

МЕТОД ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОФИЛЬНОГО ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ

Макаров В. Ф., Никитин С. П. (ПНИПУ, г. Пермь, Россия)

Тел.: 8 (342) 219-82-95; E-mail: makarovv@pstu.ru, perkan@perm.ru

Abstract: The article provides system oriented analysis regarding surface treatment quality during deep form grinding. The mathematical models for determining the parameters of grinding wheel contact patch and the work piece while deep sanding various surfaces of the blades that allow to predict material removal grinding wheel wear and every surface roughness based on cutting conditions, characteristics of the circle, the dynamics of elastic, heat and work processes in the technological system. This approach allows managing deep form grinding process to achieve constrained surface quality parameters, gas turbine engine blade profile dimensional accuracy and process efficiency improvement.

Key words: tooling method, deep grinding, multiaxis machining, machine dynamic system, dynamic behavior

Глубинное шлифование применяется главным образом для окончательной обработки плоских и сложно-фасонных поверхностей хвостовиков и полок рабочих и сопловых лопаток турбин ГТД [1, 2]. Пример схемы обработки глубинным шлифованием хвостовика лопаток турбины приведен на рис.1.

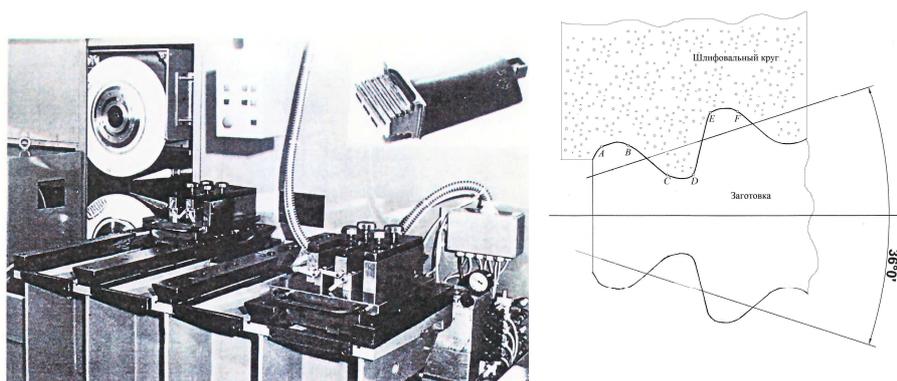


Рис. 1. Схема обработки хвостовика рабочей лопатки турбины

Для повышения точности, гибкости и производительности обработка осуществляется на многоосевых обрабатывающих центрах с ЧПУ. При этом возникают проблемы с размерной точностью сложного профиля лопатки, а также с дефектами поверхностного слоя в виде прижогов и трещинообразования на ряде поверхностей [1,2,3]. Например, при глубинном шлифовании канавок и полок лопаток, имеющих радиальную и торцовую поверхности, на торцовой поверхности возможно появление трещин. При глубинном шлифовании глубоких и узких спиральных пазов на торцовой поверхности большего диаметра также возможны прижоги и трещины. Для обеспечения заданной размерной точности и качества поверхностного слоя при обработке лопаток ГТД приходится реализовывать множество проходов [1], что снижает производительность глубинного шлифования.

При глубинном профильном шлифовании контура сложной формы одновременно формируется несколько различных элементарных поверхностей. Можно выделить несколько характерных видов поверхностей, которые определяют форму элементов лопаток: При обработке полок лопаток формируют в основном плоские и торцовые поверхности. При обработке хвостовика (рис. 1) формируют боковые поверхности про-

филя (BC,DE), радиусные выступы (AB,EF) и впадины (CD) профиля. К этим поверхностям предъявляются заданные требования по точности расположения и качеству поверхностного слоя. При их одновременной обработке создаются различные условия реализации процесса шлифования. Наблюдается варьирование режимов резания, припусков, пятна контакта шлифовального круга с заготовкой и т.д. Это приводит к различию сил резания, действующих на зерно; упругих и динамических деформаций; величины съема; температур в зоне контакта, которые определяют размерную точность и качество поверхностного слоя [1, 2, 3]. Исходя из этого, возникает проблема выбора режимов шлифования и характеристики круга для обеспечения приемлемых размерной точности и качества поверхностного слоя при шлифовании сложного профиля.

Обработку сложных поверхностей лопаток можно представить как композицию элементарных поверхностей и простых схем профильного шлифования: плоского шлифования периферией круга, плоского шлифования торцом круга и профильное шлифование методом копирования (табл. 1).

Кинематическое различие данных схем шлифования сводится к вариации пятна контакта шлифовального круга и заготовки [1]. Поэтому необходимо оценить различие параметров качества данных поверхностей при разных схемах шлифования, определяющих разное пятно контакта шлифовального круга и заготовки. Прежде всего, требуется оценить: а) величину съема материала при обработке поверхности (Δr , и вероятность съема материала $p(m)$); б) толщину слоя микронеровностей поверхности (H) или шероховатость поверхности (R_a); в) критерий износа шлифовального круга (R_3) [4].

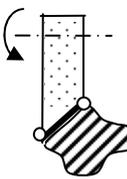
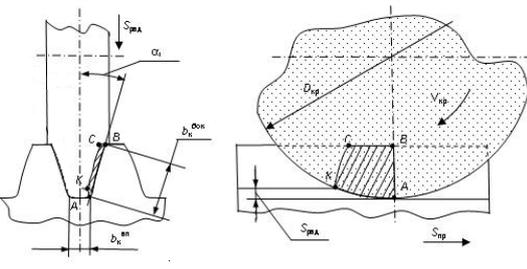
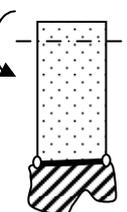
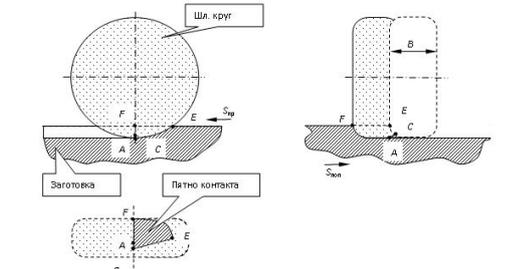
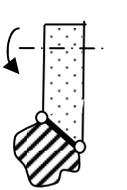
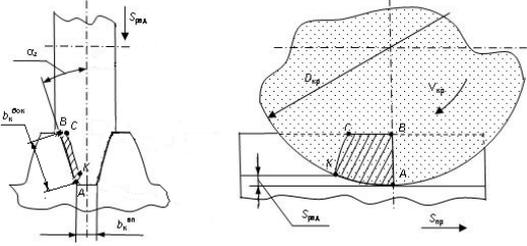
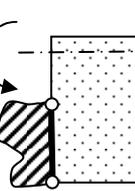
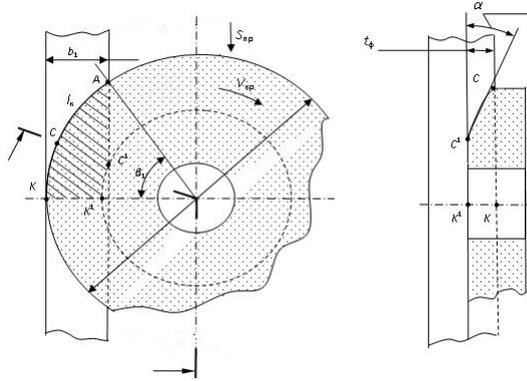
Величина съема и толщина слоя микронеровностей взаимосвязаны и определяются кинематикой взаимодействия шлифовального круга и заготовки. Основными характеристиками абразивной обработки являются среднее число режущих зерен на единице поверхности круга n_3 , средняя глубина среза единичным зерном z_3 и площадь пятна контакта шлифовального круга с заготовкой. Пятно контакта шлифовального круга с заготовкой определяет эквивалентный диаметр D_3 и длину зоны контакта шлифовального круга с заготовкой l_k . Среднее число режущих зерен на единице поверхности круга определяется случайным расположением зерен в шлифовальном круге и рассчитывается на основе принятого закона распределения [2,4].

При определении параметров пятна контакта обычно исходят из того, что в резании участвуют в основном режущие зерна, расположенные непосредственно на рабочей поверхности инструмента и имеющие площадки износа, а зерна, лежащие в глубине, практически не участвуют в срезании металла (1-2 % от общего объема) [6].

Для обеспечения заданных значений качества, размерной точности и производительности при глубинном профильном шлифовании лопаток газотурбинных двигателей на многоосевых станках необходимо обеспечивать равные показатели по съему, слою микронеровностей и износу круга по каждой поверхности за счет выбора оптимальных режимов резания и характеристик круга. Можно указать несколько этапов действий по обеспечению размерной точности и качества поверхностного слоя при глубинном профильном шлифовании лопаток ГТД [4,7].

На первом этапе разрабатывается предварительная операционная технология обработки контура сложного профиля на многокоординатном станке с ЧПУ. Выбирается схема, назначаются режимы резания, выбирается характеристика круга на основе традиционных, сложившихся методик.

Таблица 1. Пример дифференциации процесса формообразования при обработке на многоосевом станке с ЧПУ на элементарные поверхности

Элементарная поверхность	Эскиз	Схема шлифования и параметры контакта	Пятно контакта
наклонная поверхность справа		<p>Профильное шлифование наклонной поверхности справа.</p> $l_k = \sqrt{S_{\text{рад}} \cdot D_{\text{кр}}}$ $b_k = b_k^{\text{бок}}$ $t_{\phi} = S_{\text{рад}} \cdot \sin \alpha_i$ $a_z^{\text{бок}} = \frac{S_{\text{пр}} \cdot L}{60 \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\phi}}{D_{\text{кр}}}} =$ $= \frac{S_{\text{пр}} \cdot L}{60 \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{рад}} \cdot \sin \alpha_i}{D_{\text{кр}}}}$	
плоскость		<p>Плоское шлифование периферией круга выступа.</p> $l_k = \sqrt{D_{\text{кр}} \cdot t_{\phi}}$ $b_k = 1,1 \cdot S_{\text{поп}}$ $a_z = \frac{S_{\text{пр}} \cdot L}{60 \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\phi}}{D_{\text{кр}}}},$	
наклонная поверхность слева		<p>Профильное шлифование наклонной поверхности слева.</p> $l_k = \sqrt{S_{\text{рад}} \cdot D_{\text{кр}}} \cdot b_k = b_k^{\text{бок}},$ $t_{\phi} = S_{\text{рад}} \cdot \sin \alpha_i,$ $a_z^{\text{бок}} = \frac{S_{\text{пр}} \cdot L}{60 \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\phi}}{D_{\text{кр}}}} =$ $= \frac{S_{\text{пр}} \cdot L}{60 \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sqrt{\frac{S_{\text{рад}} \cdot \sin \alpha_i}{D_{\text{кр}}}}$	
торец		<p>Плоское шлифование торцом круга слева.</p> $l_k = \sqrt{b_1 \cdot D_{\text{кр}}},$ $b_k = t_{\phi}$ $a_z = \frac{a_{z \text{ max}}}{2} =$ $= \frac{S_{\text{пр}} \cdot L}{2 \cdot 60 \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta_1$	

На втором этапе разрабатывается математическая модель теплодинамической системы глубинного профильного шлифования, которая учитывает динамику механических, тепловых и рабочих процессов при обработке каждой из элементарных поверхностей сложного профиля [7].

Третий этап связан с использованием полученной математической модели для изучения условий осуществления процесса глубинного шлифования. Как известно, с увеличением глубины процесс шлифования может становиться неустойчивым [6]. В условиях неустойчивости выполнение обработки или достижение заданных параметров качества невозможно, поэтому требуется корректировка исходной технологии. Для преодоления этой проблемы можно снизить глубину шлифования и производить обработку за несколько проходов, что снижает производительность и эффективность глубинного шлифования. Математическое моделирование позволяет добиться устойчивости процесса глубинного шлифования за счет изменения других параметров обработки, в том числе конструктивных параметров технологической системы, при сохранении максимально возможной производительности.

После корректировки технологии необходимо уточнить математическую модель и заново проверить систему на устойчивость. При обеспечении устойчивости процесса необходимо на основе математической модели получить статические и динамические характеристики, которые будут определять взаимные смещения шлифовального круга и заготовки A_0 , текущую глубину резания t_{ϕ} , колебания силы шлифования P и температур в зоне резания θ_i .

Общие выводы:

- При профильном глубинном шлифовании сложных профилей лопаток необходимо учитывать различие условий шлифования отдельных элементов профиля, которые вызывают колебания в технологической системе, изменения съема материала и приводят к снижению размерной точности, качества поверхностного слоя заготовки.
- Различие условий шлифования элементов сложного профиля проявляется в режимах резания, реализуемых схемах шлифования и разных параметрах пятна контакта шлифовального круга и заготовки.
- Предложенные модели для расчета параметров контакта могут быть использованы при исследовании особенностей динамики тепловых процессов при глубинном шлифовании лопаток. Это позволит изучать влияние условий глубинного шлифования поверхностей сложного профиля на тепловые процессы в зоне обработки, на относительные смещения шлифовального круга и заготовки из-за динамических явлений и задавать оптимальные режимы резания и характеристику круга.

Список литературы: 1. Макаров В.Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов: Учебное пособие.- СПб.: Издательство “Лань”, 2013. – 320 с. 2. Полетаев В.А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с. 3. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с. 4. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке: Изд-во Саратов. ун-та, 1972. – 232 с. 5. Никитин С.П. Моделирование процесса резания при шлифовании с учетом взаимодействия упругой и тепловой систем. // Уфа, Вестник УГАТУ, 2009, Т.12, №4(33), с. 61-65. 6. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2009. – 358 с. 7. Макаров В.Ф., Никитин С.П. Влияние условий формообразования на качество поверхностного слоя лопатки при глубинном профильном шлифовании. // Москва: «Научные технологии в машиностроении», 2015. №8 (50). - с. 38-44.