

Новиков Ф.В., д-р техн. наук, проф.,  
Кленов О.С. (Харьковский национальный экономический университет)

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ

*Статья посвящена расчету температуры при глубинном шлифовании и выявлению новых условий ее уменьшения*

Возможности уменьшения температуры при шлифовании в научно-технической литературе изучены достаточно полно [1]. Вместе с тем, существуют неиспользованные резервы в этом направлении, связанные с применением высокопроизводительного глубинного шлифования [2], когда появляется возможность уменьшения температуры и повышения качества обработки. Для их анализа рассмотрим расчетную схему параметров шлифования (рис. 1), в которой снимаемый припуск представлен пакетом бесконечно тонких адиабатических стержней, которые поочередно перерезаются шлифовальным кругом со скоростью  $V_{рез}$  [3, 4]. Температура  $\theta$ , возникающая в момент перерезания адиабатического стержня, определяется зависимостью:

$$\theta = \sigma \cdot V_{рез} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $c$  – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К;  $\tau$  – время контакта стержня с кругом, с.

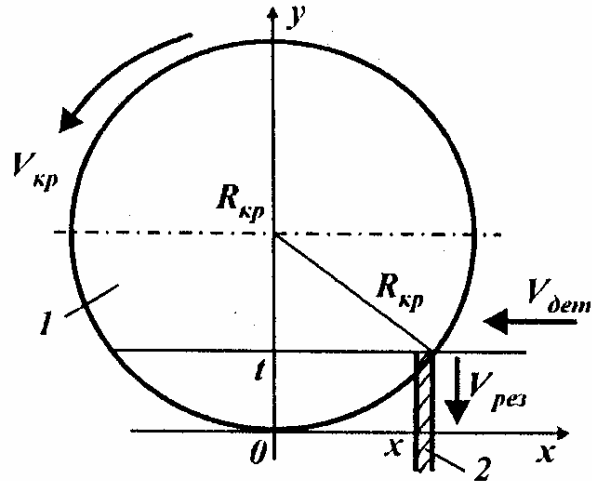


Рис. 1. Расчетная схема параметров плоского шлифования: 1 – круг; 2 – адиабатический стержень.

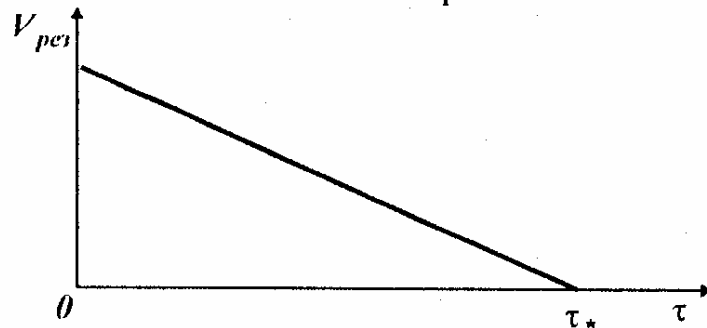


Рис. 2. Зависимость скорости  $V_{рез}$  от текущего времени  $\tau$  контакта круга с адиабатическим стержнем.

При плоском шлифовании  $\tau = t/V_{рез}$ , а  $V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{t/D_{кр}}$ , где  $t$  – глубина шлифования, м;  $V_{дет}$  – скорость детали, м/с;  $D_{кр}$  – диаметр круга, м. Тогда

$$\theta = \sigma \cdot V_{рез} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot Q_{уд}} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{кр}}}, \quad (2)$$

где  $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$  – удельная производительность обработки, м<sup>2</sup>/с.

Как видно, при заданном значении  $Q_{уд}$  уменьшить температуру  $\theta$  можно уменьшением параметров  $\sigma$  и  $t$ , т.е. применением многопроходного шлифования. Данная закономерность справедлива при постоянной во времени скорости перерезания адиабатического стержня  $V_{рез}$ . В действительности, в связи с криволинейностью контакта круга с обрабатываемой деталью скорость  $V_{рез}$  переменна во времени. В начальный момент перерезания адиабатического стержня она максимальна, а в конечный момент равна нулю, рис. 2. Это вытекает из аналитической зависимости:

$$V_{рез} = \frac{V_{дет}^2 \cdot (\tau_* - \tau)}{R_{кр}}, \quad (3)$$

где  $\tau_* = \frac{x}{V_{дет}} = \frac{\sqrt{2 \cdot R_{кр} \cdot t}}{V_{дет}}$  — время контакта круга с адиабатическим стержнем, с;  $\tau$  — текущее время контакта круга с адиабатическим стержнем.

Подставляя зависимость (3) в (1), имеем

$$\theta = \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \frac{V_{дет}^2 \cdot (\tau_* - \tau)}{R_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau = \theta_* \cdot \left(1 - \frac{\tau}{\tau_*}\right) \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}}, \quad (4)$$

где  $\theta_* = \frac{\sigma}{\lambda} \cdot \frac{V_{дет}^2 \cdot \tau_*}{R_{кр}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau_* \quad (5)$

В зависимости (4) текущее время  $\tau$  неоднозначно влияет на температуру  $\theta$ . Поэтому, подчиняя зависимость (4) необходимому и достаточному условиям экстремума, установлено, что при  $\tau = \tau_*/3$  имеет место максимум функции  $\theta/\theta_*$ , рис. 3.

$\theta_1/\theta_*, \theta/\theta_*$

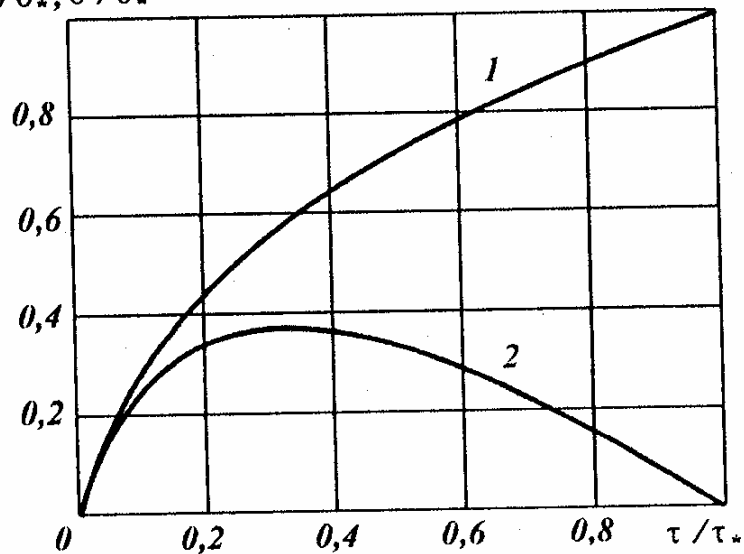


Рис. 3. Зависимости  $\theta_1/\theta_*$  (1) и  $\theta/\theta_*$  (2) от  $\tau/\tau_*$ .

Следовательно, наибольшая температура достигается фактически в начальный момент перерезания адиабатического стержня (при  $\tau = \tau_*/3$ ). На конечном этапе перерезания адиабатического стержня температура не большая. Собственно этим можно объяснить эффективность применения глубинного шлифования, обеспечивающего наряду с высокой производительностью обработки относительно низкую температуру и высокое качество обрабатываемых поверхностей.

Для более полного анализа закономерностей формирования температуры при глубинном шлифовании рассмотрим зависимость (5). Она определяет максимальную температуру шлифования  $\theta_*$ . Принимая в данной зависимости скорость  $V_{рез}$  постоянной величиной, имеем

$$\frac{\theta_1}{\theta_*} = \sqrt{\frac{\tau}{\tau_*}} \quad (6)$$

Для сравнения на рис. 3 приведены графики функций  $\theta_1/\theta_*$  и  $\theta/\theta_*$ . Как видно, при шлифовании с постоянной во времени скоростью  $V_{рез}$  температура шлифования  $\theta_1/\theta_*$  непрерывно увеличивается с течением времени обработки, а при шлифовании с переменной скоростью  $V_{рез}$  – изменяется по экстремальной зависимости (функция  $\theta/\theta_*$ ), проходя точку максимума. Следовательно, благодаря реализации переменной (уменьшающейся во времени) скорости  $V_{рез}$  температура шлифования  $\theta/\theta_*$  меньше температуры  $\theta_1/\theta_*$  приблизительно в 3 раза. Причем, максимум температуры шлифования  $\theta/\theta_*$  достигается фактически в начальный момент шлифования, тогда как наибольшее значение температуры  $\theta_1/\theta_*$  достигается на конечном этапе шлифования. Это свидетельствует о том, что при шлифовании с уменьшающейся во времени скоростью  $V_{рез}$  нагреву подвергается главным образом снимаемый припуск, поверхностный слой обрабатываемой детали нагревается в меньшей мере, тогда как при шлифовании с постоянной во времени скоростью  $V_{рез}$  нагревается в основном поверхностный слой обрабатываемой детали. Очевидно, в первом случае основная часть тепла будет уноситься образующимися стружками, в обрабатываемую деталь будет уходить меньше тепла, что снизит вероятность появления на обрабатываемых поверхностях различного рода температурных дефектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. 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.
3. Новиков Ф.В. Математическая модель определения температуры

при шлифовании на основе учета баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – 2007. – Вип. 61. – С. 23-33.

4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.