

Реализация метода обработки глубоких кольцевых пазов ротора турбины

Ю.В. Иванов, Ю.Н. Скорская, Н.М. Глухов

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация: в статье рассмотрены результаты работы по практической реализации метода фрезерования дисковой фрезой глубоких кольцевых пазов ротора турбины.

Ключевые слова: точение, фрезерование, дисковая фреза, кольцевые пазы.

Поиск наиболее производительных и эффективных методов обработки, а также их совершенствование и практическая реализация являются актуальной задачей в современных быстро изменяющихся условиях производства.

В работе, выполненной в КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, было предложено заменить традиционный метод точения глубоких кольцевых пазов роторов турбин широкими прорезными резцами методом фрезерования их дисковой фрезой.

Во многих случаях применение фрезерования взамен точения, как показывают исследования [1-4], значительно повышает производительность обработки, а также обеспечивает образование при резании коротких, легко поддающихся транспортировке и переработке стружек, что улучшает условия работы станка и станочника и создает возможности для автоматизации всего процесса.

Для реализации предлагаемого метода было разработано техническое предложение на модернизацию токарного станка модели КЖ16119Ф2, на котором производится обработка пазов ротора турбины. Для этого вместо верхнего суппорта было предложено установить фрезерную головку FES140 с мощностью двигателя 45кВт. Схема модернизации станка представлена на рис.1 и рис.2. Ось шпинделя, фрезерной головки располагалась параллельно оси центров токарного станка.

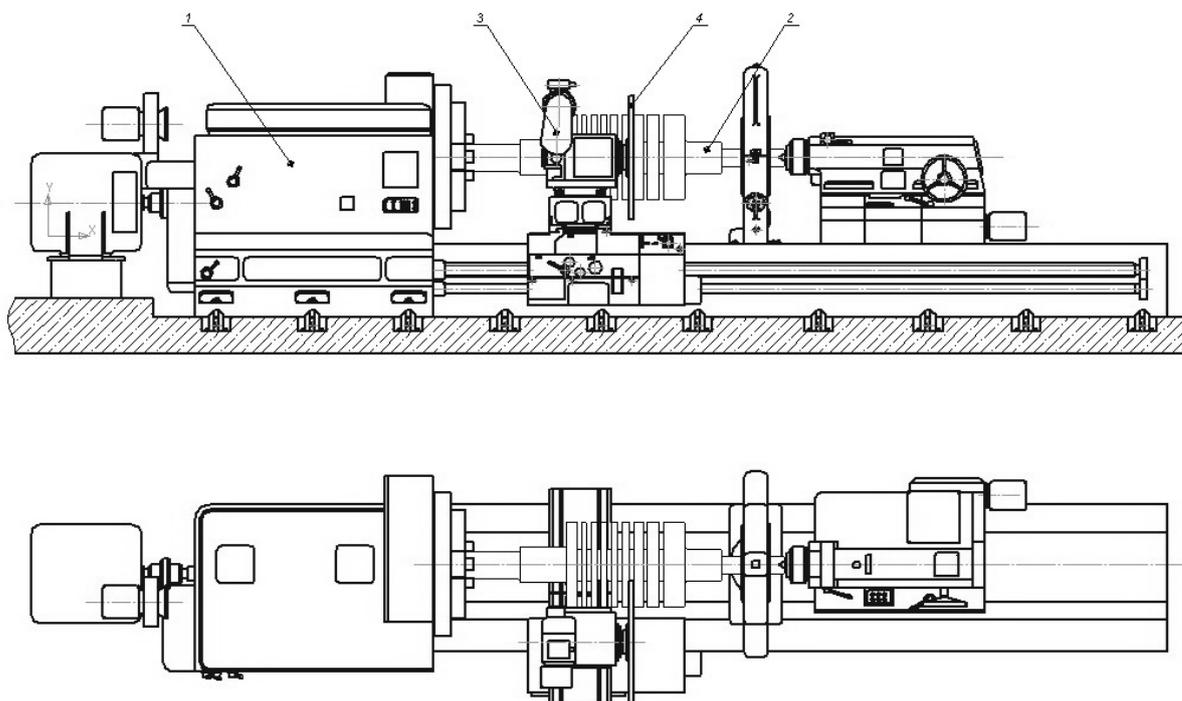


Рис.1. Схема модернизации станка модели КЖ16119Ф2 под фрезерование глубоких пазов ротора турбины (вид сверху).

(1- передняя бабка станка; 2 – ротор турбины; 3 – фрезерная бабка; 4 – фреза.)

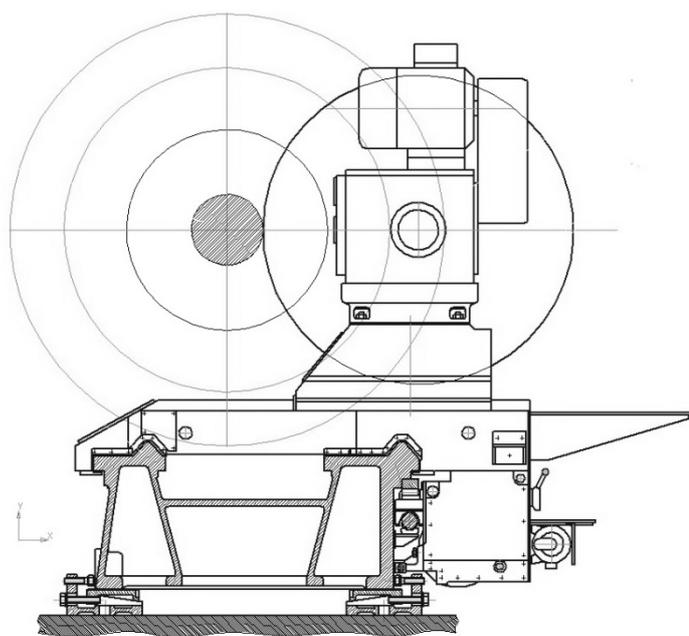


Рис.2. Схема модернизации станка модели КЖ16119Ф2 под фрезерование глубоких пазов ротора турбины (вид сбоку).

Предложенный метод обработки мог быть реализован двумя способами [5,6]: либо фрезерование с круговой подачей на всю глубину припуска, либо с круговой и радиальной подачами.

Анализ этих двух способов фрезерования показал, что второй способ, при котором инструмент – фреза не врезается на всю глубину припуска, а постепенно совершает добавочное движение к центру детали (рис.3) является более производительным [6]. Для этого способа главное движение обеспечивается вращением фрезы, а движения подачи обеспечиваются вращением детали (круговая подача) и равномерным перемещением фрезы к центру детали (радиальная подача).

Для определения основных параметров процесса обработки [4] были получены следующие выражения:

$$\cos \theta = 1 - \frac{S_o(D-t)}{d(r+R - \frac{t+S_o}{2})}. \quad (1)$$

$$a_{\max} = \frac{n_A \cdot 2\pi}{n_B \cdot z} (r+R - S_o) \sin \theta. \quad (2)$$

$$a_{\max} = \frac{n_A \cdot 2\pi}{n_B \cdot z} (r+R - S_o) \sin \left[\arccos \left(1 - \frac{S_o(D-t)}{d(r+R - \frac{t+S_o}{2})} \right) \right], \quad (3)$$

где S_o – осевая подача;

t – припуск на обработку.

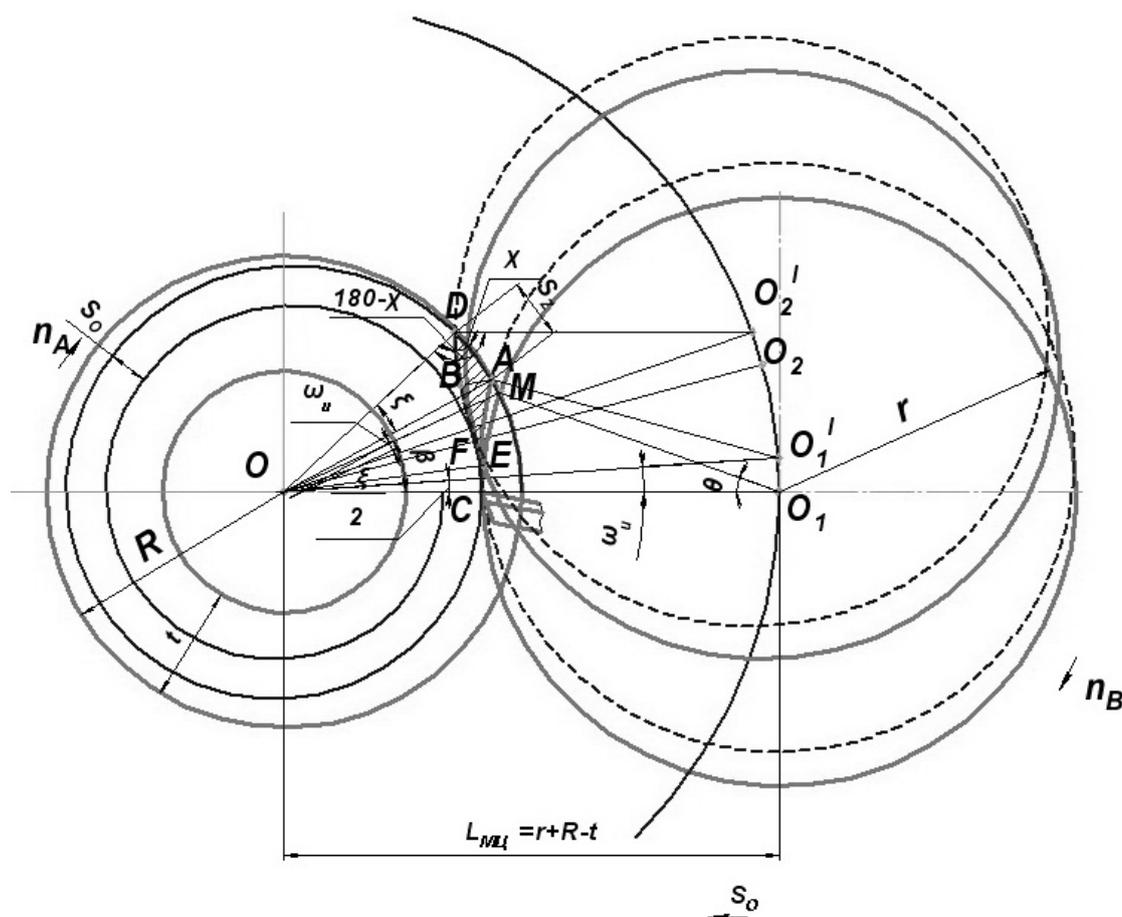


Рис. 3. Фрезерование одновременно с круговой и радиальной подачами.

В качестве режущего инструмента была предложена следующая конструкция двухступенчатой фрезы диаметром $\varnothing 1430$ мм: первая ступень имеет два узких зуба, расположенных по краям фрезы. Вторая ступень имеет один широкий зуб по центру. При работе первая ступень формирует боковые поверхности и небольшие участки донной поверхности паза. Вторая ступень формирует только донную поверхность паза, не обработанную первой ступень [7]. При такой конструкции нахождение соотношений ширины рабочих лезвий первой и второй ступени осуществлялось исходя из того, что первая ступень в процессе резания работает в условиях несвободного резания, т.е. в работе участвуют три кромки. Для второй ступени, с учетом кинематики процесса желательно обеспечить условия свободного резания, для чего необходимо расположить зубья второй ступени фрезы на меньшем

диаметре относительно первой. Вторая ступень будет работать только одной режущей кромкой в условиях свободного резания, что снижает силы резания и позволит увеличить ширину рабочего лезвия.

Диаметр фрезы назначался из следующих соображений в зависимости от следующих факторов:

- глубины пазов;
- габаритов фрезерной бабки;
- размеров станка.

Глубина пазов ротора равнялась 297 мм.

Расстояние от оси шпинделя фрезерной бабки до края ее корпуса - 385мм.

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом станка - 1500 мм, высота центров - 1060мм.

Расчетный диаметр фрезы составил: $D_{фр} = (297+385) \cdot 2 = 1364$ мм.

Так как ось фрезы находилась на одной высоте с осью центров, то фреза диаметром менее 1500 мм не задевала станину и суппорт станка.

По стандартному ряду приняли диаметр фрезы $\varnothing 1430$ мм.

Был также проведен анализ силовых возможностей модернизированного станка. Крутящий момент и мощность на шпинделе фрезерной бабки полностью обеспечивали предлагаемые режимы обработки при фрезеровании кольцевых пазов [8].

Для оценки эффективности фрезерования взамен точения был проведен технико-экономический анализ сравниваемых вариантов, для этого определялись: затраты по сравниваемым вариантам, себестоимость обработки и экономический эффект от применения нового способа обработки [9,10].

Равномерность фрезерования оказывает большое влияние на стабильности процесса, плавность обработки, надежности работы станка и инструмента.

Для предложенного метода, определили число зубьев, работающих одновременно:

$$Z = \frac{z \cdot (l + L)}{2 \cdot \pi \cdot r},$$

где l – длина дуги, по которой осуществляется контакт;

L – ширина среза, снимаемого каждым зубом.

$$l = \frac{S_z \cdot S_o}{a_{cp}},$$

где a_{cp} – среднее значение толщины срезаемого слоя [1].

$$a_{cp} = \frac{S_z \cdot S_o}{\left(\frac{\theta \cdot V \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot n_B} \right) + \frac{S_z}{2}},$$

где θ – угол контакта.

$$\theta = \arccos \left(1 - \frac{S_o(D-t)}{d(r+R - \frac{t+S_o}{2})} \right). \quad (4)$$

$$\theta = \arccos \left(1 - \frac{21(929 - 297)}{335(715 + 464,5 - \frac{297 + 21}{2})} \right) = 16,017^\circ.$$

$$a_{cp} = \frac{0,635 \cdot 21}{\left(\frac{16,017 \cdot 112,225 \cdot 1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 25} \right) + \frac{0,635}{2}} = 0,067 \text{ мм.}$$

$$l = \frac{0,635 \cdot 21}{0,067} = 200,2 \text{ мм.}$$

$$Z = \frac{75 \cdot (200,2 + 25)}{2 \cdot 3,14 \cdot 715} = 3,76.$$

Следовательно, фрезерование дисковой фрезой с круговой и радиальной подачами одновременно обеспечивает достаточную равномерность фрезерования, т.к. в процессе обработки всегда участвуют одновременно либо три, либо четыре зуба. [3].

При сравнении двух вариантов обработки выяснилось, что при замене точения фрезерованием производительность обработки резко повышается (в 15 раз и более). Экономические расчеты показали, что целесообразность применения фрезерования вместо точения очевидна, т.к. обеспечивает получения значительного экономического эффекта.

Литература

1. Этин А. О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. М.: Машиностроение, 1964. 324 с.
2. Litvin F.L. Theory of Gearing // NASA References Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. Washington, D.C., 1989. p. 620
3. Иванов Ю. В. Исследование и разработка процесса фрезерования поверхностей вращения заготовок из титановых сплавов: дис. канд. тех. наук: 05.03.01. М., 1993. 280 с.
4. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Анализ процесса фрезерования специальной фрезой торцевых поверхностей дисков // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3422/.
5. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Фрезерования глубоких кольцевых пазов дисковой фрезой на всю глубину паза // Инженерный вестник Дона, 2016, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3914/.
6. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Анализ методов фрезерования глубоких кольцевых пазов дисковой фрезой // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4527/.

7. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Рациональная конструкция дисковой ступенчатой фрезы для обработки пазов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3967/.
8. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Режимы резания и эффективность новых методов обработки // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: Материалы 13-й международной научно-практической конференции 12-15 апреля 2011года. Часть 1. – С.П.: Изд-во Политехнического университета, 2011. – С.345-355.
9. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Экономическая целесообразность применения новых методов обработки и проектирования оборудования для их реализации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. -2011. - спец. выпуск. «Актуальные проблемы управления машиностроительными предприятиями». - с. 270-278.
10. Eckstein u. Sorge K. – P. Drehfräsen – ein Bearbeitung sverfahren mit grober Anwendung Sbreite. Werkstatt und Betried. 1981. № 3. ss. 181-182.

References

1. Etin A. O. Kinematcheskiy analiz metodov obrabotki metallov rezaniem [Kinematic analysis of methods of processing of metals by cutting]. М.: Mashinostroenie, 1964. 324 p.
 2. Litvin F.L. Theory of Gearing. NASA References Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. Washington, D.C., 1989. p. 620
 3. Ivanov Yu. V. Issledovanie i razrabotka protsessa frezerovaniya poverkhnostey vrashcheniya zagotovok iz titanovykh splavov [Research and development of the process of milling surfaces of revolution of workpieces made of titanium alloys]: dis. kand. tekhn. nauk: 05.03.01. М., 1993. 280 p.
-

4. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3422/.
5. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №1.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3914/.
6. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2017/4527/.
7. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4.
URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3967/.
8. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki ot nano- do makrourovnya: Materialy 13y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 12-15 aprelya 20011goda. Chast 1. S.P.: Izd. Politekhnicheskogo universiteta, 2011. pp.345-355.
9. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Mashinostroenie. 2011. spets. vypusk. «Aktual'nye problemy upravleniya mashinostroitel'nymi predpriyatiyami» pp. 270-278.
10. Eckstein u. Sorge K. P. Werkstatt und Betried. 1981. № 3. ss. 181-182.