

Ф.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Для выявления новых технологических возможностей высокопроизводительного шлифования, в особенности комбинированного, разработана формализованная физическая теория шлифования, основанная на установлении передаточных функций между входными параметрами процесса с учетом внутренних (физических) параметров. Оптимизация передаточной функции позволила определить общую закономерность изменения предельной производительности обработки Q от глубины шлифования t при заданной нагрузке на зерно. Зависимость имеет экстремальный вид, рис. 1,а.

Минимум производительности Q обусловлен существованием самой короткой стружки и достигается при условии $t = a_z$, где a_z – толщина единичного среза. Реализуя условия $t > a_z$ и $t < a_z$, можно существенно (до 10 раз и более) повысить производительность обработки.

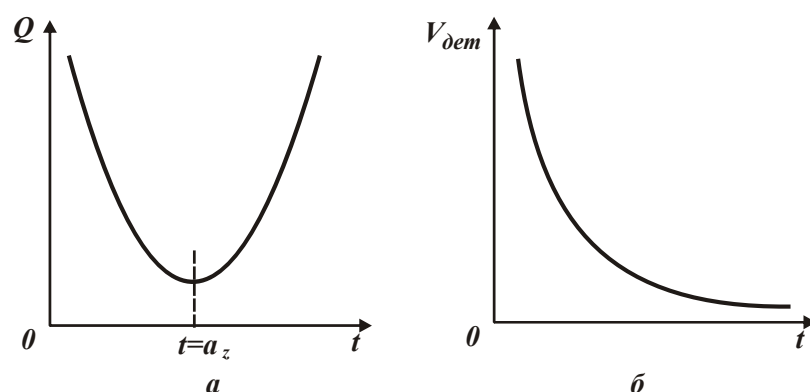


Рис. 1. Характер зависимостей Q (а) и V_{dem} (б) от t

Установлено, что применяемые на практике схемы абразивного и алмазного шлифования работают, в основном, в области минимума Q . Это свидетельствует о неиспользовании потенциальных возможностей процесса шлифования. Правая ветвь в зависимости $Q-t$ частично реализована в процессах глубинного шлифования. Левая ветвь достаточного практического воплощения не получила. Для ее реализации необходимо существенно увеличить скорость детали V_{dem} (до скорости круга), а также использовать дополнительные высокочастотные возвратно-поступательные движения круга или детали. Например, по нашим данным, эффект наложения на круг или деталь вибраций и ультразвуковых колебаний связан в определенной степени с реализацией левой ветви зависимости $Q-t$. Выполнение условия $t < a_z$ – одно из перспективных направ-

лений станкостроения, основанное на использовании физических эффектов в зоне резания.

Учитывая то, что реализация условия $t < a_z$ требует создания нового шлифовального оборудования, более простым и эффективным путем следует рассматривать реализацию условия $t > a_z$, что может быть осуществлено на действующем оборудовании. Условие $t > a_z$ предполагает переход в область высокопроизводительного глубинного шлифования. Для обоснования условий повышения производительности обработки Q ($t > a_z$) воспользуемся известной зависимостью

$$Q = V_{кр} \cdot S_{мгн}, \quad (1)$$

где $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $S_{мгн}$ – мгновенная суммарная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; $S_{мгн} = n_p \cdot S$; n_p – количество одновременно работающих зерен; $S = P / \sigma$ – площадь поперечного сечения среза отдельным зерном, м²; P – нагрузка, действующая на отдельное зерно, в тангенциальном направлении, Н; $\sigma = f\left(\frac{a_z}{\rho}, A\right)$ – условное напряжение резания, Па; a_z – толщина среза, м²; $\rho = \varphi(x)$ – радиус округления режущей части зерна, м; x – величина линейного износа зерна, м; A – параметр, определяющий прочностные свойства обрабатываемого материала [1].

В общем виде производительность обработки Q можно представить функцией от шести параметров:

$$Q = \psi(V_{кр}, n_p, a_z, x, P, A). \quad (2)$$

Следует отметить, что в теории шлифования известны и реализованы на практике условия повышения производительности обработки Q путем регулирования кинематическими параметрами $V_{кр}$, n_p , a_z . Технологические возможности изменения Q путем регулирования физическими параметрами x и P не обоснованы. Однако, результаты экспериментальных исследований, выполненных в Институте сверхтвердых материалов НАН Украины им. Бакуля В.Н. и других научных центрах, свидетельствуют о существовании тесной корреляции между производительностью обработки, удельным расходом алмаза, шероховатостью обработки, прочностными свойствами рабочей поверхности круга (обобщенно определяемыми параметром P) и степенью износа выпавших из связки алмазных зерен (определяемой параметром x).

Например, экспериментально установлено, что с увеличением поперечной подачи количество зерен с площадками износа и со сколами уменьшается, а количество выпавших из связки круга зерен без заметного изменения формы и размеров – увеличивается. Такая закономерность прослеживается для всех рассматриваемых пар “абразив - обрабатываемый материал”. Для кругов из малопрочного кубонита характерен незначительный процент зерен с площадками

износа. Для кругов из прочных марок AC15 этот процент выше, а для малопрочных алмазов марки AC2 – практически равен нулю. Это указывает на то, что алмазные зерна AC2 разрушаются и выпадают из связки практически не претерпев линейного износа. Меньшему линейному износу зерен AC2 соответствует чрезвычайно высокий удельный расход алмаза, достигающий значений 150 мг/см^3 и более, тогда как при тех же условиях обработки кругом с алмазами AC15 удельный расход алмаза на порядок меньше. Из этого вытекает четкая корреляция между процентом зерен с площадками износа и удельным расходом алмаза.

Для иллюстрации сделанного вывода проанализируем зависимость $P = S \cdot \sigma$. Вполне очевидно, что с ростом поперечной подачи увеличивается параметр S , а предельное значение P (из условий прочности зерна и связки) будет достигаться при меньших значениях условного напряжения резания σ . Физически это возможно при резании более острым зерном, т.е. когда величина линейного износа зерна x меньше. При фиксированном значении S (при заданной поперечной подаче) меньшее значение P (для алмазов марки AC2) будет достигаться также при меньшем значении σ , что возможно при резании более острым зерном, т.е. когда величина линейного износа зерна x меньше. Этим показано, что при постоянном предельном значении P переменной величиной в процессе шлифования является x , изменение которой и связано с изменением удельного расхода алмаза. Проф. Сагарда А.А. показал, например, что обработка более прочной стали P12Ф5М (по сравнению со сталью ШХ15) характеризуется меньшим процентом зерен с площадками износа и большим удельным расходом алмаза, т.е. разрушение и выпадение из связки зерен при обработке стали P12Ф5М происходит при меньшем их линейном износе (меньшем значении величины x). При шлифовании алмазными кругами на органических связках на зернах образуются меньшие по размеру площадки износа, чем при шлифовании алмазными кругами на металлических связках. Меньшим площадкам износа соответствует больший удельный расход алмаза.

Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что, с изменением величины x в процессе шлифования (также как и величины P) и применением для этого соответствующих оптимальных режимов шлифования кругами из сверхтвердых материалов, появляется возможность более полно использовать уникальные режущие свойства таких кругов.

В качестве примера ниже приведено решение об определении максимально возможной производительности обработки Q и реализующих ее параметров режима шлифования $V_{дет}$, $V_{кр}$ с учетом ограничения по температуре резания θ :

$$Q = \frac{0,074 \cdot B \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho_m \cdot \theta^2 \cdot (1 - \eta)^{1,8}}{A^2 \cdot \psi^2 \cdot t^{0,5} \cdot \rho^{0,5}} \cdot \left(\frac{P}{A} \right)^{1,2}, \quad (3)$$

$$V_{заг} = \frac{Q}{B \cdot t}, \quad (4)$$

$$V_{кр} = \frac{330,6 \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho_m \cdot \bar{X}^3 \cdot \theta^2 \cdot (1 - \eta)^{0,2}}{m \cdot A^2 \cdot \psi^2 \cdot t} \cdot \left(\frac{A}{P} \right)^{1,2}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ψ – коэффициент, показывающий, какая часть работы переходит в теплоту, поглощаемую деталью; B – ширина шлифования, м; $\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}$;

$R_{кр}$, $R_{дет}$ – соответственно радиусы круга и детали, м; ρ_m – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; m – объемная концентрация алмазного круга (100; 50; 25; и т.д.); t – глубина шлифования, м; $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $\eta = x/H$ – безразмерный коэффициент, учитывающий степень затупления зерен, изменяется в пределах 0...1 ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна); H – условная максимальная глубина внедрения обрабатываемого материала в рабочую поверхность круга, отсчитываемая от уровня максимально выступающего (неизношенного) зерна, м.

Следуя зависимости (3), с увеличением глубины шлифования t (при $\theta = const$ и $P = const$) производительность обработки Q уменьшается. Компенсировать уменьшение Q можно за счет снижения $\eta \rightarrow 0$ и увеличения P , поскольку эти два параметра входят в зависимость (3) со значительно большей степенью, чем глубина шлифования t . Важным условием повышения Q при глубинном шлифовании следует рассматривать также уменьшение $V_{кр}$ по зависимости (5) в связи с ростом t и P . Поэтому для поддержания $V_{кр}$ на традиционном уровне 30–50 м/с необходимо увеличивать зернистость и уменьшать концентрацию шлифопорошка круга, что хорошо согласуется с практикой обычного абразивного глубинного шлифования, основанного на применении крупнозернистых высокопористых кругов.

Список литературы: 1. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. – Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Одесса, 1995. – 36 с.

Поступила в редколлегию 15.03.01