

Ф.В. НОВИКОВ, докт. техн.наук, **Ю.Г. ГУЦАЛЕНКО**

ФОРМИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО КРУГА В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ

В роботі подано теоретичні рішення щодо стабілізації ріжучого рельєфу алмазного круга та можливостей інтенсифікації процесу шліфування.

Практикой алмазного шлифования установлено, что технологические показатели обработки обусловлены главным образом состоянием рабочей поверхности алмазного круга: остротой режущих зерен, высотой их выступания над уровнем связки, наличием межзеренного пространства для свободного размещения в нем продуктов обработки и т.д. Важнейшую роль при этом играет величина линейного износа алмазного зерна до момента его объемного разрушения и последующего выпадения из связки круга. Об этом отмечается в наших работах [1, 2, 3, 4]. Несмотря на достаточно большое количество публикаций в научно-технической литературе, посвященных изучению данного параметра, представляются актуальными дальнейшие исследования по установлению функциональных связей между величиной линейного износа зерен и основными параметрами шлифования. Это позволит выявить и обосновать наиболее эффективные направления совершенствования алмазного шлифования.

В работе [1] приведена математическая модель шлифования с учетом износа зерен и получены аналитические зависимости для определения максимальной глубины внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга H , максимальной (вероятностной) толщины среза H_{\max} и безразмерного коэффициента $\eta = x / H$, учитывающего степень затупления зерен (x – величина линейного износа максимально выступающего над уровнем связки зерна), рис. 1.

$$H = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot b \cdot V'_{изд}}{\operatorname{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta^2)}}, \quad (1)$$

$$H_{\max} = (1 - \eta) \cdot H, \quad (2)$$

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{k^2 \cdot V_{кр}^2 \cdot S_{пред}^3}{81 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot b^2 \cdot V'_{изд}{}^2}}, \quad (3)$$

где b – максимальная высота выступания зерен над уровнем связки круга, м; k – поверхностная концентрация зерен, шт/м²; γ – половина угла при вершине конусообразного зерна; $S_{пред}$ – предельная площадь поперечного сечения среза, обусловленная собственно прочностью зерна или прочностью его удержания в связке круга (в зависимости от типа

связки и механизма износа алмазного круга); $V_{кр}$ – скорость круга, м/с;
 $V_{изд}$ – скорость обрабатываемого изделия, движущегося по нормали к
 рабочей поверхности круга, м/с.

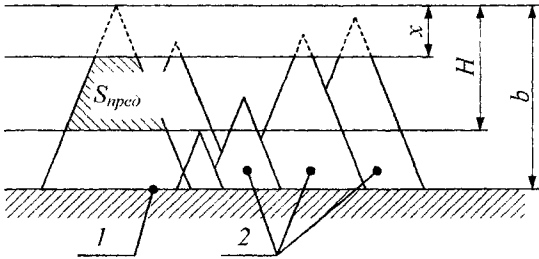


Рис. 1. Расчетная схема параметров шлифования:

1 - связка круга; 2 - режущие зерна.

будут подвергаться, в основном, истиранию и микроскалыванию с образованием площадок износа, что вызовет повышенную теплонапряженность процесса и затупление круга. Такая закономерность износа круга будет наблюдаться при неправильном выборе характеристик круга, особенно на финишных операциях, когда зерна прочно удерживаются в связке и обновления режущего рельефа круга не происходит. Для более глубокого анализа приведенных зависимостей выразим параметр $S_{нред}$ через силу резания, действующую на отдельное зерно круга. Будем считать, что объемное разрушение зерна или его выпадение из связки без разрушения (в зависимости от прочности удержания зерна в связке) происходит от действия радиальной составляющей силы резания P_{Y1} , действующей на зерно, так как $P_{Y1} > P_{Z1}$, где P_{Z1} – тангенциальная составляющая силы резания, действующая на зерно.

С учетом сказанного

$$S_{нред} = \frac{P_{Z1}}{\sigma} = \frac{P_{Y1} \cdot k_{ш}}{\sigma}, \quad (4)$$

где $k_{ш}$ – коэффициент резания при шлифовании, $k_{ш} = P_{Z1}/P_{Y1}$; σ – условное напряжение резания, н/м².

Как показано в работе [4],

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{k_{ш}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, н/м².

Коэффициент $k_{ш}$ определяется зависимостью [4]

$$k_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot \sigma_{сж}}{\pi \cdot \gamma \cdot HV} \cdot (1 - \eta)}, \quad (6)$$

где HV' – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), н/м².

Подставляя (5) и (6) в зависимость (4), имеем

$$S_{\text{прод}} = \frac{P_{Y1}}{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}} \cdot (1 - \eta), \quad (7)$$

Соответственно параметры H , H_{max} и η , описываемые зависимостями (1), (2) и (3), примут вид

$$\eta = 1 - \frac{9 \cdot b \cdot V'_{\text{изд}}}{tgy \cdot k \cdot V_{\text{сп}}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}}{P_{Y1}} \right)^{1.5}, \quad (8)$$

$$H = \left(\frac{P_{Y1}}{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}} \right)^{0.5}, \quad (9)$$

$$H_{\text{max}} = \frac{9 \cdot b \cdot V'_{\text{изд}}}{tgy \cdot k \cdot V_{\text{сп}}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}}{P_{Y1}} \right). \quad (10)$$

Разрешим зависимость (8) относительно $V'_{\text{изд}}$:

$$V'_{\text{изд}} = \frac{tgy \cdot k \cdot V_{\text{сп}} \cdot (1 - \eta)}{9 \cdot b} \cdot \left(\frac{P_{Y1}}{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}} \right)^{1.5}. \quad (11)$$

Увеличить скорость $V'_{\text{изд}}$, соответствующую производительности обработки, можно главным образом путем уменьшения параметра $\eta \rightarrow 0$. При $\eta \rightarrow 1$ скорость изделия $V'_{\text{изд}} \rightarrow 0$. Следовательно, для осуществления высокопроизводительного шлифования необходимо поддерживать на рабочей поверхности круга развитый режущий рельеф, своевременно удаляя затупившиеся зерна.

Добиться увеличения $V'_{\text{изд}}$ можно также за счет увеличения силы P_{Y1} (увеличения прочности зерен и прочности удержания их в связке круга).

Зависимость (8) устанавливает связь между коэффициентом η и силой P_{Y1} . С увеличением $\eta \rightarrow 1$ сила P_{Y1} неограниченно увеличивается. Следовательно, по мере затупления зерна $\eta \rightarrow 1$ сила P_{Y1} достигнет предельного значения, равного силе, удерживающей зерно в связке или силе, при которой произойдет раздавливание зерна (объемное разрушение). Данное условие определяет стабилизацию режущего рельефа круга. Принимая в зависимостях (8) - (10) параметр P_{Y1} постоянным, проанализируем изменение η , H и H_{max} .

Параметр H не зависит от режимов шлифования, а определяется прочностью зерна (связки) и обрабатываемого материала. Чем выше прочность зерна и ниже прочность обрабатываемого материала, тем больше H . Увеличение параметра H предполагает увеличение высоты выступания зерна над уровнем связки круга b и выполнение условия $b \geq H$.

В отличие от H , параметры H_{\max} и η зависят от режимов шлифования. С увеличением $V_{\text{изд}}$ (производительности обработки) параметр H_{\max} увеличивается, а η уменьшается.

При определенном значении $V_{\text{изд}}$ параметр η принимает значение $\eta = 0$. Это условие определяет предельную производительность обработки, величина линейного износа зерна x при этом равна нулю.

Зависимости (8) и (10) можно представить в виде

$$\eta = 1 - H_0^3 \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}}{P_{\gamma 1}} \right)^{1.5}, \quad (12)$$

$$H_{\max} = H_0^3 \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}}{P_{\gamma 1}} \right). \quad (13)$$

где $H_0 = \sqrt[3]{\frac{9 \cdot b \cdot V'_{\text{изд}}}{\text{tg} \gamma \cdot k \cdot V_{\text{кр}}}}$.

Применительно к круглому (или плоскому) шлифованию, преобразуем зависимости (12) и (13) с учетом $V'_{\text{изд}} = V_{\text{изд}} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}$ и соотношений $b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{x}$; $k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{x}^2}$, где $(1 - \varepsilon)$ - коэффициент, учитывающий степень выступания зерен над уровнем связки, тогда

$$\eta = 1 - \frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^{-3} \cdot V_{\text{изд}} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}}{P_{\gamma 1}} \right)^{1.5}, \quad (14)$$

$$H_{\max} = \frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^{-3} \cdot V_{\text{изд}} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{СЖ}}}{P_{\gamma 1}} \right). \quad (15)$$

где \bar{x} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен круга; t - глубина шлифования, м; $\rho = \frac{1}{R_{\text{кр}}} + \frac{1}{R_{\text{изд}}}$; $R_{\text{кр}}$, $R_{\text{изд}}$ - соответственно радиусы круга и изделия, м.

Определим параметр шероховатости обработки R_{\max} с учетом условия стабилизации режущего рельефа круга. Воспользуемся условием, приведенным в работе [2]

$$H_{\max} = R_{\max} = t, \quad (16)$$

где параметр H_{\max} определяется зависимостью (2).

После преобразований имеем

$$R_{\max} = \sqrt[5]{\frac{(1-\eta)^4 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot \pi^2 \cdot \bar{x}^{-6} \cdot V_{\text{изо}}^2 \cdot \rho}{(1+\eta)^2 \cdot t g^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{\text{кр}}^2}} \quad (17)$$

Подставим в (17) зависимость (14), пренебрегая множителем $(1+\eta) \approx 1$:

$$R_{\max} = \sqrt[5]{\left[\frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^{-3} \cdot V_{\text{изо}} \cdot \sqrt{2\rho}}{t g \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{P_{\gamma 1}} \right) \right]^6 \cdot t^2} \quad (18)$$

Как видим, при условии стабилизации режущего рельефа алмазного круга влияние параметров \bar{x} , m , $V_{\text{изо}}$, $V_{\text{кр}}$, ρ на R_{\max} усиливается, имеет место увеличение R_{\max} с увеличением глубины шлифования t . Следовательно, изменение параметров режущего рельефа круга ведет к существенному изменению параметров шлифования, в данном случае шероховатости обработанной поверхности.

Рассмотрим влияние механизма износа круга на параметры его режущего рельефа.

Приведенные выше аналитические зависимости справедливы при условиях: $b \geq H$ и $P_{\gamma 1} = P$, где P — сила, при которой происходит разрушение (раздавливание) режущего зерна. Если из расчетов вытекает, что $H > b$, то предельное значение силы резания $P_{\gamma 1}$, действующей на отдельное зерно, будет меньше P и равно силе, удерживающей зерно в связке. В этом случае объемное разрушение зерен не произойдет, они будут выпадать из связки под действием силы $P_{\gamma 1} < P$.

Сила $P_{\gamma 1}$ условно определяется (рис. 2)

$$P_{\gamma 1} = a \cdot (\bar{x} - H), \quad (19)$$

где a — размерный коэффициент, зависящий от прочности связки круга (чем прочнее связка, тем больше a).

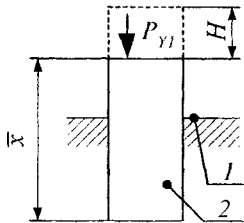


Рис. 2. Расчетная схема устойчивости зерна в связке:

- 1 - связка круга;
- 2 - режущее зерно.

Из зависимости (19) следует, что с увеличением $H = b$ (вследствие уменьшения глубины залегания зерна в связке круга) сила резания $P_{\gamma 1}$ уменьшается.

Подставим зависимость (19) в (9):

$$H^2 + \frac{a}{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}} \cdot H - \frac{a \cdot \bar{x}}{2 \cdot \sigma_{\text{сж}}} = 0 \quad (20)$$

Приходим к квадратному уравнению относительно неизвестной величины H . Его решение:

$$H = \frac{\bar{x}}{\left(\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2 \cdot \sigma_{СЖ} \cdot \bar{x}}{a}} \right)} \quad (21)$$

Знаменатель зависимости (21) больше единицы, поэтому $H < \bar{x}$. Чем больше предел прочности на сжатие обрабатываемого материала $\sigma_{СЖ}$ и меньше коэффициент a , тем меньше величина H . Следовательно, с уменьшением прочности удержания зерна в связке величина $H - b$ уменьшается. В данном случае не учитывается толщина слоя образующихся стружек, которые заполняют межзеренное пространство круга. Для его учета необходимо в зависимостях (11) и (21) вместо параметра \bar{x} рассматривать величину $(\bar{x} - \Delta)$, где Δ - толщина слоя образующихся стружек. Очевидно, наличие слоя толщиной Δ ведет к уменьшению величины H и силы $P_{Г1}$.

Подставим зависимость (21) в (19). После преобразований имеем

$$P_{Г1} = \frac{2 \cdot \sigma_{СЖ} \cdot \bar{x}}{\left(\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{2 \cdot \sigma_{СЖ} \cdot \bar{x}}{a}} \right)^2} \quad (22)$$

Не трудно видеть, что с увеличением $\sigma_{СЖ}$, \bar{x} и a сила резания $P_{Г1}$ увеличивается.

Из зависимостей (8) и (10) следует, что с увеличением силы $P_{Г1}$ параметр η увеличивается, а H_{\max} уменьшается. Следовательно, с увеличением прочности удержания зерна в связке (увеличением коэффициента a) максимальная толщина среза H_{\max} уменьшается, а параметр η увеличивается (режущий рельеф круга становится сглаженным).

Таким образом показано, что в зависимости от механизма износа круга (обусловленного объемным разрушением зерен и их последующим выпадением из связки или выпадением зерен без их объемного разрушения) существенно изменяются параметры режущего рельефа круга, которые в конечном итоге определяют основные технико-экономические показатели обработки.

Список литературы: 1. Новиков Ф.В. Механика круглого алмазного шлифования изделий с прерывистыми поверхностями и пути ее оптимального управления. – Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Харьков. 1984. – 266 с. 2. 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. 3. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Алмазная обработка. Учеб. пособие. – К.: ИЗМН, 1996. – 163 с. 4. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Високопродуктивне шліфування. Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.

Поступила в редакцию 20.04.02