

УДК 621.924.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЛОПАТКИ ГТД ПОД ВЛИЯНИЕМ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ, СХЕМ ОБРАБОТКИ, ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА

INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF CHANGES IN THE PROFILE OF THE SCD BLADE UNDER THE INFLUENCE OF GRINDING MODES, PROCESSING SCHEMES, EQUIPMENT AND TOOL CHARACTERISTICS

КАМАЛИЕВ ЭЛЬВИР АЛМАЗОВИЧ,

Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет.

САИТОВ ШАМИЛЬ ЗУЛЬФАТОВИЧ,

Уфимский Государственный Авиационный Технический Университет.

KAMALIEV ELVIR ALMAZOVICH,

Ufa State Aviation Technical University.

SAITOV SHAMIL ZULFATOVICH,

Ufa State Aviation Technical University.

Данная статья посвящена исследованию динамики изменения профиля лопатки ГТД под влиянием режимов шлифования, схем обработки, характеристик оборудования и инструмента. В содержании изложены три метода по управлению глубиной съема при шлифовании лопаток ГТД, проведен анализ по изучению достоинств и недостатков этих методов. В качестве вывода автором предложены схемы удаления припуска, которые позволили учесть изменение режущей способности и снизить погрешность обработки лопаток ГТД, когда наблюдается износ абразивных шлифовальных кругов и лент.

This article is devoted to the study of the dynamics of changes in the profile of the blade of the GTE under the influence of grinding modes, processing schemes, characteristics of equipment and tools. The content describes three methods for controlling the depth of removal when grinding the blades of the gas turbine engine, an analysis is carried out to study the advantages and disadvantages of these methods. As a conclusion, the author proposed schemes for removing the allowance, which made it possible to take into account the change in cutting capacity and reduce the processing error of the blades of the GTE when wear of abrasive grinding wheels and belts is observed.

Ключевые слова: лопатки ГТД, ленточное шлифование, приработка шлифовальных лент, ЧПУ, станки с ЧПУ, обработка лопаток ГТД, погрешность обработки лопаток ГТД, глубина резания.

Key words: GTE blades, belt grinding, running-in of grinding belts, CNC, CNC machines, machining of GTE blades, machining error of GTE blades, depth of cut.

Снижение режущей способности шлифовальных лент из-за приработки и износа при обработке приводит к проблеме, связанной с тем, что непостоянные и "плавающие" значения интенсивности съема в процессе обработке заготовок не дают нужную точность. У профиля обработанной поверхности лопаток плавно увеличивается погрешность. Когда начинают снимать припуск за пару проходов с одинаковым направлением строчной

подачи происходит увлечение данного отклонения (Рис. 1а), т.к. происходит постоянный износ абразивной ленты. Снижение данного отклонения является первоочередной задачей.

Для решения данной задачи назначают встречные проходы. При обработке лопаток ГТД все подачи в поперечном направлении необходимо направить в сторону подачи на первом проходе (Рис. 1б). Таким образом произойдет компенсация погрешности на первом проходе за счёт других погрешностей на проходах после.

Условие достижения минимального значения погрешности при обработке – это главное условие, при котором подбираются режимы ленточного шлифования. Данные режимы шлифования определяются по зависимостям (1-3). В том случае, когда необходимо снять небольшие припуски, необходимо увеличивать подачи на строку h_c . Это гарантирует производительность обработки лопаток ГТД на постоянном должном уровне [1, с. 13].

После обработки уменьшается съём и затупляется лента. Появляется погрешность и её можно вычислить по формуле (1):

$$\Delta_{i,j} = \delta(u, v) - t_1(u, v, V_{1,i,j}) - t_2(u, v, V_{2,i,j}) - \dots - t_k(u, v, V_{k,i,j}) \quad (1)$$

где $\delta(u, v)$ – является величиной припуска, мм;

i, j, k – нумерация проходов;

u, v – криволинейные координаты;

$t_1(u, v, V_{1,i,j}), t_2(u, v, V_{2,i,j}), \dots, t_k(u, v, V_{k,i,j})$ – глубина съёма припуска, когда материал удаляется послойно, м.

V_1, V_2, \dots, V_k – это объём снятого материала, м³;

Осуществив интерполяцию по сглаженным экспериментальным данным, найдем функцию, с помощью которой можно найти глубину съёма $T_{i,k}$ с нумерацией i :

$$T_{i,k} = f_t(v_{лк}, v_{дк}, P_k, h_{ск}, V_{k,i,j}) \quad (2)$$

где $h_{ск}$ – является величиной строчечной подачи, м;

$v_{дк}, v_{лк}$ – скорость детали и скорость ленты, м/с;

$V_{k,i,j}$ – объём снятого материала, м³;

P_k – прижимная сила, Н;

При минимизации квадрата средней погрешности достигается наименьшая суммарная погрешность от затупления ленты (3) при обработке:

$$\frac{1}{IJ} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \Delta_{i,j}^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

где I, J – количество точек разбиения поверхности в продольном и поперечном направлениях проточной части.

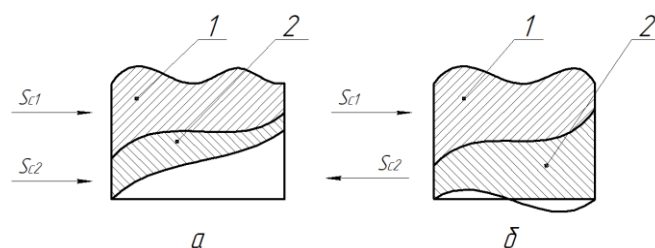


Рис.1. Схема удаления припуска: 1 – припуск, который удаляется на первом проходе; 2 – припуск, который удаляется на втором проходе.

Используя данную схему, осуществляют приработку лент и черновую обработку проточной части лопатки. Таким образом, не искажается геометрическая форма пера лопатки. Управляя глубиной съёма, уменьшается воздействие погрешности обработки с прошлой операции.

В рамках данной работы автором были исследованы три метода по управлению глубиной съёма, а также проанализированы достоинства и недостатки данных режимов резания. Для проведения исследования были выбраны три группы лопаток со схожим распределением припуска с предыдущей операции, а также составлена программа обработки на станке ЧПУ, чтобы опорные точки были на специальных контролируемых сечениях [2, с. 13].

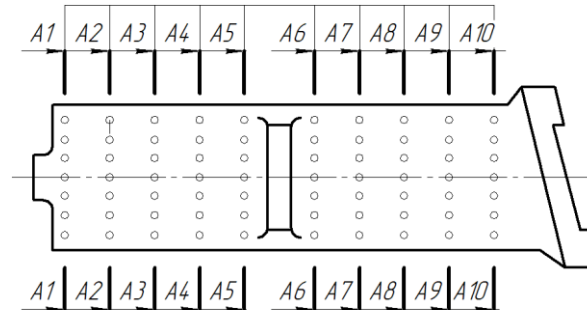


Рис.2. Схема расстановки опорных точек на лопатке ГТД.

В первую очередь, при обработке лопаток ГТД, проводится контроль глубины съёма в 35 точках. Данные точки пронумерованы согласно движению инструмента по специальной схеме (Рис. 3). На станке, данная обработка производилась на спинке лопатки с участка от замка до бандажной полки.

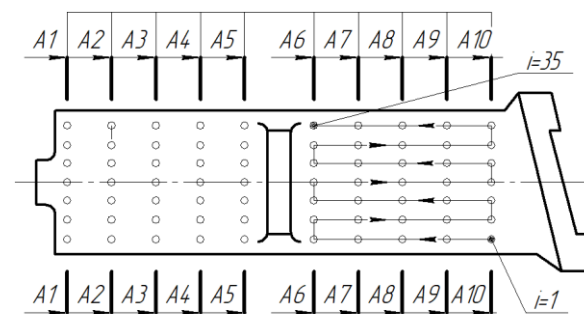


Рис. 3. Схема расстановки опорных точек на лопатке ГТД.

Номинальные режимы были следующими:

$V_0 = 3.5$ м/мин, $V_n = 10$ м/с, $P = 140$ Н (абразивная лента VSM P40 SK840X) [3, С. 33].

Суть первого метода по контролю глубины съёма заключается в изменении скорости перемещения шлифующего инструмента. Иными словами, необходимо увеличить скорость движения инструмента по опорным точкам, для снятия припуска большей величины (рисунок 4).

Достоинства этого подхода: относительно высокая производительность, где машинное время равно 7 мин; надёжное качество обработки $Ra = 2.6-3.2$ мкм. Перечисляя недостатки данного подхода, можно выделить следующее: режущая способность снизилась на 25 %; большой расход инструмента чем у первого метода; в связи с потерей режущей способности сложная прогнозируемость глубины снимаемого припуска; разброс колебаний припуска до 0.08 мм [5, с. 183].

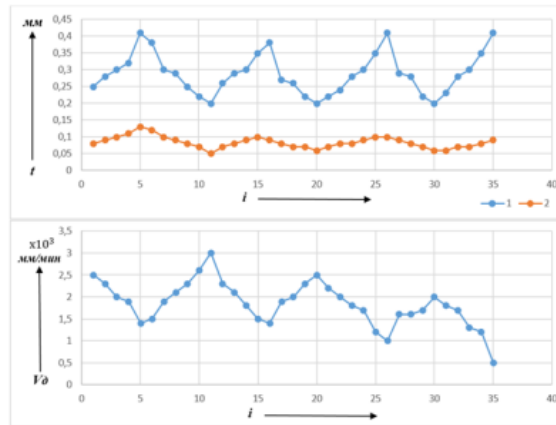


Рис. 4. Результат обработки по первому методу 1 – припуск до обработки; 2 – припуск после обработки.

Второй метод по контролю глубины съема – это изменение подачи детали. При необходимости снятия припуска большей величины осуществляется снижение подачи лопатки. По этому методу увеличивается время обработки и число зерен, которые проходят через контролируемые участки лопаток с большим припуском (рисунок 5).

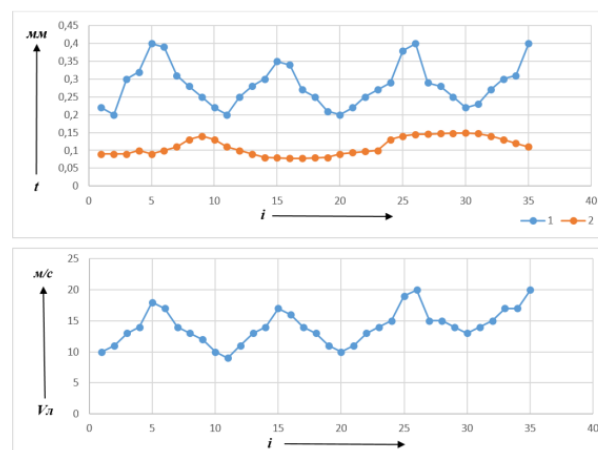


Рис. 5. Результат обработки по второму методу 1 – припуск до обработки; 2 – припуск после обработки.

Достоинства данного метода: после обработки лопаток ГТД режущая способность инструмента снизилась на 17 %; выявлен относительно не большой расход инструмента; относительно стабильное качество обработки лопаток, где $Ra = 2.8-3.2$ мкм; высокая прогнозируемость результатов, где разброс колебаний припуска после обработки лопаток менее 0.05 мм.

Недостатком данного метода является относительно низкая производительность обработки, где машинное время увеличивается до 12.8 мин [4, с. 85].

Третий метод по управлению глубиной съема состоит в изменении давления инструмента. Увеличивают давления инструмента, чтобы снять припуск больше номинальной величины (Рис. 6).

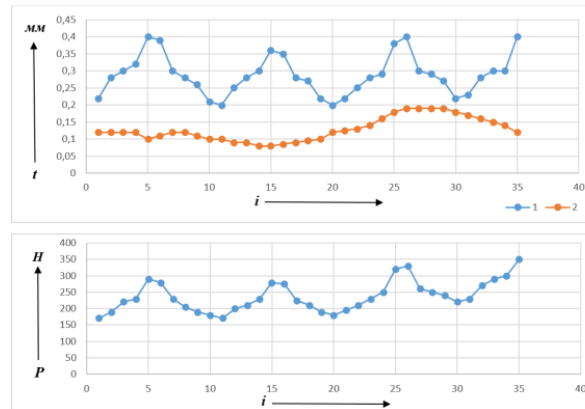


Рис. 6. Результат обработки по третьему методу 1 – припуск до обработки; 2 – припуск после обработки.

Достоинством данного метода являются: высокая производительность обработки, где машинное время достигает 7 мин. Отрицательные стороны: трудная прогнозируемость результатов обработки; большой диапазон колебаний припуска после обработки лопаток, который достигает до 0.1 мм; режущая способность снизилась на 30 %; увеличилась глубина съема для номинальных режимов до 0.14 мм; ненадёжное качество обработки $Ra = 2.6 - 4$ мкм, присутствуют глубокие риски на поверхности до 0.07 мм [6-8].

Таким образом, автором предложены методы удаления припуска, которые позволяют учесть изменение режущей способности ленты и снизить погрешность обработки вследствие износа шлифовальных лент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полетаев В.А. Ленточное шлифование крупногабаритных лопаток газотурбинных двигателей на станках с ЧПУ / В.А. Полетаев, В.В. Михрютин, А.А. Коряжкин // СИЖ. 2005. №10. С.10-16.
2. Полетаев В.А., Волков Д.И., Коряжкин А.А. Повышение качества ленточного шлифования лопаток ГТД // Технология машиностроения. 2012. № 4. С. 12-15.
3. Волков Д.И., Коряжкин А.А. Повышение точности обработки путем управления процессами контактного взаимодействия режущего инструмента с заготовкой при ленточном шлифовании лопаток ГТД // СТИН. 2012. № 4. С. 30-35.
4. Коряжкин А.А. Оптимизация процесса ленточного шлифования на многокоординатных станках с ЧПУ // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2011. Т. 15. № 3 (43). С. 84-89.
5. Коряжкин А.А., Волков Д.И. Повышение эффективности адаптивного ленточного шлифования за счет программируемого управления условиями обработки // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 181-184.
6. Апкалимова Ю.Х., Швецов А.Н. Проектирование оснастки для ленточного шлифования профиля пера лопаток третьей ступени КНД ГТД серии "НК" // В сборнике: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Материалы докладов Международной научно-технической конференции. 2018. С. 49-51.
7. Макаров В.Ф., Никитин С.П., Песин М.В. Основные проблемы глубинного шлифования лопаток газотурбинных двигателей на многоосевых шлифовальных станках с ЧПУ // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2020. Т. 2. С. 26-27.
8. Макаров В.Ф., Никитин С.П. Управление качеством поверхностного слоя лопатки при глубинном профильном шлифовании // В сборнике: Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства. Труды IV международной научно-

технической конференции (Резниковские чтения). Редакционная коллегия: А.В. Гордеев, В.И. Малышев, Л.А. Резников, А.С. Селиванов. 2015. С. 311-316.

© Камалиев Э.А., Саитов Ш.З., 2022.