

УДК 621.923

Ф.В. Новиков

Харьковский национальный экономический университет (Украина)

А.Н. Ковальчук, В.В. Нежебовский

ОАО Харьковский машиностроительный завод "Свет шахтера" (Украина)

Определение оптимальных режимов резания при зубошлифовании с учетом ограничения по температуре шлифования

Произведен расчет режимов резания при зубошлифовании по температурному критерию. Даны практические рекомендации

Одним из основных недостатков процесса шлифования является высокая вероятность образования на обрабатываемых поверхностях прижогов, снижающих эксплуатационные свойства обработанной детали [1,2]. Существует множество технологических приемов, исключающих образование температурных дефектов. Однако на практике ограничиваются в основном снижением режимов резания, что ведет к уменьшению производительности обработки. Поэтому важно знать условия обработки, позволяющие обеспечить требуемую температуру шлифования и максимально возможную производительность обработки. В основу решения положена зависимость для определения температуры резания при шлифовании торцом круга [3]:

$$\theta = \sigma \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{t}{B} \cdot Q_{y\partial}}, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; τ – время обработки, с; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; B – длина контакта круга с материалом (длина теплового источника), м; $Q_{y\partial} = t \cdot V_{\partial em}$ – удельная производительность обработки, м³/(с·м); t – глубина шлифования, м; $V_{\partial em}$ – скорость детали, м/с.

Как видно, уменьшить θ при одной производительности обработки можно уменьшением t , т.е. увеличивая количество проходов круга при съеме заданного припуска P . Однако, с увеличением коли-

чества проходов возрастает доля вспомогательного времени, связанного с реверсированием стола станка. Поэтому должно быть оптимальное количество проходов круга n , при котором штучное время обработки принимает минимальное значение. Для решения оптимизационной задачи в качестве целевой функции рассмотрим штучное время обработки $T_{шт}$, представляя его как сумму основного $T_{осн}$ и вспомогательного $T_{всп}$ времени обработки на операции зубошлифования:

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{всп} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot (\tau_{осн} + \tau_{всп}), \quad (2)$$

где $T_{осн} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{осн}$; $T_{всп} = 2 \cdot z \cdot n \cdot k \cdot \tau_{всп}$; z – количество зубьев; k – количество двойных возвратно-поступательных движений круга вдоль обрабатываемого зуба за один проход; $\tau_{осн} = L / V_{дет}$ и $\tau_{всп}$ – основное и вспомогательное время обработки за один двойной ход круга, с; L – длина продольного хода круга, м.

Коэффициент 2 в (2) учитывает обработку зуба с двух сторон. Скорость детали $V_{дет}$ установим из условия обеспечения заданной температуры θ на основе (1). Разрешая (1) с учетом $t = \Pi / n$, имеем

$$V_{дет} = \left(\frac{\theta}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot B \cdot n^2}{2 \cdot \Pi^2}. \quad (3)$$

Подставим зависимость (3) в (2):

$$T_{шт} = 2 \cdot z \cdot k \cdot \left[\left(\frac{\sigma}{\theta} \right)^2 \cdot \frac{2 \cdot \Pi^2 \cdot L}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot n \cdot B} + \tau_{всп} \cdot n \right]. \quad (4)$$

Как видно, n неоднозначно влияет на $T_{шт}$, т.к. первое слагаемое, определяющее $\tau_{осн}$, уменьшается, а второе слагаемое, определяющее $\tau_{всп}$, увеличивается (рис. 1,а), т.е. имеет место экстремум $T_{шт}$ от n (рис. 1,б). Подчиним (4) необходимому условию экстремума $T'_{шт_n} = 0$:

$$n_{экстр} = \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B \cdot \tau_{всп}}}. \quad (5)$$

Поскольку $T''_{шт_n} > 0$, то имеет место минимум функции $T_{шт}$. Подставляя зависимость (5) в (4), определим минимальное значение $T_{шт}$:

$$T_{шт_{мин}} = 2 \cdot z \cdot k \cdot n_{экстр} \cdot (\tau_{всп} + \tau_{всп}) = 4 \cdot z \cdot k \cdot \frac{\sigma}{\theta} \cdot \Pi \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{L}{B} \cdot \tau_{всп}}. \quad (6)$$

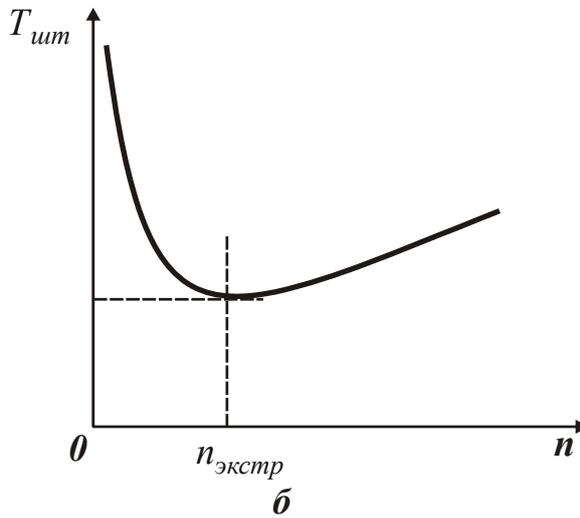
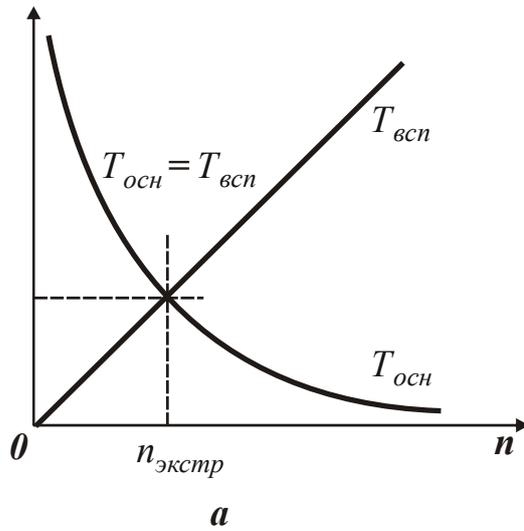


Рис. 1. Зависимости $T_{осн}$, $T_{всп}$ (а) и $T_{шт}$ (б) от n

Как видно, первое и второе слагаемые (6) равны, т.е. равны основное $\tau_{осн}$ и вспомогательное $\tau_{всп}$ время обработки. Уменьшить $T_{штmin}$ можно уменьшением σ , Π , L , $\tau_{всп}$ и увеличением θ и B . Причем, наибольший эффект достигается от уменьшения σ и Π при заданной температуре шлифования θ . Параметры L , B и $T_{всп}$ влияют на $T_{штmin}$ в меньшей степени.

Подставляя зависимость (5) в (3), определим экстремальное значение $V_{дет} = L / \tau_{всп}$. В данном случае $V_{дет}$ тем больше, чем больше L и меньше $\tau_{всп}$. Как видно, $V_{дет}$ не зависит от σ и θ . Варьируя параметрами L и $\tau_{всп}$, можно в широких пределах изменять $V_{дет}$, n и t .

Преобразуем (4) к виду, удобному для анализа. Для этого выразим первое слагаемое зависимости через $n_{экстр}$, определяемое (5):

$$T_{шт} = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{всп} \cdot \left(\frac{n_{экстр}^2}{n} + n \right) = 2 \cdot z \cdot k \cdot \tau_{всп} \cdot \gamma, \quad (7)$$

где $\gamma = \left(\frac{n_{экстр}^2}{n} + n \right)$ – безразмерная величина.

Как следует из рис. 2, с увеличением n величина безразмерная γ изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума. Чем больше $n_{экстр}$, тем больше величина γ , а минимум γ смещается в область больших значений n .

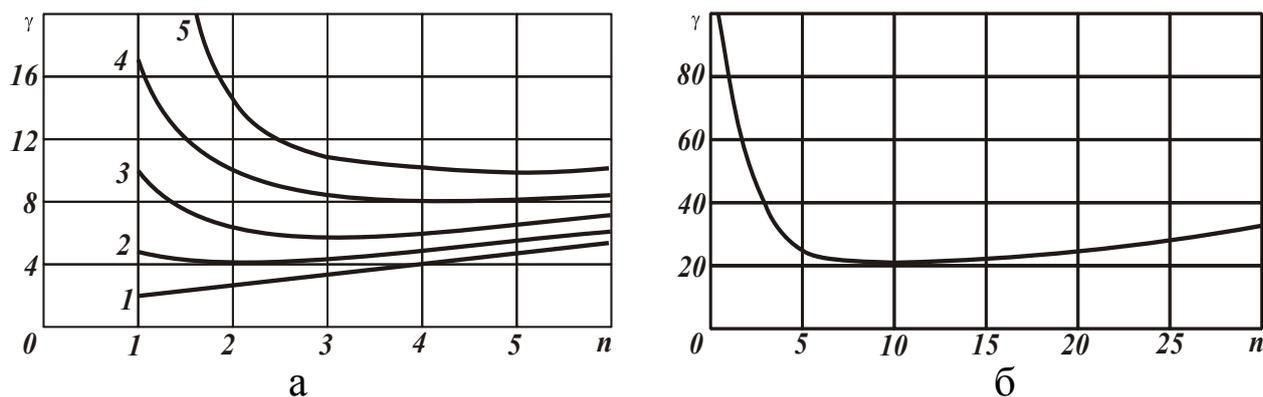


Рис. 2. Зависимость γ от n : а – $1; \dots; 5 - n_{экстр} = 1; \dots; 5$; б – $n_{экстр} = 10$

Используя полученные зависимости, произведем расчет оптимальных условий обработки применительно к плоскому шлифованию твердого сплава ВК8 торцом круга: $\rho = 14,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $c = 40$ кал/(кг·град); $\lambda = 14$ кал/(м·с·град); $\sigma = 10^5$ Н/мм²; $\theta = 1000$ °С; $\Pi = 0,4$ мм; $L = 100$ мм; $B = 30$ мм; $\tau_{всп} = 1$ с. Подставляя исходные данные в зависимости (5), (3) и $t = \Pi / n$, получено: $n_{экстр} = 9$; $V_{дет} = 6$ м/мин; $t = 0,045$ мм. При шлифовании сталей σ будет меньше, поэтому будет меньше n и больше t .

Из рис. 2,б (для $n_{экстр} = 10$) следует, что γ не столь существенно изменяется в диапазоне $n = 5 \dots 20$. Следовательно, съем припуска (для $n_{экстр} = 10$) почти с одинаковой производительностью обработки можно производить за 4 – 20 проходов круга (для $n = 4$ имеем $t = 0,1$ мм). Это свидетельствует об эффективности съема припуска за небольшое количество проходов круга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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. Новиков Ф.В. Оптимизация параметров режима шлифования зубчатых колес / Ф.В. Новиков, В. В. Нежебовский // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2010. – Вып.12. – С.56-62.