

Исследование характера изменения параметров срезаемого слоя при фрезеровании специальной фрезой

Ю. В. Иванов, Ю.Н. Скорская

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация: В статье предлагается способ обработки, позволяющий повысить эффективность фрезерования торцевых поверхностей дисков.

Ключевые слова: методы фрезерования, параметры срезаемого слоя, сила резания, режимы резания.

Внедрение новых производительных методов обработки и технологий может позволить получить предприятию дополнительную прибыль и преимущества в конкурентной борьбе. Однако это требует значительных первоначальных затрат (закупка оборудования, изготовление оснастки, изменение рабочей документации, обучение и переподготовка рабочих и др.). Хотя эти затраты через некоторое время окупятся и начнут приносить прибыль, у многих предприятий не находится средств на внедрение новых методов и технологий. Еще одной проблемой, препятствующей успешному применению новых методов и технологий, является отсутствие необходимого оборудования: специализированных станков, приспособлений, инструмента. Оно еще или не разработано, или разработано, но не выпускается. Также по многим прогрессивным методам нет практических рекомендаций, которые помогли бы их широкому внедрению в производство[1,2].

Способ, рассматриваемый в данной статье, позволяет обрабатывать одной фрезой различные поверхности. Ранее авторами уже был проведен анализ изменения параметров срезаемого слоя при фрезеровании специальной фрезой внутренних поверхностей деталей типа ступиц зубчатых колес [3]. Схема обработки представлена на рис.1.

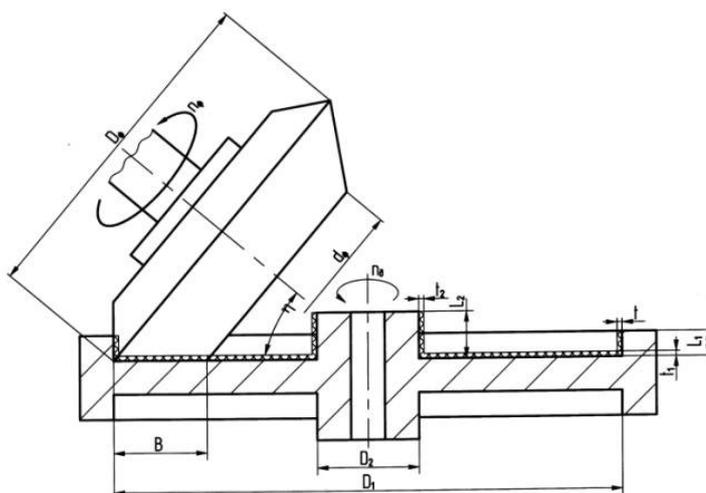


Рис.1 Фрезерование различных поверхностей одной специальной фрезой.

Наружный диаметр фрезы определялся из условия вписывания его во внутренний диаметр обода диска так, чтобы он был не более величины равной $D_1 \cdot \sin \eta$. Внутренний диаметр фрезы определялся из условия вписывания эллипса, полученного в результате сечения цилиндра диаметром D_2 (ступицы диска) плоскостью перпендикулярной оси фрезы, в окружность диаметром $D_2 / \sin \eta$. Тогда внутренний диаметр фрезы должен быть не менее величины $\frac{D_2}{\sin \eta} + 2L_2 \cos \eta$, см. рис. 2.

Фреза врезалась на всю глубину снимаемого припуска, после чего включалась круговая подача стола. После снятия припуска на ширину H фреза переустанавливалась в новое положение и процесс обработки повторялся. За счёт одновременной обработки дна канавки и её стенки производительность обработки может быть повышена. Число переустановок фрезы N определялось из соотношения $N = \frac{D_1 - D_2}{H}$ и округлялось до целого числа в большую сторону [4,5].

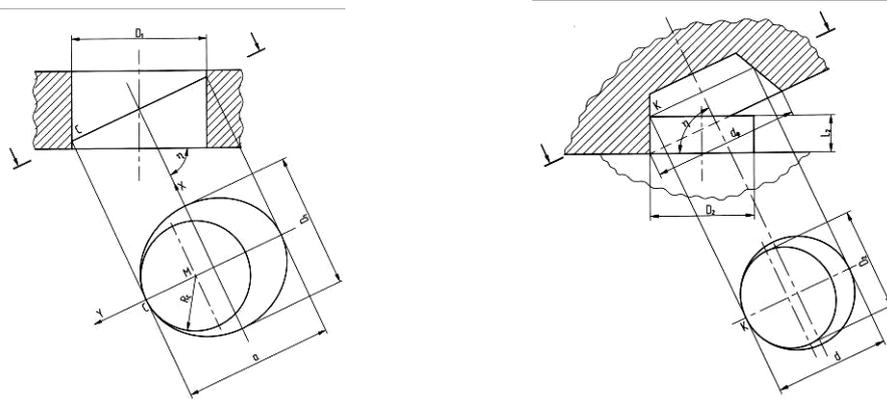


Рис.2 Расчетная схема определения диаметральных размеров фрезы.

При фрезеровании наружной цилиндрической поверхности (рис.3) параметры фрезы определялись следующим образом $r_i = r_\phi - h_i \cdot \cos \eta$, где $r_\phi = d_\phi / 2$, $h_i = 0 \dots L_2$.

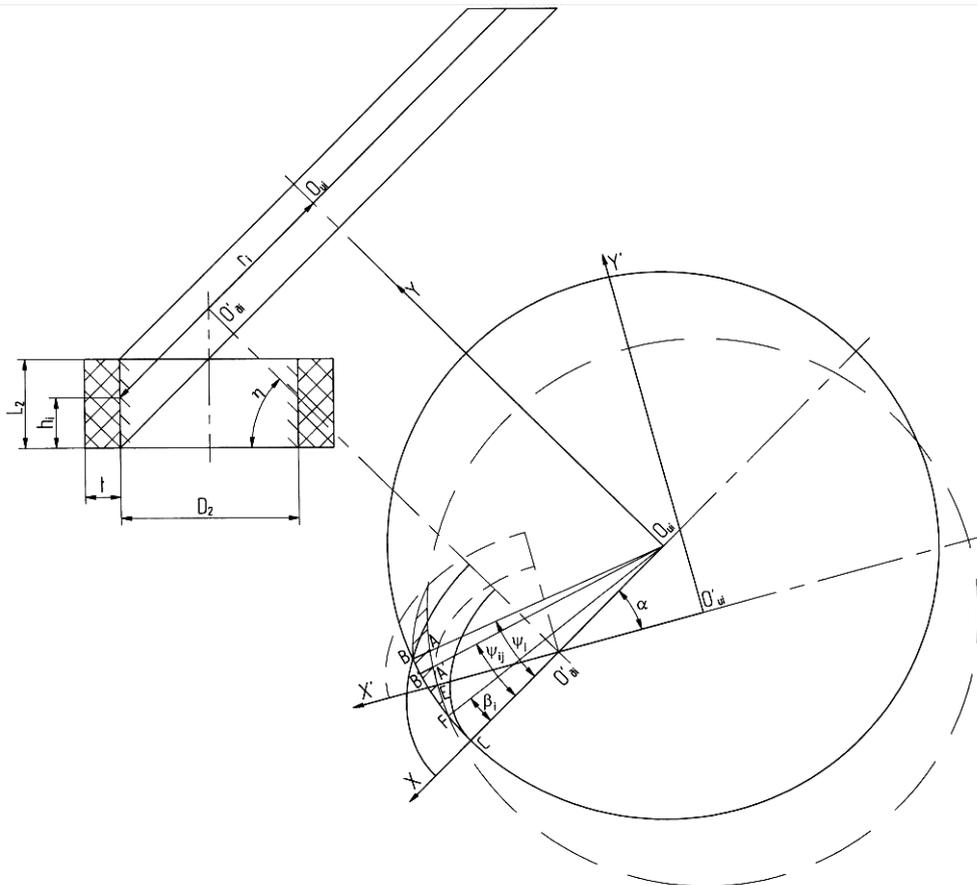


Рис.3 Схема определения параметров срезаемого слоя при фрезеровании наружной цилиндрической поверхности.

Чтобы определить угол контакта ψ_i находили координаты точек A' , B' , F и B в системе координат $XO_{ui}Y$. На пересечении окружности радиусом r_i с центром в точке $O_{ui} (0;0)$ и эллипса с центром в точке $O'_{ui} (R_3;0)$ (у которого малая полуось равна $R_i = R_2 + t$, а большая $R_i / \sin \eta$ (где $R_2 = D_2 / 2$ - радиус ступицы детали, t - величина припуска $R_3 = r_i - \frac{R_2}{\sin \eta}$) находится точка B .

Координаты точки B :

$$x_B = \frac{-2R_3 \sin^2 \eta + \sqrt{4R_3^2 \sin^4 \eta + 4 \cos^2 \eta \cdot (R_3^2 \sin^2 \eta + r_i^2 - R_i^2)}}{-2 \cos^2 \eta},$$

$$y_B = \sqrt{r_i^2 - x_B^2},$$

$$\psi_i = \arctg \frac{y_B}{x_B}.$$

На пересечении окружности с центром в точке $O_{ui} (0;0)$ и радиусом r_i , и окружности с центром в точке $O'_{ui} (d_x, d_y)$ радиусом r_i , где $d_x = R_3(1 - \cos \alpha)$, $d_y = R_3 \sin \alpha$, $\alpha = \frac{S_z \cdot 180}{\pi \cdot R_2}$ находится точка F с координатами:

$$x_F = \frac{-4d_x(d_x^2 + d_y^2) + \sqrt{-4d_x(d_x^2 + d_y^2) - 16(d_x^2 + d_y^2) \cdot ((d_x^2 + d_y^2)^2 - 4r_i^2 d_y^2)}}{8(d_x^2 + d_y^2)};$$

$$y_F = \sqrt{r_i^2 - x_F^2},$$

$$\beta_i = \arctg \frac{y_F}{x_F}.$$

Как видно из рис.3 длина отрезка $A'B'$ равна мгновенному значению толщины срезаемого слоя a_{ij} (j - номер мгновенного угла поворота фрезы), а мгновенный угол контакта ψ_{ij} меняется от β_i до ψ_i . Причем мгновенное значение толщины срезаемого слоя a_{ij} будет меняться от 0 до $a_{i\max}$, которое соответствует длине отрезка AB .

На пересечении окружности радиусом r_i с центром в точке $O_{ui} (0;0)$ и прямой, проходящей под углом ψ_{ij} к оси X через начало системы координат $XO_{ui}Y$ находится точка B' с координатами:

$$x_{B'} = \sqrt{\frac{r_i^2}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi_{ij}}}, \quad y_{B'} = x_{B'} \operatorname{tg} \psi_{ij}.$$

Точка A' находится на пересечении прямой, проходящей под углом ψ_{ij} к оси X через начало системы координат $O_{ui} (0;0)$ и окружности радиусом r_i с центром в точке $O'_{ui} (dx; -dy)$. Координаты этой точки:

$$x_{A'} = \frac{-2(d_y \cdot \operatorname{tg} \psi_{ij} - d_x) + \sqrt{2(d_y \cdot \operatorname{tg} \psi_{ij} - d_x) - 4(1 + \operatorname{tg}^2 \psi_{ij}) \cdot (d_x^2 + d_y^2 - r_i^2)}}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \psi_{ij})};$$

$$y_{A'} = x_{A'} \operatorname{tg} \psi_{ij}.$$

Толщина срезаемого слоя, которая соответствует мгновенному углу поворота фрезы ψ_{ij} равна $a_{ij} = \sqrt{(x_{B'} - x_{A'})^2 + (y_{B'} - y_{A'})^2}$, при $\psi_{ij} = \psi_i$ $a_{ij} = a_{i\max}$ [6,7].

При фрезеровании плоскости (рис.4) радиус фрезы $r_i = R_\phi - b_i \sin \eta$, где i - номер сечения,

$b_i = 0 \dots B$ - расстояние от плоскости, проходящей через наружный диаметр фрезы перпендикулярно ее оси, до секущей плоскости, измеренное по образующей конуса

$$R_\phi = \frac{D_\phi}{2} - \text{наружный диаметр фрезы.}$$

Как видно из расчетной схемы подача на зуб S_{zi} для каждого сечения перпендикулярного оси фрезы будет иметь различные значения.

$$S_{zi} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot (R_y - b_i)}{180}, \quad \text{где } R_y - \text{ радиус установки фрезы по наружному диаметру, } \alpha - \text{ центральный угол, соответствующий дуге окружности радиусом } R_y \text{ равной } S_z.$$

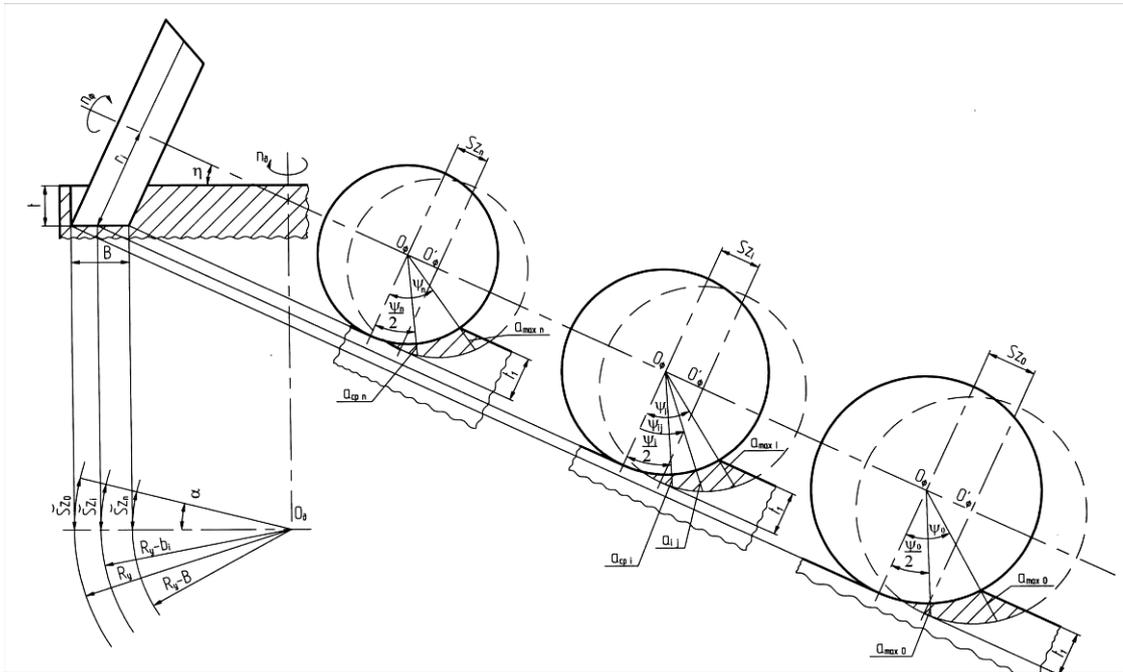


Рис.4 Схема определения параметров срезаемого слоя при фрезеровании плоскости.

Угол контакта для данного случая равен [8,9] $\psi_i = \arccos\left(1 - \frac{t}{r_i \cos \eta}\right)$.

Максимальное значение толщины срезаемого слоя [8,9] определялась на угле контакта ψ_i и может быть выражено зависимостью $a_{i\max} = S_{zi} \sin \psi_i$.

Средняя толщина снимаемого слоя определялась на половине угла контакта $\psi_i / 2$ и выражается выражением [8,9] $a_{i\text{ср}} = S_{zi} \sin(\psi_i / 2)$.

Мгновенное значение толщины снимаемого слоя a_{ij} , соответствующее мгновенному углу контакта ψ_{ij} определялась выражением $a_{ij} = S_{zi} \sin \psi_{ij}$.

На основе выведенных зависимостей были разработаны программы их расчета.

Угол контакта при фрезеровании конической фрезой изменялся от ψ_{\max} до ψ_{\min} (ψ_{\min} на наибольшем диаметре фрезы, ψ_{\max} - на наименьшем диаметре фрезы) для точек режущей кромки зуба расположенных на различных диаметрах фрезы.

Ширина фрезерования изменялась в зависимости от изменения мгновенного угла поворота фрезы ψ_{ij} . При встречном фрезеровании ширина фрезерования была равна максимальной до того момента пока ψ_{ij} не достигал ψ_{\min} . Далее ширина фрезерования плавно уменьшалась с максимального значения до нуля при изменении ψ_{ij} от ψ_{\min} до ψ_{\max} . При попутном фрезеровании изменение ширины фрезерования происходило от нуля до максимального значения. Такое изменение ширины фрезерования обеспечивало плавное врезание зуба при попутном фрезеровании, что исключало удар. При встречном фрезеровании при выходе зуба из контакта с заготовкой обеспечивалось плавное снятие нагрузки с зуба.

Так как для повышения работоспособности режущего инструмента при прерывистом периодическом резании [10,11,12,13] снятие припуска с медленно уменьшающимся сечением среза во многих случаях, в том числе при обработке труднообрабатываемых материалов, более целесообразно, чем снятие припуска с медленно возрастающей величиной сечения среза, то предпочтение надо отдать встречному фрезерованию.

Анализ параметров фрезерования специальной фрезой наружных поверхностей и плоскости деталей типа ступиц зубчатых колес показал, что ширина срезаемого слоя имеет большие значения и оказывает существенное влияние на силы резания. Исходя из этого, для повышения эффективности обработки разумно выполнять распределение срезаемого слоя по ширине между зубьями фрезы при ее проектировании, что позволит существенно снизить суммарную силу резания.

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. Демаков Д. В. Краткий анализ исследований проблем развития регионального машиностроения // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/979/.
 3. 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/.
 4. 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.
 5. Красильников А.Я., Кравченко К.Ю. Устойчивость линейных дифференциальных уравнений с постоянным запаздыванием, описывающих процесс фрезерования // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2250/.
 6. Созинов А.И., Строшков А.Н. Повышение эффективности черновой обработки заготовок из титановых сплавов // М.: Металлургия, 1990. С.210.
 7. Этин А. О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. М.: Машиностроение, 1964. 324 с.
 8. Грановский Г. И. и др. Резание металлов. М.: Машгиз, 1954. 472 с.
 9. Litvin F.L. Theory of Gearing // NASA References Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. Washington, D.C., 1989. p. 620
 10. Андреев Г. С. Работоспособность режущего инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения. 1973. №5. С. 72-75.
-

11. Зорев Н. Н. Обработка стали твердосплавным инструментом в условиях прерывистого резания с большими сечениями среза // Вестник машиностроения. 1963. №2. С. 62-67.
12. Жучков Н. С., Беспяхотный П. Д., Чубаров А. Д. и др. Повышение эффективности обработки резанием заготовок из титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1989. 152 с.
13. Eckstein u. Sorge K. – P. Drehfräsen – ein Bearbeitung sverfahren mit grober Anwendung Sbreite. Werkstatt und Betried. 1981. № 3. ss. 181-182.

References

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. Demakov D. W. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/979/.
3. Ivanov Yu.V., Skorskaya Yu.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3422/.
4. 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. M., 1993. 280 p.
5. Krasil'nikov, A. Ya., Kravchenko K. Y. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2014/2250/.
6. Sozinov A.I., Stroshkov A.N. Povyshenie effektivnosti chernovoy obrabotki zagotovok iz titanovykh splavov [Improving the efficiency of rough machining of titanium alloys]. M.: Metallurgiya, 1990. p. 210.



7. Etin A. O. Kinematicallyy analiz metodov obrabotki metallov rezaniem [Kinematic analysis of methods of processing of metals by cutting]. M.: Mashinostroenie, 1964. 324 p.
8. Granovskiy G. I. i dr. Rezanie metallov [Cutting of metals]. M.: Mashgiz, 1954. 472 p.
9. Litvin F.L. Theory of Gearing. NASA References Publication 212, AVSCOM Technical Report 88. Washington, D.C., 1989. p. 620
10. Andreev G. S. Vestnik mashinostroeniya. 1973. №5. pp. 72-75.
11. Zorev N. N. Vestnik mashinostroeniya. 1963. №2. pp. 62-67.
12. Zhuchkov N. S, Bepakhotnyy P. D., Chubarov A. D. i dr. Povyshenie effektivnosti obrabotki rezaniem zagotovok iz titanovykh splavov [Improving the efficiency of machining of workpieces made of titanium alloys]. M.: Mashinostroenie, 1989. 152 p.
13. Eckstein u. Sorge K. P. Werkstatt und Betried. 1981. № 3. ss. 181-182.