

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

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

*(Научный центр НТК «Эльбор», Харьковский государственный
экономический университет)*

В работе дано теоретическое обоснование путей повышения параметров точности и качества алмазно-абразивной обработки, сформулированы конкретные практические рекомендации.

Применяемые на практике схемы механической обработки материалов можно обобщенно представить тремя схемами: с фиксированной непрерывной или периодической радиальной подачей инструмента, с фиксированным радиальным или тангенциальным усилением между инструментом и обрабатываемой деталью, с фиксированным начальным упругим перемещением в технологической системе. Первую схему принято называть жесткой схемой обработки. Она применяется при съеме основной части припуска на операциях предварительной обработки (лезвийными и абразивными инструментами) и получила наиболее широкое распространение. Вторую схему обработки принято называть упругой. Она применяется с целью обеспечения более высокой точности и качества обработки деталей главным образом при резании абразивными инструментами. Большое внимание изучению данной схемы уделено при разработке процессов алмазного шлифования. Доказано, что в условиях шлифования по упругой схеме в наибольшей степени используются потенциальные возможности алмазного круга с точки зрения производительности обработки и снижения расхода алмаза.

Третья схема реализуется на этапе выхаживания (с отключенной радиальной подачей) для обеспечения высоких показателей точности и качества (шероховатости) обработки. Применяется на операциях шлифования и других операциях абразивной обработки, в частности, при суперфинише. Чем длительнее процесс, тем выше показатели точности и качества обработки. Третья схема играет исключительно важную роль в окончательном формировании показателей обработки деталей, предусмотренных чертежом. Однако, исследована не в полной мере. В научно-технической литературе приведены результаты экспериментальных исследований и практически отсутствуют теоретические исследования. Это не позволяет

выявить и научно обосновать технологические возможности схемы и реализующие на ее основе процессы механической обработки.

С этой целью в работе [1] предложен теоретический подход к расчету параметров обработки по схеме с фиксированным начальным радиальным упругим перемещением в технологической системе. Используя данный подход, проведем анализ путей повышения точности и качества обработки с использованием алмазно-абразивных инструментов.

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 δ , которая связана с временем τ 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/м²;

F – площадь контакта инструмента с материалом, м²;

$V_{кр}$ – скорость круга (или другого алмазно-абразивного инструмента), м/с;

c – жесткость технологической системы, н/м;

2γ – угол при вершине режущего зерна;

y_1 – начальное радиальное перемещение в технологической системе (при выхоживании равно величине снимаемого припуска), м;

η – безразмерный коэффициент, $\eta = 0 \dots 1$ ($\eta \rightarrow 0$ – для острых зерен, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленных зерен).

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

Уменьшить τ при $\delta = \text{const}$ можно уменьшением F , y_1 , η 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 жёсткости 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 δ , во втором случае – уменьшить разброс значений y_1 от Δy_1 до $\Delta \delta$. В первом случае задача решается относительно просто. В соответ-

ствии с зависимостью (1) выбираются условия обработки, обеспечивающие требуемую точность δ за заданное время τ . 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 δ 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 δ_{max} , а минимальное значение припуска $y_{1_{min}}$ до значения δ_{min} за одинаковое время τ . Получена зависимость

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

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

Исходя из зависимости (2), для заданных значений Δy_1 и $\Delta\delta$ определяется соотношением τ/α_3 и по нему выбираются рациональные условия обработки (параметры $F, c, \eta, V_{кр}, \tau$).

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 δ) 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

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

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

С увеличением i параметр R_a уменьшается. Влияние i на R_a эквивалентно уменьшению скорости детали $V_{дет}$. Следовательно, один и тот же эффект обработки можно получить как уменьшением $V_{дет}$, так и увеличением числа проходов i при выхаживании. Уменьшение $V_{дет}$ 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 η . 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

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

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 1А1 300×20×5 АС6 100/80 М1-01 и параметр шероховатости обработки R_a при круглом врезном шлифовании твердосплавного зенкера составил 1,0 мкм. Изменение в ши-

роких 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

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

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

$m = 100$; $\bar{x} = 0,09$ мм; $V_{кр} = 35$ м/с; $V_{дет} = 10$ м/мин; $\rho^{0,5} = 0,2$ мм^{-0,5}; $R_a = 0,2 \cdot 10^{-3}$ мм коэффициент η 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 $V_{дет}$. Примем $\eta = 0$. Для заданных исходных данных, согласно зависимости (6), скорость детали равна $V_{дет} = 46$ мм/мин, что реализуется при глубинном шлифовании.

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

Список литературы

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. – 450 с.
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. – 179 с.