УДК 621.923
DOI: 10.12737/17317

В.А. Полетаев, д.т.н.

(Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева,
152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д.53),

Е.В. Цветков, к.т.н.

(НПО «Сатурн», Ярославская область, 152903, г. Рыбинск, пр. Ленина, д.163)

E-mail: poletaev@rsatu.ru, egor.tsvetkov@npo-saturn.ru

Профильное и контурное шлифование хвостовиков лопаток компрессора

Представлены технологические схемы автоматизированного шлифования хвостовиков лопаток компрессора. Описаны оригинальные технологии автоматизированного профильного шлифования рабочих лопаток ротора, а также плоского врезного контурного шлифования направляющих лопаток статора компрессора.

Ключевые слова: лопатка компрессора; шлифование кругами из CBN; многокоординатная обработка за один установ детали.

V.A. Poletaev, d.en.s.

(Rybinsk State Aviation Technical University named after P.A. Solov'yov,
53 Pushkin Street, Rybinsk, 152934, Yaroslavl region, Russia),

E.V. Tsvetkov, c.en.s.

(“Saturn” Scientific production association,
163 Lenin Ave., Rybinsk, 152903, Yaroslavl region, Russia)

Profile and contour grinding of compressor blade butts

The existing technologies of production of compressor blade butts related with traditional machining methods, including broaching and milling. Application of these machining methods requires further superfinishing operations to ensure the required quality of compressor blades. The automated highly-productive grinding of blade butts is an effective method to improve performance and quality of blade production. The technologies of profile and contour grinding of blades of a rotor and a compressor stator provide an automated machining of the outer parts contour in the same coordinate system, implement machining based on 3-D models of theoretical blade surfaces, ensure the required quality parameters of the part surface layer without additional finishing operations.

Keywords: compressor blade; grinding by CBN wheels; multi-coordinate processing at one setting of part.

Технологические процессы изготовления хвостовиков лопаток компрессоров, схемы и способы шлифования определяются конструктивным исполнением обрабатываемых поверхностей. При обработке хвостовиков рабочих лопаток ротора компрессора преобладают схемы профильного врезного шлифования, где образующие инструмента формируют геометрические размеры и форму обрабатываемой поверхности.

В этом случае для обработки наружного

контура хвостовика используют несколько инструментов оригинальной формы, которые по мере обработки постепенно приближают технологическую поверхность детали к теоретической [1].

При обработке хвостовиков направляющих лопаток статора компрессора преобладают схемы плоского врезного шлифования, осуществляемого последовательно по всем поверхностям контура детали.

В этом случае используют один режущий

инструмент с прямолинейной образующей режущей поверхности.

Более детально особенности этих технологических схем обработки могут быть проиллюстрированы примерами схем обработки рабочих и направляющих лопаток компрессора.

Так, схемы обработки рабочей лопатки компрессора, дополненные компоновочными схемами технологической оснастки и управляемых опций технологического оборудования, представлены на рис. 1, 2.

Технологические схемы взаимных переме-

Рис. 1. Схема взаимных перемещений инструментов и заготовки при шлифовании хвостовика рабочей лопатки 1-й ступени компрессора двигателя SaM-146 (1 и 2 переходы)

Рис. 2. Схема взаимных перемещений инструментов и заготовки при шлифовании хвостовика рабочей лопатки 1 ступени компрессора двигателя SaM-146 (3 – 6 переходы)

щений инструмента и опций станка, несущих заготовку, наиболее полно представляют обработку хвостовика рабочей лопатки компрессора. Здесь деталь 1, установлена в приспособление-спутник 2, которое в свою очередь механически закреплено в наладку 3, установленную вертикально на круговом столе 4. При этом ось проточной части лопатки совпадает с осью кругового стола, имеющей возможность перемещения вокруг оси Z на 360° . То есть круговой стол 4 является осью C , управляемой в непрерывном режиме. Круговой стол является частью двухкоординатного глобусного стола и установлен на поворотной платформе (качалке) 5. Качалка 5 управляется непрерывно, осуществляет поворот вокруг оси Y на угол $\pm 90^\circ$, т.е. является осью B .

В свою очередь, глобусный стол установлен на делительном столе 6, расположенном на станине (или на продольном столе станка) горизонтально. Стол 6 имеет возможность углового перемещения вокруг оси X , т.е. является осью A . Управление этой осью, в данном случае, осуществляется дискретно. То есть она наклоняет глобусный стол (оси B и C) не в процессе обработки, а только при смене переходов, принимая последовательно значение $\alpha_1 \dots \alpha_6$.

Инструмент (абразивный круг) в процессе обработки перемещается по координатам X , Y , Z . В этом технологическом процессе обработки хвостовика задействовано шесть управляемых осей, пять из них управляются непрерывно, а шестая дискретно (в режиме наладки). При обработке торцов хвостовика со стороны входной

и выходной кромок — переходы 1, 2, 3, используют режущий инструмент 7 с одинаковой рабочей поверхностью. При обработке подошвы хвостовика и рабочих поверхностей замка, близких к конструкции «ласточкин хвост», используют различные режущие инструменты 8, 9, 10, причем инструмент 8 представляет собой набор трех шлифовальных кругов разной толщины.

Из представленного примера следует, что при обработке хвостовика используется несколько кругов с различными профильными поверхностями рабочей поверхности круга. Совокупность образующих режущих инструментов в итоге и формирует профильные поверхности наружного контура детали.

При обработке поверхностей хвостовиков статорных лопаток используют иные технологические схемы. Наиболее полно это иллюстрирует покадровая схема перемещений инструмента и детали при шлифовании контура хвостовика лопатки статора двигателя SaM-146.

На рис. 3 представлен наружный контур хвостовика лопатки статора двигателя SaM-146. По этому контуру лопатка устанавливается в соответствующие пазы кольца направляющего аппарата и соединяется с ним с помощью электронно-лучевой сварки. Зазоры при сварке хвостовика в лопаточное колесо не должны превышать 0,1 мм. Таким образом, контур хвостовика должен быть выполнен с высокой геометрической точностью, в том числе по взаимному расположению смежных поверхностей [2].

Программа перемещений инструмента и за-

Рис. 3. Хвостовик лопатки направляющего аппарата двигателя SaM-146: а – фотография; б – схема наружного контура хвостовика

Рис. 4. Покадровое перемещение инструмента и заготовки при формировании наружного контура хвостовика (начало)

Рис. 5. Покадровое перемещение инструмента и заготовки при формировании наружного контура хвостовика (продолжение)

Рис. 6. Покадровое перемещение инструмента и заготовки при формировании наружного контура хвостовика (окончание)

готовки при формировании контура хвостовика акцентируется на достижении координат восьми опорных точек в плоскости XOY , характеризующих участки перехода криволинейных поверхностей хвостовика в прямолинейные (рис. 4, 5, 6).

Здесь точка 1 формируется на поверхности хвостовика за счет нахождения в ней в момент шлифования рабочей поверхности круга на высоте z_1 от оси OX в плоскости симметрии хвостовика XOY . Боковая поверхность хвостовика формируется при перемещении детали в направлении X . Точка 2 достигается при перемещении стола станка до координаты x_2 и инструмента до координаты z_2 , которая должна совпадать с координатой z_1 , т.е. координатой первого кадра. Дальнейший переход к точке 3 осуществляется за счет перемещений трех координат X, Y, B , таким образом, деталь перемещается по оси X и поворачивается по оси Y (ось B), а инструмент поднимается вверх по оси Z .

Точка 3 формируется при достижении управляемыми координатами станка значений x_3, y_3, B_3 . Точка 4 формируется за счет перемещений продольного суппорта станка (оси X). Перемещения по оси Z и B отсутствуют. Продольное перемещение детали заканчивается на точке 4 с координатами x_4, z_4 . Дальнейший переход по радиусу контура к точке 5 осуществляется при перемещении инструмента и детали по осям X, Z и B . Точка 5 формируется при достижении продольным и вертикальным суппортами точки 5 с координатами x_5, z_5 и осью B угла в 0° . Аналогично описанным ранее переходам происходит дальнейшее перемещение инструмента и детали к остальным опорным точкам, т.е. 6, 7 и 8. При переходе от точки 8 к точке 1, т.е. при замыкании контура, положение координат перемещаемых узлов должно быть x_1, z_1 и $B = 0$.

Приведенные выше схемы обработки хвостовиков лопаток компрессоров в условиях автоматизированной обработки, требуют использования многоцелевого технологического оборудования с большим числом одновременно управляемых координат. Таким оборудованием является многоцелевой обрабатывающий центр мод. SXS735-TC2 CNC, фирма «Станковендт» (РФ). Оборудование создано по заказу НПО «Сатурн», используется при обработке хвостовиков лопаток компрессоров двигателей нового поколения, в том числе SaM-146, ПД-14 и других рис. 7.

Данное технологическое оборудование позволяет вести обработку лопаток компрессора с размерами проточной части до 400 мм, с при-

Рис. 7. Многоцелевой шлифовальный станок мод. SXS735-TC2 CNC

матической формой хвостовиков типа «ласточкин хвост», имеющих как прямолинейную, так и криволинейную образующие поверхностей сопряжения лопатки и дисков ротора компрессора. Обработка осуществляется в автоматическом цикле, она носит комплексный характер. Обрабатывают все поверхности наружного контура свободные от мест ее установки и закрепления, обработка осуществляется за один установ. Используют высокопроизводительные методы глубинного и скоростного шлифования как абразивными кругами в условиях непрерывной правки, так и кругами из кубического нитрида бора на керамической связке. Данная технология является альтернативой процессам протягивания и фрезерования хвостовиков; по сравнению с ними является наиболее производительной; более гибка и универсальна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полетаев В.А., Цветков Е.В. Автоматизированные технологические процессы изготовления хвостовиков лопаток компрессоров // СТИН. № 6. 2015. С. 34–36.
2. Полетаев В.А. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 2006. 256 с.

REFERENCES

1. Poletaev V.A., Tsvetkov E.V. Automated technological processes of production of compressor blade butts. STIN.No.6. 2015. Pp. 34–36.
2. Poletaev V.A. Technology of automated production of blades of gas turbine engines. Moscow: Mashinostroyeniye, 2006. 256 p.

Рецензент д.т.н. В.Ф. Макаров