

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

С.Л. Леонов, А.Б. Белов

Приведен метод фрезерования с винтовой интерполяцией, где формирование отверстия происходит за счет совмещения осевого перемещения инструмента со спиральным движением его оси. Рассмотрены важнейшие характеристики качества деталей.

Ключевые слова: контурное фрезерование, вибрации, шероховатость, волнистость

На современном этапе развития конструкции станков с ЧПУ, режущего инструмента, применения новых износостойких покрытий и методов обработки открываются новые возможности, позволяющие наиболее полно и эффективно использовать металлорежущий инструмент при изготовлении различных изделий.

При обработке деталей на станках с ЧПУ требуется изготовление отверстий различного диаметра, основным способом получения которых является сверление и растачивание. Данные виды обработки требуют широкой номенклатуры режущего и вспомогательного инструмента, так как каждое сверло рассчитано на изготовление отверстий определенного диаметра.

Альтернативой сверлению при обработке неглубоких отверстий является метод фрезерования с винтовой интерполяцией (рис.1), где формирование отверстия происходит за счет совмещения осевого перемещения инструмента со спиральным движением его оси.

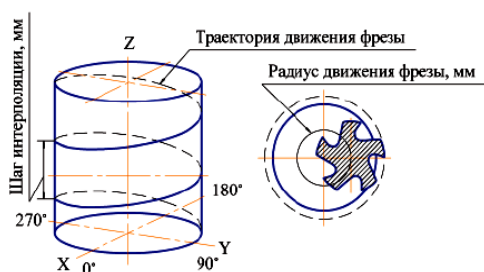


Рисунок 1 - Формирование обрабатываемого отверстия методом винтовой интерполяции

Данный способ является более универсальным и позволяет производить обработку отверстий различного диаметра,

и в зависимости от требований чертежа, может заменить операцию растачивания. Все вышеперечисленное в свою очередь ведет к уменьшению номенклатуры используемого инструмента и сокращению общего времени обработки детали.

Способ получения отверстий фрезерованием с винтовой интерполяцией создает серьезную конкуренцию сверлению при обработке корпусных деталей. Возможность получения отверстий различного назначения с разными характеристиками делает его более универсальным в применении. Уменьшение номенклатуры режущего и вспомогательного инструмента, сокращение общего времени обработки значительно увеличивает производительность технологического процесса и снижает себестоимость изготовления деталей.

Шероховатость и волнистость поверхности являются одними из важнейших характеристик качества и оказывают большое влияние на усталостную прочность, износо- и коррозионную стойкость деталей машин. Задача формирования требуемого микрорельефа особенно важна для операций, завершающих обработку поверхности. Для ряда деталей такой операцией является контурное или цилиндрическое фрезерование.

Теоретический микропрофиль поверхности, обработанной цилиндрическими и концевыми фрезами, представляет собой волнообразную поверхность, что обусловлено кинематикой процесса фрезерования (рис. 2) [1]. Параметры волнистости характеризуются высотой H и шагом L .

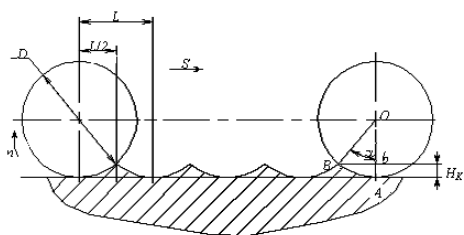


Рисунок 2 - Схема формирования волнистости при обработке прямолинейного участка контура концевой фрезой (для случая встречного фрезерования)

Зависимости для определения кинематической составляющей высоты H_k и шага волнистости L определяются как [2]

$$H_k = \frac{S_z^2}{8R} L = S_z; \quad (1)$$

где S_z — подача на зуб фрезы, мм/зуб; R — радиус фрезы, мм.

Однако, применение известных зависимостей для оценки параметров волнистости возможно только при обработке на прямолинейных участках обрабатываемой детали, т.к. не учтено влияние кривизны поверхности на кинематику фрезерования.

Необходимость оценки качества обработанной поверхности, а следовательно и управления параметрами качества, является весьма актуальной задачей, т.к. 70...75 % контурного фрезерования на станках с ЧПУ приходится на долю деталей с криволинейными поверхностями [3]. Переменная кривизна различных участков детали приводит к тому, что качество поверхности по длине обработки не стабильно, что в свою очередь, ухудшает эксплуатационные характеристики детали.

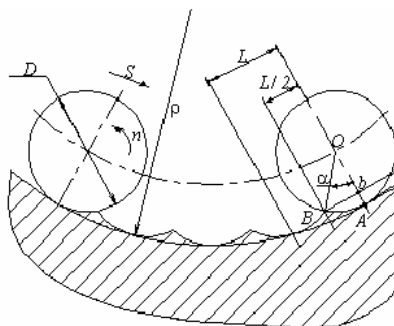


Рисунок 3 - Схема формирования волнистости при обработке криволинейного участка контура концевой фрезой

В общем виде формула для определения высоты волнистости при обработке криволинейного участка детали цилиндрическим фрезерованием будет иметь вид:

$$H_k = \frac{D}{2} \left[1 - \cos \frac{\pi \cdot S}{Z \cdot (\pi D n \pm S) \cdot (1 \pm D/2\rho)} \right] \quad (2)$$

В выражении $(\pi n D \pm S)$ знак "+" соответствует попутному фрезерованию, по аналогии с обработкой прямолинейного участка контура, знак "-" встречному; в $(1 \pm D/2\rho)$ знак "+" соответствует выпуклому, а знак "-" вогнутому участку контура.

Параметры волнистости рассчитанные по формулам (1) и (2) описывают только кинематические составляющие обработки, не учитывая их наложения в динамике при движении фрезы.

При обработке деталей, имеющих отверстия, важным критерием качества является обеспечение заданного уровня волнистости поверхности. Примером таких деталей являются штампы, внутренние поверхности втулок, отверстий и т.п. Обработка обычно ведется нежестким инструментом. Низкая жесткость приводит не только к упругим отжатым в технологической системе, но и к колебаниям на собственной частоте инструмента с оправкой.

При обработке деталей, имеющих отверстия, важным критерием качества является обеспечение заданного уровня волнистости поверхности. Этот критерий особенно важен при подготовке поверхностей под нанесение покрытий. Примером таких деталей являются штампы, внутренние поверхности втулок, отверстий и т.п. Обработка обычно ведется нежестким инструментом. Низкая жесткость приводит не только к упругим отжатым в технологической системе, но и к колебаниям на собственной частоте инструмента с оправкой.

Упругие отжаты достаточно просто прогнозировать. В соответствии с законом

Гука $\Delta y = \frac{P_y}{C}$, где P_y – среднее значение

нормальной составляющей силы резания, а C – жесткость оправки с инструментом. Эти величины рассчитываются или определяются экспериментально. При использовании оборудования с ЧПУ внесение поправки на упругие отжаты не вызывают значительных трудностей.

Значительно более сложные проблемы возникают при учете вибраций инструмента,

которые приводят к появлению волнистости обработанной поверхности. Фактически задача сводится к расчету огибающей [4], [5]. Даже при гармоническом законе колебаний центра инструмента, профиль обработанной поверхности (огибающая) может существенно отличаться от гармонического. Рассмотрим пример фрезерования отверстия в детали (рис.4). Отверстие имеет радиус R . Инструмент радиуса r производит обработку этой поверхности и его центр совершает в радиальном направлении гармонические колебания амплитуды A . Параметр q характеризует частоту колебаний.

Координаты центра инструмента определяются выражениями:

$$\begin{aligned} x_B &= (R - r + A \sin q\varphi) \cos \varphi \\ y_B &= (R - r + A \sin q\varphi) \sin \varphi \end{aligned} \quad (3)$$

Для получения координат огибающей профиля, которая определяет волнистость поверхности детали, используются выражения [5]:

$$y = y_B \pm \frac{r\dot{x}_B}{\sqrt{\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2}}; \quad x = x_B \pm \frac{r\dot{y}_B}{\sqrt{\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2}} \quad (4)$$

Производные \dot{x}_B, \dot{y}_B , необходимые для расчета огибающей, рассчитываются аналитическим дифференцированием выражений (4). На рис.5 приведен профиль огибающей для 36-й гармоники ($q = 36$). График получен для радиуса детали $R = 40$ мм, радиуса инструмента $r = 10$ мм и амплитуды колебаний $A = 0,2$ мм.

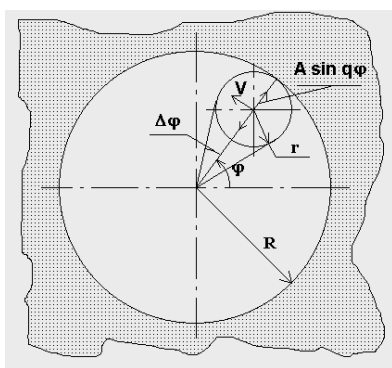


Рисунок 4 - Схема обработки внутренней поверхности

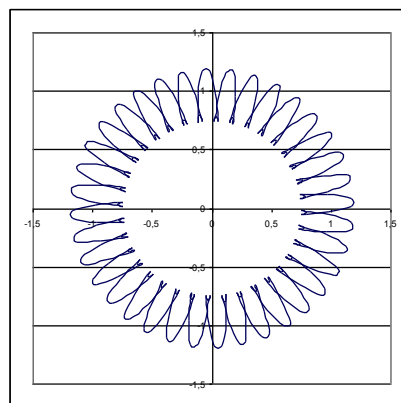


Рисунок 5 - Профиль обработанной поверхности по формулам (3), (4).

На графике хорошо видны петлеобразные ветви, которые являются мнимыми положениями на огибающей. Этот эффект назван В.А Прилуцким явлением самоперерезания волн [5] и обеспечивает снижение волнистости детали. Образование петель характерно для высокочастотных колебаний при их значительной амплитуде. Для получения реального профиля детали от кривой (рис.5) необходимо "отрезать" петли, полученные расчетным путем, что само по себе является непростой вычислительной задачей.

Таким образом, недостатками приведенного аналитического подхода являются:

1. Трудоемкость расчета огибающей для сложных траекторий движения центра инструмента. Это связано с необходимостью получения производных \dot{x}_B, \dot{y}_B . В некоторых случаях аналитическое выражение этих производных получить вообще невозможно и для их расчета требуется применение численных методов.

2. Невозможность аналитического получения производных \dot{x}_B, \dot{y}_B для сложных негармонических форм колебаний.

3. Сложность анализа профиля и параметров волнистости детали, связанная с наличием мнимых петель на огибающей.

Для устранения этих отрицательных факторов нами разрабатывается имитационный алгоритм формирования траектории - рис. 2.

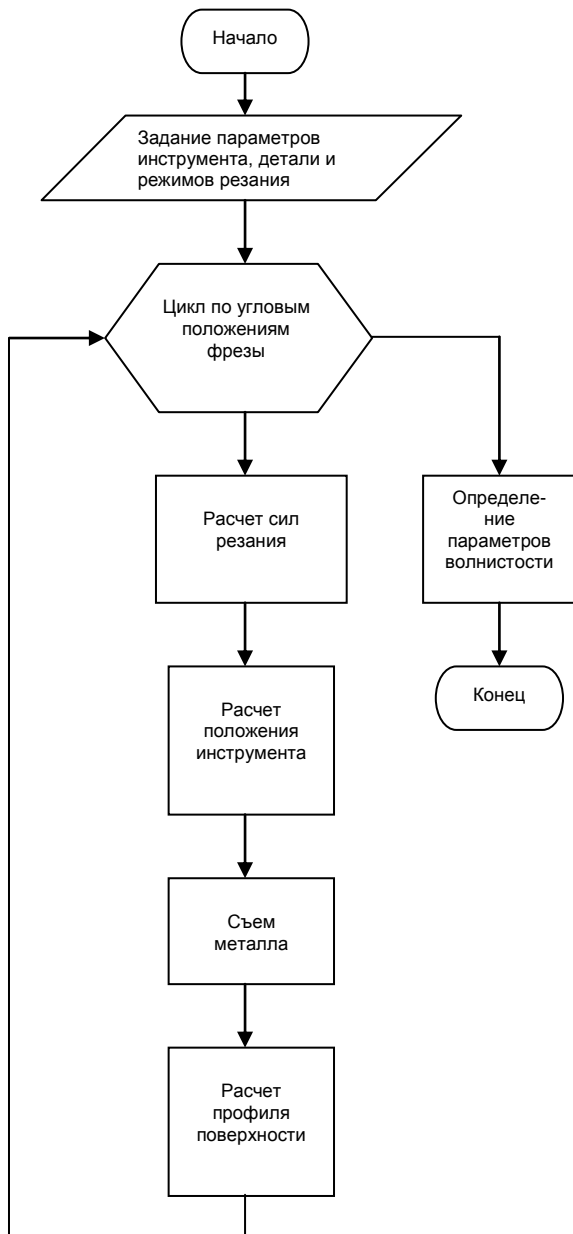


Рисунок 6 - Укрупненный алгоритм формирования траектории

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. - М.: Машиностроение, 1979.
2. Бобров В.Д. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975.
3. Константинов М.Т. Расчет программ фрезерования на станках с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1985.
4. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей. - М.: Машиностроение, 1978. -136 с.
5. Прилуцкий В.А. Технологическое обеспечение точности поверхностей деталей соединений. (Методы уменьшения периодической погрешности обработки). - Самара: Самар. гос. ун-т, 1998. -132 с.

Леонов С.Л., д.т.н., профессор кафедры ТАП,

Белов А.Б., аспирант кафедры ТАП,
 e-mail: alexbeluj1209@yandex.ru,
 ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»