

Ф.В. Новиков, докт. техн. наук, В.П. Ткаченко, инженер

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Описані умови підвищення продуктивності процесу алмазного шліфування різних зразків

Применение алмазных кругов взамен обычных абразивных, как правило, сдерживается относительно низкой производительностью и высокой себестоимостью обработки в связи с увеличенным расходом алмаза. Для обоснования условий повышения производительности процесса алмазного шлифования рассмотрим упрощенную модель шлифования прямолинейного образца, движущегося по нормали к торцевой рабочей поверхности вращающегося круга, рис. 1.

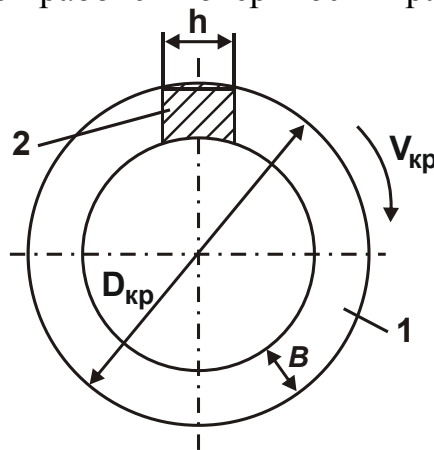


Рис. 1. Расчетная схема шлифования:
1 – круг; 2 – образец

Предположим, связка круга изнашивается с линейной скоростью $V_{св}$, максимальная высота выступания зерна над уровнем связки (исходя из условий прочности его удержания в связке) равна b . Тогда, время, в течение которого зерно участвует в съеме материала, равно

$$\tau_0 = \frac{b}{V_{св}}. \quad (1)$$

За это время зерно проходит путь в обрабатываемом материале длиной l_0 и срезает материал объемом $V_{объем}$:

$$l_0 = V_{кр} \cdot \tau_0 \cdot \frac{h}{\pi D_{кр}} = V_{кр} \cdot \frac{b}{V_{св}} \cdot \frac{h}{\pi D_{кр}}, \quad (2)$$

$$V_{объем} = l_0 \cdot a_z^2 = V_{кр} \cdot a_z^2 \cdot \frac{b}{V_{св}} \cdot \frac{h}{\pi D_{кр}}, \quad (3)$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; h – толщина образца, м; $D_{кр}$ – диаметр круга, м; a_z – толщина среза одним зерном, м.

Суммарный объем материала $V_{сум}$, который срезают все n зерен, расположенных в алмазоносном слое круга, определяется

$$V_{сум} = n \cdot V_{объем} \quad (4)$$

Соответственно производительность обработки Q выражается

$$Q = \frac{V_{сум}}{\tau}, \quad (5)$$

где $\tau = \frac{S}{V_{св}}$ – время полного износа круга толщиной S .

Тогда

$$Q = \frac{n \cdot V_{кр} \cdot b \cdot a_z^2}{S}. \quad (6)$$

Число зерен n приближенно равно

$$n = \frac{V}{V_0} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D_{кр} \cdot S \cdot B}{\frac{1}{6} \pi \cdot \bar{X}^3}, \quad (7)$$

где V – общий объем алмазоносного слоя круга, м³; V_0 – объем, который занимает одно зерно в виде сферы диаметром \bar{X} в алмазоносном слое круга, м³; \bar{X} – зернистость круга, м; B – ширина круга, м; α – коэффициент, учитывающий долю объема алмазных зерен в объеме алмазоносного слоя круга; $\alpha \approx m/400$; m – объемная концентрация круга (например, для $m = 100\%$ коэффициент $\alpha = 0,25$, т.е. объем алмазных зерен составляет 25% от объема алмазоносного слоя круга).

После подстановки (7) в зависимость (6), имеем

$$Q = \frac{6 \cdot m \cdot B \cdot D_{кр} \cdot V_{кр} \cdot b \cdot a_z^2}{400 \cdot \bar{X}^3}. \quad (8)$$

Производительность обработки Q тем больше, чем больше параметры $m, B, D_{кр}, V_{кр}, b, a_z$ и меньше \bar{X} . Очевидно, между параметрами \bar{X}, b, a_z существуют определенные связи и поэтому характер изменения Q от зернистости круга \bar{X} подчиняется более сложным закономерностям. В пределе $a_z \rightarrow b$. Следовательно, чем больше высота выступления зерен над уровнем связки круга, тем больше может быть достигнута толщина среза a_z и соответственно производительность обработки Q .

Увеличить параметр b можно за счет применения прочных металлических связок, обеспечивающих прочное удержание алмазных зерен. В этом плане алмазные круги на менее прочных органических связках обеспечивают меньшую производительность. Однако с увеличением b увеличивается линейный износ зерна (степень его затупления) и как следствие – уменьшается

толщина среза a_z . Это может нивелировать преимущества кругов на металлических связках. Кроме того, в процессе шлифования необходимо каким-то образом поддерживать максимально возможную высоту b , т.е. удалять связку с линейной скоростью $V_{св}$. Известно, что алмазные круги на органических и керамических связках достаточно устойчиво работают в режиме самозатачивания и стабилизируют параметры b и $V_{св}$ во времени.

Алмазные круги на металлических связках, как правило, не работают в режиме самозатачивания и параметры b и $V_{св}$ уменьшаются с течением времени вплоть до нуля (процесс резания прекращается). В этом случае для поддержания постоянного значения $V_{св}$ и соответственно b необходимо осуществлять дополнительное воздействие на металлическую связку круга механическим или другим способом. Как доказано практикой, наибольший эффект достигается от воздействия на рабочую поверхность алмазного круга электрических разрядов, обеспечивающих электроэрозионное (термическое) разрушение связки круга и практически выполнение условия $a_z \rightarrow b$, т.е. реализацию максимально возможной производительной обработки, обусловленной прочностными свойствами алмазного круга. Чем больше параметр b , тем больше a_z и Q .

Вместе с тем, опытами установлено, что не всегда производительность алмазного электроэрозионного шлифования больше производительности шлифования алмазными кругами на органических связках. Данный эффект объясняют тем, что органические связки допускают «утопление» в них зерен и увеличивают тем самым количество одновременно работающих зерен. Исходя из зависимости (8), это равносильно увеличению объемной концентрации зерен m , в результате чего производительность увеличивается. Если анализировать данный эффект с позиции зависимости (6), то это равносильно уменьшению толщины алмазоносного слоя S , т.е. слой как бы сжимается и увеличивает количество одновременно работающих зерен. Причем, их увеличение не всегда компенсируется увеличением параметров b и a_z при шлифовании алмазными кругами на металлических связках, в результате алмазные круги на органических связках могут обеспечивать более высокую производительность.

Зависимость (6) можно преобразовать с учетом $a_z = \psi \cdot b$; $P_z = \sigma \cdot a_z^2$; $M = P_z \cdot b$, (рис. 2):

$$Q = \frac{P_z \cdot b \cdot V_{кр} \cdot n \cdot \psi^2}{\sigma \cdot S} = \frac{M \cdot V_{кр} \cdot n \cdot \psi^2}{\sigma \cdot S}, \quad (9)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, действующая на отдельное зерно круга, Н; σ - условное напряжение резания, Н/м²; ψ - коэффициент; M – изгибающий момент, Н·м.

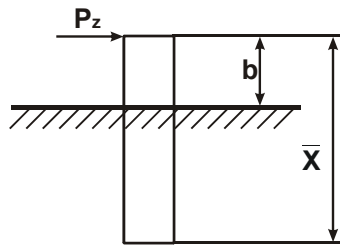


Рис. 2. Схема нагружения зерна силой P_z

Очевидно, для менее прочной органической связки момент M меньше, чем для металлической связки. Однако органическая связка допускает уменьшение параметров σ и S , в результате чего производительность может быть увеличена.

Таким образом показано, что эффективность применения связок обусловлена многими физическими факторами и зависит от того, какой фактор доминирует в процессе шлифования. Если электроэрозионной правкой обеспечить постоянное поддержание высокой режущей способности алмазного круга на металлической связке, то можно достичь чрезвычайно большой производительности обработки. При работе алмазного круга на металлической связке, например М1-01, в режиме самозатачивания, когда имеет место значительное затупление зерен, параметры b и a_z уменьшаются, что приводит к уменьшению Q . В этом случае большая производительность можно достигнута при шлифовании алмазными кругами на органических связках.

Теоретические результаты подтверждены экспериментально. При шлифовании твердых сплавов алмазным кругом формы 12А2 45° на металлической связке М1-01 сразу после его электроэрозионной правки производительность приблизительно в два раза больше производительности шлифования (по упругой схеме) алмазным кругом на органической связке В2-01. В течении 0,5 – 1,0 минуты шлифования происходит интенсивная потеря начальной режущей способности алмазного круга на металлической связке, производительность уменьшается до уровня шлифования кругом на органической связке и ниже и практически стабилизируется. Такой режим работы круга может длиться довольно долго – вплоть до полного износа круга. Для повышения режущей способности круга все же эффективно его периодически править электроэрозионным методом (в течение 10-20 сек). Увеличение длительности правки ведет к неоправданному износу круга. Более высокая производительность шлифования кругом на органической связке сопровождается уменьшением параметра шероховатости обработки. Это указывает на то, что толщины срезов a_z меньше, а количество одновременно работающих зерен больше, чем у кругов на металлической связке. Причем, доминирует фактор увеличения количества одновременно работающих зерен, что предопределяет увеличение производительности обработки.

Литература:

1. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П. Торцевое алмазное шлифование твердого сплава “Рэлит”. – Вісник Інженерної Академії України, Київ, вип. 3, 2001. – С. 395–398.