

## ВОЛНИСТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

Джумаев Ш. – магистрант, гр. 8КТМ-71  
Руководитель - Леонов С.Л. – д.т.н., профессор.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
(Барнаул)

Подготовка поверхности под нанесение покрытия подразумевает создание определенной шероховатости основы. Это необходимо для обеспечения необходимой прочности сцепления. Нагрузки, приводящие к отслаиванию, пропорциональны площади контакта покрытия с основой. Обработка основы и создает на ее поверхности микрорельеф, увеличивающий эту площадь и, соответственно, прочность сцепления. Высокая удельная стоимость материала некоторых покрытий существенно ограничивает его толщину. При этом основным критерием становится стоимость объема наносимого слоя покрытия, в том числе и расположенного в рисках шероховатости и волнистости основы.

Следовательно, при создании развитого микрорельефа поверхности для обеспечения прочности сцепления основы с покрытием и увеличении высоты слоя шероховатости основы значительная часть покрытия может располагаться во впадинах волнистости. Поэтому микрорельеф основы неоднозначно влияет на эксплуатационные свойства покрытия.

Таким образом, для повышения эффективности операций подготовки основы необходимо:

- 1) для снижения расхода материала покрытия - минимизировать его объем, размещаемый в микрорельефе поверхности основы;
- 2) для предотвращения отслаивания покрытия и обеспечения заданного ресурса ее работы - обеспечить развитый микрорельеф поверхности основы - максимум площади контакта покрытия с основой;

При переходе от объемных характеристик к плоским, математически эти требования выражаются условиями:

$$S_{СП} = \int_0^{L_{баз}} (y_{max} - y(l)) dl \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$L = \int_0^{L_{баз}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dl}\right)^2} dl \rightarrow \max \quad (2)$$

где  $y(l)$  – зависимость, описывающая профиль поверхности основы;  
 $L_{баз}$  – базовая длина.

Для решения этой оптимизационной задачи необходимо прогнозирование волнистости обработанной поверхности. Рассмотрим процесс формирования волнистости для операций фрезерования отверстий большого диаметра.

Концевые фрезы являются наиболее распространенными в общей массе инструментов используемых на современных обрабатывающих центрах, для изготовления деталей машин, 60% которых имеют отверстия различных видов и, особенно, большого диаметра. Обработка этими инструментами во многих случаях наиболее экономичный способ получения отверстий.

При фрезеровании на волнистость обработанной поверхности влияют большое количество факторов - рисунок 1.



Основным источником волнистости поверхности при фрезеровании является прерывистый характер резания. При этом волнистость образуется за счет геометрического копирования зубьев фрезы в материале поверхности заготовки.

**Формирование профиля поверхности при обработке фрезой с одним режущим зубом рисунок 2:**

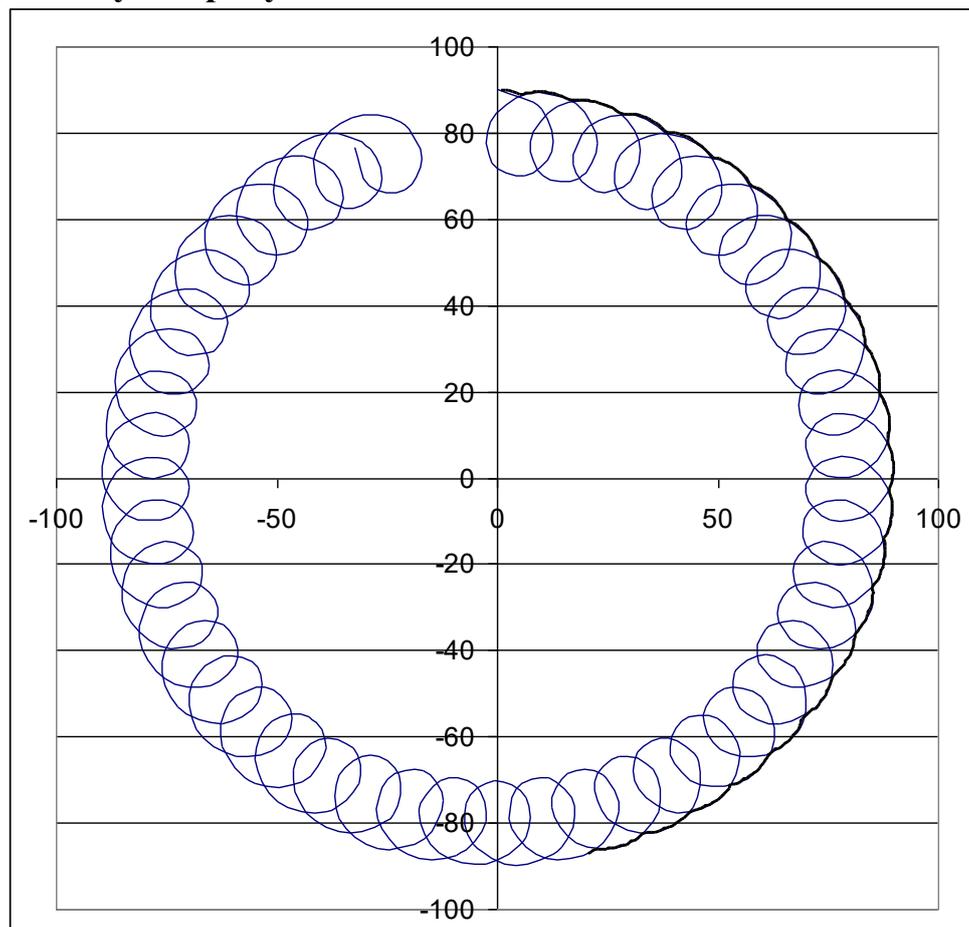


Рисунок 2 – Траектории движения зуба фрезы

Траектория движения зуба фрезы имеет вид эпитрохоиды. Уравнение этой кривой представляет собой сумму двух гармоник разной частоты.

$$\begin{cases} x = R \sin(\omega_1 \tau) + r \sin(\omega_2 \tau) \\ y = R \cos(\omega_1 \tau) + r \cos(\omega_2 \tau) \end{cases} \quad (3)$$

где:

$R$  – радиус траектории движения центра фрезы;

$r$  – радиус фрезы.

$\omega_1$  – угловая скорость движения фрезы по контуру;

$\omega_2$  – угловая скорость вращения фрезы.

Обрабатывающий центр может осуществлять обработку по любой траектории, обеспечивая, при необходимости, обработку отверстий разного диаметра и разной глубины одним и тем же инструментом. Кроме того, тот же инструмент может использоваться для обработки и других, в том числе и сложно контурных поверхностей.

### **Формирование профиля поверхности при обработке многозубой фрезой с прямыми зубьями:**

Для многозубой фрезы уравнения движения зубьев имеет аналогичный вид. Профиль обработанной поверхности рассчитывается как огибающая данных кривых.

Для расчета огибающей разработан алгоритм, в котором для каждого углового положения зуба находится его расстояние от центра отверстия, а затем выбирается максимальное значение.

На рис. 3 показан пример наложения траекторий 3-х зубьев фрезы.

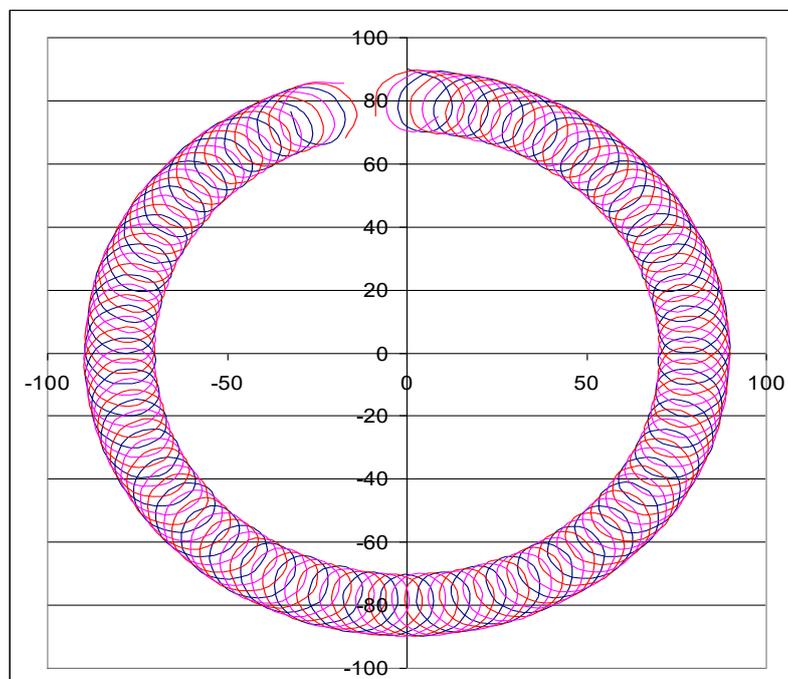


Рисунок 3 – Траектория движения зубьев трехзубой фрезы

Уравнение движения:

$$\begin{cases} x = R \cos \omega_1 \tau + r \cos \left( \omega_2 \tau - \frac{2\pi}{N} (i-1) \right) = R \cos \varphi_1 + r \cos \varphi_2 \\ y = R \sin \omega_1 \tau + r \sin \left( \omega_2 \tau - \frac{2\pi}{N} (i-1) \right) = R \sin \varphi_1 + r \sin \varphi_2 \end{cases} \quad (4)$$

При увеличении количества зубьев фрезы волнистость обработанной поверхности снижается. Разработанная модель позволяет оценить величину снижения волнистости количественно.

На рис. 3 показан волнистость в зависимости от количества зубьев фрезы.

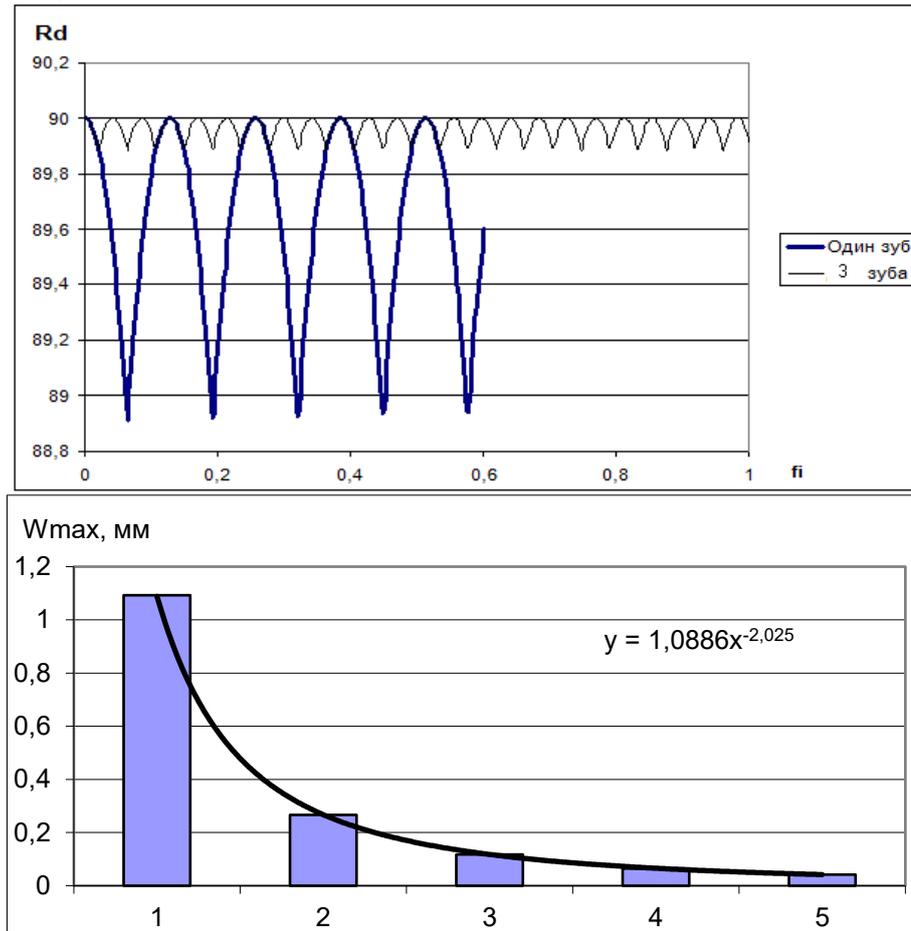


Рисунок 4 – Волнистость в зависимости от количества зубьев фрезы.

Разработанные модели и алгоритмы позволяют прогнозировать профиль обработанной поверхности для решения оптимизационной задачи (1), (2).

Список литературы:

1. Леонов С.Л., Белов А.Б. Моделирование процесса фрезерования отверстий на станках с ЧПУ, «Ползуновский вестник» № 1-1 2012. С. 177-180.