

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнеця)

Гершиков И.В.

(ЗАО “Азовский машиностроительный завод”, Бердянск)

Аналитически определены условия уменьшения температуры резания при шлифовании периферией и торцом круга. Обоснованы преимущества схемы шлифования торцом круга с точки зрения снижения температуры резания и повышения производительности обработки

Как показывает практика, при шлифовании, в отличие от лезвийной обработки, в большей мере проявляются тепловые явления, которые приводят к образованию на обрабатываемых поверхностях прижогов, микротрещин и других температурных дефектов. В связи с этим, вопросы снижения температуры шлифования являются актуальными для технологии машиностроения и требуют новых эффективных технологических решений.

Вопросам исследования температуры при шлифовании в научно-технической литературе уделено достаточно большое внимание [1-3]. Разработаны математические модели определения температуры при шлифовании и условия ее уменьшения. Однако, решения классического уравнения теплопроводности применительно к процессу шлифования основаны на численных расчетах, что затрудняет теоретический анализ температуры для различных схем шлифования. Поэтому важно получить упрощенные решения и по ним определить оптимальные условия обработки при шлифовании периферией и торцом круга, обеспечивающие снижение температуры и повышение производительности обработки. Научными предпосылками работы стали важные результаты, полученные в работе [4].

Целью работы является определение условий уменьшения температуры и повышения производительности обработки при шлифовании периферией и торцом круга. Проблема состоит в дальнейшем развитии существующей математической модели определения температуры при шлифовании, получении упрощенных аналитических зависимостей, описывающих температуру при шлифовании, и на их основе проведение оптимизации параметров шлифования по критерию наименьшей температуры, т.е. по температурному критерию.

Для решения поставленной задачи воспользуемся известной аналитической зависимостью для определения температуры шлифования [4]:

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda}, \quad (1)$$

где $q = N / S$ – плотность теплового потока, Вт/м²; $N = P_z \cdot V_{кр}$ – мощность теплового источника, Вт; S – площадь контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью, м²; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $V_{кр}$ – ско-

рость круга, м/с; l_2 – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м;

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}; \quad (2)$$

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; τ – время контакта фиксированного сечения обрабатываемой детали с кругом, с.

После преобразования зависимость (1) примет вид:

$$\theta = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{S} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}}. \quad (3)$$

Исходя из зависимости (3), одинаковому значению P_z соответствуют различные значения θ . Этим объясняется неоднозначность связи между силовой и тепловой напряженностями процесса шлифования. Чем больше τ и меньше S , тем больше температура шлифования θ при заданном значении P_z . Поэтому основным условием уменьшения температуры шлифования θ для $P_z = \text{const}$ является уменьшение τ и увеличение S . При шлифовании торцом круга (рис. 1) площадь контакта круга с обрабатываемой деталью S равна

$$S = b \cdot B, \quad (4)$$

где b – ширина обрабатываемого прямолинейного образца, м; B – ширина рабочей части торцевого круга, м.

Соответственно, время контакта фиксированного сечения обрабатываемой детали с кругом равно $\tau = B / V_{дет}$, а параметр l_2 определится

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{B}{V_{дет}}}, \quad (5)$$

где $V_{дет}$ – скорость перемещения детали, м/с.

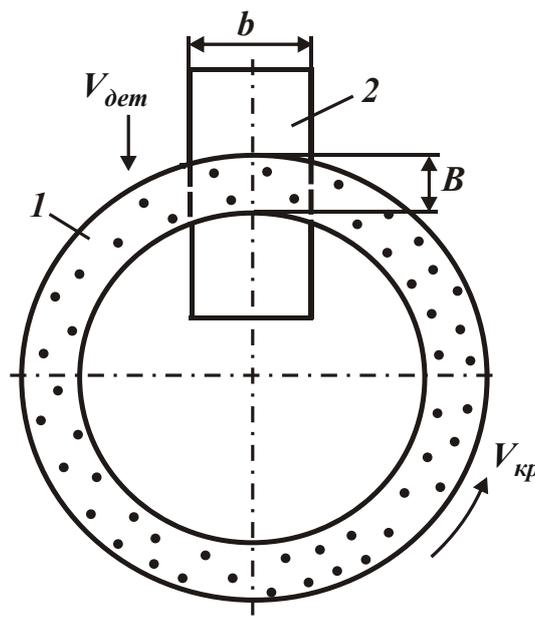


Рис. 1. Расчетная схема процесса шлифования торцом круга

Тогда зависимость (3) выразится:

$$\theta = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{b} \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{1}{B \cdot V_{дет}}} \quad (6)$$

Как видно, с увеличением B площадь контакта круга с обрабатываемой деталью S увеличивается более интенсивно, чем параметр l_2 . В результате температура шлифования θ уменьшается, т.е. с точки зрения уменьшения температуры шлифования θ целесообразно увеличивать S . Эффект обработки достигается за счет уменьшения отношения P_z / S . Время τ влияет на температуру шлифования θ в меньшей мере, т.к. входит в зависимость (3) с меньшим показателем степени (равным 0,5).

Тангенциальная составляющая силы резания P_z выражается [4]:

$$P_z = \sigma \cdot S_{мгн}, \quad (7)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; $S_{мгн} = Q / V_{кр}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; $Q = b \cdot t \cdot V_{дет}$ – производительность обработки, м³/с; t – глубина шлифования, м.

Тогда зависимость (6) окончательно примет вид

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{дет}}{B}} = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{1}{\tau}} \quad (8)$$

Исходя из полученной зависимости, уменьшить температуру шлифования θ можно уменьшением σ , t и увеличением τ (или уменьшением $V_{дет}$), т.е. за счет уменьшения производительности обработки Q .

Зависимость (8) представим в виде:

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{t \cdot Q_{уд}}{B}}, \quad (9)$$

где $Q_{уд} = t \cdot V_{дет}$ – удельная производительность обработки, м³/(с·м).

При заданном значении $Q_{уд}$ уменьшить температуру шлифования θ можно уменьшением глубины шлифования t , т.е. применением многопроходного шлифования. При этом $Q_{уд}$ тем больше, чем больше B .

При шлифовании периферией круга справедливы соотношения: $S = b \cdot l$; $\tau = l / V_{дет}$, где $l = \sqrt{2 \cdot t / \rho_1}$ – длина дуги контакта круга с деталью, м [4]; $\rho_1 = 1 / R_{кр} + 1 / R_{дет}$; $R_{кр}$, $R_{дет}$ – радиусы круга и детали, м.

С учетом данных соотношений зависимость (3) примет вид

$$\theta = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{b} \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{1}{l \cdot V_{дет}}} \quad (10)$$

В отличие от шлифования торцом круга, при шлифовании периферией круга параметр l является зависимым, определяемым глубиной шлифования t . Поэтому увеличение параметра l предполагает увеличение глубины шлифования t

и соответственно тангенциальной составляющей силы резания $P_z = \sigma \cdot Q / V_{кр}$. В результате температура шлифования θ увеличивается, т.к. величина P_z входит в зависимость (10) с большей степенью, чем l и увеличение t ведет к увеличению температуры шлифования θ . Следовательно, при шлифовании периферией круга увеличение площади контакта круга с обрабатываемой деталью S (за счет увеличения глубины шлифования t) приводит к увеличению температуры шлифования θ , поэтому S надо уменьшать с целью снижения тепловой напряженности процесса шлифования. Таким образом показано, что площадь контакта круга с обрабатываемой деталью S при шлифовании периферией и торцом круга по-разному влияет на температуру шлифования θ . В первом случае она увеличивается, а во втором случае уменьшается. Это вытекает из преобразованной зависимости (10):

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{dem}}{\sqrt{2t} \cdot \rho_1}} \quad (11)$$

Сравнивая аналогичные зависимости (8) и (11), видно, что при шлифовании торцом круга за счет увеличения параметра B можно добиться существенного увеличения параметров режима шлифования V_{dem} , t и соответственно производительность обработки Q , тогда как при шлифовании периферией круга увеличение аналогичного параметра l ведет к увеличению t и соответственно температуры шлифования θ . Следовательно, с точки зрения уменьшения тепловой напряженности процесса шлифования (температуры шлифования θ) процесс шлифования торцом круга располагает значительно большими возможностями. При этом появляется возможность существенного увеличения производительности обработки Q . По-видимому, этим объясняется широкое применение на практике схемы шлифования торцом круга со значительной шириной его рабочей части B . Однако, как показывает практика, применение торцового шлифования приводит в ряде случаев к более высоким значениям температуры шлифования θ , чем при шлифовании периферией круга. Объясняется данная закономерность худшими условиями охлаждения обрабатываемой поверхности, т.к. в связи с большой площадью контакта круга с обрабатываемой деталью S ухудшаются условия попадания охлаждающей жидкости в зону шлифования. При плоском шлифовании периферией круга с учетом $R_{dem} \rightarrow \infty$ зависимость (11) видоизменится

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot V_{dem}}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{2t \cdot R_{кр}}}} \quad (12)$$

В данном случае существенным фактором уменьшения температуры шлифования θ является увеличение радиуса круга $R_{кр}$. Поскольку $R_{кр}$ – ограниченная величина с точки зрения габаритов шлифовального станка, то эффективно шлифование производить кругом с конусной частью. В зависимости от величины угла конуса круга это позволяет фактически неограниченно увеличивать так называемый условный радиус круга и соответственно уменьшать температуру шлифования θ . Учитывая эффективность данного технического решения, шлифование

конусным кругом получило применение на практике, например, при зубошлифовании. В результате уменьшается температура шлифования θ и появляется возможность увеличения производительности (удельной производительности обработки $Q_{y\partial} = t \cdot V_{\partial em}$). Это вытекает из преобразованной зависимости (12):

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{Q_{y\partial}}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t}{R_{кр}}} \quad (13)$$

Несомненно, более эффективно уменьшать глубину шлифования t , т.е. обработку вести по схеме многопроходного шлифования. Однако, с целью сокращения количества проходов круга и соответственно вспомогательного времени обработки, при определенных условиях обработки целесообразно использовать глубинное шлифование, осуществляя съем припуска за один или несколько проходов круга. Таким образом, теоретически обоснованы основные направления уменьшения температуры шлифования θ и увеличения производительности обработки Q .

Выводы. В работе получила дальнейшее развитие математическая модель определения температуры при шлифовании. На ее основе доказана возможность уменьшения температуры шлифования при одновременном увеличении производительности обработки за счет применения схемы шлифования торцом круга. При этом эффект обработки тем выше, чем больше ширина рабочей части торцевого круга. При шлифовании периферией круга увеличение длины контакта круга с обрабатываемой деталью ведет к увеличению глубины шлифования и соответственно температуры шлифования, т.е. добиться уменьшения температуры в этом случае можно лишь путем уменьшения производительности обработки. Следовательно, схема шлифования торцом круга располагает большими технологическими возможностями в плане снижения температуры и повышения производительности обработки по сравнению с шлифованием периферией круга.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 166 с. 3. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С.С. Силин, В.А. Хрульков, А.В. Лобанов, Н.С. Рыкунов. – М.: Машиностроение, 1984. – 62 с. 4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 5. Новиков Ф.В. Повышение качества обработки при шлифовании / Ф.В. Новиков, И.В. Гершиков // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Материалы 13-й Международной научно-практической конференции, 01–05 октября 2012 г., г. Ялта.– Киев: АТМ Украины, 2012. – С. 53-56.