

УДК 621.914.1.04

РАСЧЁТ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.В. Выбойщик

Статья содержит расчёт геометрических параметров макронеровностей сложнопрофильных поверхностей при обработке концевыми радиусными фрезами при различных схемах обработки.

Ключевые слова: сложнопрофильная поверхность, объёмное фрезерование, макронеровность, концевая радиусная фреза, схема «поперёк» следа, схема «вдоль» следа, схема «под углом» к следу.

При обработке пространственно-сложных поверхностей на чистовых переходах могут применяться различные схемы обработки – «вдоль», «поперек» следа и «под углом» к следу предшествующего чернового перехода. Схема обработки «вдоль» следа достаточно подробно изучена в [1]. В [2] был выполнен расчёт геометрических параметров, связанных с обработкой «поперек» следа.

Особенностью обработки пространственно-сложных поверхностей «поперек» следа является наличие макронеровностей в виде «ступенек», от которых зависит глубина резания t . Глубина резания определяется конфигурацией обрабатываемой поверхности (радиусом кривизны R и углом наклона поверхности к горизонтальной плоскости ω в текущей точке), высотой «ступенек» B , радиусом фрезы R_f и периодической подачей на строку S_{nep} на предшествующем переходе.

В конструкции детали обычно задается ее радиус R или угол наклона поверхности к горизонтальной плоскости ω , Радиус фрезы R'_f на черновых переходах выбирается исходя из условия прочности инструмента.

Ниже приведены типовые случаи обработки макронеровностей от предшествующей обработки.

1. В случае обработки на предшествующем переходе плоского участка поверхности концевой цилиндрической фрезой максимальная высота образующейся «ступеньки» B определяется следующим образом:

$$B = S_{nep} \operatorname{tg} \omega, \quad (1)$$

Текущая глубина резания t_i определяется как перпендикуляр, опущенный из любой точки профиля предшествующего перехода i на обрабатываемую поверхность. Формулы определения текущей глубины резания имеют вид:

$$\begin{cases} t_i = l_i \operatorname{ctg} \omega & \text{при } l_i \in \left[0; S_{nep} \frac{\sin^2 \omega}{\cos \omega} \right]; \\ t_i = S_{nep} \frac{\sin \omega}{\cos^2 \omega} - l_i \operatorname{tg} \omega & \text{при } l_i \in \left[S_{nep} \frac{\sin^2 \omega}{\cos \omega}; \frac{S_{nep}}{\cos \omega} \right]. \end{cases} \quad (2)$$

где l_i – текущее расстояние от начала «ступеньки» до точки пересечения отрезка t_i с обрабатываемой поверхностью.

2. В случае обработки на предшествующем переходе плоского участка поверхности концевой радиусной фрезой с радиусом R'_ϕ максимальная глубина резания t_{max} определяется следующим образом:

$$t_{max} = R'_\phi \left[1 - \sin(\omega + \kappa_1) \right], \quad (3)$$

где κ_1 – угол между горизонтальной осью и отрезком, соединяющим центр первой окружности с точкой пересечения двух дуг окружностей.

Текущая глубина резания t_i определяется как перпендикуляр, опущенный из точки i на обрабатываемую поверхность. Формулы определения текущей глубины резания имеют вид:

$$\begin{cases} t_i = R'_\phi \left(1 - \cos \arcsin \frac{l_i}{R'_\phi} \right) & \text{при } l_i \in \left[0; \frac{S_{nep}}{2 \cos \omega} \right]; \\ t_i = R'_\phi \left(1 - \cos \arcsin \left[\frac{S_{nep}}{\cos \omega} - \frac{l_i}{R'_\phi} \right] \right) & \text{при } l_i \in \left[\frac{S_{nep}}{2 \cos \omega}; \frac{S_{nep}}{\cos \omega} \right]. \end{cases} \quad (4)$$

3. В случае обработки на предшествующем переходе выпуклого участка поверхности концевой цилиндрической фрезой высоты образующихся «ступенек» B оказываются разными из-за изменения угла ω по длине дуги профиля. Высота «ступеньки», сформированная углами ω_1 и ω_2 , определяется как катет прямоугольного треугольника:

$$B = S_{nep} \operatorname{tg} \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right), \quad (5)$$

где ω_1 – угол наклона касательной к обрабатываемой поверхности в начале «ступеньки»; ω_2 – угол наклона касательной к обрабатываемой поверхности в конце «ступеньки».

Текущая глубина резания t_i определяется как отрезок, проведенный из точки i по нормали к обрабатываемой поверхности. Формулы определения текущей глубины резания имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i = \frac{2B \sin \frac{\varphi}{2} \cos \left(\frac{\varphi_i}{2} + \omega_1 \right)}{\sin(\varphi_i + \omega_1) [1 - \cos(\omega_1 + \omega_2)]} \quad \text{при } \varphi_i \in [0; \varphi_\kappa]; \\ t_i = \frac{2S_{nep} \sin \left(\frac{\omega_1 - \omega_2 - \varphi_i}{2} \right) \sin \left(\frac{\varphi_i - \omega_1 + \omega_2}{2} \right)}{\cos(\varphi_i + \omega_1) \sin(\omega_1 + \omega_2)} \quad \text{при } \varphi_i \in [\varphi_\kappa; \omega_2 - \omega_1]. \end{array} \right. \quad (6)$$

4. В случае обработки выпуклого участка поверхности с радиусом R концевой радиусной фрезой радиусом R'_ϕ максимальная глубина резания t_{max} определяется следующим образом:

$$\frac{R + t_{max}}{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \omega' - \kappa_2 \right)} = \frac{R'_\phi}{\sin \left(\frac{\omega' - \omega''}{2} \right)}, \quad (7)$$

где κ_2 – угол между горизонтальной осью и прямой, соединяющей центр первой (верхней) окружности с точкой пересечения двух дуг окружностей; ω' , ω'' – углы наклона к вертикальной плоскости прямых, соединяющих центр окружности обрабатываемой поверхности с центрами двух окружностей, образующих строки, отстоящие друг от друга на величину периодической подачи S_{nep} .

Формулы определения текущей глубины резания имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i = R'_\phi \left(1 - \cos \arcsin \frac{l_i}{R'_\phi} \right) - \\ - l_i \sin \left(\frac{\omega' - \omega''}{2} \right) \quad \text{при } \varphi_i \in \left[0; \frac{\omega' - \omega''}{2} \right]; \\ t_i = R'_\phi \left(1 - \cos \arcsin \left[\frac{S_{nep}}{\cos \left(\frac{\omega' + \omega''}{2} \right)} - \frac{l_i}{R'_\phi} \right] \right) - \\ - l_i \sin \left(\frac{\omega' - \omega''}{2} \right) \quad \text{при } \varphi_i \in \left[\frac{\omega' - \omega''}{2}; \omega' - \omega'' \right]. \end{array} \right. \quad (8)$$

5. В случае обработки на предшествующем переходе вогнутого участка поверхности концевой цилиндрической фрезой максимальная высота образующейся «ступеньки» B определяется аналогично п. 2 по формуле (5).

Текущая глубина резания t_i определяется как отрезок, проведенный из точки i по нормали к обрабатываемой поверхности. Формулы определения текущей глубины резания имеют вид

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i = \frac{2B \sin \frac{\varphi_i}{2} \cos \left(\frac{\varphi_i + \omega_1}{2} \right)}{\sin(\varphi_i + \omega_1) [1 - \cos(\omega_1 + \omega_2)]} \quad \text{при } \varphi_i \in [0; \varphi_\kappa]; \\ t_i = \frac{2S_{nep} \sin \left(\frac{\omega_2 - \omega_1 - \varphi_i}{2} \right) \sin \left(\frac{\varphi_i - \omega_1 + \omega_2}{2} \right)}{\cos(\varphi_i + \omega_1) \sin(\omega_1 + \omega_2)} \quad \text{при } \varphi_i \in [\varphi_\kappa; \omega_2 - \omega_1]. \end{array} \right. \quad (9)$$

6. В случае обработки на предшествующем переходе вогнутого участка поверхности с радиусом R концевой радиусной фрезой радиусом R'_ϕ максимальная глубина резания t_{max} определяется следующим образом:

$$\frac{R - t_{max}}{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \omega' + \kappa_1 \right)} = \frac{R'_\phi}{\sin \left(\frac{\omega'' - \omega'}{2} \right)}, \quad (10)$$

где κ_1 – угол между горизонтальной осью и прямой, соединяющей центр первой (нижней) окружности с нижней точкой пересечения двух дуг окружностей; ω' , ω'' – углы наклона к вертикальной плоскости прямых, соединяющих центр окружности обрабатываемой поверхности с центрами двух окружностей, образующих строки, отстоящие друг от друга на величину периодической подачи S_{nep} .

Текущая глубина резания t_i определяется как отрезок, проведенный из точки i по нормали к обрабатываемой поверхности. Формулы определения текущей глубины резания имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_i = R'_\phi \left(1 - \cos \arcsin \frac{l_i}{R'_\phi} \right) + \\ + l_i \sin \left(\frac{\omega'' - \omega'}{2} \right) \quad \text{при } \varphi_i \in \left[0; \frac{\omega'' - \omega'}{2} \right]; \\ t_i = R'_\phi \left(1 - \cos \arcsin \left[\frac{S_{nep}}{\cos \left(\frac{\omega' + \omega''}{2} \right)} - \frac{l_i}{R'_\phi} \right] \right) + \\ + l_i \sin \left(\frac{\omega'' - \omega'}{2} \right) \quad \text{при } \varphi_i \in \left[\frac{\omega'' - \omega'}{2}; \omega'' - \omega' \right]. \end{array} \right. \quad (11)$$

Полученные закономерности позволяют рассчитать изменения составляющих силы резания при обработке пространственно-сложных поверхностей «поперек» следа и «под углом» к следу, а, следовательно, и погрешность обработки в любой точке обрабатываемой поверхности.

Библиографический список

1. Батуев, В.А. Повышение производительности и точности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ путем стабилизации сил резания: автореф. дис. ... канд. тех. наук / В.А. Батуев. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1986. – 24 с.

2. Выбойщик, А.В. Повышение точности и производительности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ: автореф. дис. ... канд. тех. наук / А.В. Выбойщик. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 24 с.