

УДК 621.923

Ф.В. Новиков, профессор, д-р техн. наук,

В.В. Нежебовский,

А.Н. Ковальчук, канд. техн. наук

Харьковский национальный экономический университет

пр. Ленина, 9а, г. Харьков, Украина, 61001

fokusnic1@rambler.ru

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ

Уменьшение температуры и градиента в формируемом поверхностном слое рассматриваются как условия повышения качества механической обработки. Исходя из этого, теоретически обоснованы пути улучшения качества финишного зубошлифования.

Ключевые слова: зубошлифование, тепловой поток, градиент температуры, обработанная поверхность, управление качеством.

Шлифование зубчатых колес является одним из наиболее сложных и ответственных видов шлифования. Зачастую при зубошлифовании на обрабатываемых поверхностях образуются различного рода температурные дефекты: прижоги, микротрещины и т.д. [1]. Для их исключения и соответственно повышения качества обработки применяется шлифование прерывистыми и импрегнированными кругами, используются эффективные технологические среды, оптимальные режимы шлифования [2]. Вместе с тем, для выработки научно обоснованных рекомендаций по управлению теплонапряженностью шлифования важно знать общие закономерности формирования параметров теплового процесса при шлифовании. Как известно, появление прижогов на обрабатываемых поверхностях связано с высокой температурой шлифования, а микротрещин – с высоким градиентом температуры. Поэтому целью работы является определение условий повышения качества обработки по двум критериям, связанным с уменьшением температуры шлифования и градиента температуры.

Для исследования температуры шлифования θ и глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали l_2 воспользуемся теоретическими решениями, приведенными в работах [3, 4], применительно к шлифованию прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга с постоянной скоростью $V_{рез}$ (рисунок 1):

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot \tau = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot V_{рез} \cdot l_1; \quad (1)$$

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \frac{l_1}{V_{рез}}, \quad (2)$$

где $q = \sigma \cdot V_{рез}$ – плотность теплового потока, Вт/м²; σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоемкость обработки, Дж/м³); τ – время обработки, с; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);

ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; l_1 – толщина слоя снятого материала, м.

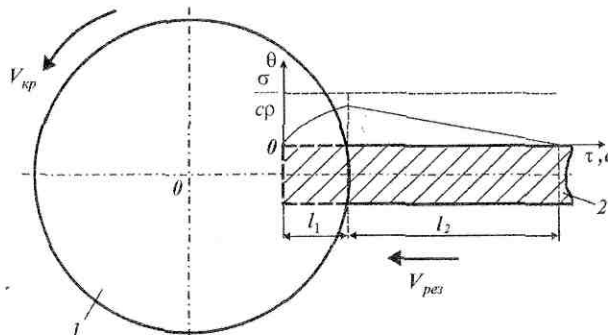


Рисунок 1 – Расчетная схема процесса шлифования прямолинейного образца, движущегося по нормали к рабочей поверхности круга: 1 – круг; 2 – образец

Как следует из зависимости (1), уменьшить температуру шлифования θ можно уменьшением параметров σ , $V_{рез}$ и l_1 , а глубину проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали l_2 – уменьшением l_1 и увеличением $V_{рез}$. Очевидно, для того чтобы уменьшить параметр l_1 необходимо периодически прерывать процесс шлифования с целью охлаждения обрабатываемой детали, удаляя, таким образом, припуск по частям. Толщину снимаемого припуска l_1 при этом следует стремиться устанавливать равной глубине проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали l_2 . В этом случае нарушенный в результате теплового воздействия на предыдущем переходе поверхностный слой материала l_2 будет полностью удален на последующем переходе, что позволит гарантированно обеспечить бездефектную высококачественную обработку. Учитывая важность данного условия, проведем его анализ:

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \cdot \lambda} \cdot V_{рез} \cdot l_1} \quad (3)$$

Из зависимости (3) следует, что отношение l_1/l_2 , так же как и температура шлифования θ , вполне однозначно определяется произведением параметров $V_{рез} \cdot l_1$. Поэтому, подставляя зависимость (3) в (1), установим связь между температурой шлифования θ и отношением l_1/l_2 :

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (4)$$

Температура шлифования θ тем больше, чем больше условное напряжение резания σ и отношение l_1/l_2 . Из этого вытекает, что уменьшение температуры шлифования θ обусловлено увеличением глубины проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали l_2 при заданной величине l_1 .

Расчетами установлено, что отношение l_1/l_2 может изменяться в широких пределах (0...1). При условии $l_1/l_2 \rightarrow 1$ температура шлифования θ принимает относительно большие значения, превышающие, как правило, температуру плавления обрабатываемого металла. В этих условиях добиться требуемой температуры шлифования θ , обеспечивающей бездефектную обработку, можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания σ путем снижения интенсивности трения в зоне шлифования и повышения режущей способности круга. Если это возможно, то можно реализовать условие $l_1/l_2 \rightarrow 1$, а если невозможно, то отношение $l_1/l_2 < 1$ и нарушенный на предыдущем переходе поверхностный слой обрабатываемой детали нельзя будет устранить на последующем переходе, что создает объективные предпосылки для образования на обрабатываемой поверхности температурных дефектов.

Данная закономерность остается справедливой и для других схем шлифования – плоского и круглого наружного. Так, при плоском шлифовании торцом круга параметр l_1 равен глубине шлифования t , а скорость $V_{рез} = t/\tau$, где $\tau = B/V_{дем}$ – время контакта круга с элементарным адиабатическим стержнем, которым условно может быть представлен снимаемый припуск (рисунок 2), с; B – длина рабочей части круга (длина контакта круга с деталью), м; $V_{дем}$ – скорость детали, м/с. Тогда $V_{рез} = t \cdot V_{дем} / B$ и соответственно отношение l_1/l_2 , определяемое зависимостью (3), выразится

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{2 \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{y0}} \quad (5)$$

где $Q_{y0} = t \cdot V_{дем}$ – удельная производительность обработки, м²/с.

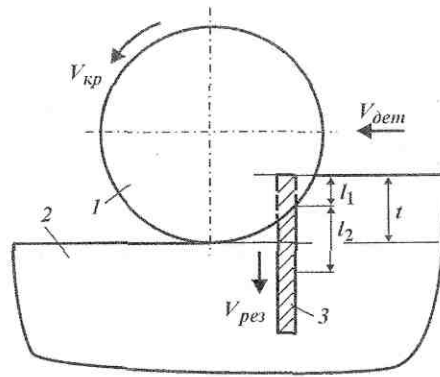


Рисунок 2 – Расчетная схема плоского шлифования:
1 – круг; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – адиабатический стержень

Как видно, увеличить отношение $l_1/l_2 \rightarrow 1$ можно увеличением параметров t , Q_{y0} и уменьшением B . В этом случае увеличивается вероятность удаления на последующем переходе поверхностного слоя материала, подвергнутого температурному воздействию на предыдущем переходе, и соответственно появляется возможность повышения качества обработки. Однако при этом, исходя из преобразованной зависимости (1)

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{y0}}, \quad (6)$$

увеличивается температура шлифования θ , что требует изыскания путей уменьшения условного напряжения резания σ . Таким образом, показано, что во сколько раз увеличивается отношение l_1/l_2 , во столько же раз увеличивается и температура шлифования θ , а это нежелательно. Следовательно, единственно возможным путем обеспечения одновременного увеличения отношения l_1/l_2 и уменьшения температуры шлифования θ является уменьшение условного напряжения резания σ . Других вариантов не существует. Поэтому в тех случаях, когда температура шлифования θ принимает относительно небольшие значения при условии $l_1/l_2 \rightarrow 1$, условное напряжение резания σ не является определяющим фактором образования температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях. Если же температура шлифования θ значительна (согласно зависимости (6) превышает температуру плавления обрабатываемого металла), то основным путем повышения качества обработки на основе температурного критерия следует рассматривать уменьшение σ .

При плоском шлифовании периферией круга параметр B принимает меньшие значения, чем при шлифовании торцом круга. В этом случае отношение l_1/l_2 и температура шлифования θ больше и поэтому необходимо в большей мере добиваться уменьшения σ .

При шлифовании относительно хрупких материалов, например, твердых сплавов, на обрабатываемых поверхностях образуются микротрещины, а также происходит растрескивание материала. Причиной тому является не высокая температура, а высокий градиент температуры, который с физической точки зрения равен $grad\theta = \theta/l_2$. Применительно к схеме шлифования, показанной на рисунке 1, с учетом зависимостей (1) и (2)

$$grad\theta = \sigma \cdot \frac{V_{рез}}{\lambda} = \frac{q}{\lambda}. \quad (7)$$

Как видно, понизить $grad\theta$ можно уменьшением параметров σ и $V_{рез}$, что соответствует уменьшению плотности теплового потока $q = \sigma \cdot V_{рез}$. Сравнивая зависимости (1) и (7) видно, что они отличаются между собой. Если $grad\theta$ зависит лишь от плотности теплового потока $q = \sigma \cdot V_{рез}$, то температура шлифования θ – как от q , так и от времени контакта τ обрабатываемой детали с кругом. Поэтому, чтобы уменьшить θ и $grad\theta$, необходимо в первую очередь уменьшить плотность теплового потока q , т.к. этот параметр входит линейно в зависимости (1) и (7). Дополнительным условием уменьшения θ , как следует из зависимости (1), является уменьшение времени τ .

При плоском шлифовании торцом круга с учетом зависимостей (5) и (6) $grad\theta$ выражается:

$$\text{grad}\theta = \sigma \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot V_{\text{дет}} \quad (8)$$

В данном случае уменьшить $\text{grad}\theta$ можно уменьшением параметров σ , t , $V_{\text{дет}}$ и увеличением B . Этим можно объяснить то, что при шлифовании твердых сплавов эффективно обработку вести торцом круга, поскольку при шлифовании периферией круга длина его контакта с обрабатываемой деталью значительно меньше. При шлифовании торцом круга, согласно зависимости (1), также уменьшается температура шлифования θ в связи с увеличением параметра B . Таким образом, шлифование торцом круга позволяет одновременно уменьшить температуру шлифования θ и $\text{grad}\theta$, что снижает вероятность появления на обрабатываемых поверхностях прижогов, микротрещин и растрескивания обрабатываемого материала.

Этим доказано, что применяя шлифование торцом круга, можно управлять качеством обработки по двум критериям: исключать образование прижогов за счет уменьшения температуры шлифования θ и исключать образование микротрещин и различного рода растрескивания поверхностного слоя обрабатываемого материала за счет уменьшения $\text{grad}\theta$. Поэтому схему шлифования торцом круга эффективно использовать на операциях шлифования зубчатых колес из закаленных сталей, когда возможно образование на обрабатываемых поверхностях одновременно прижогов и микротрещин. Собственно этим и обусловлено широкое применение данной схемы на операциях зубошлифования с целью повышения качества обработки. Вместе с тем, при моделировании процессов зубошлифования необходимо учитывать динамические и стохастические факторы, которые оказывают существенное влияние на температурные эффекты в зоне контакта, что является перспективой дальнейших исследований в данной области.

Библиографический список использованной литературы

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. — М.: Машиностроение, 1975. — 175 с.
2. Теплофізика механічної обробки: підручник / О.В. Якимов, А.В. Усов, П.Т. Слободяник, Д.В. Юргачов. — Одеса: Астропринт, 2000. — 256 с.
3. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: междунауч. конф., 19-20 апреля 2007 г. — Харьков: ХНПК "ФЭД", 2007. — С. 8-20.
4. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров операций шлифования с учетом ограничений по температуре резания / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Вісник НТУ "ХП": зб. наук. пр. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. — Харків: НТУ "ХП", 2009. — № 2. — С. 45-53.

Поступила в редакцию 10.06.2010 г.

Новіков Ф.В., Нежебовський В.В., Ковальчук О.М. Обґрунтування умов підвищення якості обробки при зубошліфуванні за температурним критерієм

Зменшення температури й градієнта у формованому поверхневому шарі розглядаються як умови підвищення якості механічної обробки. Виходячи із цього, теоретично обґрунтовані шляхи поліпшення якості фінішного зубошліфування.

Ключові слова: зубошліфування, тепловий потік, градієнт температури, оброблена поверхня, управління якістю.

Iovikov F.V., Nejebovskiy V.V., Kovalchuk A.N. Substantiation of conditions of the processing quality improvement at gear grinding by the temperature criterion

Decrease of temperature and gradient in the forming surface layer is considered as conditions of the machining quality increase. Directions of improving the quality of finishing gear grinding are theoretically founded on this basis.

Keywords: gear grinding, heat flow, temperature gradient, machined surface, quality control.