

ПРОГРАММА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК ИЗ ДЕКАРТОВОЙ СИСТЕМЫ В ПОЛЯРНУЮ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОБРАБОТКЕ ПЕРА ЛОПАТКИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. Р. Сайдуганов¹, Р. Г. Кудояров², О. К. Акмаев³

¹ andrewsai@mail.ru, ² kats10@mail.ru, ³ olakm@rambler.ru

¹ АО «Институт технологии и организации производства» (НИИТ)

^{2,3} ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Представлен алгоритм реализации процесса перевода управляющей программы из декартовой системы координат в полярную систему координат для станка модели 4СЭШ-360П4. Данное приложение позволит ускорить процесс создания управляющей программы.

Ключевые слова: станок модели 4СЭШ-360П4; лопатка ГТД; шлифование; программное обеспечение.

Целью работы является разработка программного обеспечения, позволяющего переводить точки расположения оси алмазного шлифовального круга из декартовой системы координат в полярную систему координат станка 4СЭШ-360П4. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать трехмерную модель в САД-системе;
- построить траекторию движения инструмента в САМ-системе;
- разработать программное обеспечение, позволяющее переводить управляющую программу в полярную систему координат станка мод. 4СЭШ-360П4.

Повышение эксплуатационных характеристик изделий при современном развитии отрасли машиностроения в целом предполагает применение новых труднообрабатываемых сплавов на основе титана, имеющих износостойкие покрытия и обладающие рядом других свойств, трудно поддающихся механической обработке вследствие повышенной твердости, вязкости, хрупкости и склонности к прижогам, микротрещинам. Лопатка ГТД имеет сложную форму поверхностей с повышенной точностью, не-

жесткую конструкцию, что существенно осложняет ее обработку.

Для обработки данного типа материала преимущественно используются сверхтвердые абразивы: синтетические алмазы и кубический нитрид бора (эльбор). Однако качественная обработка указанного материала обычными методами абразивного шлифования становится весьма трудоемкой, либо невозможной.

Высокая твердость, качество и стабильность свойств алмаза и эльбора обеспечивают, с одной стороны, повышение производительности процесса, качество и точность обработки деталей выпускаемых изделий. С другой стороны, широкое использование шлифовального инструмента на металлической связке на основе сверхтвердых абразивов способствует распространению комбинированных методов обработки, которые позволяют повысить эффективность применения и работоспособность указанного абразивного инструмента.

Также для обработки лопатки ГТД абразивным шлифованием применяются такие инструменты, как САМ-система, САД-система и постпроцессор, которые тем самым позволяют выводить управляющую

программу для обработки детали типа лопатки ГТД.

САМ-системы (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.).

На рис. 1, а изображена компоновка станка мод. 4СЭШ-360П4, для которого разрабатывается управляющая программа процесса обработки пера лопатки с применением схемы формообразования с движением по спирали.

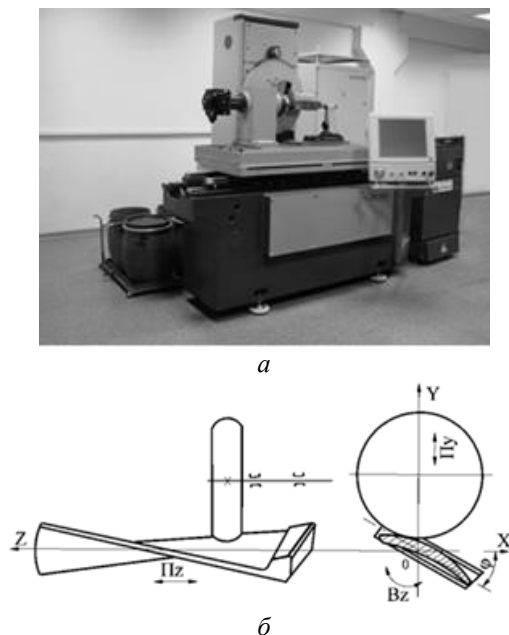


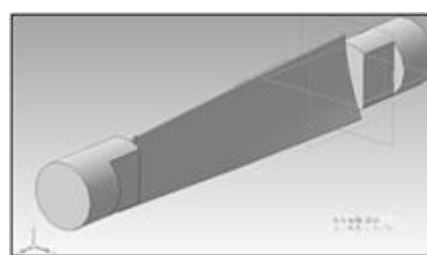
Рис. 1. Опытный образец четырехкоординатного станка модели 4СЭШ-360П4 [1,2]:

а – общий вид станка; б – схема формообразования узкой строкой с вращательным задающим движением при огибании профиля пера лопатки ГТД

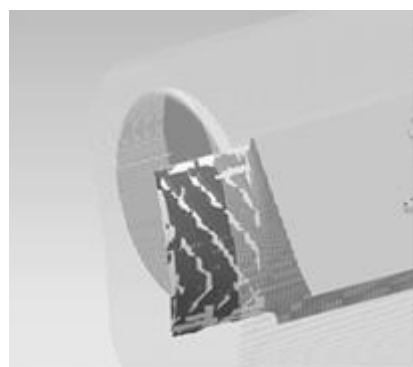
На рис. 1, б показана типовая схема трехкоординатной обработки профиля пера лопатки компрессора на станке 4СЭШ-360П4. Вращательное движение является основным задающим движением, ось Bz проходит по оси пера лопатки. Обработка может производиться как с поперечной, так и продольной строкой. Вращение Bz может осуществляться с постоянной или с переменной угловой скоростью. При постоянной угловой скорости ωz линейная скорость перемещения контакта по профилю S_{oz} не постоянна. Изменяя угловую скорость ωz по

определенному закону $\omega z = f(\varphi, z)$, можно добиться постоянства S_{oz} , т.е. постоянной величины подачи по строке. Перемещение по оси Y определяется функциональной зависимостью $y = f(\varphi, z)$. Для обеспечения процесса обработки пера лопатки ГТД, необходимо выполнить следующие операции:

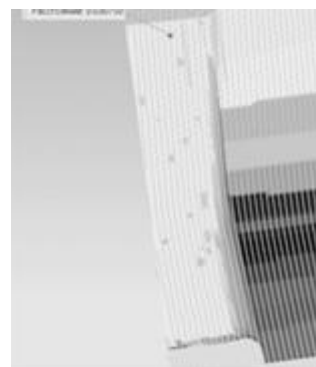
1. Разработать трехмерную модель в САД-системе (рис. 2, а);
2. Построить траекторию движения инструмента в САМ-системе (рис. 2, б, в);
3. Разработать управляющую программу для станка мод. 4СЭШ-360П4 (рис. 3).



а



б



в

Рис. 2. Процесс моделирования пера лопатки ГТД: а – трехмерная модель образца лопатки с углом закрутки 30° ; б - 3D визуализация схема материала; в – отображение толщины обрабатываемой детали в цвете

В программное обеспечение (ПО) «XYZ» (постпроцессор) заложена система

уравнений для перевода значений координат из декартовой системы в полярную систему координат станка мод. 4СЭШ-360П4.

Для вычисления угла φ в интервале $[0, 2\pi)$, использовали уравнения, в которых \arctg обозначает обратную функцию к тангенсу:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \arctg\left(\frac{z}{y}\right), & y > 0, z \geq 0 \\ \arctg\left(\frac{z}{y}\right) + 2\pi, & y > 0, z < 0 \\ \arctg\left(\frac{z}{y}\right) + \pi, & y < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & y = 0, z > 0 \\ \frac{3\pi}{2}, & y = 0, z < 0 \\ -, & y = 0, z = 0 \end{array} \right.$$

Данная система уравнений заложена в программный код ПО «XYZ», осуществляющего процесс расчета с последующим преобразованием координат с декартовой системы в полярную систему координат станка мод. 4СЭШ-360П4. Ход процесса преобразования представлен на рис. 3.

В результате процесса преобразования точек из декартовой системы координат в полярную загружаем УП в систему управления станка 4 СЭШ-360П4. Главное окно системы управления LinuxCNC представлено на рис. 4.

Исходные данные с режимами резания представлены в табл. 1.

Технологические параметры для схемы формообразования поперечной строкой:

1. Скорость резания, V_k , [м/с] определяется по формуле:

$$V_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60}, \text{ [м/с]},$$

где D_k – диаметр шлифовального круга, n_k – частота вращения шпинделя шлифовального инструмента.

2. Подача по строке, $S_{\text{по стр.}}$, [мм/мин].

Принятая подача является величиной постоянной по строке, равна 1500 мм/мин.

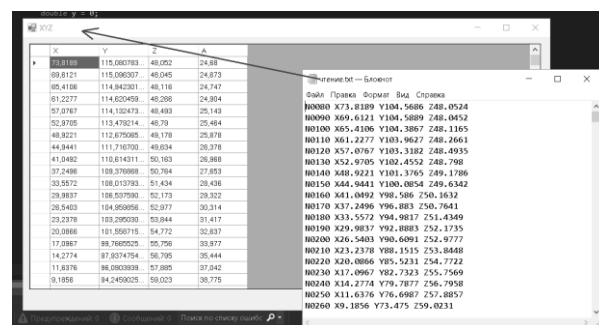
3. Подача на строку, $S_{\text{на стр.}}$, [мм/на стр.].

Подача на строку определялась экспериментально, с учетом величины шероховатости обрабатываемой поверхности.

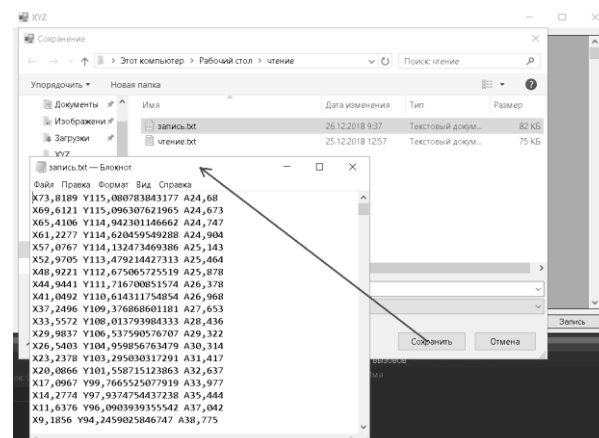
Принималась равной 0,25; 0,5; 1,0 мм.



а



б



в

Рис. 3. Ход процесса преобразования точек в разработанном ПО: а – главный вид программного обеспечения по преобразованию исходной управляющей программы; б – чтение массива данных из блокнота в формате «*.txt» и одновременное преобразование данных ПО; в – сохранение преобразованной управляющей программы

4. Глубина резания, t , [мм].

Глубина резания принималась равной 0,1 мм при всех вариантах подачи с учетом достижения максимальной производительности.

5. Количество строк, k .

Условия обработки: СОТС не использовалась; количество проходов, $i=1$.

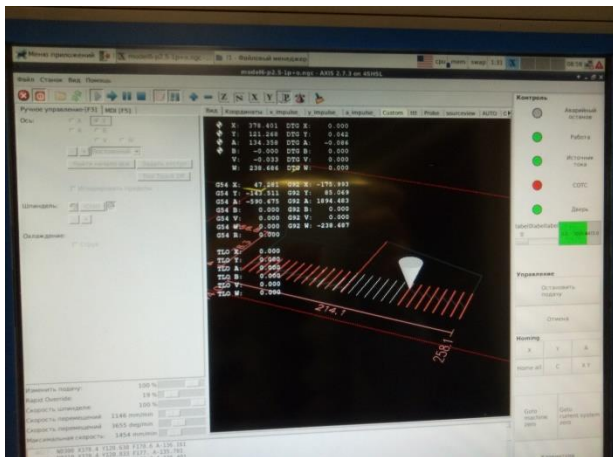


Рис. 4. Главное окно системы управления станком

Таблица 1

Режимы резания при построчной технологической схеме обработки

$V_{рез}$, м/с (об/мин)	$S_{по стр}$, мм/мин	$S_{на стр}$, мм/на стр	t , мм
28,3 (3003 об/мин)	1500	0,25; 0,5; 1,0	0,1

Обработанная деталь (рис. 5) была разделена на 5 участков с различными режимами подачи на строку и количеством строк на различных участках заготовки.

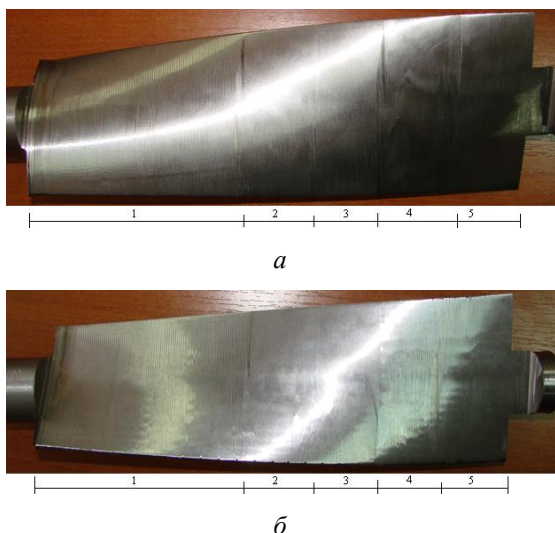
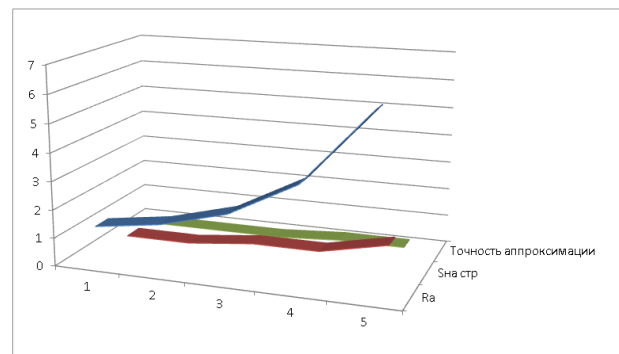


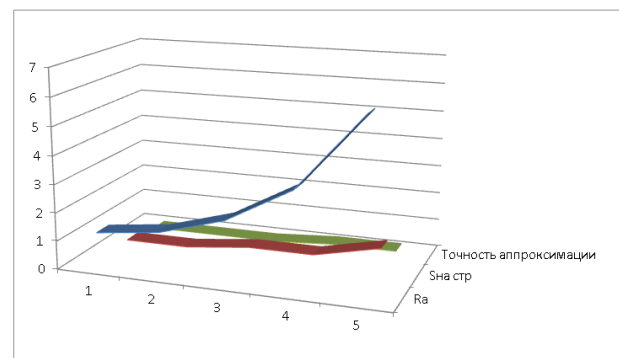
Рис. 5. Обработанное перо лопатки ГТД: а – поверхность со стороны спинки; б – поверхность со стороны корыта

Учитывая, что чистовая обработка характеризуется заданной шероховатостью Ra, и величиной поверхностных остаточных напряжений, проведен анализ влияния на

шероховатость Ra некоторых параметров (рис. 6): подачи на строку, погрешности аппроксимации и подачи по строке.



а



б

Рис. 6. Зависимости Ra=f(S на стр, точность аппроксимации): а – Ra со стороны корыта; б – Ra со стороны спинки

В ходе выполнения работы проведено исследование о возможности применения САМ-систем в связке «станок-стойка с ЧПУ (LinuxCNC)-САМ-система», на основе чего выполнены экспериментальные исследования и получены результаты, позволяющие осуществить шлифование титанового сплава BT9 диаметром 40 мм согласно ГОСТ 26492-85, в результате чего решены следующие задачи:

1. Разработаны чертежи заготовки образца лопатки и трехмерная модель образца лопатки, позволяющая ее использовать в качестве исходных данных при моделировании в САМ-системе с последующей визуализацией и выводом управляющей программы на G-кодах.

2. Сравнительный анализ САМ-систем показал, что для разработки УП станка мод. 4СЭШ-360П4 возможно использование

САМ-системы, предусматривающей применение инструмента с тороидальной геометрией, а именно PowerMill и NX [3].

3. Из двух возможных вариантов реализации стратегий обработки (обработка с поперечной строкой и обработка по винтовой линии) экспериментально реализована обработка по строке (с поперечной строкой). Предполагается разработка УП при обработке по винтовой линии. Это связано с необходимостью сравнительного анализа качества поверхности образца лопатки по величине Ra при двух вариантах обработки.

4. Реализована схема построения траектории движения инструмента на трехмерной детали типа лопатки ГТД с последующей корректировкой и анализом трехмерной детали (возможности врезания и зарезов, а также их последующего устранения).

5. Разработано ПО «XYZ» (постпроцессор), позволяющий переводить координаты точек оси инструмента из декартовой системы в полярную систему координат для станка мод. 4СЭШ-360П4 с системой управления LinuxCNC.

6. Исследованиями установлено:

– шероховатость поверхности Ra зависит от величины подачи на строку, чем больше величина подачи на строку, тем выше Ra.

– при обработке спинки и корыта при одних и тех же установленных технологических параметрах, шероховатость поверхности Ra, корыта лопатки больше, чем при обработке спинки.

– величина точности аппроксимации при малых значениях перестает оказывать существенное влияние на шероховатость, чем меньше величина точности аппроксимации, тем меньшее влияние оказывает величина точности аппроксимации на Ra.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрьев В. Л., Грибановский В. А., Старочкина С. В. Технология изготовления лопаток компрессора газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 2011. 611с. [V. L. Yuryev, V. A. Gribanovsky, S. V. Starochkina, «Manufacturing technology for compressor blades of gas turbine engines.» pp. 611, 2011.]

2. Разработка технологии чистовой обработки и специализированного станка модели 4СЭШ-360П4 для алмазного электрохимического шлифования сложнопрофильных поверхностей деталей типа лопатки компрессора ГТД /

В.Л. Юрьев, С.В. Старочкина, С.В. Перлов и др. // Наука – производству: Ежегодный научно-технический сборник. Вып. 8/ под общей ред. д-ра техн. наук, проф. В. Л. Юрьева. – Уфа: Издательство «Варант», 2013. – 264с. [V.L. Yuriev, S.V. Starochkina, S.V. Perlov and others, «Development of finishing technology and specialized machine model 4SESH-360P4 for diamond electrochemical grinding of complex profile surfaces of parts like GTE compressor blades», pp. 264, 2013.]

ОБ АВТОРАХ

САЙДУГАНОВ Андрей Радионович, асп. каф. АТП. Дипл. магистр (УГАТУ, 2017). Готовит дис. о разработке и исследовании станка-робота с повышенными технологическими возможностями.

КУДОЯРОВ Ринат Габдулхакович, проф. каф. АТП. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1963). Д-р техн. наук по технологиям и оборудованию мех. и физ.-техн. обработки (УГАТУ, 2003). Иссл. в обл. разработки мехатронных станочных систем.

АКМАЕВ Олег Кашафович, доц. каф. АТП. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1971). Канд. техн. наук по техн. произв. летательн. аппаратов и двигателей (УГАТУ, 1983). Иссл. в обл. обработки точных деталей и в обл. разработки мехатронных станочных систем.

METADATA

Title: Program for the transformation of coordinate points from decard system to polar applicable to treatment feather blades of gas turbine engine.

Authors: A. R. Sayduganov¹, R. G. Kudoyarov², O. K. Akmaev³

Affiliation:

¹ Institute of Technology and Organization of Production
^{2,3} Ufa State Aviation Technical University (UGATU),
Russia.

Email: ¹andrewsai@mail.ru, ²kats10@mail.ru,

³olakm@rambler.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 113-117, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article presents the algorithm for the implementation of the process of transferring the control program from the Cartesian coordinate system to the polar coordinate system for the machine model 4ESH-360P4. This application will speed up the process of creating a control program.

Key words: machine model 4EESH-360P4; GTE blade; grinding; software.

About authors:

SAYDUGANOV, Andrey Radionovich, Postgrad., Dept. of Automation technological processes. Master of Technics & Technology (UGATU, 2017).

KUDOYAROV, Rinat Gabdulhakovich, Prof., Dept. of Automation technological processes. Dipl. Mechanical engineer (UAI, 1963). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2003).

AKMAEV, Oleg Kashafovich, Associate Professor, Dept. of Automation technological processes. Dipl. Mechanical engineer (UAI, 1971). Candidate of Tech. Sci. (UGATU, 1983).