

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

*Могилевский государственный технический университет
Могилев, Беларусь*

В процессе механической обработки в каждой станочной системе протекает множество процессов, к которым принадлежат: технологические, оказывающие основное воздействие на систему; колебательные, вызываемые внутренними и внешними источниками возмущений; трибологические, в значительной степени обуславливающие динамическое состояние системы; упруго деформационные; тепловые; химические и другие процессы [1]. При прогнозировании точности обработки исследуется влияние каждого из этих процессов на точность формируемого объекта. Исследователями разных стран получены определённые результаты в областях:

- экспериментальных исследований по определению влияния качества технологического оборудования на точность получаемых размеров;
- появления источников возникновения погрешностей в прецизионных станках;
- изучения влияния тепловых процессов, возникающих в станочной системе;
- рассмотрения причин возникновения автоколебаний;
- установления влияния режимов резания, свойств инструментального и обрабатываемого материала на устойчивость динамической системы станка;
- выявления и обоснования причин возмущения упругой системы станка;
- использования статистического моделирования для оценки и прогнозирования выходных характеристик станков и узлов на разных стадиях проектирования и эксплуатации;
- рассмотрения влияния малых перемещений, имеющих место в станках, а также контактных деформаций стыков, возникающих в технологической системе и др.

Большинство существующих методик основываются на эксперименте, что требует предварительной подготовки и создания технологической системы для последующего её анализа.

Предлагаемая методика заключается в определении шероховатости поверхности, образуемой в результате перемещений вершины резца под действием постоянно изменяющихся сил резания. Целью исследований является создание программного обеспечения для определения шероховатости поверхности как при наружном, так и при внутреннем точении на основе математической модели обработки. Статья основана на результатах работы [2] и является её дополнением.

Для нахождения перемещений вершины резца использовалось уравнение Лагранжа второго рода [3]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

где T , Π , Φ – соответственно кинетическая и потенциальная энергия, а также диссипативная функция Рейля; q_i – обобщенная координата; Q_i – обобщенная сила

Математическая модель, получаемая на основе данного уравнения, представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений.

1. Для схемы наружного точения представленной на рис. 1, система дифференциальных уравнений имеет вид:

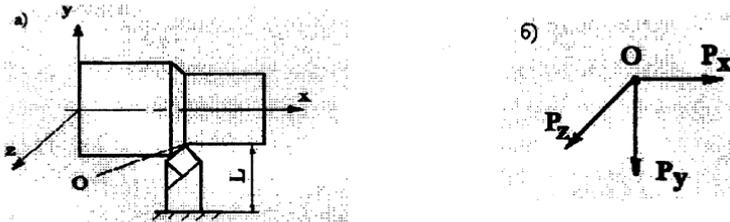


Рис. 1. Динамическая модель процесса точения: а – схема точения; L – длина вылета резцедержателя; б – схема действующих сил

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Y} &= (-C_Y Y - \mu_Y \dot{Y} + P_Y) / m_Y; \\ \ddot{X} &= (-C_X X - \mu_X \dot{X} + P_X) / m_X; \\ \ddot{Z} &= (-C_Z Z - \mu_Z \dot{Z} - P_Z) / m_Z, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{где} \quad \left. \begin{aligned} m_X, m_Z &= 33/140 \rho \cdot B \cdot H \cdot L; \\ m_Y &= 1/3 \rho \cdot B \cdot H \cdot L. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_Y &= 2\psi \sqrt{m_Y / C_Y}; \\ \mu_Z &= 2\psi \sqrt{m_Z / C_Z}; \\ \mu_X &= 2\psi \sqrt{m_X / C_X}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

здесь X , Y , Z – обобщенные координаты, соответствующие вызываемые силами P_X , P_Y и P_Z ; $C_X = 3EJ_X / L^3$; $C_Z = 3EJ_Z / L^3$; $C_Y = E \cdot B \cdot H / L$; E – модуль упругости материала державки; B , H – соответственно ширина и высота сечения державки резца; J – момент инерции сечения, $J_X = BH^3 / 12$; $J_Y = HB^3 / 12$; ρ – плотность материала державки; ψ – коэффициент апериодичности, $\psi = 0,05$.

2. Для схемы растачивания, представленной на рис. 2, в качестве обобщенных координат приняты координаты Z , Y , Y_M , вызываемые соответственно силами и P_Z , P_Y , P_X .

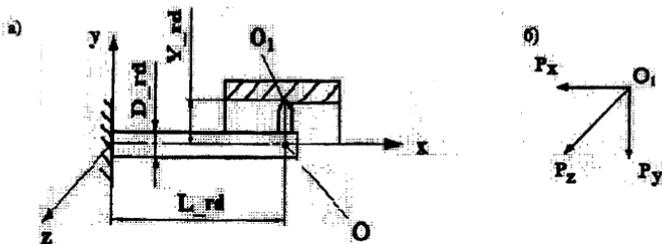


Рис.2. Динамическая модель процесса растачивания: а – схема растачивания: L_{rd} – длина резцедержателя, D_{rd} – диаметр резцедержателя, Y_{rd} – расстояние от оси резцедержателя до режущей кромки; б – схема действующих сил

Система дифференциальных уравнений для внутреннего точения имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{Y} &= (P_{Y_M} m_{Y_M} + P_{Y_M'} m_{Y_M'}) / m_{\Delta}; \\ \ddot{Y}_M &= (P_{Y_M} m_{Y_M} + P_{Y_M'} m_{Y'}) / m_{\Delta}; \\ \ddot{Z} &= (-C_Z Z - \mu_Z \dot{Z} + P_Z) / m_z, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta} &= m_Y m_{Y_M} - m_{Y_M}^2; \\ P_{Y_M} &= -C_Y Y - \mu_Y \dot{Y} - P_Y; \\ P_{Y_M'} &= -C_{Y_M} Y_M - \mu_{Y_M} \dot{Y}_M - P_Y'; \\ \mu_Y &= 2\psi \sqrt{m_Y / C_Y}; \\ \mu_Z &= 2\psi \sqrt{m_Z / C_Z}; \\ \mu_{Y_M} &= 2\psi \sqrt{m_{Y_M} / C_{Y_M}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} m_z, m_Y &= \frac{33 \pi D_{rd}^2}{140} \frac{rd}{4} L_{rd}; \\ m_{Y_M} &= \frac{1}{5} \rho \frac{\pi D_{rd}^2}{4} rd L_{rd}; \\ m_{Y_M'} &= \frac{13}{60} \rho \frac{\pi D_{rd}^2}{4} rd L_{rd}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

здесь $C_Y C_Z = 3EJ / L_{rd}^3$; $C_{Y_M} = 2EJ / (L_{rd} Y_{rd})$; $J = \pi D_{rd}^4 / 32$.

Силы резания P_X , P_Y , P_Z определяются по известным формулам теории резания. В результате решения системы дифференциальных уравнений определяются перемещения, благодаря которым формируется массив точек, образующий обработанную поверхность.

Так как R_a – это среднее арифметическое отклонение от средней линии профиля в пределах базовой длины $l_{b_{Rz}}$, то профиль поверхности после точения можно определить по дискретным точкам. Примем, что k_0 – это количество интервалов дискретизации с шагом h_{Ra} в пределах базовой длины $l_{b_{Rz}}$. Сначала определим координаты

нты точек профиля реза в локальной системе координат в соответствии с рис. 3.

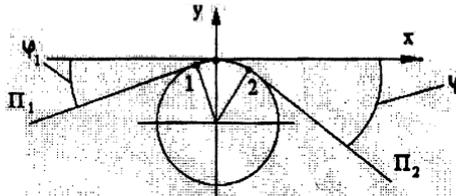


Рис.3. Схема расположения точек профиля реза

Координаты точек 1 и 2 определяются:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= -r \cdot \sin(\varphi_1); & y_1 &= -r(1 - \cos(\varphi_1)); \\ x_2 &= r \cdot \sin(\varphi); & y_2 &= -r(1 - \cos(\varphi)), \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где r – радиус при вершине; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный угол в плане.

Уравнения прямых Π_1 и Π_2 соответственно:

$$y = b_1 + k_1 x; \quad y = b_2 + k_2 x, \quad (10)$$

где

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= -\operatorname{tg}(\varphi_1); & b_1 &= y_1 - k_1 x_1; \\ k_2 &= \operatorname{tg}(\varphi); & b_2 &= y_2 - k_2 x_2. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Число точек профиля n_1 , находящихся в интервале от 0 до x_1 , и число точек профиля n_2 , находящихся в интервале от 0 до x_2 :

$$n_1 = x_1 / h_{Ra}; \quad n_2 = x_2 / h_{Ra}. \quad (12)$$

Тогда, в принятой на рис.3 системе координат координаты профиля реза $x_i, Pr_r(i) = y_i$:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= i \cdot h_{Ra}; \\ Pr_r(i) &= \left\{ \begin{aligned} b_1 + k_1 x_i; & \text{при } i \leq n_1; \\ -r + \sqrt{r^2 - x_i^2}; & \text{при } n_1 < i < n_2; \\ b_2 + k_2 x_i; & \text{при } i \geq n_2; \end{aligned} \right. \\ i &= -kt1 \dots kt0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Количество точек $kt1$ целесообразно взять примерно в полтора раза больше, чем $kt0$.

Формирование профиля поверхности после растачивания проводится в два этапа. На первом этапе массив точек поверхности $Pr(i)$, заполняется в соответствии с выражением:

$$\left. \begin{aligned} \Pr(i) &= \Pr_r(i) + \Delta_j; \\ i &= 0..k \neq 0, \quad j = 0, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где Δ_j — положение режущей кромки резца в начале измерения шероховатости (оно определяется в процессе интегрирования системы дифференциальных уравнений (2),(5)).

На втором этапе производится корректировка массива точек профиля поверхности в соответствии с выражением:

$$\left. \begin{aligned} k &= j \cdot S / h_{Ra}; \\ \Pr(i) &= \begin{cases} \Pr_r(i-k) + \Delta_j; & \text{при } \Pr_r(i-k) + \Delta_j > \Pr(i); \\ \Pr(i); & \text{при } \Pr_r(i-k) + \Delta_j \leq \Pr(i); \end{cases} \\ i &= 0..k \neq 0, \quad j = 1..m, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где Δ_j - положение режущей кромки резца при j обороте заготовки; S - величина подачи; m - количество положений резца в пределах базовой длины в направлении измерения шероховатости при повороте заготовки на целое число оборотов

После формирования профиля поверхности легко определить среднее значение линии профиля Ra_m и значение шероховатости Ra :

$$\left. \begin{aligned} Ra_m &= \frac{1}{k \neq 0} \sum_{i=1}^{k \neq 0} \Pr(i); \\ Ra &= \frac{1}{k \neq 0} \sum_{i=0}^{k \neq 0} \Pr(i) - Ra_m. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Целесообразно определить шероховатость по шестнадцати направлениям на окружности детали, а затем усреднить полученные значения.

В качестве среды программирования была выбрана Delphi, которая является средством быстрой разработки приложений под Windows, что позволило разработать интерфейс программы.

Программное обеспечение позволяет осуществлять ввод исходных данных, запись исходных данных на диск, считывание их с диска и определить шероховатость поверхности при растачивании.

Такой подход к прогнозированию позволяет не только моделировать процесс обработки, но и усложнять его путём рассмотрения новых факторов, влияющих на точность получаемых размеров детали и её шероховатость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков // Станки и инструмент. – 2000. - №9. – С.14-19.
2. Жолобов А.А. К вопросу прогнозирования качества поверхности при растачивании отверстий // Машиностроение. – Мн., 2001. - Вып.17. – С.429-434.
3. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. – Мн.: ДизайнПро, 1997. – 640 с.