

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ<sup>1</sup>

Инж. А.А. ЯКИМОВ, канд. техн. наук Ф.В. НОВИКОВ

При круглом профильном прерывистом шлифовании снимаемый припуск представляет собой пакет элементарных тонких оболочек 5 (рис. 1). Различие углов входа этих оболочек в рабочую поверхность круга predeterminedется различием условий съема материала и нагруженностью режущих зерен в пределах дуги контакта круга с заготовкой.

Параметр  $H_{max}$  определяет толщину среза (приведенную) при шлифовании<sup>2</sup>

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{630\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_u \cdot \sqrt{R \cdot t}}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}}, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  - зернистость круга, мм;  $V_u$ ,  $V_{кр}$  - скорость соответственно детали и круга, мм/с;

$R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$  - приведенный радиус, 1/мм ( $R_1$  и  $R_2$  - радиусы шлифовального круга и обрабатываемой детали);  $t$  - глубина снимаемого слоя;  $2\gamma$  - угол при вершине зерна;  $m$  - объемная концентрация круга.

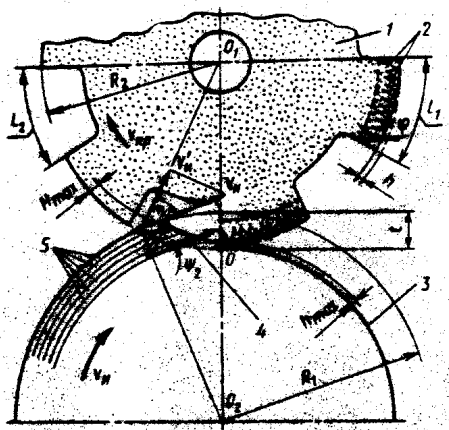


Рис. 1. Расчетная схема определения закономерностей съема припуска при прерывистом шлифовании:

1 – прерывистый круг; 2 – режущие зерна; 3 – слой остаточной шероховатости высотой  $h_{max}$ ; 4 – линия полного съема материала; 5 – элементарные оболочки снимаемого припуска

<sup>1</sup>В журнале публикуется сокращенный вариант статьи. Полностью статья депонирована во ВНИИТЭМРе 26.11.86 №520 мш.

<sup>2</sup>Статья Новиков Ф.В. теоретический анализ износа и стабилизации алмазного круга // Резание и инструмент, Харьков: Высшая школа, 1986. Вып. 36. С. 19-24.

Толщина  $H_{max}$  принципиально отличается от неизвестных параметров, определяющих максимальную или среднюю толщину среза одним зерном.

Из анализа уравнения (1) следует, что для увеличения  $H_{max}$  необходимо увеличить скорость  $V'_u$  внедрения зерен в металл обрабатываемой детали. При прерывистом шлифовании скорость внедрения зерен в металл возрастает. За период прохождения впадины обрабатываемая деталь перемещается в радиальном направлении к центру круга на величину  $h$  (см. рис. 1). Следующий за впадиной режущий выступ удаляет этот возрастающий припуск. Тогда скорость внедрения зерен в металл при прерывистом шлифовании

$$V'_u = V_u \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot R} + V_{кр} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi = h/l_1$ ;  $h = V_u \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot R}$ ;  $\tau = l_2/V_{кр}$ , здесь  $l_1$  и  $l_2$  – длина режущего выступа и впадины прерывистого круга;  $\varphi$  – угол наклона фронтальной поверхности прерывистого круга.

После подстановки скорость внедрения зерен можно представить в виде

$$V'_u = V_u \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right). \quad (2)$$

После подстановки выражения (2) в уравнение (1) получим

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{630\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_u \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{\operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}}},$$

откуда скорость заготовки

$$V_u = \frac{V_{кр} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m}{630\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \cdot H_{max}^3. \quad (3)$$

Параметр  $H_{max}$ , характеризующий прочностные свойства зерен и связки, оказывает наибольшее влияние на  $V_u$  и  $V_u/V_{кр}$ .

Для анализа путей интенсификации прерывистого шлифования воспользуемся зависимостью для определения предельной производительности обработки

$$Q = B \cdot t \cdot V_u, \quad (4)$$

где  $B$  – ширина снимаемого слоя.

После подстановки уравнения (3) в формулу (4) получим

$$Q = \frac{B \cdot V_{кр} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot \sqrt{t}}{630\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{2 \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \cdot H_{max}^3.$$

С увеличением глубины  $t$  возрастают приведенная толщина среза  $H_{max}$  и производительность  $Q$ . Следовательно, наибольшая производительность достигается при глубинном шлифовании. Однако с возрастанием  $H_{max}$  увеличи-

вается нагрузка  $P$ , действующая на зерна, и возрастает интенсивность их разрушения и выпадания из связки. Следовательно, производительность и относительный расход алмазов при прерывистом шлифовании будут существенно зависеть от физико-механических свойств зерен и связки.

Установленные функциональные связи между основными параметрами прерывистого алмазного шлифования позволяют оптимизировать удельный расход алмазов и определить режимы высокопроизводительного шлифования.

Для решения оптимизационной задачи примем в качестве критерия оптимизации производительность шлифования, а в качестве ограничений – относительный расход алмаза  $q$ , мг/г:

$$q = \frac{10^3 \cdot \rho_a \cdot \alpha' \cdot V_{кр} \cdot P}{\pi \cdot \rho_m \cdot V_u \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right) \cdot t \cdot \eta \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot C \cdot X^2}, \quad (5)$$

где  $\rho_a$  и  $\rho_m$  – плотность алмаза и обрабатываемого материала, г/мм<sup>3</sup>;  $\alpha'$  – коэффициент, зависящий от концентрации алмазов в круге;  $C$  – коэффициент, характеризующий износостойкость зерен, Н/мм<sup>3</sup>;  $X$  – линейный износ зерна;  $\eta=0\dots 1$  – параметр, учитывающий степень износа зерна до момента его объемного разрушения или выпадания из связки.

$$\eta = 1 - \frac{\text{tg} \gamma \cdot A}{P} \cdot \left( \frac{630 \cdot \text{tg} \gamma \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_u \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right) \cdot \sqrt{t \cdot R} \cdot A^3}{m \cdot V_{кр} \cdot P^2} \right)^{\frac{(2-n)}{(2n-1)}}$$

где  $A$  – параметр, характеризующий прочность материала;  $n$  – параметр, характеризующий энергоемкость процесса.

Следует отметить, что при однофакторном изменении режимных параметров, например,  $t$ ,  $V_{кр}$ ,  $V_u$ , относительный расход алмазов имеет экстремум.

Подчиняя функцию (5) условию экстремума  $q'_{V_u} = 0$ , получим

$$\eta_э = \frac{2-n}{1+n}.$$

Получены следующие расчетные значения  $n_э$ :

$n$	.	.	.	0	0,5	0,75	1	1,5	2
$\eta_э$	.	.	.	2	1	0,7	0,5	0,2	6

Функция  $q_{V_u}$  имеет экстремум при изменении  $\eta$  в диапазоне  $n=0,5\dots 2$ . С учетом полученных значений  $\eta_э$  скорость  $V_u$ , соответствующая минимальному удельному расходу круга  $q_{min}$ , будет

$$V_{u.э} = \frac{m \cdot V_{кр} \cdot P^2}{630\pi \cdot \text{tg}\gamma \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{t \cdot R} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \cdot \left(\frac{P}{\text{tg}\gamma \cdot A}\right)^{\frac{2n-1}{2-n}} \cdot (1 - \eta_э)^{\frac{2n-1}{2-n}}$$

Для определения величины минимального удельного расхода круга подставим выражение (5) экстремальную скорость заготовки:

$$q_{min} = \frac{10^3 \cdot \rho_a \cdot \alpha \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{\text{tg}\gamma \cdot C \cdot \rho_m \cdot \sqrt{t \cdot \eta_э} \cdot X^2} \cdot \frac{630 \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{R} \cdot A^2}{m \cdot P} \cdot \left(\frac{\text{tg}\gamma \cdot A}{P}\right)^{\frac{2n-1}{2-n}} \cdot \left(\frac{1}{1 - \eta_э}\right)^{\frac{2n-1}{2-n}}. \quad (6)$$

Из анализа выражения (6) следует, что глубинное прерывистое шлифование позволяет наряду с повышением производительности обработки снижать относительный расход алмазов.

Переходя к безразмерным параметрам, обозначим

$$\alpha = \frac{q}{q_{min}}; \quad \beta_1 = \frac{t}{t_э}; \quad \beta_2 = \frac{V_u}{V_{u.э}}; \quad \beta_3 = \frac{\left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}{\left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)_э}.$$

После соответствующих преобразований получим:

$$\alpha = \frac{\eta_э}{\beta_1^{\frac{3n-2}{2n-1}} \cdot \beta_2^{\frac{4n-3}{2n-1}} \cdot \beta_3^{\frac{4n-3}{2n-1}} \cdot \left[1 - \beta_1^{\frac{2-n}{2(2n-1)}} \cdot \beta_2^{\frac{2-n}{2n-1}} \cdot \beta_3^{\frac{2-n}{2n-1}} \cdot (1 - \eta_э)\right]^3}.$$

Принимая  $n=0,75$ ;  $\eta_э=0,7$ , получим выражение

$$\alpha = \frac{0,343}{\beta_1^{0,5} \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \beta_1^{1,25} \cdot \beta_2^{2,5} \cdot \beta_3^{2,5}\right)^3}.$$

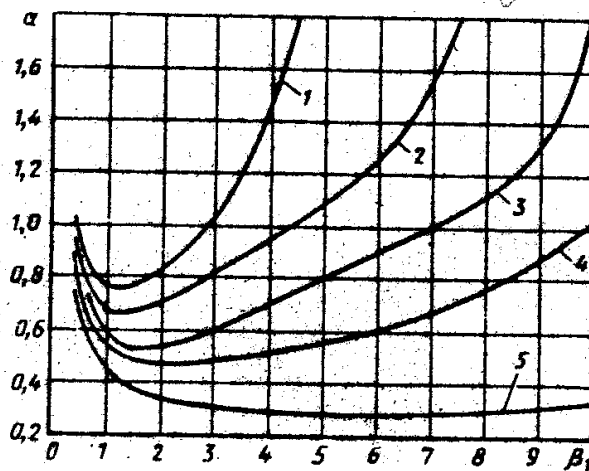


Рис. 2. Зависимость параметра  $\alpha$  от  $\beta_1$  при  $\beta_2=0,6$ . Кривые 1 – 5 соответствуют параметрам прерывистости процесса  $\beta_3=1,5; 1,4; 1,3; 1,2; 1$

Зависимость изменения  $\alpha$  от параметра  $\beta_1=0\dots 10$  при  $\beta_2=0,6$  представлено на рис. 2. При шлифовании прерывистым кругом  $\left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)=1,5$  с увеличением параметра  $\beta_1 \leq 1$  до значения функции  $\alpha$  уменьшается, при  $\beta_1 > 1$  – повышается.

Коэффициент прерывистости процесса  $\beta_3$  существенно влияет на удельный расход алмазов. Например, с изменением  $\beta_3$  от 1 до 1,5 (при  $\beta_1=1$ ) увеличивается относительный износ кругов  $\alpha$  от 0,457 до 0,753.

Интенсификация процесса прерывистого алмазного шлифования, как вытекает из анализа функциональных связей, должна осуществляться вследствие увеличения параметра  $\beta_1$  при уменьшении по определенному закону  $\beta_2$ .

Достоверность установленных функциональных связей между основными параметрами алмазного шлифования проверяли экспериментально.

Установлено, что алмазные прерывистые круги 12А2 (ГОСТ 16174-81) по сравнению со сплошными увеличивают производительность в 1,5 раза и снижают расход алмазов в 2 – 2,3 раза.