

Г.В. НОВИКОВ, канд. техн. наук, науч. сотрудник,
НТК «Эльбор», Харьков;

А.Н.КОВАЛЬЧУК, канд. техн. наук, гл. инженер ОАО ХМЗ «Свет
шахтера», Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Дано теоретичне обґрунтування і здійснено вибір оптимальних умов шліфування по критерію максимально можливої продуктивності обробки

Дано теоретическое обоснование и произведен выбор оптимальных условий шлифования по критерию максимально возможной производительности обработки

The theoretical basis and made the choice of optimal grinding conditions on the criterion of maximum processing performance

Введение. Шлифование является одним из основных методов финишной обработки деталей машин, обеспечивающих высокие показатели качества и точности обрабатываемых поверхностей [1,2]. В особой мере это относится к шлифованию алмазными кругами, которые, благодаря высокой остроте режущих кромок, позволяют существенно уменьшить силы и температуру резания и таким образом повысить качество обработки. Вместе с тем, процессы шлифования характеризуются относительно низкой производительностью обработки, значительно уступающей производительности обработке лезвийным инструментом. Все это требует дальнейшего совершенствования процесса шлифования, особенно в плане интенсификации обработки. **Цель работы** – обоснование и выбор оптимальных условий шлифования по критерию максимально возможной производительности обработки.

Основная часть. Оценку возможностей повышения производительности обработки при шлифовании $Q_{\text{мек}} \tau$ произведем по зависимости, полученной на основе решения уравнения баланса перемещение в технологической системе с учетом начального перемещения y_0 [3, 4]:

$$Q_{\text{мек}} \tau = Q_0 - Q_0 - c \cdot y_0 \cdot \lambda \cdot \exp\left(-\frac{c \cdot \lambda \cdot \tau}{\pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot B}\right), \quad (1)$$

где $Q_0 = B \cdot V_{дет} \cdot t$ – номинальная производительность обработки, м³/с; B – ширина шлифования, м; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; t – глубина шлифования, м; τ – время обработки, с; c – жесткость технологической системы, Н/м; λ – удельная интенсивность съема материала, м³/(с·Н); $D_{дет}$ – диаметр детали, м.

Величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, и радиальная составляющая силы резания P_y определяются зависимостями $y = \frac{\sigma \cdot Q_{тек}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$; $P_y = c \cdot y$, где σ – условное напряжение резания, Н/м² (энергоёмкость обработки); $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_z и P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Как следует из рис. 1, построенного на основе приведенных выше зависимостей, характер изменения параметров $Q_{тек}$, y и P_y с течением времени обработки τ может быть самым разнообразным. Все зависит от величины y_0 . Показанные на рис. 1 величины $y_{уст}$ и $P_{уном}$ определяют установившиеся во времени τ значения величины упругого перемещения y и радиальной составляющей силы резания P_y . При условии $y_{уст} > y_0$ параметры $Q_{тек}$, y и P_y увеличиваются во времени, асимптотически приближаясь соответственно к значениям: Q_0 , $y_{уст}$ и $P_{уном}$. При условии $y_{уст} = y_0$ параметры $Q_{тек}$, y и P_y остаются неизменными с течением времени обработки и принимают соответственно значения Q_0 , $y_{уст}$ и $P_{уном}$. При условии $y_{уст} < y_0$ параметры $Q_{тек}$, y и P_y уменьшаются с течением времени обработки, асимптотически приближаясь соответственно к значениям Q_0 , $y_{уст}$ и $P_{уном}$.

В зависимости от величины y_0 из приведенных выше зависимостей вытекают три принципиальных решения (рис.1): $Q_{тек} > Q_0$; $Q_{тек} = Q_0$; $Q_{тек} < Q_0$. Как видно, увеличить производительность обработки $Q_{тек} > Q_0$

при $y_0 > \frac{Q_0}{c \cdot \lambda}$ можно, реализуя условие $y_0 = \Pi$, где Π – величина снимаемого припуска, м.

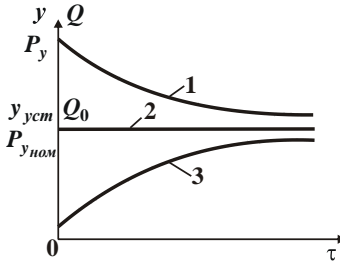


Рисунок 1 – Зависимости производительности обработки $Q_{тек}$, величины упругого перемещения y и радиальной составляющей силы резания P_y от времени обработки

$$\tau : 1 - Q_{тек} > Q_0 ; 2 - Q_{тек} = Q_0 ; 3 - Q_{тек} < Q_0 .$$

При условии $Q_{тек} = Q_0$ будет протекать устойчивый во времени процесс шлифования. Для этого необходимо создать в технологической системе натяг величиной $y_0 = \frac{Q_0}{c \cdot \lambda}$ или обработку вести по упругой схеме с фиксированным радиальным усилием $P_y = Q_0 / \lambda$. Для обеспечения постоянства во времени параметра λ необходимо использовать эффективную правку круга.

Из приведенных зависимостей и рис. 1 следует, что добиться существенного уменьшения параметра y (повышения точности обработки) можно за счет выполнения условия $y_0 > y_{уст} = 0$, т.е. производя обработку по упругой схеме с начальным натягом в технологической системе y_0 . При этом обеспечивается наибольшая производительность обработки $Q_{тек}$. Причем, с увеличением величины y_0 производительность обработки $Q_{тек}$ увеличивается.

Основным условием повышения производительности обработки $Q_{тек} > Q_0$ при условии $y_0 < \frac{Q_0}{c \cdot \lambda}$ является увеличение параметра λ .

Параметр λ , не учитывая трение связки круга с обрабатываемым материалом в процессе шлифования, определяется

$$\lambda = V_{кр} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{\tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{4 \cdot HV \cdot R}\right)^2}, \quad (2)$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $\tau_{сдв}$, HV – соответственно предел прочности на сдвиг и твердость (по Виккерсу) обрабатываемого материала, Н/м²; a_z – толщина среза отдельным зерном круга, м; R – радиус округления режущей части зерна, м.

Из зависимости (2) следует, что увеличить параметр λ можно увеличением скорости круга $V_{кр}$ и соотношения a_z/R . Чем больше $\tau_{сдв}$ и HV , тем меньше λ и хуже обрабатываемость материала. Твердость материала HV в большей мере влияет на параметр λ , чем прочность материала $\tau_{сдв}$, что хорошо согласуется с практикой шлифования.

С учетом преобразований соотношения a_z/R , зависимость (2) принимает вид

$$\lambda = \frac{2 \cdot V_{кр} \cdot 1 - \eta}{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV}, \quad (3)$$

где $\eta = \sqrt{\frac{0,5\pi \cdot tg^2 \gamma \cdot HV \cdot x^2}{P_{y1}}}$ – безразмерный параметр, определяющий степень затупления зерна, изменяется в пределах 0...1 (для острого зерна $\eta \rightarrow 0$, для затупленного зерна $\eta \rightarrow 1$); 2γ – угол при вершине конусообразного режущего зерна; P_{y1} – радиальная составляющая силы резания, действующая на зерно, Н; x – величина линейного износа зерна, м.

Из зависимости (3) следует, что увеличить параметр λ можно путем уменьшения безразмерного параметра η за счет уменьшения величины x и увеличения P_{y1} , т.е. за счет поддержания в процессе шлифования высокой остроты режущих зерен и применения алмазных кругов из прочных алмазных зерен на металлических связках.

Производительность обработки $Q_{мек} > Q_0$, соответствующая условию $Q_{мек} = Q_0$ (рис. 1), определяется зависимостью

$$Q_{тек} = \frac{2 \cdot V_{кр} \cdot P_y \cdot (1 - \eta)}{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}, \quad (4)$$

где P_y – радиальное усилие, Н (соответствует радиальной составляющей силы резания при шлифовании).

Исходя из зависимости (4), повысить производительность обработки $Q_{тек} > Q_0$ можно увеличением параметров $V_{кр}$, P_y и $(1 - \eta)$, т.е. применением скоростного, силового (глубинного) шлифования, в том числе с непрерывной эффективной правкой круга. Последний фактор играет определяющую роль при шлифовании материалов повышенной твердости, поскольку увеличение параметра HV приводит к уменьшению величины $(1 - \eta)$ и соответственно производительности обработки $Q_{тек} > Q_0$ в соответствии с зависимостью (4).

Из зависимости (4) также следует, что уменьшить P_y при фиксированной производительности обработки $Q_{тек} > Q_0$ можно уменьшением $\eta \rightarrow 0$.

Были определены условия образования микросколов на режущих зернах при шлифовании ($\eta \rightarrow 0$), исходя из зависимости для расчета максимального касательного напряжения, возникающего в зерне

$$\tau_{max} = \frac{16 \cdot P_{y1}}{x^2} \cdot (K_{ш}) \cdot K_{ш}^3, \quad (5)$$

где $K_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot \sigma_{сж}}{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV} \cdot (1 - \eta)}$ – коэффициент шлифования; $\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м².

Произведение $(K_{ш}) \cdot K_{ш}^3$ с увеличением коэффициента шлифования $K_{ш}$ увеличивается, табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения произведения $(K_{ш}) \cdot K_{ш}^3$

$K_{ш}$	0	0,1	0,2	0,3	0,5
$(K_{ш}) \cdot K_{ш}^3$	0	0,00081	0,005	0,013	0,031

Следовательно, по мере износа зерна (увеличение величины X) максимальное касательное напряжение τ_{max} уменьшается, причем, интенсивнее с увеличением твердости обрабатываемого материала HV .

Заключение. Обеспечить увеличение τ_{max} и таким образом протекание устойчивого процесса микроразрушения режущих зерен при шлифовании можно увеличением силы P_{y1} , действующей на зерно, и применением непрерывной правки круга для удаления затупленных зерен с его рабочей поверхности (с предельной величиной X , определяемой из условия $\tau_{max} = \tau_{сдв\ зерна}$). Это особенно важно при шлифовании алмазными кругами на высокопрочных металлических связках, которые работают в режиме затупления и требуют применения периодической или непрерывной правки. В связи с этим, определены условия реализации процесса электроэрозионного алмазного шлифования, исходя из зависимости для расчета температуры образующихся стружек t^0 (на основе закона Джоуля-Ленца):

$$t^0 = \frac{K_1 \cdot U^2}{\rho \cdot c \cdot \rho_{ом} \cdot l \cdot V_{кр}}, \quad (6)$$

где K_1 – тепловой эквивалент работы; U – напряжение технологического тока, В; ρ , c – соответственно плотность и удельная теплоемкость обрабатываемого материала; $\rho_{ом}$ – удельное сопротивление стружки, Ом·мм²/м; l – толщина межэлектродного зазора, м.

В зависимости от величины l возможны три случая:

1) $l > l_{np}$ (где l_{np} – предельное значение межэлектродного зазора). Тогда $t^0 < t_{np}^0$ (где t_{np}^0 – предельное значение температуры, при которой происходит термическое разрушение стружек и металлической связки алмазного круга), т.е. процесс электроэрозии отсутствует. Согласно зависимости (1.48), необходимо увеличить U или уменьшить $V_{кр}$;

2) $l = l_{np}$, тогда $t^0 = t_{np}^0$, что указывает на протекание устойчивого процесса электроэрозии, обеспечивающего термическое разрушение стружек

и металлической связки круга с интенсивностью, достаточной для поддержания его высокой режущей способности;

3) $l < l_{np}$, тогда $t^0 > t_{np}^0$, что указывает на протекание в начальный период интенсивного процесса электроэрозии, который с течением времени ведет к увеличению l , уменьшению t^0 до значения t_{np}^0 и стабилизации l .

В случае автономной электроэрозионной правки алмазного круга [5] температура нагрева поверхностных слоев металлической связки определится

$$t^0 = \frac{K_1 \cdot U^2 \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot \rho_{ом} \cdot l}, \quad (7)$$

где τ – время контакта фиксированной точки круга с правящим электродом (при постоянной силе тока) или время единичного импульса тока.

Увеличить t^0 (до предельного значения) и обеспечить высокую эффективность процесса электроэрозионной правки можно уменьшением l и увеличением U и τ за счет увеличения силы прижатия алмазного круга к правящему электроду и применения источника технологического тока повышенной мощности.

Список литературы: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 5. Грабченко А.И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования. – Харьков: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. – 184 с.

Надійшла до редколегії 31.05.2010