



ТИХОНОВА
Анастасия Андреевна
студентка



ВИНОГРАДОВ
Дмитрий Вячеславович
кандидат технических
наук, доцент кафедры
«Инструментальная
техника и технологии»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании

А.А. Тихонова, Д.В. Виноградов

Рассмотрено образование геометрической шероховатости при цилиндрическом фрезеровании плоскостей, выпуклых и вогнутых поверхностей со встречной и попутной подачей. Показано, что высоты остаточного сечения при встречном фрезеровании меньше, чем при попутном, при фрезеровании выпуклых поверхностей — больше, чем при фрезеровании вогнутых поверхностей. Это связано с формой траектории движения режущей кромки.

Ключевые слова: обрабатываемость, показатель обрабатываемости, попутное фрезерование, встречное фрезерование, геометрическая шероховатость, остаточное сечение.

The article deals with the geometrical surface roughness created by cylindrical conventional milling and climb milling of planes, convex and concave surfaces. The surface roughness height in the cylindrical conventional milling is smaller than in the climb milling, it is also smaller in milling of convex surfaces. Such results are explained by the form of a cutting-edge trajectory.

Keywords: machinability, indicator of the machinability, conventional milling, climb milling, geometric roughness, residual cross-section.

В современном производстве для обработки цилиндрических (отверстия, цилиндрические выступы) и сложных криволинейных фасонных поверхностей (поверхности штампов и прессформ) часто применяют фрезерование. Большое значение при фрезеровании имеет шероховатость обработанной поверхности, которая при фрезеровании складывается из следующего: высоты остаточного сечения; шероховатости, связанной со скоростью резания; шероховатости, возникающей от вибраций системы станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД). В настоящей работе проанализированы закономерности образования остаточного профиля при попутном и встречном цилиндрическом фрезеровании плоских, выпуклых и вогнутых поверхностей. Для упрощения рассмотрен процесс фрезерования однозубой фрезой.

При фрезеровании сложных поверхностей фреза может двигаться по плоскости, а также по выпуклой и вогнутой линии. Поэтому в работе рассмотрено образование геометрической погрешности при фрезеровании плоскости, вогнутой и выпуклой поверхностей цилиндрической частью фрезы.

Процесс фрезерования основан на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений: вращательного движения зуба фрезы со скоростью $\omega = 2\pi n = 2\pi \frac{V}{R_\phi}$ и поступательного движения центра фрезы со скоростью $S_{\text{мин}} = S_z z n = S_z z \frac{V}{2\pi R_\phi}$, где V — скорость резания, м/с; R_ϕ — радиус фрезы, мм; $S_{\text{мин}}$ — минутная подача, мм/мин; S_z — подача на зуб, мм/зуб; z — число зубьев фрезы (для упрощения принято $z = 1$); n — частота вращения фрезы, об/мин. При этом каждая точка режущего лезвия зуба фрезы описывает в пространстве кривую, которую можно назвать квазитроихоидой (рис. 1).

Уравнения, описывающие координаты точки режущей кромки при попутном и встречном фрезеровании плоскостей, выпуклых и вогнутых поверхностей представлены, в таблице.

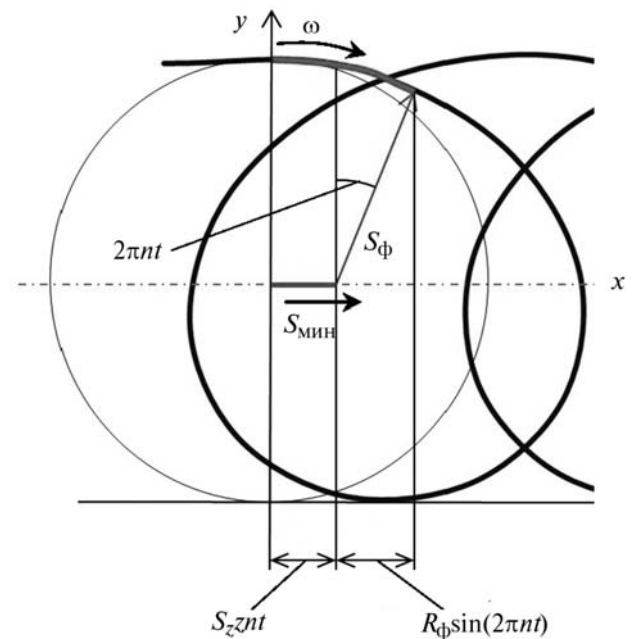


Рис. 1. Расчетная схема для определения координат режущей кромки при попутном фрезеровании плоскости

Таблица

Поверхность	Попутное фрезерование	Встречное фрезерование
Плоскость	$x = R_\phi \sin(2\pi nt) + S_z nt$ $y = R_\phi [1 - \cos(2\pi nt)]$	$x = R_\phi \sin(2\pi nt) - S_z nt$ $y = R_\phi [1 - \cos(2\pi nt)]$
Выпуклый контур	$x = (R_n + R_\phi) \sin(\omega_n t) + R_\phi \sin((\omega_\phi + \omega_n)t)$ $y = (R_n + R_\phi) \cos(\omega_n t) + R_\phi \cos((\omega_\phi + \omega_n)t)$ $\omega_n = \frac{S_z n}{R_n}; \omega_\phi = 2\pi n$	$x = (R_n + R_\phi) \sin(\omega_n t) + R_\phi \sin((\omega_\phi - \omega_n)t)$ $y = (R_n + R_\phi) \cos(\omega_n t) - R_\phi \cos((\omega_\phi - \omega_n)t)$ $\omega_n = \frac{S_z n}{R_n}; \omega_\phi = 2\pi n$
Вогнутый контур	$x = (R_n - R_\phi) \sin(\omega_n t) + R_\phi \sin((\omega_\phi - \omega_n)t)$ $y = (R_n - R_\phi) \cos(\omega_n t) - R_\phi \cos((\omega_\phi - \omega_n)t)$ $\omega_n = \frac{S_z n}{R_n}; \omega_\phi = 2\pi n$	$x = (R_n - R_\phi) \sin(\omega_n t) + R_\phi \sin((\omega_\phi + \omega_n)t)$ $y = (R_n - R_\phi) \cos(\omega_n t) + R_\phi \cos((\omega_\phi + \omega_n)t)$ $\omega_n = \frac{S_z n}{R_n}; \omega_\phi = 2\pi n$

Примечание. ω_n — угловая скорость перемещения фрезы по дуге вдоль поверхности, рад/с; ω_ϕ — угловая скорость вращения фрезы, рад/с; R_n — радиус кривизны выпуклой и вогнутой поверхностей; t — время, с; x и y — координаты точки режущей кромки, мм.

Эти уравнения позволили рассчитать высоту остаточного сечения h при попутном и встречном фрезеровании. Ниже приведена последовательность расчета.

1. Рассчитаем время, через которое произойдет встреча двух ветвей квазитрохоиды. За это время режущая кромка фрезы пройдет расстояние по оси x , равное $S_z/2$ (так как точка пересечения лежит на середине отрезка S_z).

2. Подставив в приведенные выше уравнения полученное время встречи ветвей квазитрохоиды, определим координаты точки пересечения ветвей квазитрохоиды (x, y).

3. Рассчитаем высоту остаточного сечения по формулам:

- $h = y$ — для фрезерования плоскости;
- $h = \sqrt{x^2 + y^2} - R_n$ — для фрезерования выпуклой поверхности;
- $h = R_n - \sqrt{x^2 + y^2}$ — для фрезерования вогнутой поверхности.

Расчеты по приведенной методике, выполненные в среде MathCAD, позволили построить зависимости высоты остаточного сечения от подачи на зуб S_z , радиуса фрезы R_ϕ и радиуса кривизны поверхности R_n для встречного и попутного фрезерования плоскости (рис. 2, 3), выпуклых (рис. 4, 5) и вогнутых (рис. 6, 7) поверхностей. Также получены зависимости высоты остаточного сечения при изменении радиуса кривизны поверхности R_n (рис. 8).



Рис. 2. Зависимость высоты остаточного сечения h от радиуса фрезы R_ϕ при попутном и встречном фрезеровании плоскости: $S_z = 0,3$ мм/об

Выводы

1. Попутное и встречное фрезерование обеспечивают различную высоту остаточного сечения при цилиндрическом фрезеровании

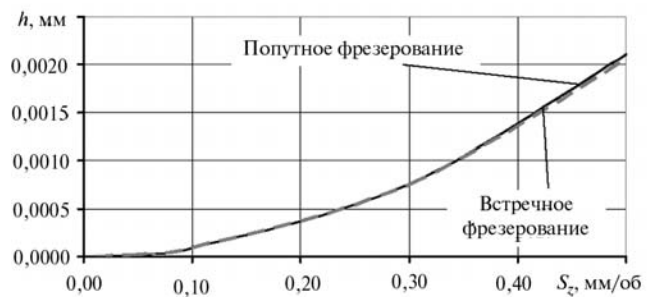


Рис. 3. Зависимость высоты остаточного сечения h от подачи на зуб фрезы S_z при попутном и встречном фрезеровании плоскости: $R_\phi = 15$ мм

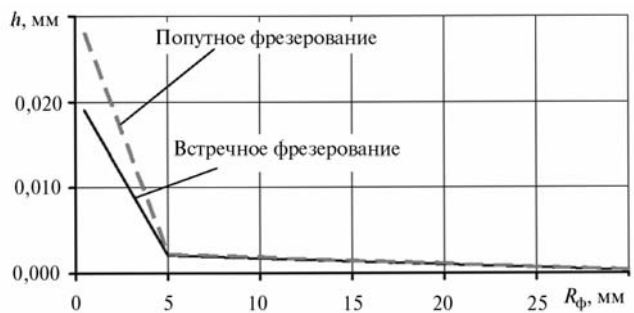


Рис. 4. Зависимость высоты остаточного сечения h от радиуса фрезы R_ϕ при попутном и встречном фрезеровании выпуклой поверхности: $S_z = 0,3$ мм/об

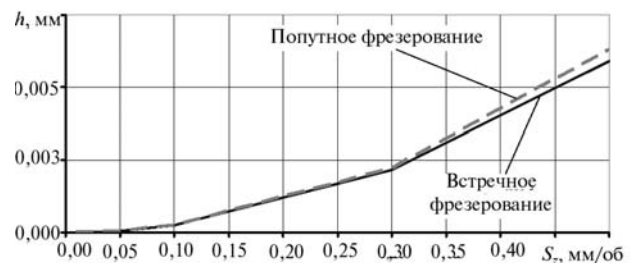


Рис. 5. Зависимость высоты остаточного сечения h от подачи на зуб фрезы S_z при попутном и встречном фрезеровании выпуклой поверхности: $R_\phi = 5$ мм; $R_n = 190$ мм



Рис. 6. Зависимость высоты остаточного сечения h от радиуса фрезы R_ϕ при попутном и встречном фрезеровании вогнутой поверхности: $S_z = 0,3$ мм/об; $R_n = 100$ мм

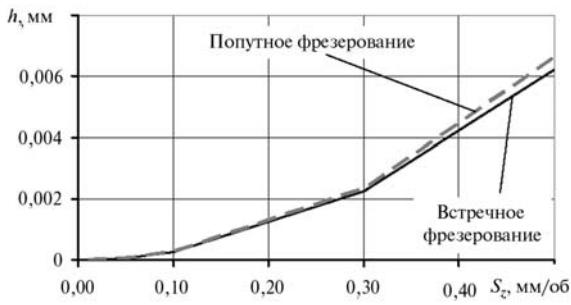


Рис. 7. Зависимость высоты остаточного сечения h от подачи на зуб фрезы S_z при попутном и встречном фрезеровании вогнутой поверхности: $R_\phi = 5$ мм; $R_n = 100$ мм

как плоскостей, так и выпуклых и вогнутых поверхностей. Причем это различие тем больше, чем меньше радиус фрезы и больше подача на зуб.

2. Встречное фрезерование обеспечивает меньшую высоту остаточного сечения, чем попутное, это обусловлено тем, что траектория зуба при встречном фрезеровании представляет собой перевернутую траекторию попутного. При встречном фрезеровании остаточное сечение образуется за счет наложения длинных, более пологих частей дуги квазитрохоиды, а при встречном — коротких, более крутых (рис. 9).

3. Фрезерование выпуклого профиля обеспечивает меньшую геометрическую шероховатость поверхности по сравнению с фрезерованием вогнутых поверхностей, что связано с влиянием кривизны обработанной поверхности на шероховатость: для выпуклой поверхности кривизна уменьшает высоту остаточного сечения, а для вогнутого — увеличивает.



Рис. 8. Зависимость высоты остаточного сечения h от радиуса кривизны обрабатываемой поверхности R_n при попутном и встречном фрезеровании вогнутых и выпуклых поверхностей, а также плоскости: $R_\phi = 0,5$ мм; $S_z = 0,3$ мм/зуб

4. При увеличении радиуса кривизны поверхности значения высот остаточного сечения при фрезеровании криволинейных поверхностей и плоскости совпадают (см. рис. 8), что подтверждает правильность выполненных расчетов.

5. Слагаемое шероховатости обработанной поверхности, возникающее от специфики траектории движения режущей кромки по квазитрохоиде, является существенным при больших подачах, малых радиусах фрезы и малых радиусах обрабатываемой поверхности. В обычных условиях фрезерования это слагаемое мало и при расчете шероховатости его можно не учитывать.

Литература

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М.: Высшая школа. 1985. 304 с.
2. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.

Статья поступила в редакцию 27.10.2011 г.

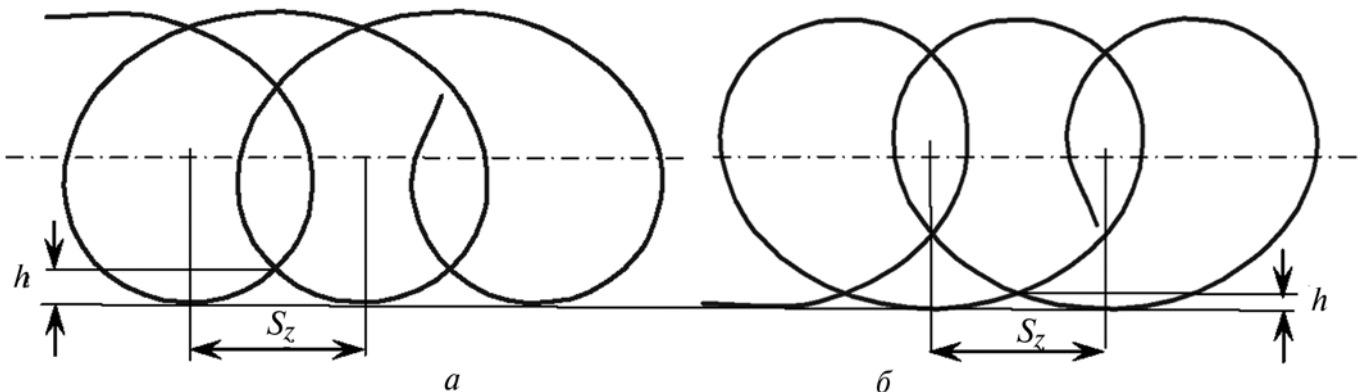


Рис. 9. Траектории режущих кромок фрез, работающих с попутной (а) и встречной (б) подачей