

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Ф.В., док. техн. наук, Ткаченко В.П.

(г. Харьков, Украина)

## *Mathematical modeling finishing processings*

Создание высокопроизводительных процессов чистой абразивной обработки чрезвычайно важная и актуальная задача для машиностроения. В настоящее время широко используются различные абразивные и алмазно-абразивные инструменты, обеспечивающие высокую чистоту обработки. Для оценки их технологических возможностей нами разработаны теоретические подходы к расчету параметров шероховатости обработки, основанные как на статистико-вероятностном, так и упрощенном кинематико-геометрическом описании процесса резания при абразивной обработке.

Теоретические решения, полученные на основе статистико-вероятностных моделей, опубликованы в работах [1, 2].

В настоящей работе приводятся результаты, вытекающие из упрощенной кинематико-геометрической модели. Установлено, что при обработке абразивным инструментом с одновысотным выступанием зерен параметр шероховатости  $R_{\max}$  определяется

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot t g^2 \gamma \cdot n_0 \cdot HV}}, \quad (1)$$

где  $P$ —сила прижима обрабатываемой детали к инструменту, н;  
 $\gamma$ —половина угла при вершине конусообразного по форме режущего зерна;

$n_0$ — $K \cdot F$ —число одновременно работающих зерен;  $K$ —поверхностная концентрация зерен, шт/м<sup>2</sup>;  $F$ —площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью, м<sup>2</sup>;  $HV$ — твердость обрабатываемого материала, н/м<sup>2</sup>.

Уменьшить  $R_{\max}$  можно уменьшением  $P$  и увеличением  $n_0$  или с учетом  $P = n_0 \cdot P_1$  (где  $P_1$ — сила, действующая на отдельное зерно)—уменьшением  $P_1$ . Зависимость представим

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot t g^2 \gamma \cdot k \cdot HV}}, \quad (2)$$

где  $P = P/F$ —нормальное давление, н/м<sup>2</sup>,

Параметр  $R_{\max}$  тем меньше, чем меньше  $P$  и больше  $k$ . Производительность обработки  $Q$  при этом равна

$$Q = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot t \cdot g \cdot \gamma \cdot HV} \cdot V_{инст}, \quad (3)$$

где  $V_{инст}$  — скорость инструмента, м/с.

Как видим, уменьшить  $R_{max}$  без уменьшения  $Q$  можно увеличением поверхностной концентрации зерен  $k$ , а увеличить  $Q$  без увеличения  $R_{max}$  — увеличением  $V_{инст}$ . Преобразуем (1)

$$R_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_1}{\pi \cdot tg^2 \gamma \cdot HV}} \quad (4)$$

Уменьшение параметра шероховатости  $R_{max}$  за счет уменьшения силы, действующей на отдельное зерно  $P_1$ , требует применения методов обработки свободным абразивом, когда зерна слабо удерживаются на рабочей поверхности инструмента и образуют минимальной толщины срезы. Применение инструментов со связанным абразивом обеспечивает более прочное удержание зерен в связке и увеличивает силу  $P_1$  и шероховатость  $R_{max}$ .

При шлифовании параметр  $R_{max}$  описывается зависимостью

$$R_{max} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt{\frac{400 \cdot \bar{P}}{3 \cdot tg^2 \gamma \cdot m \cdot Z \cdot HV}} \quad (5)$$

где  $X$  — зернистость круга, м;  $m$  — объемная концентрация круга (50; 100% и т.д.);  $Z$  — коэффициент, учитывающий степень "утопания" и зерен в связке круга под действием сил резания. Для алмазных кругов на металлических связках  $Z=1$  ("утопание" зерен в связке почти отсутствует). Для алмазных кругов на более "мягких" органических и керамических связках, допускающих "утопание" зерен,  $Z > 1$ . Следовательно, более "мягкие" связки позволяют уменьшить параметр шероховатости  $R_{max}$ . Это происходит вследствие увеличения количества одновременно работающих зерен. Данная закономерность установлена многочисленными экспериментальными исследованиями.

Исходя из (5), наибольшее влияние на  $R_{max}$  оказывает зернистость круга, с ее уменьшением  $R_{max}$  уменьшается.

Обобщенно основные условия уменьшения  $R_{max}$  состоят в уменьшении  $P_1$  и увеличении угла  $\gamma$ . Первый путь реализуется за счет уменьшения  $P$  и увеличения  $K$ . Так как уменьшение  $P$  ведет к уменьшению  $Q$ , то основным условием следует рассматривать увеличение  $K$  (обработка свободным абразивом). Увеличение угла  $\gamma$  предполагает уменьшение производительности  $Q$ . Поэтому необходимо увеличить  $V_{инст}$ , а зерна

закрепить на рабочей поверхности инструмента, в результате приходим к инструменту со связанным абразивом (притиру, шлифовальном кругу и т. д.) Несомненно, параметр  $R_{\max}$  при обработке инструментом со связанным абразивом будет больше, чем при обработке свободным абразивом. При шлифовании алмазными кругами на металлических связках ( $Z=1$ ) параметр  $R_{\max}$  больше, чем при шлифовании кругами на более "мягких" связках ( $Z>1$ ). Уменьшить  $R_{\max}$  в этом случае можно за счет уменьшения угла  $\gamma$ . Для своевременного удаления с рабочей поверхности алмазного круга на металлической связке затупленных зерен необходимо использовать эффективные методы механической и электрофизикохимической правки. Учитывая то, что существенное увеличение  $\gamma \rightarrow 90^\circ$  ведет к уменьшению  $Q$  по зависимости (3), возможно увеличение  $P$ , но при одновременном уменьшении  $\lambda$  и увеличении  $m$  по зависимости (5).

При шлифовании по жесткой схеме уменьшить  $R_{\max}$  без уменьшения  $Q$  можно уменьшением  $\gamma$  и увеличением  $m$  и  $V_{кр}$  в соответствии с зависимостью

$$R_{\max} = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \Pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot Z} \cdot \frac{Q}{F \cdot V_{кр}}}, \quad (6)$$

где  $V_{кр}$  - скорость круга, м/с;  $F$  - площадь контакта круга с деталью,  $\text{м}^2$ .

На параметр  $R_{\max}$  оказывает влияние кинематическая схема шлифования. Например, при шлифовании торца вращающегося кольца торцом шлифовального круга параметр  $R_{\max}$  определяется

$$R_{\max} = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{200\pi}{6 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m} \cdot \frac{V_{дет}}{V_{кр}} \cdot \frac{\pi D_{дет}}{B}}, \quad (7)$$

где  $V_{дет}$  - скорость радиальной подачи детали по нормали к кругу, м/с;  $D_{дет}$  - диаметр обрабатываемого кольца, м;  $B$  - ширина рабочей части круга, м.

При шлифовании торца кольца периферией круга параметр  $R_{\max}$  равен

$$R_{\max} = \bar{X} \cdot \sqrt[5]{\frac{10^4 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X} \cdot V_{дет}}{9 \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2 \cdot D_{кр}}}, \quad (8)$$

где  $V_{дет}$  - скорость вращения обрабатываемого кольца, м/с;  $D_{кр}$  - диаметр круга, м.

Различие значений  $R_{\max}$  для двух схем шлифования обусловлено временем контакта фиксированного сечения кольца с кругом. Очевидно, при шлифовании торцом круга время контакта больше, следовательно, в формировании шероховатости участвует количество зерен, что приводит к уменьшению  $R_{\max}$ . Приведенные зависимости (7) и (8) позволяет выявить условия уменьшения параметра шероховатости  $R_{\max}$  без уменьшения производительности обработки.

Полученные теоретические результаты использованы при проектировании высокопроизводительных процессов чистой абразивной обработки металлов повышенной твердости. В частности, обоснованы оптимальные условия обработки рабочей поверхности торцевых уплотнений, выполненных из твердого сплава "Рэлит".

После плоского предварительного абразивного шлифования предложено получистовую обработку производить алмазными кругами формы 12A2 на органических и металлических связках. В последнем случае используется периодическая электроэрозионная правка круга, обеспечивающая предварительную подготовку круга к работе (устраняется биение круга) и поддержание высокой режущей способности круга при шлифовании. Обеспечивается  $R_a = 0,3$  мкм.

Чистовая обработка производится в два этапа с применением алмазного порошка зернистостью 28/20 и 5/3, обеспечивается стабильно  $R_a < 0,1$  мкм.

#### Список литературы:

1. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. Автореф. дис...док. техн. наук.- Одесса, 1995.-36с.
2. 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.
3. Новиков Ф.В., Ткаченко В.П., Сви́дерский В.И. Торцевое алмазное шлифование твердого сплава "Рэлит".- Вісник Інженерної Академії України, Київ, випуск 3, 2001, -с. 395-397.