

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МАРШРУТНО-ОПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Ткаченко В.П., Новиков Ф.В.

ОАО завод «Потенциал» (г. Харьков, Украина)

При алмазно-абразивной обработке деталей из материалов повышенной твердости при съеме относительно больших припусков и высоких требованиях к качеству и точности обрабатываемых поверхностей возникает необходимость разработки в каждом конкретном случае оптимальной маршрутно-операционной технологии. Традиционно данная проблема решается на основе результатов экспериментальных исследований обрабатываемости материалов, работоспособности алмазно-абразивных инструментов и других технико-экономических показателей обработки.

В данной работе рассматривается теоретический подход к проектированию маршрутно-операционной технологии обработки торцовых поверхностей класса деталей типа «кольцо» уплотнений торцовых, рабочие поверхности которых выполнены из труднообрабатываемого рэлитового слоя. Как показывает опыт, применение технологии абразивной обработки, включающей абразивное шлифование и притирку, малоэффективно. Более эффективно применение алмазно-абразивных инструментов. Однако для этого необходимо достаточно глубоко знать возможности различных кинематических схем шлифования и доводки с точки зрения обеспечения производительности, качества, точности и себестоимости обработки.

Проведем анализ аналитических зависимостей для определения параметра шероховатости обработки R_{max} и производительности Q :

$$R_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{P}}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot k \cdot HV}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_1}{\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot k \cdot HV}}; \quad (1)$$

$$Q = \frac{4 \cdot V_{инстр} \cdot \bar{P}}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}; \quad (2)$$

$$R_{max} = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n_0 \cdot V_{инстр}}}, \quad (3)$$

где P – сила прижима обрабатываемой детали к абразивному инструменту, Н; $n_0 = k \cdot F$ – число одновременно работающих зёрен; k – поверхностная концентрация зёрен, шт./м²; F – площадь контакта инструмента с обрабатываемым материалом, м²; HV – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/м²; $\bar{P} = P / F$ – нормальное давление, Н/ м²; $P_1 = P / n_0$ – сила, действующая на отдельное зерно, Н; 2γ – угол при вершине зерна; $V_{инстр}$ – скорость инструмента, м/с.

Из зависимости (1) следует, что уменьшить параметр R_{max} можно уменьшением силы P_1 , действующей на отдельное режущее зерно, и увеличением угла при вершине зерна 2γ . В первом случае необходимо уменьшить прочность удержания зерен на рабочей поверхности инструмента, применяя обработку свободным абразивом. Во втором случае необходимо обработку вести притупленными зернами. Однако, как известно, это вызывает увеличение силы резания P_1 , которая входит в числитель зависимости (1) и снижает интенсивность уменьшения параметра R_{max} с увеличением угла γ . Поэтому обработку следует вести инструментом со связанным абразивом (шлифовальным кругом и т.д.). Более прочное удержание зерен позволяет увеличить скорость инструмента $V_{инстр}$ и, исходя из зависимости (2), производительность обработки Q , не увеличивая параметр R_{max} .

Важным фактором уменьшения R_{max} и увеличения Q , согласно зависимостей (2) и (3), является увеличение числа зерен n_0 путем увеличения параметров F и k . Во втором случае эффективно применение инструментов с однослойным расположением зерен, что достигается, например, при обработке свободным абразивом, шлифовальными лентами, алмазными инструментами на гальванических связках и т.д. Алмазные круги, изготовленные методом порошковой металлургии, характеризуются многослойным расположением и, следовательно, разновысотным выступанием зерен над уровнем связки, что уменьшается число одновременно работающих зерен n_0 и, согласно зависимости (3), увеличивает параметр шероховатости R_{max} . При алмазном шлифовании по жесткой и упругой схемам параметр R_{max} определяется:

$$R_{max} = \bar{X} \cdot 3 \sqrt{\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot m \cdot Z} \cdot \frac{V'_{дет}}{V_{кр}}}, \quad (4)$$

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

где $V'_{дет}$, $V_{кр}$ – скорости детали и круга, м/с; \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация круга; Z – коэффициент, учитывающий «утопание» зерен в связку круга ($Z \geq 1$).

Исходя из приведенных зависимостей, уменьшить R_{max} можно, прежде всего, уменьшением зернистости \bar{X} , а также за счет увеличения γ , m , Z , $V_{кр}$ и уменьшения $V'_{дет}$ (или P). В отличие от металлических связок, органические связки допускают «утопание» в них алмазных зерен, что увеличивает коэффициент $Z > 1$ и уменьшает R_{max} . Эффект обусловлен увеличением числа одновременно работающих зерен.

Важным условием уменьшения R_{max} является увеличение времени τ формирования слоя шероховатости на обрабатываемой поверхности

$$R_{max} = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot \tau}}. \quad (6)$$

Расчетами установлено, что при шлифовании торца вращающегося кольца (уплотнения торцового) торцом круга время τ больше, чем при шлифовании периферией круга.

Причем, для уменьшения R_{max} необходимо при шлифовании торцом круга реализовать случай $t > R_{max}$ при условии $\tau = \tau_0 > \tau_1$, где $t = \pi \cdot D_{дем} \cdot V'_{дем} / V_{дем}$ – глубина шлифования, м; $D_{дем}$ – диаметр обрабатываемого кольца, м; $V'_{дем}$ – скорость подачи торца круга по нормали к обрабатываемой поверхности, м/с; $V_{дем}$ – скорость вращения кольца, м/с; $\tau_0 = B / V_{дем}$; $\tau_1 = R_{max} / V'_{дем}$; B – ширина рабочей части торца круга, м.

Этот случай предполагает применение многопроходного шлифования ($V_{дем} > 60$ м/мин). Случай $t < R_{max}$ предполагает увеличение $\tau = \tau_0 \cdot R_{max} / t$ и соответственно

$$R_{max} = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{100 \cdot \pi}{3 \cdot \text{tg} \gamma \cdot m \cdot \varepsilon} \cdot \frac{V'_{дем}}{V_{кр}}}, \quad (7)$$

где $\varepsilon = B / (\pi \cdot D_{дем})$.

В пределе при $\varepsilon = 1$ значения R_{max} равны для двух случаев $t < R_{max}$ и $t > R_{max}$. Полученные результаты справедливы и для процесса притирки, рассматривая притир в форме торцового круга.

На основе теоретического подхода предложено два варианта технологии алмазно-абразивной обработки рэлитового слоя уплотнений торцовых (колец).

Вариант 1. Предварительная обработка производится по схеме шлифования торцом алмазного круга торца вращающегося кольца или по схеме шлифования пакета колец на вращающемся столе станка мод. 3Б756 с вертикальным расположением шпинделя. Окончательная обработка производится по схеме притирки пакета колец алмазным порошком.

Вариант 2. Съем основной части припуска (до 2-х мм) производится по схеме шлифования периферией алмазного или абразивного круга пакета колец на плоскошлифовальном станке. Для устранения неплоскостности протшлифованной поверхности целесообразно выполнить получистовую обработку по схеме шлифования торцом алмазного круга торца вращающегося кольца. Это позволит качественно подготовить поверхность кольца к последующей притирке алмазным порошком.

Второй вариант положен в основу создания промышленной высокопроизводительной технологии изготовления уплотнений торцовых (различных типоразмеров), выполненных из труднообрабатываемого рэлитового слоя.

Обеспечиваются требуемая шероховатость обработки и неплоскостность – ниже 0,9 мкм. Разработанная технология внедрена и эффективно функционирует в ОАО завод «Потенциал», г. Харьков.