

Ф.В. Новиков, докт. техн. наук, А.А. Якимов, канд. техн. наук, Харьков, Украина

## К ВОПРОСУ О СУЩНОСТИ ПЕРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ

*Interrupted grinding should be considered as a perspective trend in intensification of diamond-abrasive machining/ Conception of this treatment is periodically interruption of contact between wheel and workpiece and elimination of heat saturation of surface layers of material to be machined. Such approach to control of thermal intensity of the process allows to improve quality of machining and, at the same time, to increase grinding productivity.*

Перспективным направлением в интенсификации процессов алмазно - абразивной обработки следует рассматривать прерывистое шлифование, идея создания которого состоит в периодическом прерывании контакта круга с заготовкой и исключении теплового насыщения поверхностных слоёв обрабатываемого материала. По данным исследований [1], такой подход к управлению теплонапряжённостью процесса позволяет повысить качество обработки при одновременном увеличении производительности шлифования. Причём эффект от прерывания контакта круга с заготовкой в ряде случаев выше, чем от оптимизации условий обычного шлифования и т.д.

Высокие технико-экономические показатели прерывистого шлифования обусловлены правильным выбором соотношения длин впадины и рабочего выступа круга. Поэтому в статье обоснован подход к оптимизации элементов конструкции круга. Приведены расчётные зависимости основных физических параметров прерывистого шлифования, увязанные с режимами обработки, характеристиками круга и заготовки. Показано существование минимума температуры шлифования в зависимости от соотношения длин впадины и рабочего выступа круга.

Характерной особенностью прерывистого шлифования является то, что по мере износа круга происходит самооформление его макропрофиля. На рабочих выступах образуются фронтальные поверхности, расположенные под некоторым углом атаки к плоскости резания. Схема съёма припуска в таких условиях отлична от схемы обычного шлифования. Для её анализа рассмотрим шлифование прямоугольного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга, рис. 1. Применительно к шлифованию сплошным кругом максимальная толщина среза опишется известной зависимостью [2]

$$H_{\max} = \sqrt[3]{\frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V'_{\text{заг}}}{m \cdot V_{\text{кр}}}}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$  - зернистость круга, м;

$m$  - объёмная концентрация круга (100; 50; 25 и т.д.)

$V'_{\text{заг}}$  - радиальная скорость внедрения образца в рабочую поверхность круга, м/с;

$V_{\text{кр}}$  - скорость круга, м/с;

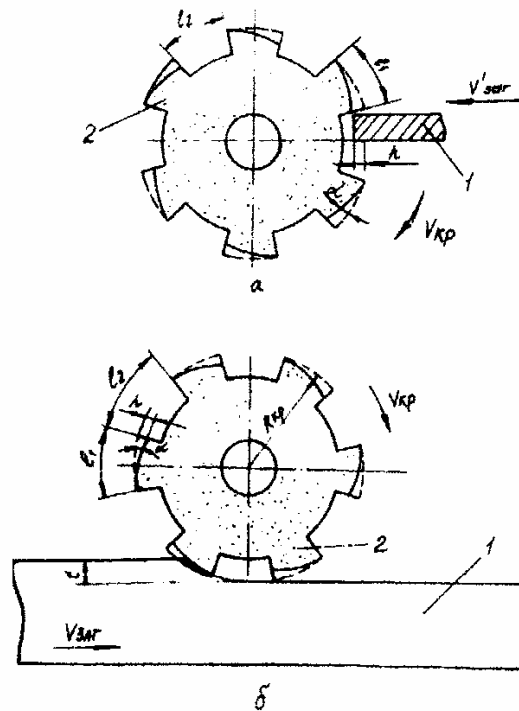


Рис. 1 Расчётные схемы процесса прерывистого шлифования:

1 – обрабатываемая заготовка (образец); 2 – шлифовальный прерывистый круг.

Для прерывистого шлифования структура зависимости (1) останется прежней, изменится только параметр  $V'_{\text{заг}}$ . Следуя рис. 1б, за период погружения впадины прерывистого круга образец переместится в радиальном направлении на величину  $h$ . Съём набегающего припуска произведут зёрна, расположенные на передней кромке рабочего выступа.

Вследствие чрезмерной перегрузки эти зёрна будут интенсивно выкрашиваться из связки и на рабочем выступе круга образуется фронтальная поверхность протяжённостью  $a$ , расположенная под углом атаки  $\alpha$  к плоскости резания.

За период прохождения участка  $a$  радиальная скорость внедрения образца в рабочую поверхность круга  $V'_{\text{заг}}$  возрастает на величину  $V_{\text{кр}} \cdot \text{tg} \alpha$  и определяется так:

$$V'_{за} = V'_{за} + V_{кр} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{a}$ .

Набегающий припуск  $h$  пропорционален длине впадины  $l_2$ , тогда  $h = V'_{за} \cdot \tau$ , где  $\tau = \frac{l_2}{V_{кр}}$  - время погружения образца во впадину круга, с. Окончательно  $h$  и  $V'_{за}$  примут вид:

$$h = l_2 \cdot \frac{V'_{за}}{V_{кр}} \quad (3)$$

$$V'_{за} = V_{за} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{a}\right), \quad (4)$$

С учётом (3) и (4) параметр  $H_{\max}$  выразится

$$H_{\max} = \sqrt[3]{\frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3}{m} \cdot \frac{V'_{за}}{V_{кр}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{a}\right)} \quad (5)$$

Зависимость (5) отличается от (1) множителем  $\left(1 + \frac{l_2}{a}\right)$ , который может изменяться в значительных пределах. При шлифовании сплошным кругом, когда  $l_2 = 0$ , зависимость принимает вид (1). В остальных случаях  $H_{\max}$  при прерывистом шлифовании всегда выше, чем при обычном шлифовании. Следует отметить, что величина  $H_{\max}$  при прерывистом шлифовании получена для участка рабочего выступа, охваченного углом атаки  $\alpha$ . Оставшаяся часть рабочего выступа будет работать в тех же условиях, что и при обычном шлифовании.

Из зависимости (5) следует, что с увеличением протяжённости фронтального участка  $a$  множитель  $\left(1 + \frac{l_2}{a}\right)$  уменьшается и снижает  $H_{\max}$ . Наименьшее значение  $H_{\max}$  достигается для случая  $a = l_1$ , т.е. для установившейся формы профиля рабочего выступа круга. В этом случае (5) преобразуется

$$H_{\max} = \sqrt[3]{\frac{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3}{m} \cdot \frac{V'_{за}}{V_{кр}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \quad (6)$$

Как следует из (6) и табл. 1, параметр  $H_{\max}$  достаточно чувствителен к изменению соотношения  $\frac{l_2}{l_1}$ .

Таблица 1.

Расчётные значения  $\left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)^{\frac{1}{3}}$ 

$\frac{l_2}{l_1}$	0	1,0	2,0	5,0	10,0
$\left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)^{\frac{1}{3}}$	1,0	1,26	1,45	1,82	2,23

По длине рабочего выступа круга при неустановившемся шлифовании съём припуска осуществляется неравномерно. Фронтальный участок выступа круга за время  $\tau$ , соответствующее повороту круга на угол  $\varphi$ , производит съём материала

$h_1 = V_{\text{шк}} \cdot \tau = a \cdot \frac{V_{\text{шк}}}{V_{\text{кр}}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{a}\right)$ . Оставшаяся часть рабочего выступа круга срезает припуск

величиной  $h_2 = V_{\text{шк}} \cdot \frac{l_1 - a}{V_{\text{кр}}}$ . Их соотношение равно

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{(l_2 + a)}{(l_1 - a)} \quad (7)$$

Следуя (7) и табл. 2, полученной для случая  $l_1 = l_2$ , с увеличением  $a$  соотношение  $\frac{h_1}{h_2}$  интенсивно возрастает, что свидетельствует о существенной роли угла атаки  $\alpha$  в формировании закономерностей прерывистого шлифования.

Таблица 2.

Расчётные значения  $\frac{h_1}{h_2}$ 

$\frac{a}{l_1}$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$\frac{h_1}{h_2}$	1,22	1,86	3	6	19

Из анализа приведенных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятным с точки зрения силовой нагруженности зёрен является установившийся режим шлифования ( $a \approx l_1$ ), обеспечивающий наименьшее значение  $H_{\text{max}}$  и равномерный износ всего рабочего выступа круга.

Как отмечалось, основное назначение прерывистого шлифования состоит в снижении температуры резания, что достигается выбором оптимального соотношения

длин впадины и выступа круга, исключаяющего тепловое насыщение поверхностных слоёв заготовки. Очевидно, чем больше это соотношение, тем продолжительнее разрыв между интервалами шлифования, тем лучше условия охлаждения заготовки и значительнее эффект обработки. Между тем, такая закономерность будет справедлива не всегда, т.к. с уменьшением длины рабочего выступа вследствие снижения фактической площади рабочей поверхности круга сила резания будет возрастать, вызывая рост теплового потока и соответственно температуры шлифования. Следовательно, с изменением длины рабочего выступа круга температура шлифования будет изменяться по экстремальной зависимости, обусловленной противоположным влиянием механического и нестационарного теплового факторов. Для проверки выдвинутого положения проведём анализ изменения тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  от длины рабочего выступа круга и других условий обработки. Исходя из [2], зависимость для  $P_z$  при обычном шлифовании имеет вид:

$$P_z = S_{\text{мгн}} \cdot \sigma \quad (7)$$

где  $S_{\text{мгн}} = \frac{Q}{V_{\text{сп}}}$  - мгновенная площадь среза всеми работающими зёрнами, м<sup>2</sup>;

$Q = S \cdot V'_{\text{за}}$  - производительность шлифования м<sup>3</sup>/с;

$S$  - площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>;

$\sigma = \frac{A}{H_{\text{max}}^n}$  - условное напряжение шлифования (энергоёмкость шлифования), Па;

$A$  - параметр, характеризующий прочностные свойства обрабатываемого материала, определяется расчётно-экспериментальным путём;

$$n = 0,5 - 1,0.$$

Для прерывистого шлифования в (8) вместо  $V'_{\text{за}}$  следует принять значение

$V'_{\text{за}} = V'_{\text{за}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)$ , т.к. в момент контакта круга с заготовкой рабочий выступ срезает

дополнительно часть набегающего припуска, оставшегося от погружения образца во впадину круга на величину  $h$ , рис. 1б. Иными словами, рабочий выступ круга должен срезать набегающий припуск за «себя» и за прилегающую к нему впадину.

Условное напряжение шлифования  $\sigma$  получим, используя зависимость (6)

$$\sigma = A \cdot \left[ \frac{m}{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3} \cdot \frac{V_{\text{сп}}}{V'_{\text{за}}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \right]^{\frac{n}{3}} \quad (9)$$

Из (9) следует, что прерывистое шлифование всегда менее энергоёмко, чем сплошное. Причём, с уменьшением  $l_1$  энергоёмкость шлифования снижается вследствие увеличения  $H_{\max}$ .

Тангенциальная составляющая силы резания  $P_z$  с учётом (9) выразится

$$P_z = S \cdot A \cdot \left( \frac{V_{за}}{V_{сп}} \right)^{1-\frac{n}{3}} \cdot \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \right)^{1-\frac{n}{3}} \cdot \left( \frac{m}{600 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3} \right)^{\frac{n}{3}} \quad (10)$$

Как видим, несмотря на уменьшение  $\sigma$  при прерывистом шлифовании, сила резания  $P_z$  для него выше. Это обусловлено тем, что интенсивность роста  $S_{\text{св}}$  с увеличением  $l_2$  в (8) выше, чем интенсивность снижения  $\sigma$ . Таким образом, с уменьшением длины рабочего выступа круга сила резания  $P_z$  возрастает, что подтверждает выдвинутое положение об экстремальном характере изменения температурной зависимости.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с. 3. Якімов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якімов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.

Поступила в редколлегию 15.06.01