

Таким образом, при правильном определении узловых точек для крепления резца, настройке ультразвукового преобразователя в резонанс и контроле амплитуды колебаний резца в точке, находящейся между узлами колебаний, можно при небольших мощностях создавать и посредством обратной связи поддерживать амплитуду колебаний режущей кромки резца, а следовательно и режим вибрационного резания. Разработанная оснастка и измерительные устройства позволяют проводить нагруженные и контроль амплитуды колебаний инструмента при любой схеме ввода акустических колебаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов.— М.: Машиностроение, 1968.— 367 с. 2. Кумабэ Д. Вибрационное резание.— М.: Машиностроение, 1985.— 424 с.

УДК 621.9.02.001

М. И. Михайлов

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ФРЕЗЫ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА ВИНТОВОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого  
Гомель, Беларусь*

На качество поверхности детали влияет не только высота остаточных гребешков шероховатости, но и характер их распределения на поверхности [1–3].

При синтезе общих схем обработки возникают задачи выбора рациональной формы инструмента. Для сложной поверхности существует множество решений данной задачи. Поэтому практический интерес представляет установление влияния характера кинематической поверхности детали на формообразующую кромку инструмента.

Решение этой задачи требует начального определения значения кинематической погрешности. Для этого образующую локального участка кинематической поверхности описываем векторным многочленом [4–7]

$$r = r(t) = p_0 + tp_1 + t^2p_2 + t^3p_3 \quad (0 \leq t \leq 1). \quad (1)$$

Векторные коэффициенты  $p_0, p_1, p_2, p_3$  определяем по известным граничным условиям

$$r(0) = r_0, \quad r(1) = r_1, \quad r'(0) = T_0, \quad r'(1) = T_1. \quad (2)$$



Значение кинематической погрешности рассчитывалось по уравнению

$$\Delta_{ij} = |a_{ij}|; a_{ij} = \frac{(Y_i - Y_{nj})(X_{nj+1} - X_{nj}) - (X_i - X_{nj})(Y_{nj+1} - Y_{nj})}{\sqrt{(Y_{nj+1} - Y_{nj})^2 + (X_{nj+1} - X_{nj})^2}}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{ij}$  – кинематическая погрешность в  $i$ -ой точке  $j$ -ой аппроксимирующей прямой.

Если направляющая поверхности детали винтовая линия, то требуется перемещение полученных аппроксимирующих прямых образующей детали по винтовой линии.

Запишем уравнения аппроксимирующих прямых в начальном положении образующей. Для этого выберем две системы координат  $X_1Y_1Z_1$  (местную) и  $XUZ$  (рис. 2, а), которые в начальный момент обработки совпадают, тогда

$$X = l \sin \lambda + X_0; \quad Y = -Y_0 - l \cos \lambda, \quad (6)$$

где  $l$  – расстояние от точки пересечения аппроксимирующих прямых до точки  $M$ .

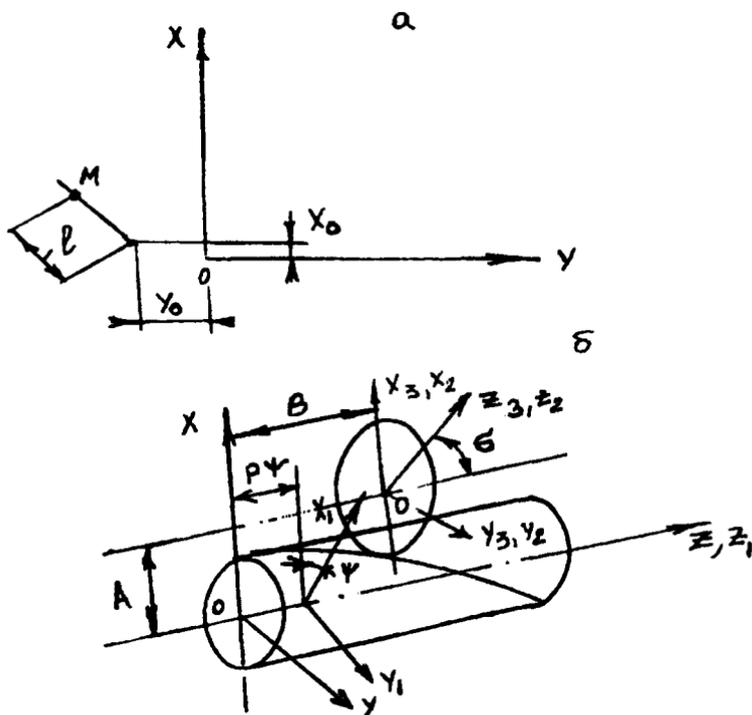


Рис. 2. Расчетная схема

Если перемещать аппроксимирующую прямую по винтовой направляющей поверхности детали, то получим часть этой поверхности. Вместе с аппроксимирующей прямой будет перемещаться подвижная система координат  $X_1Y_1Z_1$ , которая также будет совершать винтовое движение относительно системы  $XYZ$ . Формулы перехода от системы  $XYZ$  к системе  $X_1Y_1Z_1$  следующие:

$$\begin{aligned} X_1 &= X \cos \psi - Y \sin \psi, \\ Y_1 &= X \sin \psi + Y \cos \psi, \\ Z_1 &= Z + P\psi, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $P$  – параметр винтовой поверхности детали;  $\psi$  – угол поворота системы  $XYZ$  относительно  $X_1Y_1Z_1$ .

Подставив из системы (6) выражения  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  в систему (7), получим уравнения винтовой кинематической поверхности детали

$$\begin{aligned} X_1 &= X_0 \cos \psi + Y_0 \sin \psi + \sin(\psi + \lambda), \\ Y_1 &= X_0 \sin \psi - Y_0 \cos \psi - l \cos(\psi + \lambda), \\ Z_1 &= P\psi. \end{aligned} \quad (8)$$

Определим нормаль к кинематической поверхности детали

$$N = \frac{\partial \bar{F}}{\partial l} \times \frac{\partial \bar{F}}{\partial \psi}, \quad (9)$$

где  $F = F(l, \psi)$  – уравнение поверхности детали.

Для получения более удобных выражений разложим вектор на оси координат  $N_x, N_y, N_z$ .

Найдем частные производные из уравнений (8)

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_1}{\partial l} &= \cos(\lambda + \psi); \quad \frac{\partial Y_1}{\partial l} = -\cos(\lambda + \psi); \quad \frac{\partial Z_1}{\partial l} = 0, \\ \frac{\partial X_1}{\partial \psi} &= Y_0 \cos \psi - X_0 \sin \psi - l \cos(\lambda + \psi); \quad \frac{\partial Y_1}{\partial \psi} = X_0 \cos \psi + Y_0 \sin \psi + l \sin(\lambda + \psi); \quad (10) \\ \frac{\partial Z_1}{\partial \psi} &= m. \end{aligned}$$

Подставим выражения (10) в уравнение (9):

$$\begin{aligned} N_{x1} &= -P \cos(\lambda + \psi); \\ N_{y1} &= -P \sin(\lambda + \psi); \end{aligned} \quad (11)$$

$$N_{z1} = \sin(\lambda + \psi)(X_0 \cos \psi + l \sin(\psi + \lambda) + Y_0 \sin \psi) + \cos(\psi + \lambda)(l \cos(\lambda + \psi) - X_0 \sin \psi).$$

Дисковая фреза является телом вращения, поэтому нормаль в точке касания инструментальной поверхности и поверхности детали пересекает ось фрезы. Координаты точки центра фрезы в системе  $X_1 Y_1 Z_1$  (рис. 2, б)

$$X_{102} = A; \quad Y_{102} = 0; \quad Z_{102} = B. \quad (12)$$

Выберем на оси фрезы единичный вектор  $k_{02}$ . Проекция его на оси координат в системе  $X_1 Y_1 Z_1$  детали

$$k_{02x} = 0; \quad k_{02y} = -\sin \sigma; \quad k_{02z} = \cos \sigma \quad (13)$$

Запишем условие пересечения векторов  $N$  и  $k_{02}$ :

$$\begin{aligned} (X_1 - X_{102})(N_{y1} k_{02z} - N_{z1} k_{02y}) - (Y_1 - Y_{102})(N_{x1} k_{02z} - \\ - N_{z1} k_{02x}) + (Z_1 - Z_{102})(N_{x1} k_{02y} - N_{y1} k_{02x}) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Уравнение (14) описывает контактную линию в системе координат  $X_1 Y_1 Z_1$ .

Для определения исходной инструментальной поверхности запишем аппроксимированную образующую поверхности детали в системе  $X_2 Y_2 Z_2$ , связанной с фрезой. Для этого случая уравнения перехода из системы  $X_1 Y_1 Z_1$  в  $X_2 Y_2 Z_2$  можно записать в виде

$$X_2 = X_1 - A;$$

$$Y_2 = Y_1 \cos \sigma + Z_1 \sin \sigma + B \sin \sigma; \quad (15)$$

$$Z_2 = -Y_1 \sin \sigma + Z_1 \cos \sigma + B \cos \sigma,$$

где  $A$  – расстояние между осями  $Y_2$  и  $Y_1$ , в направлении  $X_1$ ;

$B$  – расстояние между осями  $X_2$  и  $X_1$  в направлении  $Z_1$ ;

$\sigma$  – угол поворота оси  $Z_2$  до совмещения с  $Z_1$  вокруг оси  $X_2$ .

Исходная поверхность дискового инструмента образовывалась круговым движением линии (15) относительно  $Z_2$ . Для записи уравнения искомой круговой поверхности введём условно неподвижную систему координат  $X_3 Y_3 Z_3$ , в которой будет по-

ворачиваться  $X_2, Y_2, Z_2$  вместе с характеристикой. Формулы перехода от системы  $X_2, Y_2, Z_2$  к  $X_3, Y_3, Z_3$  будут иметь вид

$$\begin{aligned} X_3 &= X_2 \cos \tau - Y_2 \sin \tau; \\ Y_3 &= X_2 \sin \tau + Y_2 \cos \tau; \\ Z_3 &= Z_2. \end{aligned} \quad (16)$$

Зависимости (15) подставим в (16) и получим

$$\begin{aligned} X_3 &= (X_1 - A) \cos \tau - (Y_1 \cos \sigma + Z_1 \sin \sigma + B \sin \sigma) \sin \tau; \\ Y_3 &= (X_1 - A) \sin \tau + (Y_1 \cos \sigma + Z_1 \sin \sigma + B \sin \sigma) \cos \tau; \\ Z_3 &= -Y_1 \sin \sigma + Z_1 \cos \sigma + B \cos \sigma. \end{aligned} \quad (17)$$

Подставив в (17) значения параметров  $X_1, Y_1, Z_1$ , получим уравнения

$$\begin{aligned} X_3 &= (X_0 \sin \psi + Y_0 \cos \psi + l \sin(\psi + \lambda) - A) \cos \tau - \\ &- [(X_0 \sin \psi - Y_0 \cos \psi - l \cos(\lambda + \psi)) \cos \sigma + P \psi \sin \sigma + B \sin \sigma] \sin \tau; \\ Y_3 &= (X_0 \sin \psi + Y_0 \cos \psi + l \sin(\psi + \lambda) - A) \cos \tau - \\ &- [(X_0 \sin \psi - Y_0 \cos \psi - l \cos(\lambda + \psi)) \cos \sigma + P \psi \sin \sigma + B \sin \sigma] \cos \tau; \\ Z_3 &= -(X_0 \sin \psi - Y_0 \cos \psi - l \cos(\psi + \lambda)) \sin \sigma + P \psi \cos \sigma + B \cos \sigma. \end{aligned}$$

В полученные уравнения подставляем параметры  $\tau, \psi, \lambda, r, \sigma, P$  для двух смежных зубьев. Решив совместно полученные системы уравнений, определим значение кинематической погрешности и, сравнив ее с допустимой, корректируем окончательно форму режущей кромки инструмента.

Использование предлагаемой методики рационально при криволинейной обрабатываемой поверхности детали с переменным радиусом кривизны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
2. Fischer H.L. and Elrod J.T. Surface Finish as a Function of Tool Blometry and Feed – A Theoretical Approach // Microtechnic Precision and Production Engineering. – 1975. – Vol. XXV, № 3. – P. 175–178.
3. Коновалов Е. Г. Основы новых способов металлообработки. – Мн.: Наука и

техника, 1961.– 328 с. 4. Симоновский В. Н. Некоторые исследования по теории формообразования поверхностей в машиностроении: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 /БПИ.– Мн., 1971.– 21 с. 5. Бобров В. Ф., Иерусалимский Д. Е. Резание металлов самовращающимися резами.– М.: Машиностроение, 1972.– 179 с. 6. Юнусов Ф. С. Формообразование сложнопрофильных поверхностей шлифованием.– М.: Машиностроение, 1987.– 168 с. 7. Гречишников В.А., Кирсанов Г.И. Проектирование дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей //Машиностроитель.– 1978.– № 10.– С. 16–17.

УДК 621.941.229

В.И. Молочко, А.А. Вольнец

## О ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ РЕЗАНИИ

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

Несмотря на обеспечение высокой эффективности стружкодробления вибрационное резание не получило широкого применения прежде всего из-за ухудшения качества обработки, а именно из-за увеличения шероховатости обработанной поверхности. Поэтому анализ факторов, влияющих на величину гребешков шероховатости при резании с вибрациями, имеет важное практическое значение.

Цель данной работы – выявление степени возрастания параметра шероховатости  $R_z$  при вибрационном резании по сравнению с обычным и разработка некоторых предложений по его уменьшению. Поставленные задачи будут решаться на основе теоретического анализа.

Как известно, высота  $H_{гр}$  гребешков шероховатости при точении резцом с точечной вершиной соответствует зависимости

$$H_{гр} = \Delta \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 / (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1), \quad (1)$$

а при точении резцом с переходной дуговой (радиусной) кромкой – зависимости

$$H_{гр} = \Delta^2 / 8r, \quad (2)$$

где  $\Delta$  – осевой шаг между двумя соседними траекториями движения резца;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  – главный и вспомогательный углы резца в плане;  $r$  – радиус закругления вершины резца, причем  $r$  больше подачи на оборот.

При обычном резании  $\Delta$  – величина постоянная, равная подаче на оборот  $S$ ; при вибрационном же резании  $\Delta$  – величина переменная, изменяющаяся от некоторого