

Ф.В. Новиков, А.А. Якимов

ЭЛЕМЕНТЫ МЕХАНИКИ ПРЕРЫВИСТОГО ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО  
АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

(Одесский политехнический институт)

Высокие технико-экономические показатели прерывистого шлифования обусловлены правильным выбором соотношения длин впадин и рабочего выступа круга [1].

При прерывистом шлифовании по мере износа круга происходит самообразование его макропрофиля. На рабочих выступах образуются фронтальные поверхности, расположенные под некоторым углом атака к плоскости резания. Схема съема припуска в таких условиях отличается от схемы обычного шлифования. Для ее анализа рассмотрим шлифование прямоугольного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга (рисунок, а). Применительно к шлифованию сплошным кругом максимальная толщина среза опишется известной зависимостью [2]

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

где  $\bar{\chi}$  - зернистость круга, м;  $m$  - объемная концентрация круга, %;  $V'_{заг}$  - радиальная скорость внедрения образца в рабочую поверхность круга, м/с;  $V_{кр}$  - скорость круга, м/с.

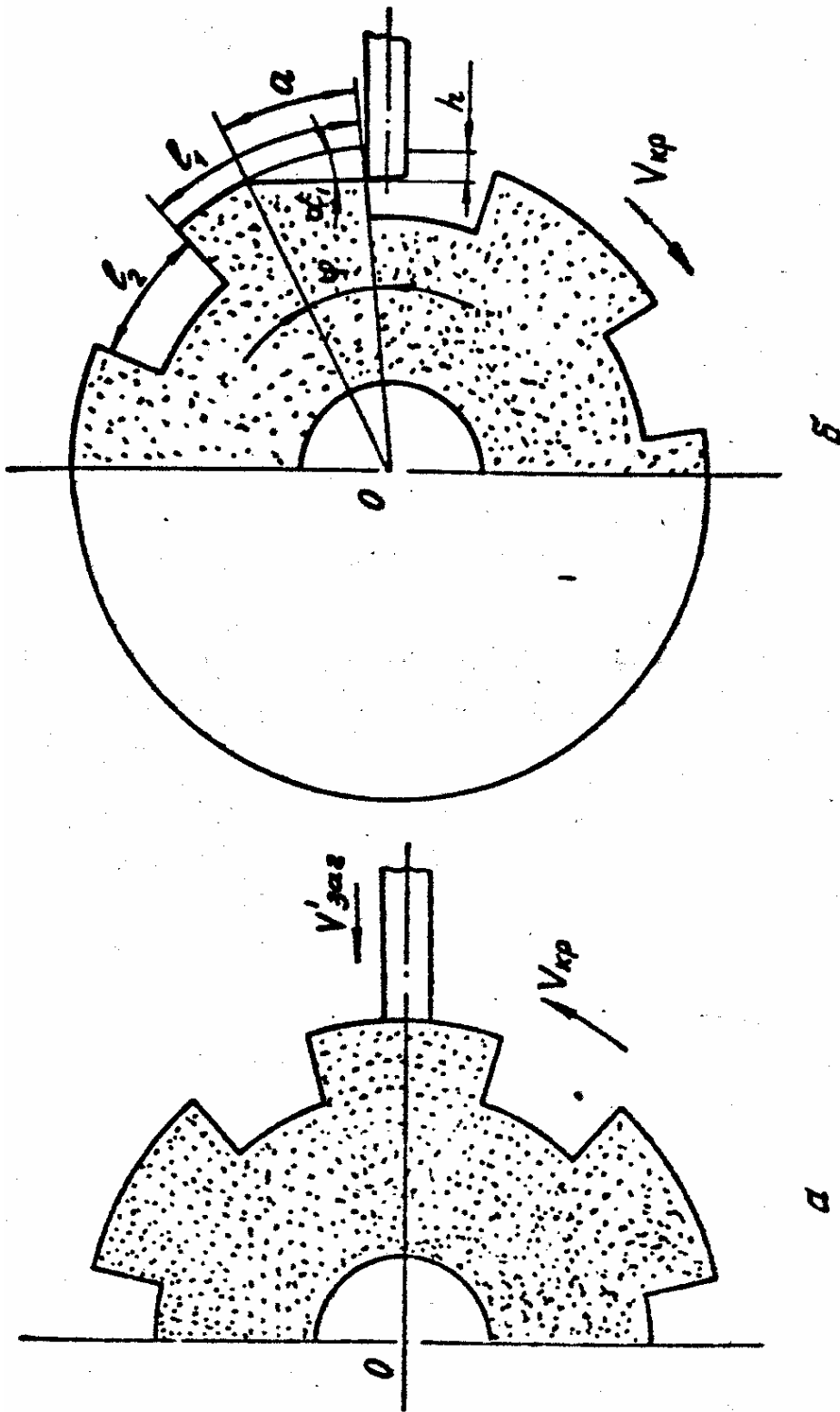


Рис. Расчетные охемы прерывистого шлифования по обе правки круг (а) и в условиях образования на рабочем выступе круге угла атаки (б)

Для прерывистого шлифования структура зависимости (I) останется прежней, изменится только параметр  $V'_{заг}$ . За период погружения впадины прерывистого круга образец переместится в радиальном направлении на величину  $h$  (см. рис., 5). Набегающий припуск снимут зерна, расположенные на передней кромке рабочего выступа.

Вследствие чрезмерной перегрузки эти зерна интенсивно выкрашиваются из связки, и на рабочем выступе круга образуется фронтальная поверхность протяженностью  $\alpha$ , расположенная под углом атаки  $\alpha$  к плоскости резания.

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

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

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

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

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

$$V''_{заг} = V'_{заг} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{\alpha}\right). \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) параметр

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

Зависимость (5) отличается от (I) множителем  $\left(1 + \frac{l_2}{\alpha}\right)$ , который может изменяться в значительных пределах. При шлифовании сплошным кругом, когда  $l_2 = 0$ , эта зависимость принимает вид (I). 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 протяженности фронтального участка  $\alpha$  множитель  $(1 + \frac{l_2}{\alpha})$  уменьшается и снижается  $H_{max}$ . Наименьшее значение  $H_{max}$  достигается для случая  $\alpha = l_1$ , т.е. для установившейся формы профиля рабочего выступа круга, когда фронтальный участок охватывает весь рабочий выступ круга. В этом случае зависимость (5) преобразуется:

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

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

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

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

$$h_1 = V'_{заг} \cdot \tau = \alpha \frac{V'_{заг}}{V_{кр}} \left(1 + \frac{l_2}{\alpha}\right).$$

Оставшаяся часть рабочего выступа круга срезает припуск величиной

$$h_2 = V'_{заг} \cdot \frac{(l_1 - \alpha)}{V_{кр}}.$$

Соотношение

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

Следуя (7) при  $l_1 = l_2$ , с увеличением  $\alpha$  соотношение  $h_1 / h_2$  интенсивно возрастает:

$\alpha / l_1$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$h_1 / h_2$	1,22	1,86	3	6	19

Это свидетельствует о существенной роли угла атаки  $\alpha$  в формировании закономерностей прерывистого шлифования.

Наиболее благоприятным с точки зрения силовой нагруженности зерен является установившийся режим шлифования ( $\alpha \approx \rho_1$ ), обеспечивающий наименьшее значение  $H_{max}$  и равномерный износ всего рабочего выступа круга.

Снижение температуры резания достигается выбором оптимального соотношения длин впадины и выступа круга, исключающего тепловое насыщение поверхностных слоев заготовки. Очевидно, чем больше это соотношение, тем продолжительнее разрыв между интервалами шлифования, лучше условия охлаждения заготовки и значительнее эффект обработки. Между тем, такая закономерность будет справедлива не всегда, так как 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, при изменении длины рабочего выступа круга температура шлифования будет изменяться по экстремальной зависимости, обусловленной противоположным влиянием механического и нестационарного теплового факторов. Для проверки этого положения проведем анализ изменения тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  в зависимости от длины рабочего выступа круга и других условий обработки. При обычном шлифовании [3]

$$P_z = S_{MГН} \cdot G, \quad (8)$$

где  $S_{MГН}$  - мгновенная площадь среза всеми работающими зернами;  $G$  - условное напряжение шлифования (энергоемкость шлифования), Дж/м<sup>3</sup>.

$$S_{MГН} = \frac{Q}{V_{кр}}, \quad G = \frac{A}{H''_{max}}$$

Здесь  $Q = S \cdot V'_{заг}$  - производительность шлифования, м<sup>3</sup>/с;  $S$  - площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>;  $A$  - параметр, характеризующий прочностные свойства обрабатываемого материала (определяется расчетным путем);  $\lambda = 0,5 \dots 1,0$ .

Для прерывистого шлифования в (8) вместо  $V'_{заг}$  следует принять значение  $V''_{заг} = V'_{заг} \cdot \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$ , так как в момент контакта круга с заготовкой рабочий выступ срезает дополнительно часть набегающего припуска, оставшегося от погружения образца во впадину круга на величину  $\frac{h}{2}$  (рис. 1, б). 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):

$$\sigma = A \left[ \frac{m}{600 \pi \bar{x}^3} \cdot \frac{V_{кр}}{V'_{заг}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

Из (9) следует, что прерывистое шлифование всегда менее энергоемко, чем сплошное. Причем, с уменьшением  $L_1$  энергоемкость шлифования снижается вследствие увеличения  $H_{max}$ .

С учетом (9) тангенциальная составляющая силы резания

$$P_{\Sigma} = S \cdot A \left( \frac{V'_{заг}}{V_{кр}} \right)^{\frac{1-n}{3}} \cdot \left( 1 + \frac{L_2}{L_1} \right)^{\frac{1-n}{3}} \cdot \left( \frac{m}{600 \pi \bar{x}^3} \right)^{\frac{n}{3}} \quad (10)$$

Как видим, несмотря на уменьшение  $\sigma$  при прерывистом шлифовании, сила резания  $P_{\Sigma}$  для него выше. Это обусловлено тем, что интенсивность роста  $S_{MГН}$  с увеличением  $L_2$  в (8) выше, чем интенсивность снижения  $\sigma$ . Таким образом, с уменьшением длины рабочего выступа круга сила резания  $P_{\Sigma}$  возрастает, что подтверждает положение об экстремальном характере изменения температурной зависимости. Для определения оптимальной длины рабочего выступа круга необходимо решить нестационарную задачу теплофизики, получить аналитическую зависимость для температуры шлифования и выразить в ней тепловой поток через силу резания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 175 с.
2. Новиков Ф.В. Механика круглого алмазного шлифования изделий с прерывистыми поверхностями и пути ее оптимального управления: Дис. канд. техн. наук. Харьков, 1984. 276 с.
3. Раб А.Ф., Новиков Ф.В. Точность формы при круглом продольном шлифовании изделий с прерывистыми поверхностями // Резание и инструмент. 1982. - Вып. 27. С. 33-43.