены расчетные значения отношения R_{max} / R_a для различных (возможных) значений параметра шероховатости обработки $R_{max} = y$, которые взяты из табл. 1.

Таблица 2

Расчетные значения отношения R_{max} / R_a				
R_{max} , мкм	2,5	2,75	3,0	3,25
R_{max} / R_a	3,68	4,0	4,4	4,8
ε_0	0,9	0,96	0,98	0,999

Как видим, отношение R_{max} / R_a изменяется приблизительно в пределах 4...5. Это согласуется с аналогичными экспериментальными данными, полученными при шлифовании и приведенными в указанных выше работах. Следовательно, с достаточной для практики точностью можно принять $\varepsilon_0 = 0,895$ [5]. Тогда справедлива зависимость (10), полученная для схемы шлифования прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга со скоростью $V'_{дем}$.

Используя зависимость (10), установим зависимость для определения параметра шероховатости обработки R_{max} при круглом наружном шлифовании с учетом вероятностного характера участия зерен в резании:

$$R_{max} = \sqrt[5]{\left(\frac{450 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V'_{дем}}{2 \cdot tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{D_{кр}} + \frac{1}{D_{дем}}\right)}. \quad (14)$$

Зависимости (14) и (7) отличаются множителем $\sqrt[5]{11,4} = 1,62$. Тогда, рассчитанное по зависимости (14) значение $R_a = 0,2R_{max}$ для вышеуказанных условий шлифования ($tg\gamma = 1$; $m = 100$; $\bar{X} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м; $V_{кр} = 30$ м/с; $V'_{дем} = 15$ м/мин; $D_{кр} = 0,3$ м; $D_{дем} = 0,014$ м), равно 2,43 мкм. Расхождение данного значения с экспериментально установленным значением $R_a = 1,9$ мкм составляет 27%. Как видим, зависимость (14) дает завышенное (в пределах 27%), а зависимость (7) – заниженное (в пределах 20%) значения шероховатости обработки. В табл. 3 для сравнения приведены рассчитанные по полученным зависимостям значения параметра шероховатости R_a , а также экспериментальные значения параметра R_a .

Таблица 3

Расчетные и экспериментальные значения параметра R_a				
Зависимости	Расчетные значения			Экспериментальное значение
	(1)	(7)	(14)	
R_a , мкм	0,86	1,5	2,43	1,9

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о существовании значительных резервов повышения качества обработки твердосплавных инструментов при круглом наружном алмазном шлифовании.

Литература

1. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – К.: Наук. думка, 1981. – 300 с.
 2. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
 3. 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.
 4. Новиков Ф.В., Дитиненко С.А. Технология и теория прецизионной обработки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках. – Труды 8-й Межд. Науч.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2003. – С. 34-39.
 5. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса: ОГПУ, 1995. – 36 с.
-