

ГЛУБИННОЕ АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Рябенков И.А., Кленов О.С.
(г. Харьков, Украина)

Произведена оценка технологических возможностей процесса глубинного алмазного шлифования быстрорежущей стали

В последние годы широкое развитие в металлообработке получили методы высокопроизводительного глубинного шлифования. Благодаря возможности съема значительных припусков за один проход круга и существенному увеличению производительности обработки, методы глубинного шлифования стали вполне конкурентноспособными с процессами лезвийной обработки. Так, по многочисленным экспериментальным данным, глубинное шлифование широко используется для создания глубоких пазов, канавок, фасонных поверхностей, при предварительном плоском и круглом наружном шлифовании труднообрабатываемых материалов и т.д.

Особенно эффективно применение глубинного шлифования при обработке деталей из высокопрочных сплавов с припуском 1 – 50 мм. Переход от традиционной технологии обработки таких деталей, основанной на предварительной лезвийной и последующей (окончательной) абразивной обработке, к прогрессивной технологии однопроходного глубинного шлифования позволяет в несколько раз повысить производительность труда при обеспечении высокого качества обработки. Вместе с тем, как показывает многолетняя практика, технологические возможности глубинного шлифования используются неполно. Основной причиной, препятствующей более широкому внедрению глубинного шлифования в производство, является отсутствие теории глубинного шлифования. В настоящее время образовался дисбаланс между теорией и практикой глубинного шлифования. С одной стороны накоплен большой объем экспериментальных данных для частных условий обработки, с другой стороны, отсутствуют обобщенные научно обоснованные рекомендации по назначению режимов резания, характеристик круга и т.д. Поэтому целью настоящей работы является оценка технологических возможностей процесса глубинного шлифования быстрорежущей стали P18 алмазным кругом 1A1 75x6x20x6 ЛКВ 100/80 100%.

В работе [1] показано, что максимальная (приведенная вероятностная) толщина среза H_{max} при плоском шлифовании аналитически описывается зависимостью:

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{dem} \cdot \sqrt{t} \cdot (1 - \eta)^2}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{R_{кр}} \cdot (1 + \eta)}}, \quad (1)$$

где \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация зерен в круге (для 100%-ной концентрации круга $m=100$); γ – половина угла при вершине

конусообразного режущего зерна; V_{dem} , $V_{кр}$ – соответственно скорости детали и круга, м/с; t – глубина шлифования, м; $R_{кр}$ – радиус круга, м; η – безразмерный параметр, учитывающий степень затупления зерен круга ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна).

Используя данную зависимость, установим связь между параметрами процессов многопроходного и глубинного шлифования. Будем считать, что значения параметров \bar{X} , m , γ , η , $V_{кр}$ одинаковы для двух процессов, а значения V_{dem} , t и $R_{кр}$ – различны. Обозначим: V_{dem1} , t_1 , $R_{кр1}$ – для многопроходного шлифования и V_{dem2} , t_2 , $R_{кр2}$ – для глубинного шлифования. Тогда из условия равенства параметра H_{max} для двух процессов, получим:

$$V_{dem1} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{R_{кр1}}} = V_{dem2} \cdot \sqrt{\frac{t_2}{R_{кр2}}} . \quad (2)$$

Откуда

$$V_{dem2} = V_{dem1} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_2} \cdot \frac{R_{кр2}}{R_{кр1}}} . \quad (3)$$

Задавая значения V_{dem1} , t_1 , t_2 , $R_{кр1}$, $R_{кр2}$, по зависимости (3) можно рассчитать скорость детали V_{dem2} при глубинном шлифровании. Пример расчета. Исходные данные: $V_{dem1}=10$ м/мин; $t_1=0,01$ мм; $t_2=1$ мм; $R_{кр1}=150$ мм; $R_{кр2}=37,5$ мм. Подставляя эти значения в зависимость(3), имеем: $V_{dem2}=0,5$ м/мин. Этим показано, что если оптимальными условиями многопроходного шлифования являются указанные выше значения V_{dem1} и t_1 , то при глубинном шлифровании ($t_2=1$ мм) тем же алмазным кругом скорость детали необходимо принимать равной $V_{dem2}=0,5$ м/мин. В данном случае для двух рассматриваемых процессов шлифования максимальная (приведенная вероятностная) толщина среза H_{max} и соответственно нагрузка, действующая на максимально выступающее из связки круга зерно, будут одинаковыми. Следовательно, алмазный круг будет изнашиваться с одной интенсивностью при многопроходном и глубинном шлифровании. При этом удельная производительность обработки $Q_{уд} = V_{dem} \cdot t$ в условиях глубинного шлифования будет в 5 раз больше, чем при многопроходном шлифровании. Собственно, в этом и состоит эффект глубинного шлифования.

Оценим уровень теплонапряженности двух процессов шлифования, используя аналитическую зависимость для определения температуры θ [2]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z , \quad (4)$$

где $\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{ш}}$ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/м² [1];

$\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м²;

$K_{uu} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; z – относительная величина температуры.

Относительная величина температуры z определяется из уравнения:

$$\bar{l}_1 = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{y\partial} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = -\ln(1-z) - z, \quad (5)$$

где \bar{l}_1 – безразмерная величина (рисунок); λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К.

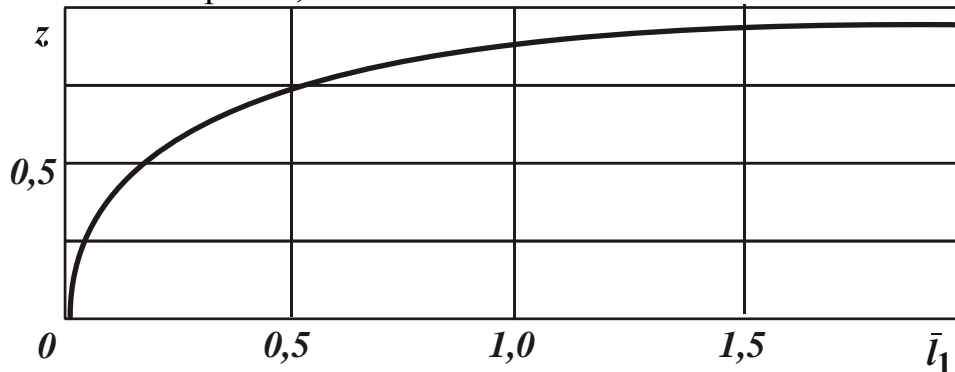


Рисунок – Зависимость z от \bar{l}_1 .

Как следует из рисунка, с увеличением \bar{l}_1 относительная величина температуры z увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. Используя данный график, по известной величине \bar{l}_1 можно установить искомое значение z .

Определим значения \bar{l}_1 и z для многопроходного и глубинного шлифования быстрорежущей стали Р18 ($c=0,09$ кал/(г·град); $\rho=8,6$ г/см³; $\lambda=0,058$ кал/(см·с·град); $\sigma_{сж}=36 \cdot 10^8$ Н/м²). Для многопроходного шлифования $\bar{l}_1=0,012$; для глубинного шлифования $\bar{l}_1=0,128$. Используя рисунок, находим значения z : для многопроходного шлифования $z=0,05$; для глубинного шлифования $z=0,424$. Как видно, значения относительной величины температуры z для многопроходного и глубинного шлифования отличаются существенно. Для глубинного шлифования значение z больше, чем для многопроходного шлифования, и приближается к единице, т.е. к состоянию теплового насыщения поверхностного слоя обрабатываемого материала, определяющего установившийся тепловой процесс при шлифовании.

Очевидно, температура θ , описываемая зависимостью (4) и изменяющаяся по закону изменения z при глубинном шлифовании будет больше, чем при многопроходном шлифовании. Расчетами установлено, что при глубинном шлифовании ($K_{uu}=0,5$) температура $\theta=1868,1^\circ\text{C}$, при многопроходном шлифовании $\theta=220,3^\circ\text{C}$. Уменьшить температуру θ при глубинном шлифовании для указанных параметров $V_{\text{дем}2}, t_2, R_{кр2}$ можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания σ , т.е. за счет увеличения

коэффициента шлифования $K_{ш} = P_z / P_y$. Однако, как известно, коэффициент шлифования изменяется в относительно небольших пределах – 0,1...1,0. Поэтому основной путь уменьшения температуры шлифования – обильное охлаждение зоны обработки. Это обусловлено тем, что зависимость (4) получена с учетом количества тепла, уходящего в стружку и обрабатываемую деталь. Тепло, уходящее в охлаждающую жидкость, в расчетах не учитывалось. Но его укрупнено можно учесть поправочным коэффициентом k_θ . Тогда зависимость (4) примет вид:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z \cdot k_\theta . \quad (6)$$

Чем меньше коэффициент k_θ , т.е. чем меньше тепла уходит в стружку и обрабатываемую деталь и больше – в охлаждающую жидкость, тем меньше будет температура шлифования θ .

С целью проверки теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования процесса вышлифовки канавки глубиной 3,6 мм алмазным кругом 1А1 75х6х20х6 ЛКВ 100/80 100% при изготовлении концевой шестиперой фрезы $\varnothing 24$ мм из быстрорежущей стали Р18 на станке GEMINI. Вышлифовка канавки производилась за четыре прохода круга с параметрами режима шлифования: $V_{дем2}=0,5$ м/мин, $V_{кр}=15,7$ м/с и $t_2=1$ мм при обильном охлаждении зоны обработки (путем распыления охлаждающей жидкости). Однако, как установлено экспериментально, на обрабатываемых поверхностях появлялись прижоги, что свидетельствует о высоком уровне температуры шлифования и достоверности полученных расчетных данных по температуре шлифования θ . Для исключения прижогов и обеспечения высокого качества обработки скорость детали $V_{дем2}$ была уменьшена до значения 0,1 м/мин. В этом случае безразмерная величина \bar{l}_1 уменьшилась до значения 0,0256, а относительная величина температуры z – до значения 0,21. Температура шлифования θ принимает значение 925,3⁰С, что ниже критической температуры, при которой на обрабатываемых поверхностях появляются прижоги. Удельная производительность глубинного и многопроходного шлифования приблизительно равны. В таблице приведены расчетные значения параметров \bar{l}_1 , z и θ для $V_{дем2}=0,05-0,1$ м/мин, т.е. для скоростей детали, при которых гарантированно исключается образование прижогов на обрабатываемых поверхностях.

Таблица

Расчетные значения параметров \bar{l}_1 , z и θ

$V_{дем2}$, м/мин	0,05	0,08	0,1
\bar{l}_1	0,0128	0,02	0,0256
z	0,14	0,19	0,21
θ^0 С	616,8	837,1	925,3

Таким образом показано, что температурный фактор является существенным препятствием реализации высоких технологических возможностей высокопроизводительного алмазного шлифования и требует проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Литература: 1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 2. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Расчет температуры шлифования с учетом движения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 105–111. 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.