

УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця)

Гершиков И.В. (ЗАО “Азовский машиностроительный завод”, г. Бердянск)

*A new simplified approach to the solution of the heat equation with the calculation men-
itelno-temperature grinding. It is shown that the solution allows you to set the temperature value is
not significantly different from the values obtained are based on the classical solution*

Актуальной проблемой для технологии машиностроения является снижение тепловой напряженности процесса шлифования, одного из основных методов финишной обработки. Несмотря на большое количество работ в этом направлении [1 – 3], проблема бездефектной обработки при шлифовании в полной мере не решена: на обрабатываемых поверхностях образуются прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты, снижающие качество обработки. Это требует научно обоснованного выбора оптимальных режимов шлифования, характеристик шлифовальных кругов и других условий обработки, обеспечивающих снижение температуры шлифования. В связи с этим, целью работы является разработка теоретического подхода к определению температуры шлифования и условий ее уменьшения для обеспечения бездефектной обработки деталей машин.

В основу решения положена расчетная схема плоского шлифования, в которой снимаемый припуск представлен пакетом элементарных адиабатических стержней, которые в процессе обработки перерезаются шлифовальным кругом (рис. 1 [4]). Температура шлифования, исходя из такого представления процесса шлифования, определяется температурой, возникающей в момент выхода шлифовального круга из контакта с адиабатическим стержнем, т.е. в точке А. Время нагрева адиабатического стержня определяется временем его контакта с кругом.

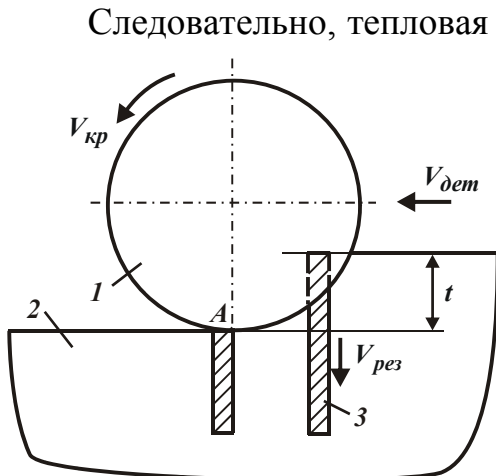


Рис. 1. Расчетная схема параметров плоского шлифования: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень

Следовательно, тепловая модель процесса шлифования может быть представлена следующим образом. На торец адиабатического стержня (в точке А) в течение времени τ действует тепловой поток плотностью q_0 . В результате теплопроводности материала адиабатического стержня теплота распространится за это время на некоторую глубину, которую также как и температуру в точке А адиабатического стержня необходимо определить.

В работе [5] приведено аналитическое

решение данной задачи (распределения температуры θ вдоль полубесконечного адиабатического стержня), рассматривая уравнение теплопроводности в виде:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$\theta = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x^2}{4 \cdot a^2 \cdot \tau}} - \frac{q_0}{\lambda} \cdot x \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}} \right) \right], \quad (2)$$

где $a^2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, м²/с; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К; ρ – плотность материала, кг/м³; τ – время обработки, с; x – координата.

Недостатком данного решения является то, что на его основе нельзя установить конечное значение глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали Δx (она стремится к бесконечности).

В связи с этим, получим упрощенное решение, рассматривая уравнение (1) в виде:

$$\theta = a^2 \cdot \tau \cdot \frac{d^2 \theta}{dx^2}. \quad (3)$$

Такое упрощение возможно, поскольку при выводе дифференциального уравнения (1) первоначально было получено уравнение (3), а затем, принимая $\tau \rightarrow 0$ получено уравнение (1).

Решение дифференциального уравнения (3) общеизвестно:

$$\theta = C_1 \cdot e^{\alpha \cdot x} + C_2 \cdot e^{-\alpha \cdot x}, \quad (4)$$

где $\alpha = 1/(a \cdot \sqrt{\tau})$.

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяются из граничных условий:

$$\begin{cases} \theta(x = \Delta x) = 0; \\ q(x = 0) = q_0. \end{cases} \quad (5)$$

Подчиняя зависимость (4) граничным условиям (5), с учетом $q = -\lambda \cdot d\theta/dx$, получены выражения для определения постоянных интегрирования C_1 , C_2 и, соответственно, температуры шлифования:

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{q_0}{\lambda \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{(1 + e^{2\alpha \cdot \Delta x})}; & C_2 &= \frac{q_0}{\lambda \cdot \alpha} \cdot \frac{1}{(1 + e^{-2\alpha \cdot \Delta x})}; \\ \theta &= \frac{q_0}{\lambda \cdot \alpha} \cdot \left[\frac{e^{-\alpha \cdot x}}{(1 + e^{-2\alpha \cdot \Delta x})} - \frac{e^{\alpha \cdot x}}{(1 + e^{2\alpha \cdot \Delta x})} \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Неизвестную величину Δx определим, подчиняя уравнение (6) граничному условию $q(x = \Delta x) = 0$. В результате получено следующее уравнение

$$\frac{1}{e^{\alpha \cdot \Delta x} \cdot (1 + e^{-2\alpha \cdot \Delta x})} = 0. \quad (7)$$

Очевидно, решением (7) является $\Delta x \rightarrow \infty$. Следовательно, как и в решении (2), в данном случае нельзя определить конечное значение глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали Δx . С учетом условия $\Delta x \rightarrow \infty$ зависимость (6) окончательно выразится:

$$\theta = a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-\frac{x}{a \cdot \sqrt{\tau}}}. \quad (8)$$

Графически зависимости (2) и (8), преобразованные с учетом безразмерной величины $z = \frac{x}{2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau}}$ к виду

$$\theta = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-z^2} - z \cdot (1 - \operatorname{erf}z) \right]; \quad (9)$$

$$\theta = a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} \cdot e^{-2z}, \quad (10)$$

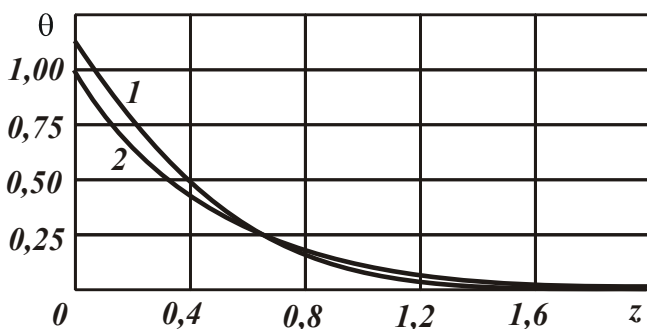


Рис. 2. Зависимость θ от z :

1 – расчет по зависимости (9);

2 – расчет по зависимости (10)

показаны на рис. 2 (при условии $a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda} = 1$). Как видно, максимальные значения температуры шлифования θ_{max} , рассчитанные по

зависимостям (9) и (10) при условии $z = 0$ и соответственно $x = 0$, отличаются незначительно (в пределах 11%). Это указывает на то, что с достаточной для практики точностью расчеты θ_{max} можно производить как

по зависимости (2), так и по (8), которая при условии $x = 0$ выражается:

$$\theta_{max} = a \cdot \sqrt{\tau} \cdot \frac{q_0}{\lambda}. \quad (11)$$

Из зависимости (11) вытекает, что основными путями уменьшения максимальной температуры шлифования θ_{max} является уменьшение параметров q_0 и τ . Очевидно, плотность теплового потока q_0 в большей степени влияет на θ_{max} , чем время контакта круга с обрабатываемой деталью τ . Поэтому уменьшить θ_{max} можно, прежде всего, за счет уменьшения плотности теплового потока q_0 , которая зависит от параметров режима шлифования.

Если рассматривать параметры q_0 и τ невзаимосвязанными, что имеет место, например, при шлифовании кругами с прерывистой рабочей поверхностью, то, уменьшая $\tau \rightarrow 0$, можно добиться существенного снижения максимальной температуры шлифования θ_{max} . Это подтверждается экспериментальными данными [1], согласно которым применение прерывистого шлифования

позволяет до 2-х раз уменьшить температуру шлифования и тем самым повысить качество обработки без снижения производительности.

Рассмотрим случай шлифования, когда параметры q_0 и τ взаимосвязаны посредством режима резания. С учетом известных соотношений [6]: $q_0 = \sigma \cdot V_{рез}$ и $\tau = t / V_{рез}$ зависимость (11) представим в виде:

$$\theta_{max} = \frac{a \cdot \sigma}{\lambda} \cdot \sqrt{t \cdot V_{рез}}, \quad (12)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $V_{рез}$ – скорость перерезания адиабатического стержня (рис. 1), м/с; t – глубина шлифования, м.

Согласно зависимости (12), уменьшить θ_{max} можно уменьшением параметров σ , $V_{рез}$ и t . Поскольку с уменьшением $V_{рез}$ и t уменьшается производительность обработки (что неэффективно), то основным путем уменьшения θ_{max} является снижение условного напряжения резания σ за счет повышения режущей способности круга и снижения интенсивности трения в зоне шлифования. В работе [6] установлено $V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{t / D_{кр}}$, где $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $D_{кр}$ – диаметр круга, м. Тогда с учетом удельной производительности обработки $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$ зависимость (12) выразится:

$$\theta_{max} = \frac{a \cdot \sigma}{\lambda} \cdot \sqrt{Q_{уд}} \cdot \sqrt{\frac{t}{D_{кр}}}. \quad (13)$$

Из зависимости (13) следует, что уменьшить θ_{max} при обеспечении заданной $Q_{уд}$ можно уменьшением t и увеличением $V_{дет}$.

Выводы. 1. Предложено упрощенное решение уравнения теплопроводности применительно к расчету температуры шлифования, позволяющее получить значения температуры, незначительно отличающиеся от значений, установленных на основе классического решения (расхождение в пределах 11%). Это открывает новые возможности расчета и анализа по упрощенным зависимостям температуры шлифования, определения условий ее уменьшения.

2. Теоретически установлено, что основными путями уменьшения температуры шлифования являются снижение условного напряжения резания за счет повышения режущей способности круга и снижения интенсивности трения в зоне шлифования, а также применение многопроходного шлифования.

3. Показано, что основным недостатком полученного упрощенного решения, также как и классического решения, является невозможность определения конечной глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали. Это предполагает необходимость дальнейшего поиска новых решений в этом направлении.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 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. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки

материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. **4.** Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков и др. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. **5.** Чупров И.Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа: Учеб. пособие / И.Ф. Чупров, Е.А. Канева, А.А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2004. – 128 с. **6.** Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Труды 13-й Междунар. научн.-техн. конф. Физические и компьютерные технологии. – Х.: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.