

УДК 621.923

И.В. ГЕРШИКОВ, инж. ЗАО “Азовский машиностроительный завод”,
Бердянск

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ КОНУСНЫМ КРУГОМ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ

Теоретически обоснована и практически подтверждена эффективность применения конусного круга при зубошлифовании по методу профильного копирования (глубинного шлифования) с точки зрения уменьшения температуры резания

Ключевые слова: глубинное шлифование, абразивный круг, температура шлифования, производительность обработки

Введение. Перспективность применения глубинного шлифования как высокопроизводительного метода механической обработки, обеспечивающего высокое качество обрабатываемых поверхностей деталей, доказана многочисленными исследованиями и практикой его использования на различных операциях. Особенно эффективным оказалось его применение на операциях зубошлифования высокопористыми абразивными кругами по методу копирования, когда съем припуска производится за один или несколько проходов круга. В этом случае производительность обработки увеличивается в несколько раз по сравнению с традиционно применяемыми схемами зубошлифования по методу обката. Вместе с тем, применение метода копирования не гарантирует высококачественной обработки в связи с возможностью появления на обрабатываемых поверхностях зубчатых колес прижогов и других температурных дефектов. Это может быть связано со съемом значительных неравномерных припусков зубьев колес, низкой режущей способностью круга, применением повышенных режимов шлифования и т.д. Поэтому изыскание условий обработки, гарантированно обеспечивающих бездефектное шлифование зубчатых колес, является важной и актуальной задачей.

Анализ основных достижений и литературы. В работе [1, 2] проведен теоретический анализ условий уменьшения температура при глубинном шлифовании. Однако решения получены применительно к круглому наружному шлифованию периферией круга, тогда как при зубошлифовании в резании участвует и торцовая поверхность круга. В работе [3] приведены аналитические зависимости для определения температуры шлифования, которые позволяют по-новому раскрыть закономерности формирования температуры при глубинном шлифовании и требуют дальнейших исследований.

Цель исследования, постановка задачи. Целью работы является обоснование путей уменьшения температуры шлифования при заданной производительности обработки на операциях зубошлифования по методу копирования, реализующего условия глубинного шлифования. Задача состоит в аналитическом описании температуры шлифования как периферийной, так и торцовой поверхностями круга, что характерно для процесса зубошлифования.

Материалы исследований. Работами американского инженера Вернера Г. [4] экспериментально установлена экстремальная зависимость температуры шлифования периферией круга от глубины шлифования t при заданной производительности обработки Q (рис. 1). Постоянство производительности обработки достигалось за счет пропорционального уменьшения скорости детали $V_{дет}$ с увеличением t по зависимости $V_{дет} = Q/(B \cdot t)$, где B – ширина шлифования, м. Для обоснования данной закономерности автором работы совместно с к.т.н. Андилахаем В.А. уточнена аналитическая зависимость для определения температуры шлифования θ (температуры поверхностного слоя детали), которая была впервые получена Новиковым Ф.В. и Кленовым О.С.:

$$\theta = \frac{0,96 \cdot \sigma}{\lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}} \cdot \left(1,088 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \sqrt{R_{кр} \cdot t \cdot Q_{y\delta}} - \sqrt{t \cdot Q_{y\delta}} \right), \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²;

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К;

c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);

ρ – плотность материала, кг/м³;

$R_{кр}$ – радиус шлифовального круга, м;

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

Как установлено расчетами, температура шлифования θ имеет экстремум (максимум) от переменной величины $\sqrt{t \cdot Q_{y\delta}}$ (рис. 2). Исходя из этого, уменьшить температуру шлифования θ можно за счет осуществления многопроходного или глубинного шлифования. Экстремальные значения температуры шлифования θ и переменной величины $\sqrt{t \cdot Q_{y\delta}}$ определяются:

$$\left(\sqrt{t \cdot Q_{y\delta}} \right)_{экстр} = \frac{0,25 \cdot \lambda \cdot \sqrt{R_{кр}}}{c \cdot \rho}; \quad (2)$$

$$\theta_{max} = \frac{0,25 \cdot \sigma}{c \cdot \rho}. \quad (3)$$

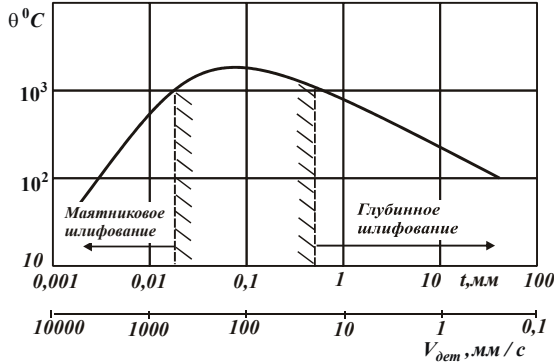


Рис. 1 – Зависимость температуры шлифования θ от глубины шлифования t (скорости детали $V_{дет}$)

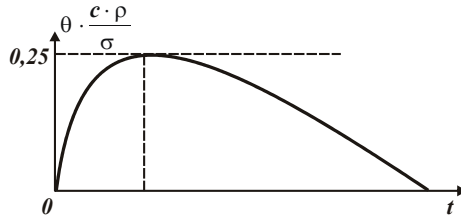


Рис. 2 – Зависимость безразмерной величины $\theta \cdot \frac{c \cdot \rho}{\sigma}$ от глубины шлифования t

Следовательно, максимальная температура шлифования θ_{max} однозначно определяется условным напряжением резания σ , а переменная величина $\sqrt{t} \cdot Q_{y0}$ - коэффициентом температуропроводности обрабатываемого материала $a = \lambda / (c \cdot \rho)$ и радиусом шлифовального круга R_{xp} . Как известно, при шлифовании условное напряжение резания σ может изменяться в широких пределах, до 10 и более раз превышая предел прочности обрабатываемого материала на сжатие. Это вытекает также из аналитической зависимости, полученной применительно к процессу микрорезания единичным зерном в форме шара [5]:

$$\sigma = \cos(\gamma + \psi) \cdot \cos \alpha_0 \cdot \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{[1 - \sin(\alpha_0 + \gamma + \psi)]}, \quad (4)$$

где α_0 – угол входа абразивного зерна в обрабатываемый материал;
 γ – отрицательный передний угол режущего абразивного зерна;

ψ – условный угол трения абразивного зерна с материалом;

$\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м².

При условии $(\alpha_0 + \gamma + \psi) = 90^\circ$ условное напряжение резания $\sigma \rightarrow \infty$. В этом случае процесс резания (стружкообразование) отсутствует, имеет место лишь процесс пластического деформирования материала. Следовательно, уменьшить условное напряжение резания σ и соответственно максимальную температуру шлифования θ_{max} можно уменьшением углов α_0 , γ , ψ . При микрорезании единичным зерном отрицательный передний угол зерна γ может принимать значения 45° и более, а угол ψ – значения 30° и выше. В результате сумма углов $(\gamma + \psi) \rightarrow 90^\circ$ и процесс резания (стружкообразования) возможен лишь при весьма малых значениях угла α_0 , т.е. фактически при резании с постоянной толщиной среза. В противном случае будет иметь место процесс пластического деформирования материала без образования стружки, сопровождающийся интенсивным трением зерна с материалом. Этим показано, что в общем случае, согласно зависимости (4), условное напряжение резания σ может многократно превышать предел прочности на сжатие обрабатываемого материала $\sigma_{сж} \approx 2\tau_{сдв}$, что связано с большими углами γ и ψ .

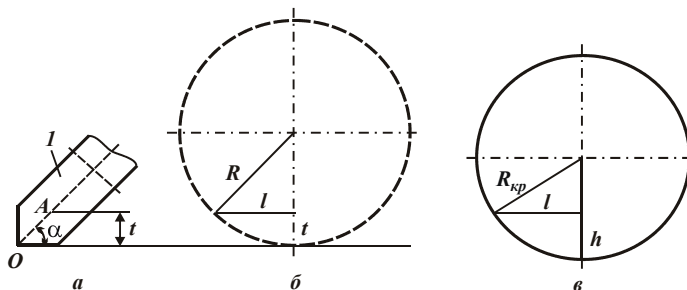


Рис. 3 – Расчетные схемы шлифования конусным кругом 1:

а – углом при вершине 2α ; б, в – в плоскости, проведенной перпендикулярно плоскости шлифования.

Результаты исследований. Исходя из зависимостей (2) и (3), увеличить удельную производительность обработки $Q_{уд}$ при одинаковой максимальной температуре шлифования θ_{max} можно увеличением радиуса шлифовального круга $R_{кр}$. Очевидно, в пределе $R_{кр} \rightarrow \infty$ (при переходе от шлифования периферией круга к шлифованию торцом круга). Однако, в этом случае зависимость для определения температуры шлифования будет иной, т.к. зависимость (1) получена для схемы круглого наружного шлифования периферией круга, когда габариты шлифовального круга ограничены.

Поэтому на практике вопрос увеличения $R_{кр}$ решается путем создания на круге конусной части с углом при вершине 2α (рис. 3,а). В этом случае приведенный (условный) радиус круга R в плоскости, проведенной перпендикулярно плоскости шлифования, будет отличаться от радиуса круга $R_{кр}$ в плоскости, проведенной под углом α к плоскости шлифования. Это вытекает из уравнения $(R-t)^2 = R^2 - t^2$ (рис. 3,б), разрешая которое относительно R , получим:

$$R = \frac{(t^2 + l^2)}{2 \cdot t} \approx \frac{l^2}{2 \cdot t}. \quad (5)$$

Умножим числитель и знаменатель зависимости (5) на величину h , равную "условной" глубине шлифования ОА в плоскости, проведенной под углом α к плоскости шлифования (рис. 3,а):

$$R = \frac{l^2}{2 \cdot t} \cdot \frac{h}{h} = \frac{l^2}{2 \cdot h} \cdot \frac{h}{t}. \quad (6)$$

В этом случае расчетная схема, приведенная на рис. 3,б, трансформируется в расчетную схему, приведенную на рис. 3,в. Для нее справедлива преобразованная зависимость (5):

$$R = \frac{l^2}{2 \cdot h}. \quad (7)$$

Для обеих схем величина l остается постоянной. Тогда, подставляя зависимость (7) в (6) с учетом $t/h = \sin \alpha$ (рис. 3,а), получим

$$R = R_{кр} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}. \quad (8)$$

Как видно, приведенный (условный) радиус круга R всегда больше радиуса круга $R_{кр}$. При условии $\alpha \rightarrow 0$, имеем $R \rightarrow \infty$. Таким образом, аналитически доказано, что создание на периферии круга конуса с углом при вершине 2α приводит к увеличению R , что создает объективные предпосылки уменьшения температуры шлифования θ .

Полученные теоретические результаты использованы для совершенствования операций зубошлифования на основе применения метода профильного копирования, реализующего схему глубинного шлифования конусным кругом. Для снижения условного напряжения резания σ применены высокопористые абразивные круги, обеспечивающие свободное размещение образующихся стружек в межзеренном пространстве и снижающие трение связи с обрабатываемым материалом. В результате съем припуска (до 0,5 мм на сторону) производится за 2-3 прохода круга, т.е. обработка производится с

глубиной шлифования 0,15...0,2 мм, что позволяет в несколько раз повысить производительность обработки по сравнению с процессом зубошлифования, осуществляемым по схеме обката (многопроходного шлифования). При этом на обрабатываемых поверхностях отсутствуют прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты, которые имели место при многопроходном шлифовании. В конечном итоге это обеспечивает повышение качества обработки и ресурса работы зубчатого колеса.

Выводы. В работе обоснована возможность уменьшения температуры шлифования на операции зубошлифования по методу профильного копирования (с использованием схемы глубинного шлифования) за счет применения конусного круга. Эффект обработки достигается в результате существенного увеличения приведенного (условного) радиуса круга. Теоретические решения положены в основу создания высокопроизводительных операций зубошлифования, обеспечивающих повышение производительности обработки в 5 раз при высоком качестве обрабатываемых поверхностей.

Список литературы: 1. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С.С. Силин, В.А. Хрульков, А.В. Лобанов, Н.С. Рыкунов. – М.: Машиностроение, 1984. – 62 с. 2. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с. 3. Новиков Ф.В. Повышение качества и производительности обработки на операциях зубошлифования зубчатых колес приводов шахтных конвейеров / Ф.В. Новиков, А.Н. Ковальчук, В.В. Нежебовский // Труды 17-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2011. – С. 3-13. 4. Werner G. Technologische und Konstruktive Voraussetzungen für das Tiefschleifen / G. Werner. – "Werkstattstechnik", 1979, Nr. 10. s. 613-620. 5. Новиков Ф.В. Теоретический анализ параметров силовой напряженности струйно-абразивной обработки / Ф.В. Новиков, А.А. Андихай // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Випуск 7 (166). – С. 46-53.

Поступила в редколлегию 4.10.2012г.

УДК 519.2

Оценка технологических возможностей глубинного шлифования конусным кругом по температурному критерию / И. В. Гершиков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.36-41. – Бібліогр.: 5 назв.

Теоретично обґрунтована й практично підтверджена ефективність застосування конусного круга при зубошліфуванні за методом профільного копіювання (глибинного шліфування) з погляду зменшення температури різання

Ключові слова: глибинне шліфування, абразивний круг, температура шліфування, продуктивність обробки

Theoretically grounded and practically confirmed the effectiveness of the conetion circle with tooth-grinding method of profile copy (deep grinding) from the point of view of reducing the cutting temperature

Keywords: deep grinding, grinding wheel, grinding temperature, processing performance