

Ф.В.Новиков, докт. техн. наук, В.А.Фадеев, канд.техн. наук, Харьков, Украина

РЕЖУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ

On the basis of theoretical rules(situations) the physical essence of process of grinding and change of cutting ability of diamond circles in time is opened. The conditions of increase of productivity of processing are determined.

В работе [1] показано, что при внутреннем шлифовании твердосплавных изделий эффективно использовать алмазные круги, обеспечивающие высокую размерную стойкость по сравнению с кругами из обычных абразивов. Однако, в процессе шлифования они затупляются, засаливаются и теряют режущую способность (в особенности это относится к алмазным кругам на металлических связках), что ведет к снижению производительности обработки. Для оценки возможностей повышения производительности обработки Q проведем анализ аналитической зависимости [2], полученной для многопроходного шлифования

$$Q = \frac{Q_0}{\left(1 + \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \sigma}{\tau \cdot k_{ш} \cdot c \cdot v_{кр}}\right)}, \quad (1)$$

где Q_0 – номинальная производительность обработки, определяемая режимом шлифования, м³/с; $D_{дет}$, $l_{дет}$ – соответственно диаметр и длина обрабатываемой детали, м; τ – время обработки, с; σ – условное напряжение резания при шлифовании, н/м²; $k_{ш}$ – коэффициент резания при шлифовании; $v_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Знаменатель зависимости (1) больше единицы, поэтому фактическая производительность Q всегда меньше номинальной производительности Q_0 . Знаменатель тем больше, чем больше параметры $D_{дет}$, $l_{дет}$, σ и меньше c , $k_{ш}$, $v_{кр}$, τ . С увеличением времени обработки τ знаменатель уменьшается и приближается к единице, соответственно фактическая производительность обработки Q приближается к номинальной производительности Q_0 . Данная закономерность справедлива при постоянном во времени соотношении $\sigma/k_{ш}$. В реальных условиях шлифования параметры σ и $k_{ш}$ переменны во времени: по мере затупления и засаливания алмазного круга параметр σ увеличивается, а $k_{ш}$ – уменьшается, что ведет к росту соотношения

$\sigma/\kappa_{ш}$. Соответственно знаменатель зависимости (1) увеличивается, а Q – уменьшается. Например, если соотношение $\sigma/\kappa_{ш}$ изменяется по закону $\sigma/\kappa_{ш} = A \cdot \tau$ (где A – размерный коэффициент), то зависимость (1) примет вид

$$Q = \frac{Q_0}{\left(1 + \pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \frac{A}{c \cdot v_{сп}}\right)}, \quad (2)$$

В данном случае производительность обработки Q постоянна во времени и меньше номинального значения Q_0 . Увеличить Q можно увеличением Q_0 , c , $v_{кр}$.

В общем случае соотношение $\sigma/\kappa_{ш}$ определяется [3]

$$\frac{\sigma}{\kappa_{ш}} = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{2 \cdot (1 - \eta)} = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{2 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{0,5 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot HV \cdot x^2}{F_{yl}}}\right)}, \quad (3)$$

где γ – половина угла при вершине конусообразного зерна; HV – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), н/м²; x – величина линейного износа зерна, м; F_{yl} – радиальная составляющая силы резания, действующей на отдельное зерно круга, н; η – безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерна, изменяется в пределах 0...1 ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна).

Уменьшить соотношение $\sigma/\kappa_{ш}$, исходя из зависимости (1), можно уменьшением x и увеличением F_{yl} . С увеличением твердости обрабатываемого материала HV соотношение $\sigma/\kappa_{ш}$ существенно увеличивается (за счет знаменателя). Уменьшение x достигается реализацией режима самозатачивания алмазного круга на относительно малопрочных связках (органических и керамических). Однако, при этом уменьшается сила F_{yl} , удерживающая зерно в связке. Увеличить F_{yl} можно применением алмазных кругов на металлических связках, обеспечивая одновременно поддержание на круге «острого» режущего рельефа за счет применения электрофизикохимических методов правки, т.е. обеспечивая поддержание в процессе шлифования небольшого значения x . Это позволит уменьшить η , $\sigma/\kappa_{ш}$ и увеличить Q .

На основе приведенных теоретических зависимостей проанализируем экспериментальные данные, полученные при внутреннем врезном алмазном шлифовании вставок из твердого сплава ВК-15. Установлено, что при шлифовании

алмазным кругом на керамической связке К1 производительность обработки Q во времени стабилизируется, а при шлифовании алмазными кругами на органической (В2-01) и металлической (М2-01) связках - непрерывно уменьшается. Исходя из зависимости (3), это обусловлено тем, что алмазный круг на керамической связке обеспечивает постоянство во времени величины η , тогда как алмазные круги на органической и керамической связках затупляются и увеличивают $\eta \rightarrow 1$ и соответственно $\sigma_{кш}$. Так, за 8 минут шлифования кругом на металлической связке производительность уменьшилась более чем в 5 раз при $S_{нон} = 0,1$ мм/мин. Применение непрерывной электроэрозионной правки круга (при силе тока 30 А) позволяет стабилизировать во времени производительность обработки Q .

Зависимость (3) явно не содержит параметры режима шлифования, что ограничивает ее практическое использование. Выразим величину η через параметры шлифования [2]

$$\Phi = \frac{(1 - \eta^2)}{\eta^3} = \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot x^3}, \quad (4)$$

где \bar{x} - зернистость круга, м; m - объемная концентрация зерен в круге; $V_{дет}$, $V_{кр}$ - скорости детали и круга, м/с; t - глубина шлифования, м;

$$\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}; R_{кр}, R_{дет} - \text{радиусы круга и детали, м.}$$

Приведено уравнение для определения коэффициента η . Расчет ведется численным методом. Нетрудно видеть, что с увеличением η от 0 до 1 данная функция Φ уменьшается от бесконечности до нуля. Следовательно, для выполнения условия $\eta \rightarrow 0$ (обеспечивающего наибольшую производительность обработки) необходимо в соответствии с уравнением (4) увеличить параметры \bar{x} , $V_{дет}$, t , ρ и уменьшить m , $V_{кр}$, x . Очевидно, основным параметром, выполняющим условие $\eta \rightarrow 0$, является величина линейного износа зерна x , входящая в правую часть уравнения (4) с наибольшей степенью. При $x \rightarrow 0$ справедливо $\eta \rightarrow 0$. Зернистость круга \bar{x} также входит в третьей степени, однако пределы варьирования \bar{x} значительно меньше (чем x) и выполнить условие $\bar{x} \rightarrow 0$ нельзя.

При условии постоянства во времени величины x , коэффициент η , соотношение $\sigma_{кш}$ и производительность обработки Q будут также постоянны во времени, а $Q \approx$

Q_0 . При несущественном увеличении во времени величины x , коэффициент η , исходя из зависимости (3), будут увеличиваться, а знаменатель зависимости (1) и фактическая производительность обработки Q будут оставаться постоянными. Однако Q всегда меньше Q_0 , что хорошо согласуется с экспериментальными данными. При существенном увеличении x с течением времени обработки соотношение $\sigma_{кш}$ увеличивается с большей интенсивностью, чем входящий в зависимость (1) параметр τ . В результате знаменатель зависимости (1) увеличивается, а производительность Q уменьшается.

Очевидно, второй случай имеет место при шлифовании алмазными кругами на керамической и органической связках, а третий случай – при шлифовании алмазным кругом на металлической связке М2 – 01.

Используя уравнение (4), получим приближенную зависимость для определения соотношения $\sigma_{кш}$ и производительности Q . Приближение связано с тем, что функцию $\Phi = (1 - \eta^3) / \eta^3$ примем в виде $\Phi = (1 - \eta^3) / \eta^3$, тогда

$$\Phi = \frac{1}{\eta^3} - 1 = \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot v_{\text{ост}} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot v_{\text{кр}} \cdot x^3}, \quad (5)$$

откуда

$$\eta = \sqrt[3]{\frac{1}{1 + \frac{630 \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot v_{\text{ост}} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot v_{\text{кр}} \cdot x^3}}}}, \quad (6)$$

Подставим (6) в (3)

$$\frac{\sigma_{кш}}{2} = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV}{2} \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1}{1 + \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot v_{\text{ост}} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot v_{\text{кр}} \cdot x^3}}} \right) \quad (7)$$

С увеличением параметров \bar{x} , $v_{дет}$, l , ρ и уменьшением m , $v_{сп}$, χ коэффициент η и соотношение $\sigma_{кин}$ уменьшаются. Соответственно производительность обработки Q , которая определяется преобразованной зависимостью (1), увеличивается:

$$Q = \frac{Q_0}{\left[1 + \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \gamma \cdot HV}{c \cdot v_{сп} \cdot \tau} \cdot \frac{1}{2} \right] \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1}{1 + \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot v_{дет} \cdot \sqrt{l\rho}}{m \cdot v_{сп} \cdot \chi^3}}} \right)} \quad (8)$$

Полученная зависимость (8) имеет сложную структуру. Переменными в процессе шлифования являются два параметра: τ и χ . С течением времени обработки оба параметра увеличиваются. Однако, рост τ ведет к увеличению производительности обработки Q , а рост величины линейного износа зерна χ – к уменьшению Q . Если преобладает рост параметра τ , то производительность обработки Q с течением времени обработки будет увеличиваться, асимптотически приближаясь к определенному значению $Q = Q_0$. Если преобладает рост величины χ , то производительность обработки Q будет уменьшаться во времени. При одинаковом влиянии двух параметров τ и χ на Q , произойдет стабилизация во времени производительности обработки. Таким образом, теоретически раскрыта физическая сущность закономерностей изменения режущей способности алмазных кругов в процессе шлифования.

Список литературы: 1. Фадеев В.А., Новиков Ф.В. Повышение эффективности алмазного внутреннего шлифования твердых сплавов. – Авиационно-космическая техника и технология. Труды ХАИ, вып.14, 2000 г. – с. 312-316. 2. Теоретические основы резания и шлифования материалов А.В.Якимов, Ф.В.Новиков, Г.В.Новиков, Б.С.Серов, А.А.Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 3. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Высокопродуктивные шлифования: Навчальний посібник. – К.: ІСДО, 1996.-180 с.

Поступила в редколлегию 26.06.02