

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

*Дитиненко Станислав Александрович, доцент кафедры
“Техника и технологии”*

Харьковский национальный экономический университет

Условия снижения температуры при шлифовании исследованы в работах [1-3]. На основе решения дифференциального уравнения теплопроводности Лапласа получены фундаментальные решения по определению температуры при шлифовании, что позволило установить оптимальные параметры режима шлифования и характеристики круга с учетом ограничения по температурному фактору. Теоретически и экспериментально доказана эффективность применения прерывистого шлифования с точки зрения снижения температуры резания [1]. Вместе с тем, в математической физике существуют и другие решения уравнения теплопроводности [4], используемые в различных отраслях науки и техники. Поэтому важно их проанализировать применительно к процессу шлифования для выявления новых условий снижения температуры. Целью исследования является теоретический анализ условий снижения температуры при шлифовании на основе использования классического решения дифференциального уравнения теплопроводности для неустановившегося во времени теплового процесса. Предполагается установление влияния параметров режима шлифования и различных физических и технологических параметров процесса на температуру резания, что позволит выявить условия ее снижения без уменьшения производительности обработки.

В работе [1] температура при шлифовании определяется на основе расчетной схемы, в которой снимаемый припуск представлен в виде множества элементарных прямолинейных адиабатических стержней, которые перерезаются со скоростью перемещения детали $V_{дет}$ шлифовальным кругом, вращающимся со скоростью $V_{кр}$ (рис. 1). На каждый адиабатический стержень (стенки которого изолированы) действует тепловой источник плотностью q_0 , что приводит к распространению лишь вдоль стержня. В работе [4] получено решение дифференциального уравнения теплопроводности для неустановившегося во времени теплового процесса применительно к шлифованию адиабатического полубесконечного стержня (на рис. 1 показанном длиной l), на торце которого действует тепловой поток постоянной плотности q_0 :

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

где $\theta(x, \tau)$ – температура при шлифовании, К; $a^2 = \lambda / c \cdot \rho$ – коэффициент температуропроводности материала, м²/с; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; q_0 – плотность теплового потока, Вт/м²; τ – время обработки, с; x – координата (рис. 1).

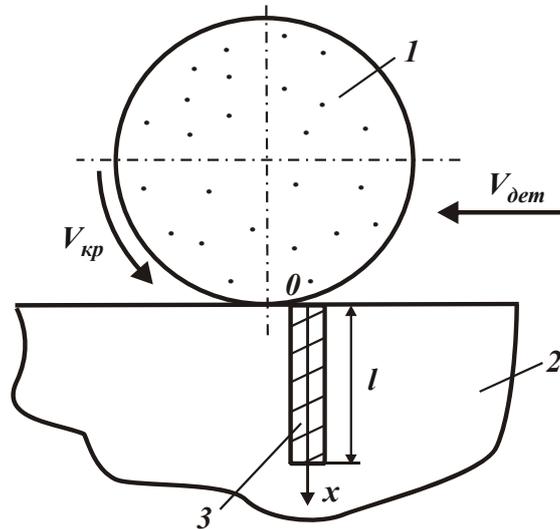


Рис. 1. Расчетная схема температуры при шлифовании:
1 – круг; 2 – деталь; 3 – адиабатический стержень.

Здесь $erf x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2} \cdot dt$ – табулированная функция, график которой

показан на рис. 2 [5]. Из зависимости (1) вытекает, что максимальная температура достигается в точке контакта шлифовального круга с адиабатическим стержнем, т.е. в точке $x=0$ – на обрабатываемой поверхности. По мере заглубления в поверхностный слой обрабатываемой детали ($x>0$) температура адиабатического стержня θ уменьшается. Это соответствует практическим данным и позволяет использовать зависимость (1) для поиска путей уменьшения температуры при шлифовании. Поэтому зависимость для определения максимальной температуры при шлифовании θ , равной температуре на торце адиабатического стержня при $x=0$, принимает вид:

$$\theta = 2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \cdot \frac{q_0}{\lambda}. \quad (2)$$

Как видно, добиться уменьшения температуры при шлифовании можно двумя путями: уменьшением времени контакта круга с фиксированным сечением обрабатываемой поверхности детали τ и плотности теплового потока q_0 . Уменьшение τ предполагает применения прерывистого шлифования, а также многопроходного шлифования, характеризующегося увеличенной скоростью перемещения детали $V_{дет}$, поскольку $\tau = L / V_{дет}$, где L – длина контакта круга с обрабатываемой поверхностью детали, м. Однако,

как следует из зависимости (2), время τ в меньшей мере влияет на температуру при шлифовании θ , чем плотность теплового потока q_0 . Поэтому добиться уменьшения температуры при шлифовании θ можно, прежде всего, за счет уменьшения плотности теплового потока q_0 .

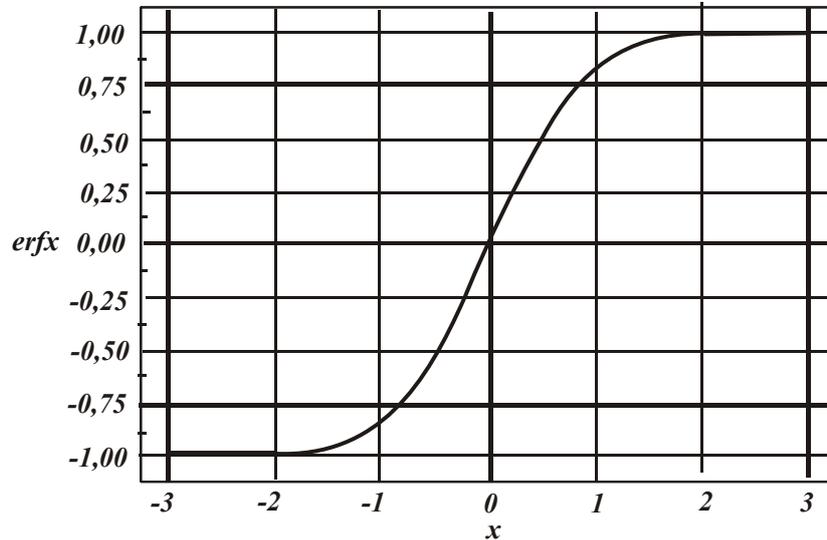


Рис. 2. График функции $erf x$

Очевидно, параметры τ и q_0 взаимосвязаны между собой. Тогда зависимость (2) с учетом известных преобразований [2] ($q_0 = N / F$; $N = P_z \cdot V_{кр}$ – мощность шлифования, Вт; $P_z = \sigma \cdot S_{мгн}$ – тангенциальная составляющая силы резания, Н; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S_{мгн} = Q / V_{кр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зёрнами шлифовального круга, м²; $Q = B \cdot V_{дем} \cdot t$ – производительность обработки, м³/с; B – ширина шлифования, м; t – глубина шлифования, м; $F = B \cdot L$ – площадь контакта круга с обрабатываемой поверхностью детали, м²; $L = \sqrt{2 \cdot t / (1/R_{кр} + 1/R_{дем})}$; $R_{кр}$, $R_{дем}$ – радиусы круга и детали, м; $\tau = L / V_{дем}$) примет вид:

$$\theta = 0,95 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{Q_{уд}}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}} \right)}, \quad (3)$$

где $Q_{уд} = V_{дем} \cdot t$ – удельная производительность обработки, м²/с.

Согласно зависимости (3), основное влияние на температуру при шлифовании θ оказывает условное напряжение резания σ : с его уменьшением температура θ уменьшается. Следовательно, основным путем уменьшения температуры при шлифовании θ является повышение режущей способности круга за счет обеспечения высокой остроты режущих зёрен и снижения интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом. Для

этого необходимо применять эффективные методы правки круга – механические и электрофизикохимические (например, при шлифовании алмазными кругами на прочных металлических связках).

Удельная производительность обработки $Q_{уд}$ влияет на температуру при шлифовании θ в меньшей мере, чем условное напряжение резания σ . Поэтому эффективность снижения температуры при шлифовании θ в связи с уменьшением $Q_{уд}$ ниже, чем от уменьшения условного напряжения резания σ . Еще ниже эффективность снижения температуры при шлифовании θ от уменьшения глубины шлифования t , поскольку она входит в зависимость (3) в степени 0,25. Исходя из этого, целесообразно использовать многопроходное шлифование, характеризующееся относительно небольшой глубиной шлифования t и увеличенной скоростью перемещения детали $V_{дет}$. Однако, как отмечалось выше, основной эффект снижения температуры при шлифовании θ состоит в выборе оптимальной характеристики круга, обеспечивающего существенное уменьшение условного напряжения резания σ . В связи с этим, на финишных операциях шлифования эффективно применять шлифовальные круги на относительно мягких связках, работающих в режиме самозатачивания.

Необходимо отметить, что при условии значительного уменьшения условного напряжения резания σ появляется возможность увеличения глубины шлифования t и удельной производительности обработки $Q_{уд}$ для заданной температуры при шлифовании θ , т.е. появляется возможность осуществления высокопроизводительного глубинного шлифования, что согласуется с практическими данными.

Таким образом, на основе классического решения уравнения теплопроводности для неустановившегося во времени теплового процесса проведен анализ влияния условий обработки на температуру при шлифовании. Теоретически установлено, что основным условием уменьшения температуры при шлифовании является уменьшение условного напряжения резания, определяющего энергоемкость обработки.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – 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. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 4. Чупров И.Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа: Учебное пособие / И.Ф. Чупров, Е.А. Канева, А.А. Мордвинов. – Ухта: УГТУ, 2004. – 128 с. 5. Полянский В.И. Технологическое обеспечение качества и производительности механической обработки отверстий в деталях гидроаппаратуры: дис. ... кандидата техн. наук: 05.02.08 / Полянский Владимир Иванович. – Харьков, 2012. – 221 с.