

## УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Г.В., канд. техн. наук, Дитиненко С.А.

(г.Харьков, Украина)

*The theory of formation of parameters of accuracy and roughness of processing by abrasive tools is adduced.*

Параметры точности и качества обработки алмазно-абразивными инструментами формируются, как правило, на этапе выхаживания. Поэтому теоретический анализ процесса выхаживания имеет чрезвычайно большое научное и практическое значение.

При выхаживании величина упругого перемещения  $y$  определяет погрешность обработки  $\delta$ , которая связана с временем  $\tau$  зависимостью

$$\tau = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV \cdot F}{2 \cdot c \cdot (1 - \eta) \cdot V_{кр}} \cdot \ln \frac{y_1}{\delta} \quad (1)$$

где  $HV$  – твердость обрабатываемого материала, н/м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь контакта инструмента с материалом, м<sup>2</sup>;  $V_{кр}$  – скорость круга (или другого алмазно-абразивного инструмента), м/с;  $c$  – жесткость технологической системы, н/м;  $2\gamma$  – угол при вершине режущего зерна;  $y_1$  – начальное радиальное перемещение в технологической системе (при выхаживании равно величине снимаемого припуска), м;  $\eta$  – безразмерный коэффициент,  $\eta = 0 \dots 1$  ( $\eta \rightarrow 0$  – для острых зерен,  $\eta \rightarrow 1$  – для затупленных зерен).

Время  $\tau$  тем больше, чем больше параметры  $HV$ ,  $F$ ,  $\eta$ ,  $y_1$  и меньше  $c$  и  $\delta$ . При  $y_1/\delta = 1$  время  $\tau = 0$ . Наибольшее влияние на  $\tau$  оказывает отношение  $y_1/\delta$ . Уменьшение погрешности обработки  $\delta$  требует увеличения времени обработки (выхаживания).

Уменьшить  $\tau$  при  $\delta = \text{const}$  можно уменьшением  $F$ ,  $y_1$ ,  $\eta$  и увеличением  $c$  и  $V_{кр}$ , т.е. применением более “острых” алмазно-абразивных инструментов и эффективных методов их правки, уменьшением снимаемого припуска и площади контакта инструмента с обрабатываемым материалом, увеличением жесткости технологической системы и скорости инструмента. Зависимость (1) справедлива для шлифования и других процессов финишной абразивной обработки.

Как правило, на практике требуется исправить погрешность размера и формы заготовки. В первом случае необходимо параметр  $y_1$  уменьшить до значения  $\delta$ , во втором случае – уменьшить разброс значений  $y_1$  от  $\Delta y_1$  до  $\Delta \delta$ . В

первом случае задача решается относительно просто. В соответствии с зависимостью (1) выбираются условия обработки, обеспечивающие требуемую точность  $\delta$  за заданное время  $\tau$ . При  $\eta \rightarrow 0$  время  $\tau \rightarrow \infty$  и обеспечить требуемую точность обработки практически невозможно. Необходимо уменьшить безразмерный коэффициент  $\eta \rightarrow 0$  за счёт применения непрерывной или периодической правки инструмента и повышения его режущей способности. Существенным препятствием обеспечения заданной точности обработки  $\delta$  является уменьшение жёсткости технологической системы. В этом случае эффективно применение методов обработки, позволяющих увеличить динамическую жёсткость системы, например, за счёт ударно – циклического взаимодействия инструмента с заготовкой, наложения на заготовку или инструмент вибраций (ультразвуковых колебаний) и т.д.

Для исправления погрешности формы заготовки необходимо максимальное значение припуска  $y_{1\max}$  уменьшить до значения  $\delta_{\max}$ , а минимальное значение припуска  $y_{1\min}$  до значения  $\delta_{\min}$  за одинаковое время  $\tau$ . Получена зависимость

$$\Delta\delta = \Delta y_1 \cdot e^{-\frac{\tau}{\alpha_3}}, \quad (2)$$

где 
$$\alpha_3 = \frac{\pi \cdot \text{tg} \gamma \cdot HV \cdot F}{2 \cdot c \cdot (1 - \eta) \cdot V_{\text{кр}}}$$

Исходя из зависимости (2), для заданных значений  $\Delta y_1$  и  $\Delta\delta$  определяется соотношением  $\tau/\alpha_3$  и по нему выбираются рациональные условия обработки (параметры  $F, c, \eta, V_{\text{кр}}, \tau$ ).

Таким образом можно устранить погрешности обработки в виде конусности, бочкообразности, эксцентриситета цилиндрической заготовки, неплоскостность и другие погрешности плоских поверхностей.

При  $0,8 < \eta < 1,0$  упругое перемещение  $y$  (погрешность обработки  $\delta$ ) определяется зависимостью

$$y = \frac{\text{tg}^2 \gamma \cdot HV \cdot F \cdot m}{900 \cdot c} \cdot \left( \frac{x}{\bar{x}} \right)^3 \quad (3)$$

Наибольшее влияние на  $y$  оказывают параметры  $x$  и  $\bar{x}$ . С течением времени параметры  $x$  и  $y$  увеличиваются, что снижает точность обработки. Уменьшить  $y$  при  $x = \text{const}$  можно уменьшением  $F, m$  и увеличением  $c$  и  $\bar{x}$ . Однако основной путь уменьшения  $y$  – уменьшение величины  $x$  за счёт применения рациональных характеристик круга (исключающих значительное затупление зёрен) и методов правки.

Параметр шероховатости обработки  $R_a$  на этапе выхаживания определяется

$$R_a = 2 \cdot \sqrt[5]{\frac{(1-\eta)^4}{(1+\eta)^2} \cdot \frac{\pi^2 \cdot \bar{x}^6 \cdot \rho}{\text{tg}^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2} \cdot \left(\frac{V_{дем}}{i}\right)^2}, \quad (4)$$

где  $i$  - количество проходов круга при отключенной поперечной подаче на станке;  $\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дем}}$ ;  $V_{дем}$  - скорость детали.

С увеличением  $i$  параметр  $R_a$  уменьшается. Влияние  $i$  на  $R_a$  эквивалентно уменьшению скорости детали  $V_{дем}$ . Следовательно, один и тот же эффект обработки можно получить как уменьшением  $V_{дем}$ , так и увеличением числа проходов  $i$  при выхаживании. Уменьшение  $V_{дем}$  предполагает применение глубинного шлифования (шлифования с "ползучей подачей"). Скорость детали в этом случае уменьшается до значения 0,1 м/мин и ниже. Для поддержания производительности обработки на заданном уровне глубина шлифования увеличивается пропорционально уменьшению скорости детали.

Исходя из зависимости (4), наибольшее влияние на параметр шероховатости обработки  $R_a$  оказывают зернистость круга  $\bar{x}$  и безразмерный коэффициент  $\eta$ . С уменьшением  $\bar{x}$  параметр  $R_a$  уменьшается. При весьма малой зернистости, например,  $\bar{x} = 1/0 \dots 10/7$ , параметр  $R_a$  может быть уменьшен до значений 0,08...0,006 мкм, что соответствует 11...14 классам шероховатости обработанной поверхности. С увеличением безразмерного коэффициента  $\eta \rightarrow 1$  параметр  $R_a$  уменьшается  $R_a \rightarrow 0$ .

При  $0,8 < \eta < 1,0$  параметр шероховатости обработки  $R_a$  описывается

$$R_a = \frac{0,15}{x^{2,4}} \cdot \left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дем}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр}}\right)^{1,2} \cdot i^{0,4} \cdot \rho^{0,6}. \quad (5)$$

Наибольшее влияние на параметр  $R_a$  оказывают зернистость  $\bar{x}$  и величина линейного износа зерна  $x$ . Чем больше  $x$  и меньше  $\bar{x}$ , тем меньше  $R_a$ . Величина  $x$  определяется прочностью удержания зерна в круге. Чем она выше, тем больше величина  $x$ . Наибольшая прочность удержания зерна в связке достигается у алмазных кругов на металлических связках. Заданную величину  $x$  можно получить в результате шлифования алмазным кругом абразивного круга или алмазного ролика (алмазного карандаша, алмазного резца, алмазного круга и т.д.). Как показывает практика, в процессе такого шлифования происходит быстрое затупление алмазных зёрен круга до заданной величины  $x$ . Например, нами установлено, что после электроэрозионной правки алмазного круга 1A1 300×20×5 AC6 100/80 M1-01 параметр шероховатости обработки  $R_a$  при

круглом врезном шлифовании твердосплавного зенкера составил 1,0 мкм. Изменение в широких пределах режимов шлифования и увеличения времени выхаживания не привело к заметному уменьшению параметра  $R_a$ . После затупления алмазных зёрен круга с использованием алмазного карандаша параметр  $R_a$  уменьшился до уровня 0,2 мкм, т.е. в 5 раз, что подтверждает преобладающую роль величины  $x$  в формировании шероховатости обработанной поверхности.

Исходя из преобразованной зависимости

$$\frac{(1-\eta)^2}{(1+\eta)} = \left(\frac{R_a}{2}\right)^{2,5} \cdot \frac{m \cdot V_{кр}}{\pi \cdot \bar{x}^3 \cdot V_{дем} \cdot \rho^{0,5}}, \quad (6)$$

определим безразмерный коэффициент для данного случая. С учётом исходных данных:

$m = 100$ ;  $\bar{x} = 0,09$  мм;  $V_{кр} = 35$  м/с;  $V_{дем} = 10$  мм/мин;  $\rho^{0,5} = 0,2$  мм $^{-0,5}$ ;  $R_a = 0,2 \cdot 10^{-3}$  мм коэффициент  $\eta$  равен 0,91.

Определим величину линейного износа максимально выступающего над связкой зерна  $x$

$$x = \sqrt[6]{630^2 \cdot t \cdot \left(\frac{R_a}{2}\right)^5} \cdot \frac{\eta}{(1-\eta)}. \quad (7)$$

Подставляя в (7) значения  $t = 0,1$  мм;  $R_a = 0,2 \cdot 10^{-3}$  мм;  $\eta = 0,91$ , имеем  $x = 0,027$  мм. Величина износа зерна  $x$  равна  $0,3 \cdot \bar{x}$ , т.е. фактически выступание зерна над уровнем связки отсутствует. Из этого вытекает, что уменьшить параметр шероховатости обработки  $R_a$  можно за счёт существенного увеличения величины износа зерна  $x$ , применяя алмазные круги на металлических связках. Обеспечить шероховатость обработки  $R_a = 0,2$  мкм можно уменьшением  $V_{дем}$ . Примем  $\eta = 0$ . Для заданных исходных данных, согласно зависимости (6), скорость детали равна  $V_{дем} = 46$  мм/мин, что реализуется при глубинном шлифовании.

Таким образом обоснованы основные пути повышения точности, чистоты обработки, используя алмазно-абразивные инструменты.

### Литература

1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, Б. С. Серов, А. А. Якимов — Одесса: ОГПУ, 1999. — 450с.
2. Тепловые и механические процессы при резании металлов: Учеб. пособие / Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков, С. Г. Зимин, В. А. Вайсман. — Одесса: ОГПУ, 1997. — 179с.