

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Рябенков И.А.

При шлифовании выделяется чрезвычайно большое количество тепла, которого достаточно для образования на обрабатываемых поверхностях различного рода температурных дефектов, что в конечном счете приводит к снижению качества обработки и эксплуатационных свойств обработанных деталей. В настоящее время накоплен значительный опыт по снижению теплонапряженности процессов шлифования и устранению температурных дефектов [1, 2, 3]. Вместе с тем, в полной мере не определены условия уменьшения температуры шлифования, что требует проведения дальнейших исследований в этом направлении. Поэтому целью работы является теоретический анализ температуры шлифования и путей ее уменьшения.

Научными предпосылками работы являются исследования, полученные авторами в предыдущих работах [4, 5] на основе аналитической зависимости для определения температуры шлифования θ :

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; z – относительная величина температуры ($z=0\dots 1$), определяется из уравнения:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t \cdot V_{рез} = -\ln(1-z) - z, \quad (2)$$

λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К; t – глубина шлифования, м; $V_{рез}$ – скорость перемещения теплового источника по нормали к направлению движения круга, м/с.

Применительно к круглому наружному шлифованию (рис. 1): $V_{рез} = t/\tau = t/l \cdot V_{дет}$, где $\tau = l/V_{дет}$ – время контакта фиксированного сечения обрабатываемой детали с кругом, с; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; l – длина дуги контакта круга с обрабатываемой деталью, м:

$$l = \sqrt{\frac{2t}{\left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}\right)}}, \quad (3)$$

$R_{кр}, R_{дет}$ – соответственно радиусы круга и детали, м.

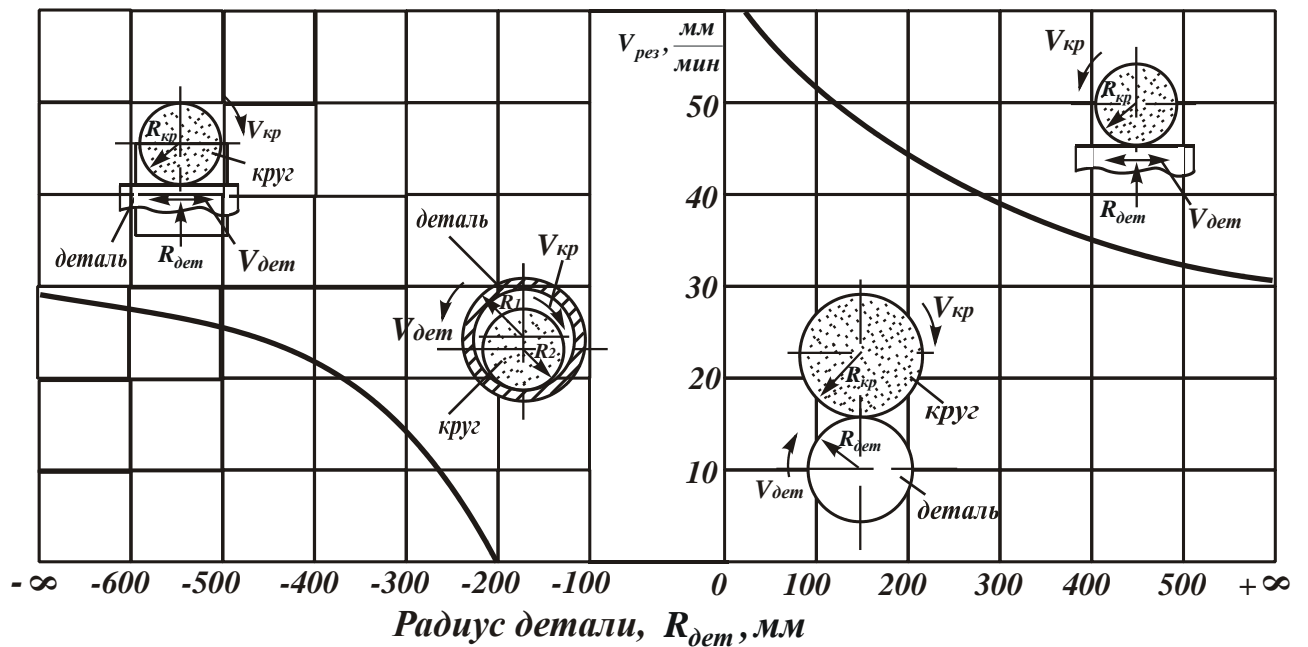
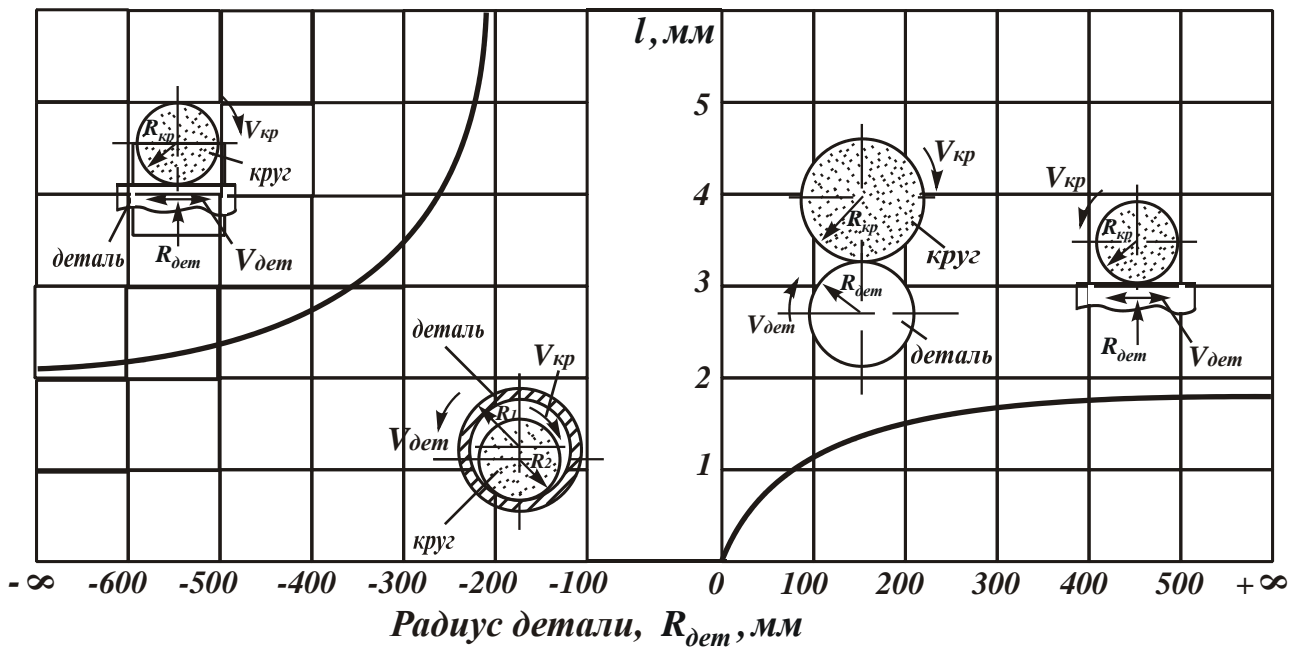


Рис.1. Зависимость параметров l (а) и $V_{рез}$ (б) от радиуса детали $R_{дет}$.
Исходные данные: $t=0,01$ мм; $V_{дет}=6$ м/мин; $R_{кр}=0,2$ м.

Окончательно скорость $V_{рез}$ аналитически опишется:

$$V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}} \right)}. \quad (4)$$

На рис. 1 показан характер изменения параметров l и $V_{рез}$ в зависимости от $R_{дет}$. Как видно, параметр l принимает наибольшие

значения при круглом внутреннем шлифовании, т.е. при отрицательных значениях $R_{дет}$ в зависимостях (3) и (4):

$$l = \sqrt{\frac{2t}{\left(\frac{1}{R_{кр}} - \frac{1}{R_{дет}}\right)}}; \quad V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_{кр}} - \frac{1}{R_{дет}}\right)}. \quad (5)$$

Наименьшие значения параметр l принимает при круглом наружном шлифовании. При плоском шлифовании ($R_{дет} \rightarrow \infty$) достигаются промежуточные значения параметра l . Скорость $V_{рез}$ (рис. 1,б), наоборот, принимает наибольшие значения при круглом наружном шлифовании, а наименьшие – при круглом внутреннем шлифовании. Этим показано, что наибольшие значения относительной величины температуры z , исходя из уравнения (2), будут иметь место при круглом наружном шлифовании, т.е. при больших значениях $V_{рез}$.

С увеличением $R_{кр} \rightarrow \infty$ (т.е. переходом от шлифования периферией круга к шлифованию торцом круга) зависимости (3) и (4) примут вид:

$$l = \sqrt{2t \cdot R_{дет}}; \quad V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{дет}}}. \quad (6)$$

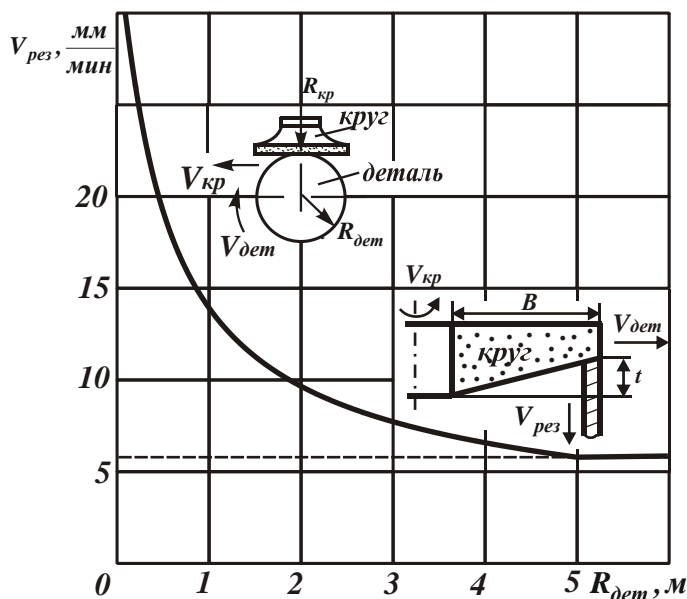


Рис. 2. Зависимость $V_{рез}$ от $R_{дет}$.
Исходные данные: $t=0,01$ мм; $V_{дет}=6$ м/мин; $B=10$ мм.

Очевидно, с увеличением $R_{дет} \rightarrow \infty$ скорость $V_{рез}$ будет непрерывно уменьшаться, однако, не до нуля, а до вполне конкретного значения (рис. 2), определяемого из условия:

$$V_{рез} = \frac{t}{\tau} = \frac{t}{B} \cdot V_{дет}, \quad (7)$$

где B – ширина рабочей части торцового круга, м.

Данная зависимость справедлива при условии образования на рабочей части круга заборного конуса. В противном случае ширина рабочей части торцового круга, участвующая в съеме обрабатываемого материала, будет не большой (по сути, $B \rightarrow$

0), что приведет к резкому увеличению $V_{рез}$ и соответственно относительной величины температуры z и температуры шлифования θ . Таким образом, при круглом наружном шлифовании торцом круга справедливы зависимости (6), а при плоском торцовом шлифовании – зависимости (7). Как видно, во

втором случае скорость $V_{рез}$ меньше, чем в первом. Это свидетельствует о том, что при плоском шлифовании торцом круга реализуются меньшие значения $V_{рез}$ и соответственно z , что предполагает уменьшение температуры шлифования θ , определяемой зависимостью (1).

Уменьшение относительной величины температуры z , как показано в наших работах [4, 5], связано с увеличением доли тепла, уходящего в обрабатываемую деталь. При этом существенно увеличивается глубина проникновения температуры в поверхностный слой обрабатываемой детали. Следовательно, при плоском шлифовании торцом круга появляется возможность уменьшения величины z и температуры шлифования θ по сравнению с плоским шлифованием периферией круга. В последнем случае скорость $V_{рез}$, исходя из зависимости (4), опишется:

$$V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} \quad (8)$$

Для количественной оценки двух рассматриваемых схем шлифования сравним зависимости (7) и (8) при следующих исходных данных: $t=0,01$ мм; $V_{дет}=6$ м/мин; $B=10$ мм; $R_{кр}=200$ мм. В результате выполненных расчетов установлено, что при плоском шлифовании торцом круга $V_{рез}=6$ мм/мин, а при плоском шлифовании периферией круга $V_{рез}=30$ мм/мин. При шлифовании твердого сплава Т15К6 (коэффициент температуропроводности $a = \lambda / c \cdot \rho = 19 \cdot 10^{-6}$ м²/с) относительная величина температуры z , исходя из уравнения (2), в первом случае равна $z=0,008$, а во втором случае – $z=0,02$, т.е. плоское шлифование торцом круга обеспечивает уменьшение $V_{рез}$ и z .

Как видно, величина z принимает весьма малые значения, тогда как множитель $\sigma / c \cdot \rho$ в зависимости (1), определяющий максимальную температуру шлифования, принимает весьма большие значения, превышающие 10000⁰С. Например, установлено, что при торцовом шлифовании твердого сплава Т15К6 условное напряжение резания σ принимает значения $(15 \dots 50) \cdot 10^3$ кгс/мм², что до 100 раз превосходит предел прочности на сжатие твердого сплава (390 кгс/мм²). Тогда с учетом $c=175,9$ Дж/(кг·К) и $\rho=15 \cdot 10^3$ кг/м³ отношение $\sigma / c \cdot \rho = (50 \dots 120) \cdot 10^3$ К. В результате произведение множителей $\sigma / c \cdot \rho$ и z , определяющее в соответствии с зависимостью (1) реальную температуру шлифования θ , изменяется в относительно небольших пределах, как правило, не превышающих 1000⁰С. Чем меньше при этом величина z , т.е. чем больше тепла уходит в обрабатываемую деталь, тем меньше температура шлифования θ .

Необходимо отметить, что при плоском шлифовании торцом круга применяются меньшие значения $V_{дет}=1 \dots 6$ м/мин, чем при плоском шлифовании периферией круга $V_{дет}=1 \dots 30$ м/мин, что связано со стремлением уменьшить температуру шлифования и повысить качество обработки. Добиться уменьшения скорости $V_{рез}$ и соответственно z и θ

можно, применяя схему плоского торцового шлифования с радиальной подачей, равной $V_{рез}$, т.е. при $V_{дет} = 0$. Как установлено исследованиями, ее эффективно выполнять с фиксированным радиальным усилием (по упругой схеме), обеспечивая таким путем более полное использование режущих свойств круга. Данная схема шлифования получила применение при заточке инструментов алмазными кругами. Линейная скорость съема металла, равная $V_{рез}$, в этом случае не большая, как правило, не превышает 1 мм/мин. Соответственно, $z < 0,01$, т.е. фактически все тепло, выделяющееся при шлифовании, уходит в обрабатываемую деталь. В образующиеся стружки уходит небольшая доля тепла. Таким образом, проведенный анализ позволил определить, как на практике решается вопрос снижения температуры шлифования. Установлено, что основной тенденцией является уменьшение скорости $V_{рез}$ и величины z за счет отвода основной части образующегося тепла в обрабатываемую деталь. В частности, на этой основе разработаны процессы заточки и доводки инструментов, обеспечивающие высокое качество обработки. Снижение температуры шлифования в данном случае происходит путем нагрева фактически всего объема заготовки, что в конечном итоге исключает появление температурных дефектов обработки. Важным условием при этом является уменьшение интенсивности трения круга с обрабатываемым материалом, т.е. уменьшение условного напряжения резания σ , определяющего в зависимости (1) максимальную температуру шлифования $\sigma / c \cdot \rho$. Для этого эффективно, например, применение методов электрофизикохимической правки алмазных кругов на металлических связках. Чем значительнее уменьшение σ , тем больше возможностей увеличения скорости $V_{рез}$ и производительности обработки при обеспечении заданной температуры шлифования и соответственно требуемого качества обрабатываемых поверхностей.

Список литературных источников

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
4. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.

5. Новиков Ф.В., Рябенков И.А. Теоретический анализ условий повышения качества обработки по температурному критерию // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ. – 2007. – Вип. 61. – С. 164-171.