

ТОЧЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНОЙ РЕЗАНИЯ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Решение задачи оптимизации параметров режима резания при токарной обработке материалов неразрывно связано с необходимостью получения математических моделей периода стойкости и износа режущего инструмента. Большинство из известных теоретических и эмпирических моделей получены для стационарных процессов резания, характеризующихся постоянством средних значений (математических ожиданий) и полей рассеяния (дисперсий) внешних воздействий (глубины резания, подачи, скорости резания и т.д.) за период стойкости инструмента. Однако при точении деталей сложной формы (конической, сферической, эллиптической, фасонной и т.д.) для обеспечения постоянства глубины резания требуется предварительная механическая обработка детали или получение заготовки методом профильной штамповки, прокатки, литья и т.п. Но во многих случаях, особенно при обработке на станках с ЧПУ, точение сложных поверхностей целесообразно осуществлять с переменной глубиной резания, определяемой простой конфигурацией заготовки, чаще всего цилиндрической формы, и контуром готовой детали. В этом случае процесс точения является частным случаем нестационарного резания, отличающегося тем, что глубина резания изменяется непрерывно в течение рабочего хода инструмента.

В работе [1] получены исходные зависимости для определения периода стойкости T и величины износа резца h при точении с переменным режимом резания в виде

$$T = \frac{\tau_k - \tau_n}{\frac{1}{C_T} \int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{t^x s^y v^\mu}}; \quad (1)$$

$$h = C_h \int_{\tau_n}^{\tau_k} t^q s^u v^m d\tau, \quad (2)$$

где t, s, v — соответственно глубина резания, подача вдоль образующей линии обрабатываемой поверхности и скорость резания;

$C_T, C_h, x, y, \mu, q, u, m$ – эмпирические параметры в степенных зависимостях для определения периода стойкости и скорости изнашивания резца при стационарном резании, т.е. $T = C_T t^x s^y v^\mu$ и $V_h = C_h t^q s^u v^m$;

τ_k и τ_n – соответственно время конца и начала обработки элементарной поверхности.

При $s = \text{const}$ и $v = \text{const}$ из (1) и (2) следует:

$$T = C_T s^y v^\mu \frac{\tau_k - \tau_n}{\int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{t^x}}; \quad (3)$$

$$h = C_h s^u v^m \int_{\tau_n}^{\tau_k} t^q d\tau. \quad (4)$$

При точении конической поверхности (рис. 1) глубина резания определяется соотношением

$$t = \frac{\cos \alpha}{2} (D - d),$$

где D – диаметр заготовки;

d – диаметр обрабатываемой поверхности в момент времени τ ;

α – половина угла конуса.

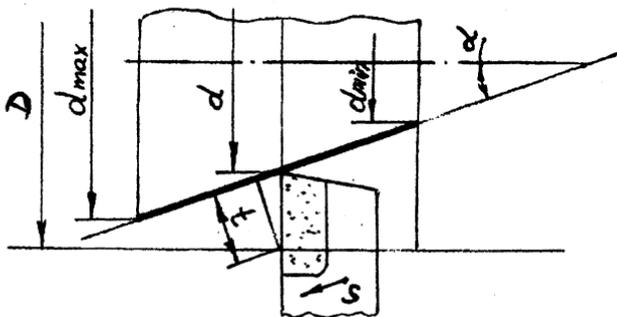


Рис. 1. Точение конической поверхности с переменной глубиной резания.

Зависимость между d и τ выражается уравнением

$$d = 2n\tau \sin \alpha,$$

где n – частота вращения конической детали, мин^{-1} ;
 s – подача на оборот обрабатываемой детали, мм/об .
 Тогда

$$\tau = \frac{d}{2ns \sin \alpha}; \tau_n = \frac{d_{\min}}{2ns \sin \alpha}; \tau_k = \frac{d_{\max}}{2ns \sin \alpha}, \quad (5)$$

где d_{\min} и d_{\max} – соответственно минимальный и максимальный диаметры обрабатываемой детали.

Из уравнений (3) – (5) с учетом соотношения $n = 1000v/\pi D$ после интегрирования получаем математические модели периода стойкости и износа инструмента при точении конической поверхности с переменной глубиной резания:

$$T = C_T s^y v^\mu \frac{\cos^x \alpha (1-x)(d_{\max} - d_{\min})}{2^x [(D - d_{\max})^{1-x} (D - d_{\min})^{1-x}]}; \quad (6)$$

$$h = C_h s^{u-1} v^{m-1} \frac{\pi D \cos^{q+1} \alpha}{10^3 \times 2^q (q+1) \sin 2\alpha} [(D - d_{\max})^{q+1} - (D - d_{\min})^{q+1}] \quad (7)$$

Если обозначить

$$t_{\text{экв}} = \left\{ \frac{\cos^x \alpha (1-x)(d_{\max} - d_{\min})}{2^x [(D - d_{\max})^{1-x} - (D - d_{\min})^{1-x}]} \right\}^{x^{-1}},$$

где $t_{\text{экв}}$ – эквивалентная глубина резания,
 то получим формулу для определения периода стойкости резца при точении конической поверхности с переменной глубиной резания, аналогичную зависимости Ф. Тейлора:

$$T_{\text{экв}} = C_T t_{\text{экв}}^x s^y v^\mu.$$

Аналогичным образом получены математические модели при точении сферической поверхности с переменной глубиной резания

$$T = C_T s^y v^\mu \frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{2^x \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \frac{d\alpha}{\{[D - 2(R \sin \alpha + e)] \sin \alpha\}^x}}; \quad (8)$$

$$h = C_h s^u v^{m-1} \frac{\pi DR}{10^3 \times 2^q} \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \{ [D - 2(R \sin \alpha + e)] \sin \alpha \}^q d\alpha, \quad (9)$$

где R – радиус дуги сферовидной поверхности;

e – расстояние между осью вращения сферовидной поверхности и осью образующей сферической поверхности;

α – угол между осью вращения сферовидной поверхности и линией, проходящей через центр образующей сферической поверхности и вершину резца (рис. 2).

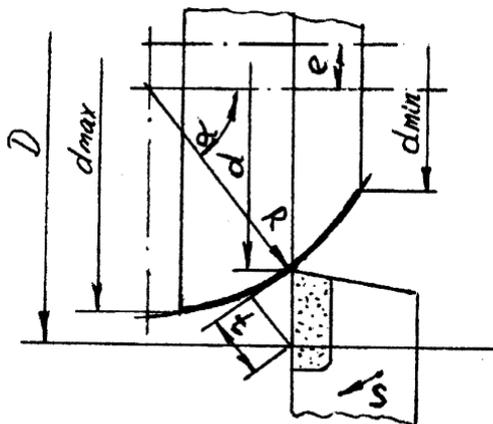


Рис. 2. Точение сферовидной поверхности с переменной глубиной резания.

Значения α_{\min} и α_{\max} определяются по формулам

$$\alpha_{\min} = \arcsin \frac{d_{\min} - 2e}{2R}; \quad \alpha_{\max} = \arcsin \frac{d_{\max} - 2e}{2R}.$$

Если $e=0$, то из формул (8) и (9) получим математические модели для точения сферической поверхности. Численные значения T и h определяются методами приближенного интегрирования или с помощью ЭВМ.

Аналогичные зависимости получены при точении параболических, гиперболических и др. элементарных поверхностей, а также деталей сложной формы, представляющих собой совокупность элементарных поверхностей, включая многопроходную обработку в условиях нестационарного режима резания.

В общем случае при точении из исходной цилиндрической заготовки элементарной поверхности, образующая которой описана уравнением $Y=f(X)$, математические модели периода стойкости и износа инструмента имеют вид:

$$T = C_T s^y v^m \frac{\int_{x_n}^{x_k} \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dX}{2^x \int_{x_n}^{x_k} \frac{\sqrt{1 + [f'(X)]^2} dX}{\{[D - 2f(X)] \cos[\arctg f'(X)]\}^x}}$$

$$h = C_h s^u v^m \frac{1}{2^q n s} \int_{x_n}^{x_k} \sqrt{1 + [f'(X)]^2} \{[D - 2f(X)] \cos[\arctg f'(X)]\}^q dX,$$

где x_n и x_k – координаты вершины резца, соответствующие началу и концу обработки элементарной поверхности.

Значения x_n и x_k определяются соотношениями

$$x_n = F\left(\frac{d_{\max}}{2} - e\right); \quad x_k = F\left(\frac{d_{\min}}{2} - e\right),$$

где F – обратная функция от $Y=f(X)$.

Экспериментальная проверка полученных зависимостей производилась при точении конуса из цилиндрического прутка длиной 100 мм (материал прутка – сталь 45, НВ = 215; материал резца – Т15К6, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 7^\circ$, $\lambda = 0^\circ$), $n = 500 \text{ мин}^{-1}$; $s = 0,2 \text{ мм/об}$; $D = 90 \text{ мм}$; $d_{\min} = 84 \text{ мм}$; $d_{\max} = 89 \text{ мм}$. Расчетные значения T и h , определенные по моделям (6) и (7), составили соответственно 168 мин и 0,09 мм. Экспериментальные значения математического ожидания T и h составили 156,2 мин. и 0,097 мм. В результате погрешность расчета не превышает 10,3 %, что свидетельствует о высокой точности полученных моделей.

Полученные зависимости позволяют оптимизировать методами математического моделирования параметры режима резания при обработке деталей сложной формы на токарных многоцелевых станках. Математическая оптимизационная модель обеспечивает получение максимальной производительности и минимальных затрат на обработку, а также оптимального варианта съема припуска. Оптимальные параметры режима резания и производительность обработки определяются свойствами обрабатываемого материала и инструмента, а также возможностями станка через уравнения связи $P=f_1(t, s, v)$ и $T=f_2(t, s, v)$, где P – мощность привода главного движения. Математические модели для T и h позволяют рассчитать ресурс режущего инструмента при обработке деталей с переменным режимом резания. Тем самым создаются возможности для оптимизации управления инструментом в инструментальных системах автоматизированного производства.

ЛИТЕРАТУРА

Ящерицын П. И., Туромша В. И., Чан Ким Тоан. Период стойкости и износ резцов при нестационарном резании на токарных станках с ЧПУ. // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1993. №4. С. 40–48.