

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ

Якимов А.В., докт. техн. наук

(Одесский национальный политехнический университет)

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнецца)

Новиков Г.В., канд. техн. наук

(Научный Центр НТК “Эльбор”, г. Харьков)

В работе аналитически описаны закономерности съема припуска и формирование температуры резания при прерывистом шлифовании. Определены оптимальные условия прерывистого шлифования. Даны практические рекомендации

Повышение качества и производительности обработки деталей машин является важнейшим условием создания конкурентоспособной машиностроительной продукции. Это требует применения современных технологий металлообработки, в особенности на финишных операциях, где окончательно формируются параметры точности и качества обрабатываемых поверхностей [1,2].

Перспективным направлением высококачественной обработки деталей машин и интенсификации процессов алмазно-абразивной обработки следует рассматривать прерывистое шлифование, идея создания которого состоит в периодическом прерывании контакта круга с деталью и исключении теплового насыщения поверхностных слоев обрабатываемого материала с целью уменьшения температуры резания [3]. Такой подход к управлению теплонапряженностью процесса позволяет повысить качество обработки при одновременном увеличении производительности шлифования. Причем, эффект от прерывания контакта круга с деталью в ряде случаев значительно выше, чем от оптимизации условий обычного шлифования и т.д.

Однако при этом не всегда удается обеспечить экономически приемлемый расход алмазного круга, что сдерживает широкое внедрение прерывистых алмазных кругов в производство. В связи с этим, на основе анализа и математического моделирования процесса прерывистого шлифования предложено новое решение, обеспечивающее снижение интенсивности износа круга при сохранении заданной производительности шлифования. В работе также раскрыты общие закономерности формирования температуры резания при прерывистом шлифовании и определены условия ее уменьшения. Приведены аналитические зависимости для определения оптимальных геометрических параметров рабочей поверхности прерывистого круга.

Характерной особенностью прерывистого шлифования является самообразование макропрофиля рабочих выступов круга. Схема съема материала в таких условиях отлична от обычного шлифования. Рассмотрим шлифование прямоугольного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга (рис. 1,а). За период погружения впадины прерывистого круга образец пере-

местится в радиальном направлении на величину h . Съем материала производят зерна, расположенные на передней кромке рабочего выступа. Вследствие высокой нагруженности этих зерен и интенсивного выпадения из связки, на рабочем выступе круга образуется фронтальная поверхность протяженностью a , расположенная под “углом атаки” α к плоскости резания.

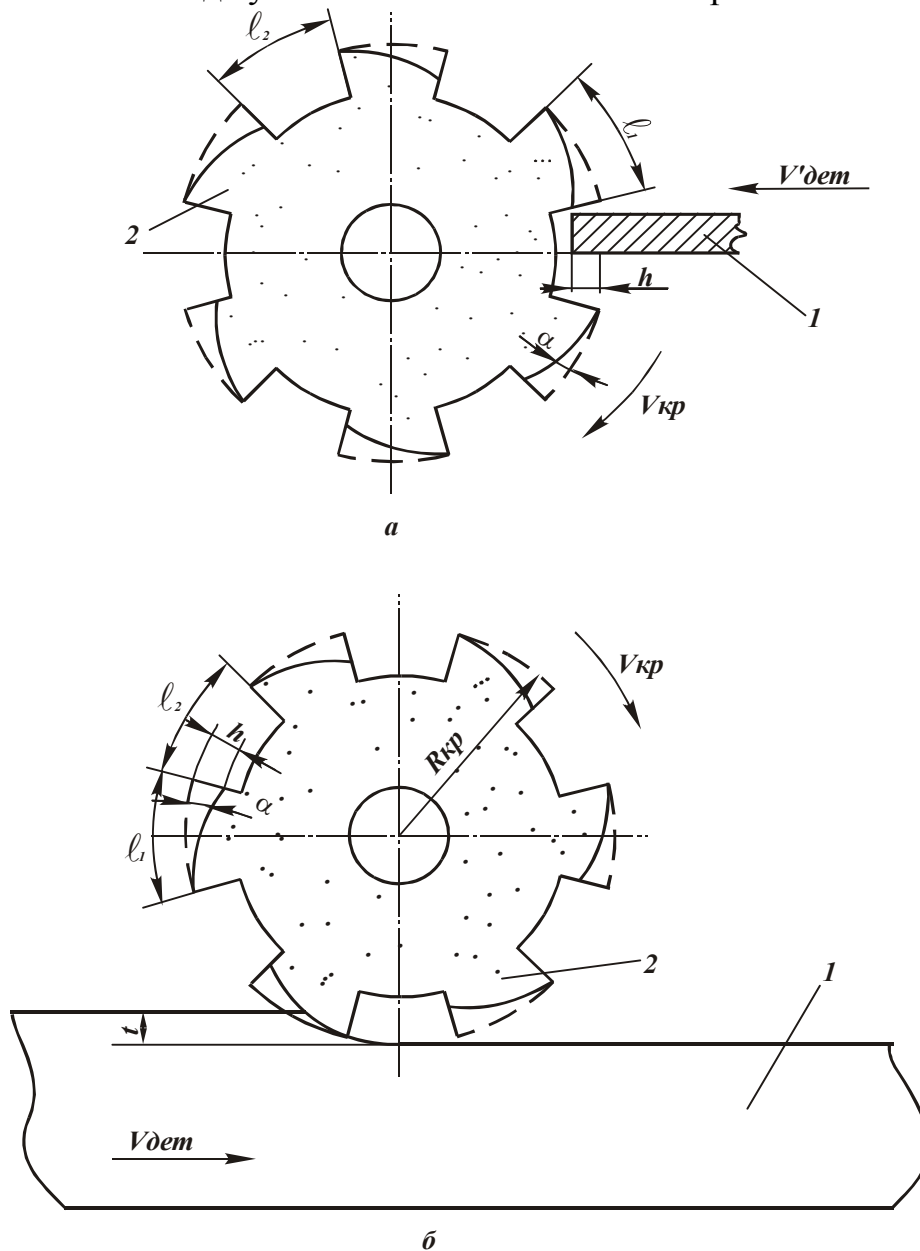


Рис. 1. Расчетная схема прерывистого шлифования: 1 – деталь; 2 – круг.

За период прохождения участка a скорость съема материала $V'_{дет}$ увеличится на величину $V_{кр} \cdot tg\alpha$ и определится

$$V''_{дет} = V'_{дет} + V_{кр} \cdot tg\alpha, \quad (1)$$

где $tg\alpha = h/a$.

Набегающий припуск h пропорционален длине впадины круга l_2 . Тогда $h = V'_{дет} \cdot \tau$, где $\tau = l_2 / V_{кр}$ - время погружения образца во впадину круга.

Окончательно параметры h и $V''_{дет}$ опишутся:

$$h = l_2 \cdot \frac{V'_{\text{дет}}}{V_{\text{кр}}}; \quad (2)$$

$$V''_{\text{дет}} = V'_{\text{дет}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{a}\right). \quad (3)$$

Максимальная вероятностная (приведенная) толщина среза H_{max} определяется [4]:

$$H_{\text{max}} = \sqrt[3]{\frac{450 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{\text{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V'_{\text{дет}}}{V_{\text{кр}}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{a}\right)}, \quad (4)$$

где \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация зерен круга; $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, м/с; γ – половина угла при вершине конусообразного режущего зерна.

При прерывистом шлифовании параметр H_{max} больше, чем при обычном ($l_2 = 0$). С увеличением протяженности фронтального участка a множитель $(1 + l_2/a)$ и соответственно параметр H_{max} уменьшаются (табл. 1). Наименьшее значение H_{max} достигается для $a = l_1$, т.е. для установившейся формы профиля рабочего выступа круга, когда фронтальный участок охватывает весь рабочий выступ круга длиной l_1 . Параметр H_{max} принимает вид

$$H_{\text{max}} = \sqrt[3]{\frac{450 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{\text{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V'_{\text{дет}}}{V_{\text{кр}}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}. \quad (5)$$

Таблица 1

Расчетные значения $(1 + l_2/l_1)^{1/3}$

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

Для круглого наружного (внутреннего) и плоского шлифования (рис. 1,б) параметр H_{max} с учетом зависимости $V'_{\text{дет}} = V_{\text{дет}} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}$ описывается

$$H_{\text{max}} = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{\text{дет}} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}, \quad (6)$$

где $V_{\text{дет}}$ – скорость детали, м/с; t – глубина шлифования, м; $\rho = 1/R_{\text{кр}}$; $R_{\text{кр}}$ – радиус круга, м.

Представляя в зависимость (6) скорость детали $V_{\text{дет}}$ в виде $V_{\text{дет}} = Q/B \cdot t$, параметр H_{max} определится

$$H_{\text{max}} = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot V_{\text{дет}} \cdot \rho}{B}} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)}, \quad (7)$$

где Q – производительность обработки, $\text{м}^3/\text{с}$; B – ширина шлифования, м .

Для того чтобы производительность обработки Q оставалась постоянной при заданном значении H_{max} , скорость детали $V_{дет}$ необходимо уменьшить в $(1 + l_2/l_1)^2$ раз. Следовательно, скорость детали $V_{дет}$ при прерывистом шлифовании должна быть связана со скоростью детали $V_{дет0}$ при обычном шлифовании зависимостью

$$V_{дет} = \frac{V_{дет0}}{(1 + l_2/l_1)^2}. \quad (8)$$

Глубина шлифования t при условии $Q = const$ должна быть связана с глубиной шлифования t_0 (для круга со сплошной рабочей поверхностью) зависимостью

$$t = t_0 \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)^2. \quad (9)$$

Этим обеспечивается уменьшение износа прерывистого круга до уровня износа круга со сплошной рабочей поверхностью (без уменьшения производительности обработки). Полученное решение позволяет эффективно использовать прерывистые круги с характеристикой $l_2/l_1 > 1,5$, которые в силу чрезвычайно интенсивного износа не получили распространения на практике, хотя обеспечивают существенное снижение температуры резания при шлифовании.

Рассмотрим общие закономерности формирования температуры резания при прерывистом шлифовании.

Нестационарный тепловой режим прерывистого шлифования, сопровождающийся периодическим прерыванием контакта круга с обрабатываемой деталью, открывает принципиально новые возможности управления теплонпряженностью процесса [5]. Если длительность процесса шлифования режущих выступов прерывистого круга сделать меньше времени теплового насыщения, то температура в зоне контакта круга с обрабатываемой деталью не будет достигать своих максимальных значений и может быть ограничена.

На рис. 2 представлен характер изменения температуры от времени воздействия теплового источника. За период прохождения режущего выступа τ_1 обрабатываемая поверхность нагревается до температуры θ_2^0 . За время прерывания процесса τ_2 температура поверхности понижается до θ_1^0 .

Количество тепла Q_1 , необходимое для нагрева поверхности за время τ_1 , можно приравнять к количеству тепла Q_2 , поглощаемому при охлаждении поверхности от θ_2^0 до θ_1^0 за время τ_2 .

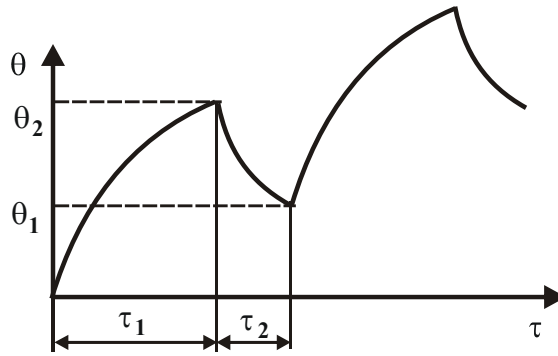


Рис. 2. Характер изменения температуры резания θ от времени обработки τ при прерывистом шлифовании
 Параметры Q_1 и Q_2 определяются [6]:

$$Q_1 = q_1 \cdot \tau_1 = \sigma \cdot V_{\text{дем}} \cdot \tau_1; \quad (10)$$

$$Q_2 = q_2 \cdot \tau_2, \quad (11)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $V_{\text{дем}}$ – скорость внедрения режущих зерен в обрабатываемый металл (скорость детали), м/с; $q_2 = \alpha \cdot \frac{\theta_1^0 + \theta_2^0}{2}$; α – коэффициент теплоотвода.

Время нагрева поверхности τ_1 определяется из выражения

$$\tau_1 = \frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot V_{\text{дем}}^2} \cdot \ln \left[\frac{c \cdot \rho \cdot (\theta_2^0 - \theta_1^0)}{\sigma} \right], \quad (12)$$

где λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

Время охлаждения определяется из условия $Q_1 = Q_2$ с учетом зависимостей (10) и (11):

$$\tau_2 = \frac{q_1}{q_2} \cdot \tau_1 = \frac{\lambda \cdot \sigma}{\alpha \cdot (\theta_1^0 + \theta_2^0) \cdot c \cdot \rho \cdot V_{\text{дем}}} \cdot \ln \left[\frac{c \cdot \rho \cdot (\theta_2^0 - \theta_1^0)}{\sigma} \right]. \quad (13)$$

Зная τ_1 и τ_2 можно оценить производительность обработки Q_u за время одного цикла ($\tau_1 + \tau_2$):

$$Q_u = \frac{B \cdot V_{\text{дем}} \cdot \tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)} = \frac{B \cdot V_{\text{дем}}}{\left[\frac{1}{V_{\text{дем}}} + \frac{2 \cdot \sigma}{\alpha \cdot (\theta_1^0 + \theta_2^0)} \right]}. \quad (14)$$

Из анализа выражения (14) видно, что увеличить производительность цикла Q_u можно за счет увеличения скорости внедрения режущих зерен в металл $V_{\text{дем}}$ и коэффициента α , а также уменьшения условного напряжения резания σ .

При шлифовании кругом с прерывистой рабочей поверхностью скорость внедрения режущих зерен в металл $V_{\text{дем}}$ возрастает на величину $K_{np} = 1 - l_2 / l_1$

(где l_1 – длина режущего выступа, м; l_2 – длина выреза на круге, м). Следовательно, выражения (12) и (13) примут вид:

$$\tau_1 = \frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot V_{дет}^2 \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)^2} \cdot \ln \left[\frac{c \cdot \rho \cdot (\theta_2^0 - \theta_1^0)}{\sigma} \right]; \quad (15)$$

$$\tau_2 = \frac{\lambda \cdot \sigma}{\alpha \cdot (\theta_1^0 + \theta_2^0) \cdot c \cdot \rho \cdot V_{дет} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \cdot \ln \left[\frac{c \cdot \rho \cdot (\theta_2^0 - \theta_1^0)}{\sigma} \right]. \quad (16)$$

Геометрический параметр прерывистого круга l_1 определяется:

$$l_1 = \frac{\lambda \cdot V_{кр}}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)^2} \cdot \ln \left[\frac{c \cdot \rho \cdot (\theta_2^0 - \theta_1^0)}{\sigma} \right]. \quad (17)$$

После подстановки (15) и (16) в (17) получим:

$$l_2 = \frac{\lambda \cdot \sigma \cdot V_{кр}}{\alpha \cdot (\theta_1^0 + \theta_2^0) \cdot c \cdot \rho \cdot V_{дет} \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right)} \cdot \ln \left[\frac{c \cdot \rho \cdot (\theta_2^0 - \theta_1^0)}{\sigma} \right]. \quad (18)$$

Из условия целого четного числа n определяется количество режущих выступов: $n = \frac{\pi \cdot D_{кр}}{l_1 + l_2}$, где $D_{кр}$ – диаметр круга.

Таким образом, в работе аналитически описаны закономерности съема припуска и формирование температуры резания при прерывистом шлифовании. На их основе определены оптимальные условия прерывистого шлифования, включая расчет режимов шлифования и геометрических параметров прерывистой рабочей поверхности круга. Даны практические рекомендации по совершенствованию процесса прерывистого шлифования.

Список литературы: 1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 2. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 127 с. 3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 4. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с. 5. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. ”Теплофизика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с.