

Анализ методов фрезерования глубоких кольцевых пазов дисковой фрезой

Ю.В. Иванов, Ю.Н. Скорская

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация: в статье рассмотрен один из способов обработки глубоких пазов на роторе турбины дисковой фрезой, проанализированы параметры срезаемого слоя, определены режимы обработки и основное технологическое время.

Ключевые слова: методы фрезерования, параметры срезаемого слоя, максимальная толщина среза, режимы резания, силы резания, основное технологическое время обработки.

Фрезерование глубоких пазов на валах турбин можно реализовать двумя способами [1-5]:

1. Фрезерование дисковой фрезой с круговой подачей на всю глубину паза.
2. Фрезерование дисковой фрезой одновременно с круговой и радиальной подачами.

Кинематический анализ подобных схем обработки рассматривался в литературе [6].

Анализ первого способа был проведен ранее [7-10]. В данной статье рассматривается второй способ обработки, при котором инструмент – цилиндрическая фреза не получает предварительного врезания на всю глубину припуска, а в течение всего времени обработки совершает добавочное равномерное движение к центру детали – радиальную подачу (рис.1).

Движение резания обеспечивается вращением фрезы, движения подачи – круговое обеспечивается вращением детали, радиальное – перемещением фрезы к центру детали. Траекторией относительного перемещения инструмента является спираль Архимеда с шагом S_0 .

Учитывая указанные общие и отличительные особенности двух способах обработки [3], были получены выражения для определения основных параметров данного процесса:

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

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

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

где S_o – осевая подача; t – величина припуска.

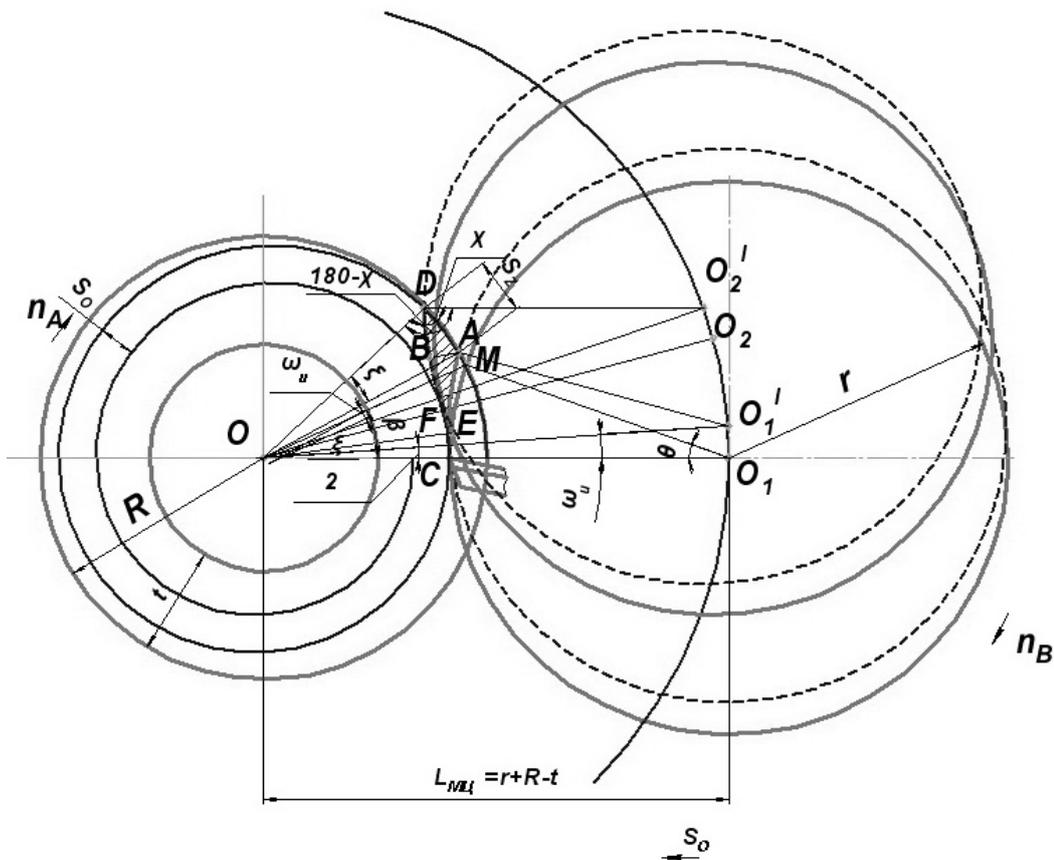


Рис. 1. Схема фрезерования дисковой фрезой с круговой и радиальной подачей

Поиск режимов резания производился аналогично случаю с обработкой на всю глубину припуска по допустимому значению a_{\max} . Величинами, подлежащими определению, являлись n_A и S_o . Радиальная подача в данном случае соответствовала глубине резания. С помощью программы Mathcad был получен график зависимости осевой подачи и основного технологического времени от частоты вращения детали при условии $a_{\max} = 0,7$ мм (рис. 2).

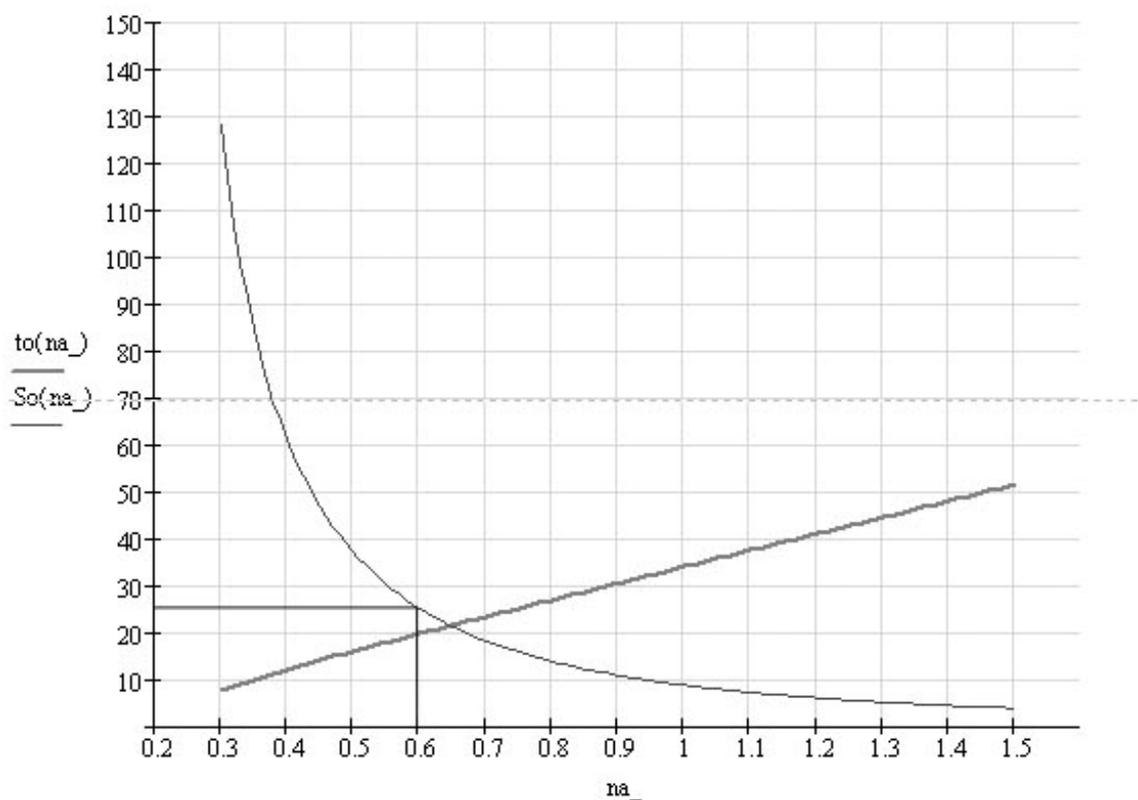


Рис. 2. График зависимости радиальной подачи и основного технологического времени от частоты вращения детали

Чем меньше частота вращения заготовки, тем больше осевая подача и меньше основное время обработки. В случае с радиальной подачей, ограничивающим фактором являлась величина подачи за оборот. Как видно из графика, максимальная производительность достигается при минимальной частоте вращения детали ($n_A = 0,3 \text{ мин}^{-1}$) и максимальной подачи станка ($S_o = 115 \text{ мм/об}$). С учетом данных полученных при первом способе обработки

[7], когда глубина резания не должна превышать 33мм, назначили частоту вращения заготовки $n_A = 0,6 \text{ мин}^{-1}$. При этом радиальная подача составила около 26 мм/об.

Ближайшая меньшая подача по станку составила $S_o = 21 \text{ мм/об.}$, для которой были определены подача на зуб фрезы:

$$S_z = \frac{2 \cdot \pi \cdot \left(R - \frac{t}{2}\right) \cdot n_A}{n_B \cdot z} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \left(464,5 - \frac{297}{2}\right) \cdot 0,3}{25 \cdot 75} = 0,635 \text{ мм/зуб.}$$

$$\text{и основное время обработки: } t_o = \frac{t}{S_o \cdot n_A} = \frac{297}{21 \cdot 0,6} \cdot 0,3 = 23,57 \text{ мин.}$$

Таким образом, способ фрезерования с круговой и радиальной подачами являлся более производительным. Основное время при этом равнялось 23,57 мин., а в способе только с круговой подачей основное время составляло 32,58 мин. Также способ фрезерования с круговой и радиальной подачами более прост в реализации, т. к. достаточно включить вращение шпинделя и радиальную подачу. В случае же с круговой подачей, необходимо предварительное врезание на глубину обработки, остановка, включение оборотов шпинделя и вновь остановка после полного оборота детали.

Большое значение для плавности и стабильности процесса, надежности работы станка и инструмента является равномерность фрезерования. Поэтому был проведен анализ равномерности фрезерования.

Для данного метода, определили число зубьев, одновременно находящихся в работе:

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

где l – длина дуги контакта;

L – ширина среза, снимаемого каждым зубом.

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

где a_{cp} – среднее значение толщины срезаемого слоя [6].

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

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, в работе одновременно участвуют поочередно то три, то четыре зуба, что обеспечивает достаточную равномерность фрезерования [3,8].

Литература

1. 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.

2. 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.

3. Litvin F.L. Theory of Gearing // NASA References Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. Washington, D.C., 1989. p. 620.

4. Созинов А. И., Иванов Ю.В., Стрешков А.М. Фрезерование крупных заготовок из труднообрабатываемых сплавов // Станки и инструмент. - 1991. - №2. - с. 15-17.

5. Ермаков Ю.М. Комплексные способы эффективной обработки резанием: Библиотека технолога. - М.: Машиностроение, 2003. - 272 с.

6. Этин А.О., Юхвид М.В. Кинематический анализ и выбор эффективных методов обработки лезвийным инструментом. – М.: АО ЭНИМС, 1994. – 240 с.

7. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Анализ процесса фрезерования специальной фрезой торцевых поверхностей дисков // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3914.

8. 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.

9. Иванов Ю.В., Скорская Ю.Н. Анализ процесса фрезерования специальной фрезой торцевых поверхностей дисков // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3422.

10. Eckstein u. Sorge K. – P. Drehfräsen – ein Bearbeitung sverfahren mit grober Anwendung Sbreite//Werkstatt und Betried. – 1981. - № 3. -ss. 181-182.

References

1. 1. 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.

2. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoy osnastki ot nano- do makrourovnya: Materialy 13-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 12-15 aprelya 20011goda. Chast' 1. S.P.: Izd-vo Politekhnicheskogo universiteta, 2011. pp.345-355.

3. Litvin F.L. Theory of Gearing. NASA References Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. Washington, D.C., 1989. p. 620.

4. Sozinov A. I., Ivanov Yu.V., Stroshkov A.M. Stanki i instrument. 1991. №2. pp. 15-17.

5. Ermakov Yu.M. Kompleksnye sposoby effektivnoy obrabotki rezaniem: Biblioteka tekhnologa. M.: Mashinostroenie, 2003. p 272. [Ermakov Y.M. Complex methods for the effective cutting: technology library.].

6. Etin A.O., Yukhvid M.V. Kinematicheskij analiz i vybor effektivnykh metodov obrabotki lezviynym instrumentom. M.: AO ENIMS, 1994. p 173. [Kinematic analysis and selection of effective methods of machining by an edge cutting tool.].

7. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3914.

8. Ivanov Yu. V. Issledovanie i razrabotka protsessa frezerovaniya poverkhnostey vrashcheniya zagotovok iz titanovykh splavov: dis. kand. tekhn. nauk: 05.03.01. M., 1993. p 280. [Research and development process of milling



surfaces of revolution billets of titanium alloys: dis. cand. technical Sciences: 05.03.01].

9. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3422.

10. Eckstein u. Sorge K. – P. Drehfräsen – ein Bearbeitung sverfahren mit grober Anwendung Sbreite. Werkstatt und Betried. 1981. № 3. ss. 181-182.