

УДК 621.914.1

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ШЕРОХОВАТОСТЬ ПРИ ПОПУТНОМ И ВСТРЕЧНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Тихонова Анастасия Андреевна

Студент 1 курса,

кафедра «Инструментальная техника и технологии»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: Виноградов Д.В.,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

В современном производстве часто применяется процесс фрезерования, которым обрабатывают сложные поверхности, такие как отверстия, фаски, цилиндрические поверхности, криволинейные фасонные поверхности.

Большое значение при фрезеровании имеет шероховатость обработанной поверхности, ведь от этого зависят ее эксплуатационные характеристики. Шероховатость при фрезеровании складывается из высоты остаточного сечения, шероховатости, связанной со скоростью резания, и шероховатости, возникающей от вибраций системы СПИД. В настоящей работе рассмотрены закономерности образования остаточного профиля при попутном и встречном цилиндрическом фрезеровании плоских, выпуклых и вогнутых поверхностей. Для упрощения в работе рассматривается процесс фрезерования с использованием однозубой фрезы.

Для расчета высоты остаточного сечения при фрезеровании были исследованы траектории движения зуба фрезы и найдены точки пересечения траекторий на соседних проходах.

Процесс фрезерования основан на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений: вращательного и поступательного. При этом точки окружности перемещаются по траектории квазитроихиды.

I. Цилиндрическое фрезерование плоских поверхностей

1) При попутном фрезеровании:

$$\begin{cases} x = R * \sin\left(\frac{U * t}{R}\right) + S * t \\ R * \left(1 - \cos\left(\frac{U * t}{R}\right)\right) \end{cases}, \quad (1)$$

где S – минутная подача, мм/мин; U - скорость вращения фрезы, м/мин; R - радиус фрезы, мм; t - время, мин.

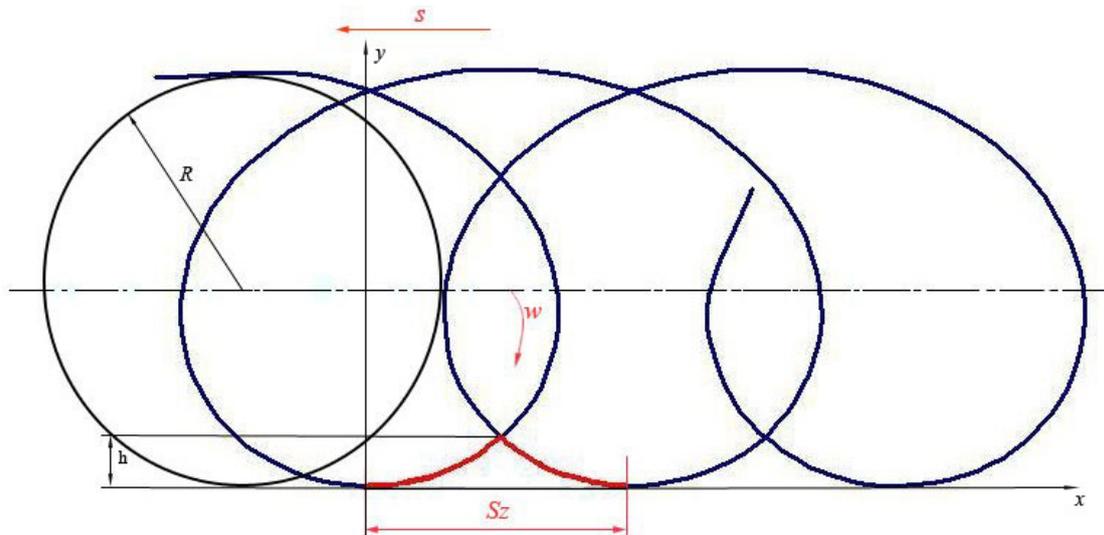


Рис.1. Траектория режущей кромки фрезы при попутном фрезеровании

2) При встречном фрезеровании:

$$\begin{cases} x = R * \sin\left(\frac{U * t}{R}\right) - S * t \\ R * (1 - \cos\left(\frac{U * t}{R}\right)) \end{cases} \quad (2)$$

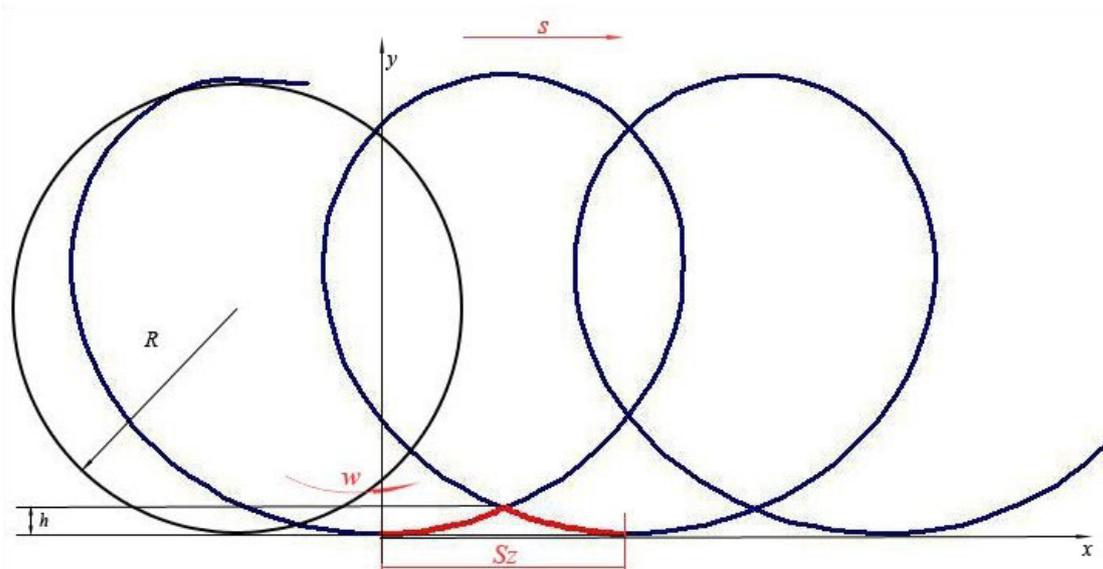


Рис.2. Траектория режущей кромки фрезы при встречном фрезеровании

Из анализа рисунков следует, что траектории встречного фрезерования представляет собой перевернутую траекторию попутного, таким образом высота остаточного профиля попутного фрезерования будет больше вследствие того, что при попутном фрезеровании он образуются за счет наложения коротких частей дуги квазитроихиды, а при встречном – длинных.

Для проверки данного утверждения необходимо рассчитать высоту остаточного сечения в том и другом случае.

Для того, чтобы найти высоту остаточного сечения h необходимо рассчитать время t за которое режущая кромка фрезы пройдет расстояние по оси x равное $S_z/2$, а затем найти координату $y(t)$:

-для попутного фрезерования:

$$\frac{S_z}{2} = S_m * t + R * \sin\left(\frac{U * t}{R}\right) \quad (3)$$

Вследствие того что $\sin\left(\frac{U * t}{R}\right) \ll \frac{S_z}{2} \Rightarrow \sin\left(\frac{U * t}{R}\right) \approx \frac{U * t}{R}$

$$\Rightarrow \frac{S_z}{2} = S_m * t + R * \left(\frac{U * t}{R}\right) \quad (4)$$

Из (4): $t = \frac{S_z}{2 * (S + U)}$, (5)

Т.к. $s = S_z * n = S_z * \frac{U}{2 * \pi * R}$, (6)

где n- частота вращения фрезы, мин⁻¹

то $t = \frac{S_z * \pi * R}{U * (S_z + 2 * \pi * R)}$ (7)

Подставляем (7) в (1):

$$h = R * \left(1 - \cos\left(\frac{S_z * \pi}{S_z + 2 * \pi * R}\right)\right) \quad (8)$$

Аналогично для встречного фрезерования:

$$h = R * \left(1 - \cos\left(\frac{S_z * \pi}{2 * \pi * R - S_z}\right)\right) \quad (9)$$

По полученным уравнениям были построены зависимости высоты остаточного сечения от радиуса фрезы и подачи на зуб (рис.3, 4).

Анализ зависимостей позволил сделать следующие вывод, что высота остаточного сечения при попутном и встречном фрезеровании плоских поверхностей практически равны. Отличие наблюдается при малом радиусе фрезы и больших значениях подачи на зуб.

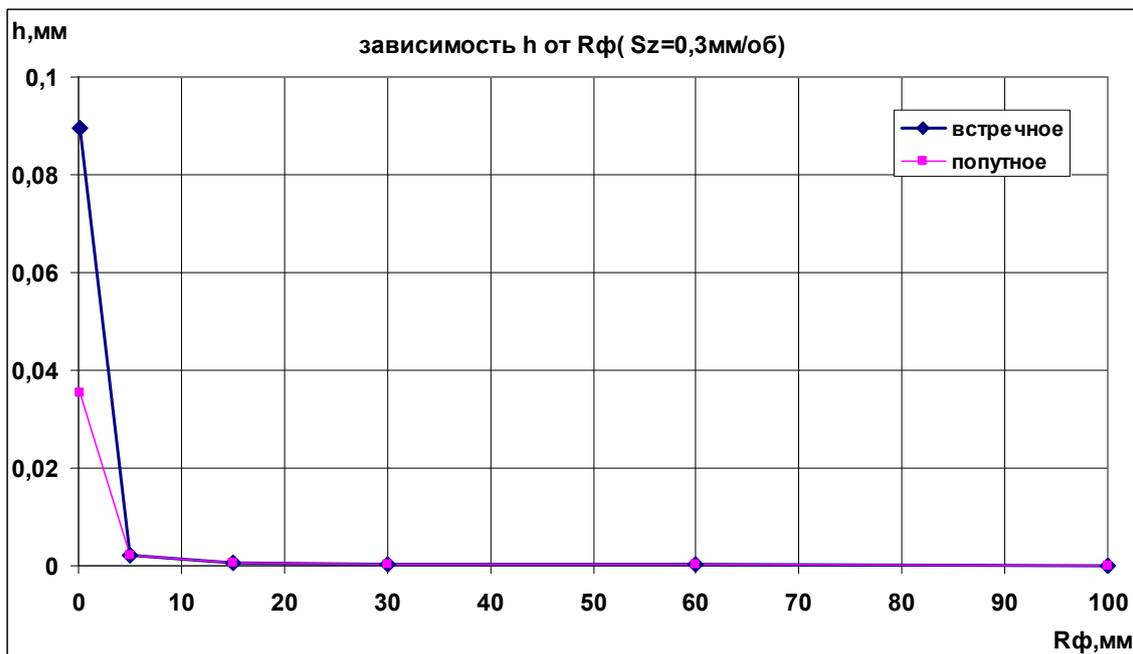


Рис.3. Зависимость высоты остаточного профиля от радиуса фрезы

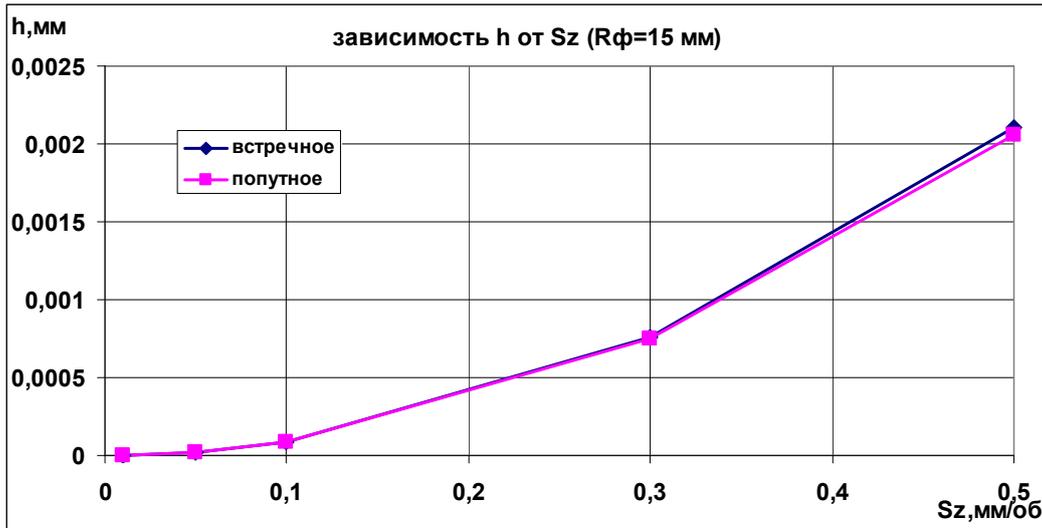


Рис.4. Зависимость высоты остаточного профиля от подачи на зуб

II. Цилиндрическое фрезерование по выпуклому контуру

1) Уравнения движения при попутном фрезеровании:

$$\begin{cases} x = \sin(W_c * t) * (R_c + R_\phi) + \sin((W_\phi + W_c) * t) * R_\phi \\ y = \cos(w_c * t) * (R_c + R_\phi) + \cos((W_\phi + W_c) * t) * R_\phi \end{cases} \quad (10)$$

где W_c - угловая скорость вращения заготовки, рад/мин;
 W_ϕ - угловая скорость вращения фрезы, рад/мин;
 R_ϕ - радиус фрезы, мм;
 R_c - радиус заготовки, мм;
 t - время, мин

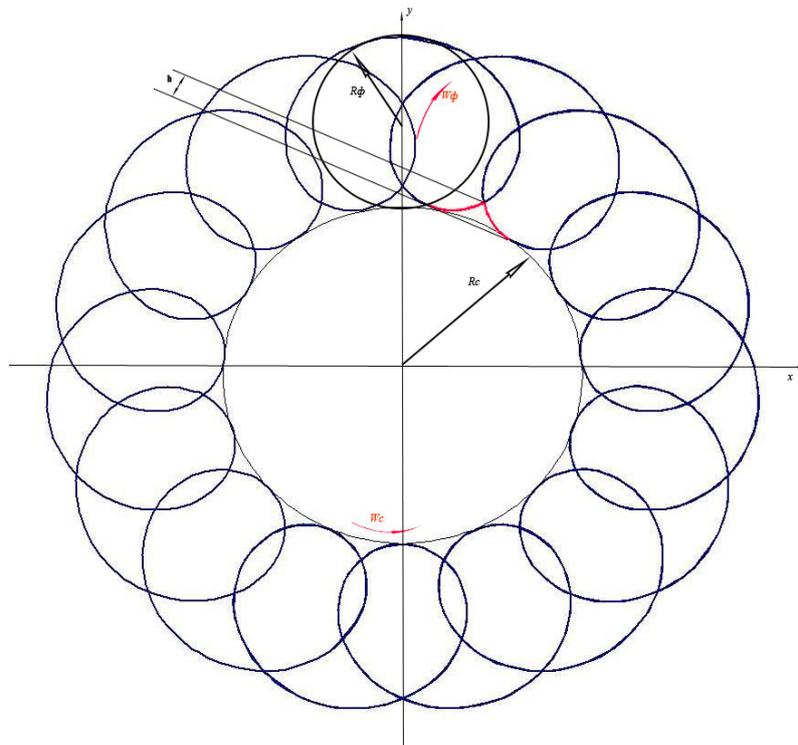


Рис.5. Траектория режущей кромки фрезы при попутном фрезеровании выпуклого контура

Для того, чтобы найти высоту остаточного сечения h необходимо найти время за которое режущая кромка фрезы придет в точку H (рис.6.). Для решения этой задачи найдем точку пересечения траекторий движения двух фрез, движущихся навстречу и расположенных на расстоянии S_z друг от друга – из точек A и B (рис.6.). Через время t их траектории пересекутся в точке H . Начальное положение фрезы 2 совпадает с положением фрезы 1 в момент времени когда $\varphi = W\phi * t = 4 * \pi$.

Таким образом, необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} x = \sin(Wc * t) * (Rc + R\phi) + \sin((W\phi + Wc) * t) * R\phi \\ x = \sin(\varphi - Wc * t) * (Rc + R\phi) + \sin(\varphi - (Wc + W\phi) * t) * R\phi \end{cases} \quad (11)$$

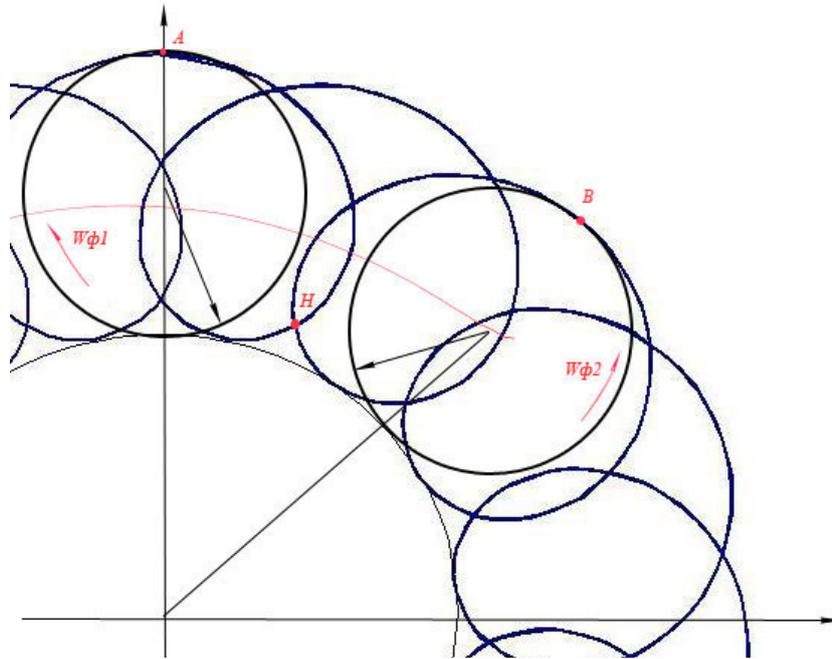


Рис.6. Определение высоты остаточного сечения при попутном фрезеровании

2) уравнения движения при встречном фрезеровании:

$$\begin{cases} x = \sin(Wc * t) * (Rc + R\phi) + \sin((W\phi - Wc) * t) * R\phi \\ y = \cos(Wc * t) * (Rc + R\phi) - \cos((W\phi - Wc) * t) * R\phi \end{cases} \quad (12)$$

Высота остаточного сечения для встречного фрезерования находится аналогичным образом, только для этого случая $\varphi = W\phi * t = 2 * \pi$

Таким образом, необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} x = \sin(Wc * t) * (Rc + R\phi) + \sin((W\phi - Wc) * t) * R\phi \\ x = \sin(\varphi - Wc * t) * (R\phi + Rc) - \sin(\varphi + (W\phi - Wc) * t) * R\phi \end{cases} \quad (13)$$

Решая системы уравнений (11) и (13) с помощью MathCAD, для полученного t находим x и y и находим h по формуле:

$$h = \sqrt{x^2 + y^2} - Rc \quad (14)$$

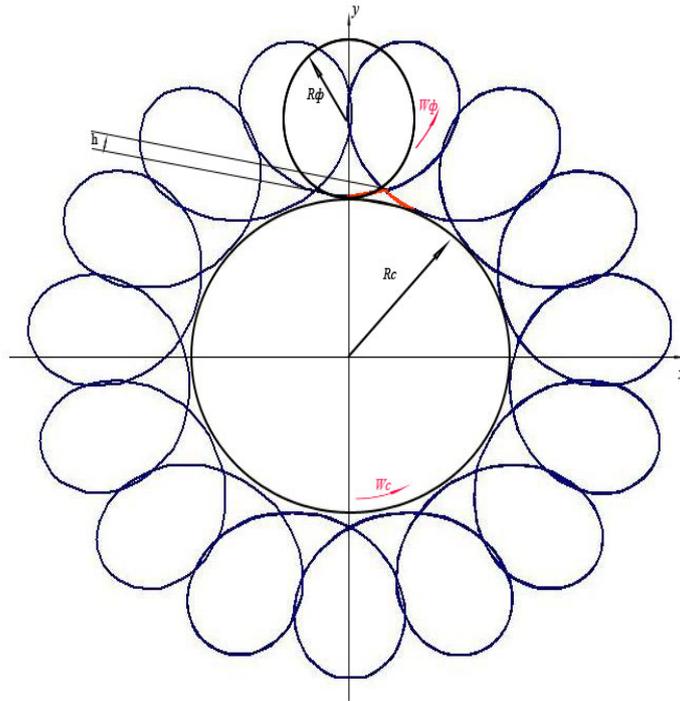


Рис.7. Траектория режущей кромки фрезы при встречном фрезеровании выпуклого контура

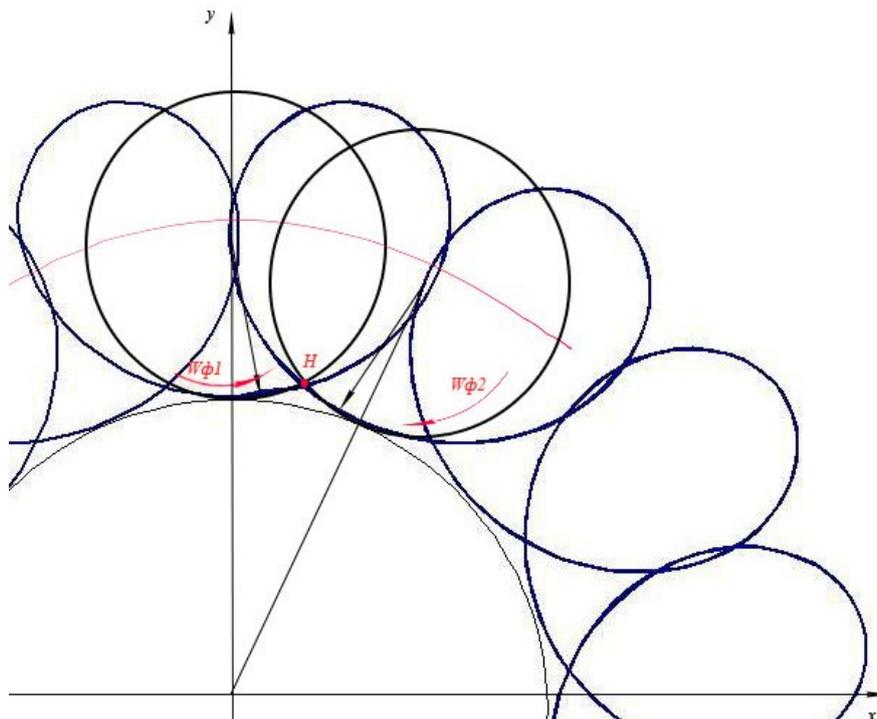


Рис.8. Определение высоты остаточного сечения при встречном фрезеровании

Полученные решения уравнений позволили построить зависимости высоты остаточного сечения от подачи на зуб S_z , радиуса фрезы R_ϕ и радиуса обрабатываемой поверхности R_c при обработке выпуклых поверхностей (рис.9-11).

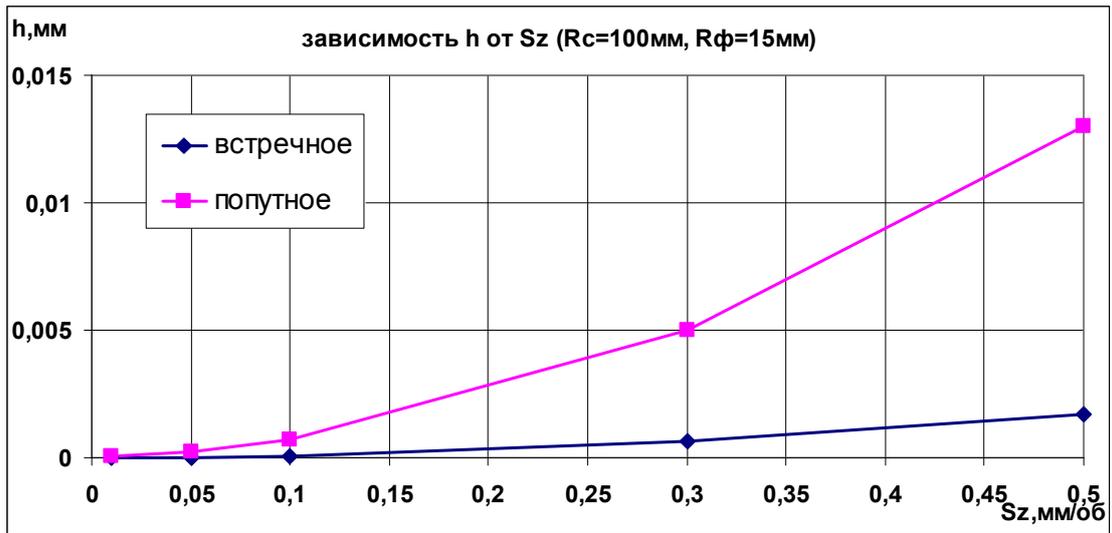


Рис.9. Зависимости h от подачи на зуб

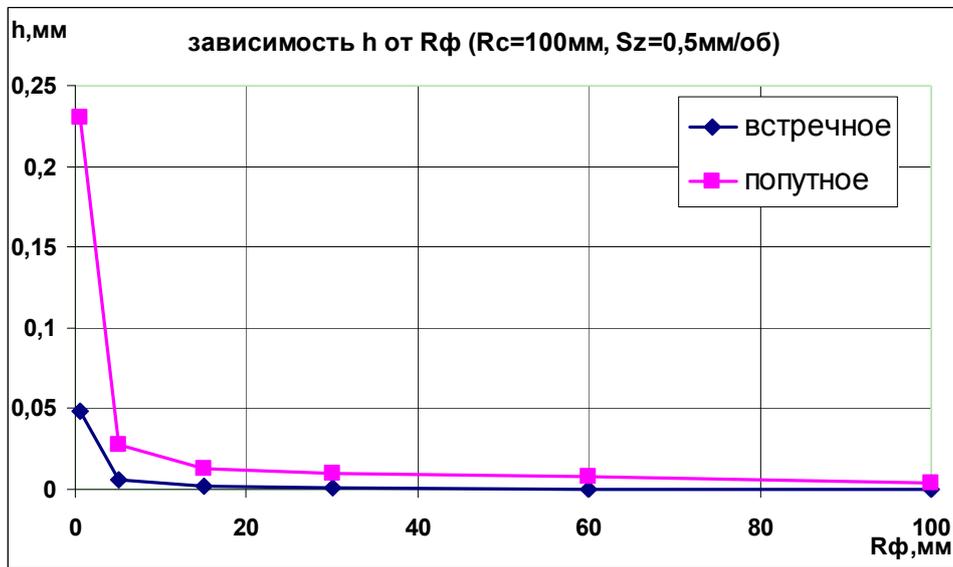


Рис.10. Зависимости h от радиуса фрезы

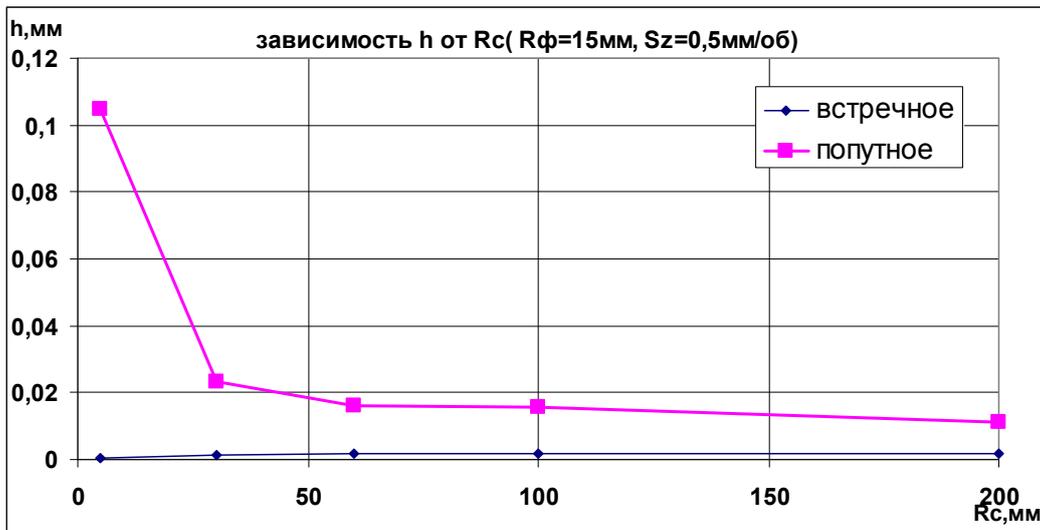


Рис.11. Зависимости h от радиуса заготовки

III. Цилиндрическое фрезерование по вогнутому контуру:

Уравнения движения при попутном фрезеровании совпадают с уравнениями (12), а уравнения движения при встречном фрезеровании совпадают с уравнениями (10).

Очевидно, что высота остаточного сечения будет определяться аналогичным образом: для попутного фрезерования с помощью системы уравнений (13), для встречного фрезерования с помощью системы (11), только $R_c = R_{c2} - 2 * R_{\phi}$, где R_{c2} - радиус вогнутого контура. Величина h в данном случае будет определяться по формуле:

$$h = R_c - \sqrt{x^2 + y^2} \quad (15)$$

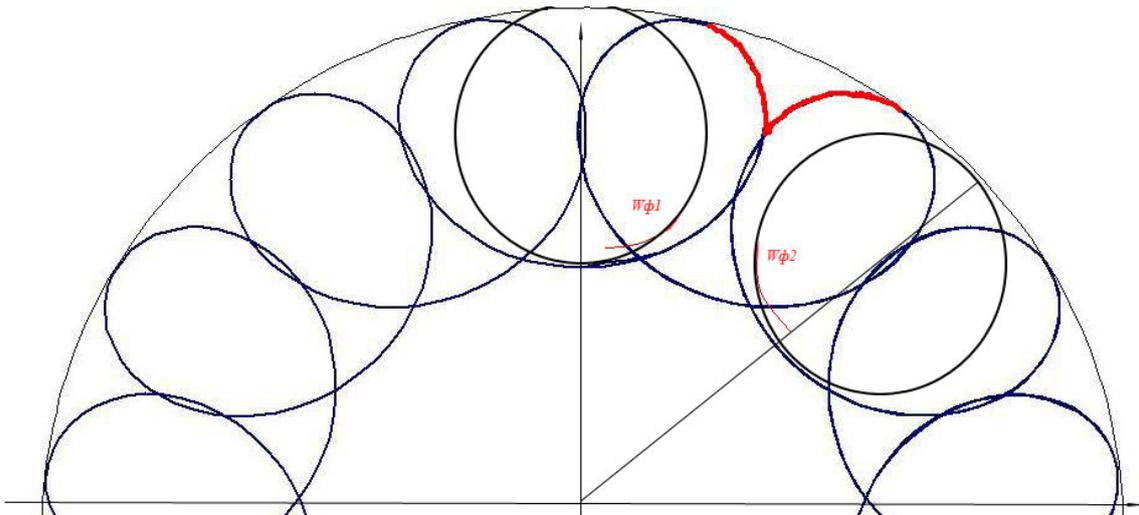


Рис.12. Определение остаточного сечения при попутном фрезеровании вогнутого контура

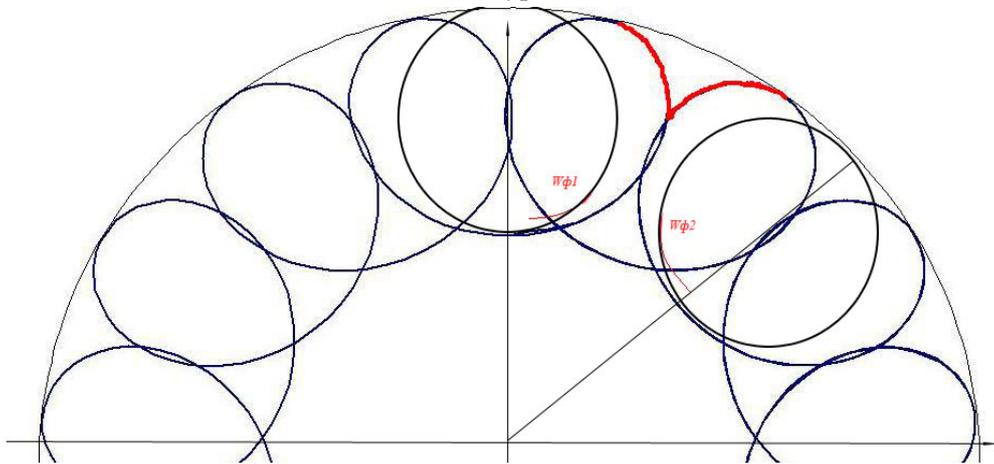


Рис.13. Определение остаточного сечения при встречном фрезеровании вогнутого контура

Полученные решения уравнений позволили построить зависимости высоты остаточного сечения от подачи на зуб S_z , радиуса фрезы R_{ϕ} и радиуса обрабатываемой поверхности R_c при обработке вогнутых поверхностей (рис.14-16).

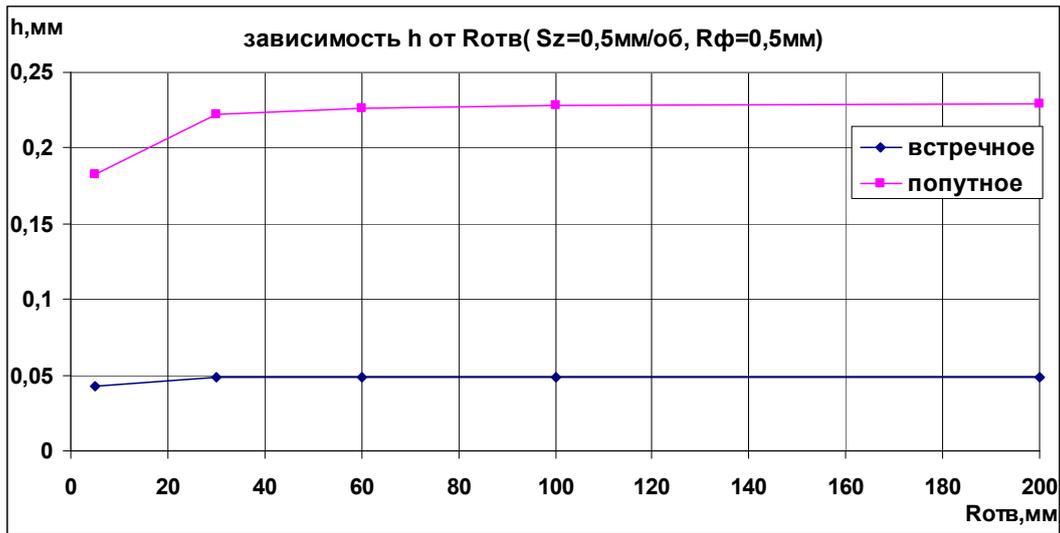


Рис.14. Зависимости h от радиуса заготовки

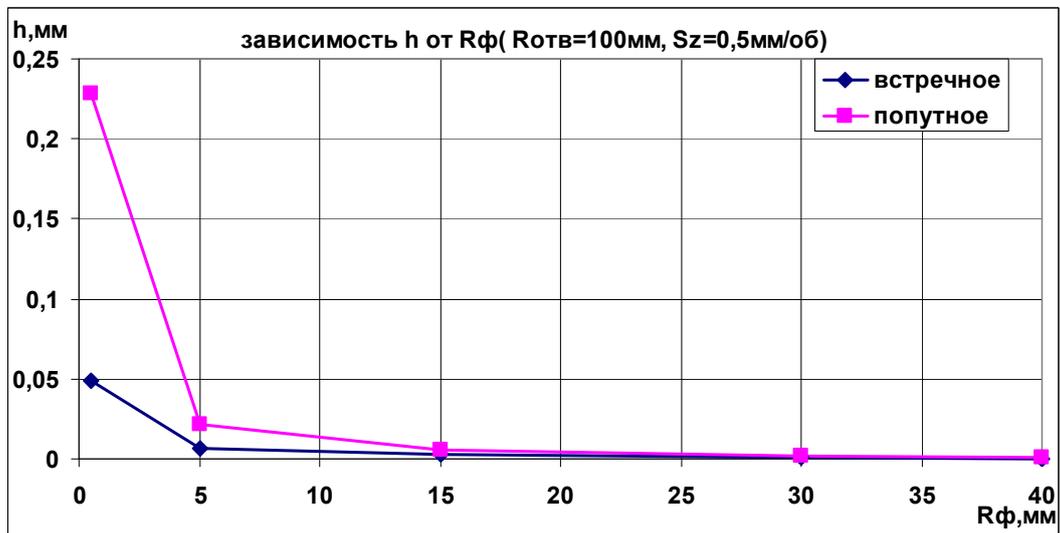


Рис.15. график зависимости h от радиуса фрезы

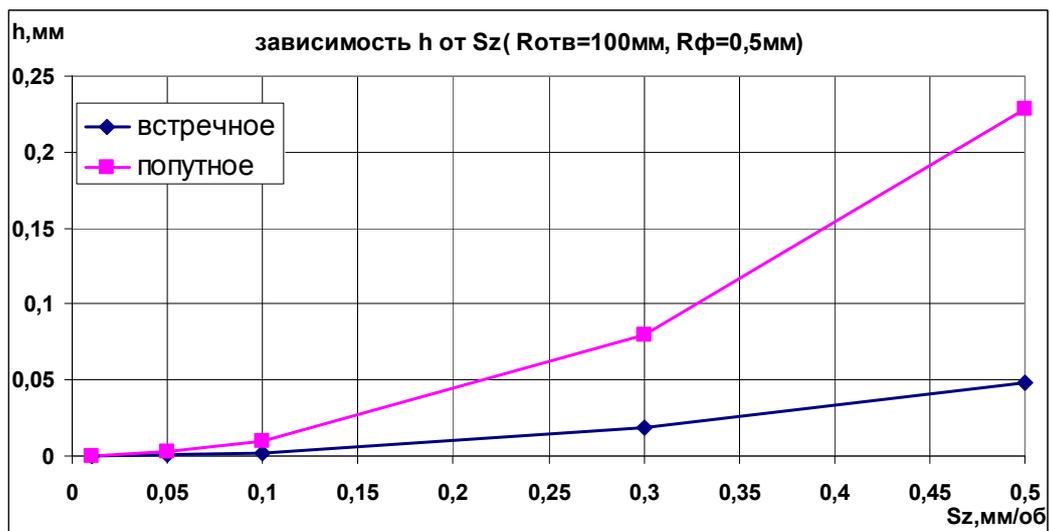


Рис.16. график зависимости h от подачи на зуб

По зависимостям изменения высоты остаточного сечения, полученных для фрезерования выпуклого и вогнутого контура, можно сделать следующие выводы:

- высота остаточного сечения может достигать величин, значимых для определения шероховатости обработанной поверхности, при больших подачах, малых радиусах фрезы и малых радиусах обрабатываемой поверхности;

- высота остаточного сечения зависит от радиуса обрабатываемой поверхности только при малых радиусах;

- высота остаточного сечения при встречном фрезеровании меньше, чем при попутном;

разница высоты остаточного сечения при попутном и встречном фрезеровании увеличивается при увеличении значений подачи на зуб и при уменьшении радиуса фрезы и может достигать 5 раз.

Вывод:

При проектировании операции цилиндрического фрезерования криволинейных поверхностей следует учитывать разницу высоты остаточного сечения при попутном и встречном фрезеровании, особенно при больших подачах на зуб и малых радиусах фрезы.