УДК 531.3:621.9

Моделирование динамики и автоколебаний процесса резания при токарной обработке

Астахов Э.И., Тетерина О.С.
Белорусский национальный технический университет

Как известно из литературы при токарной обработке вследствие конечной жесткости системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) и нелинейного характера силы сопротивления резанию, в этой системе возникают автоколебания, которые во многом определяют качество обрабатываемой поверхности. Известные методы анализа устойчивости автоколебаний в процессе токарной обработки довольно сложны, поэтому задачей данной работы является разработка более простой методики анализа устойчивости таких автоколебаний.

Динамическая модель процесса автоколебаний резца в системе СПИД по вертикальной оси Z представлена одномассовой с приведенной массой $m_п$, с приведенными коэффициентами сопротивления $b_п$ и жесткости $c_п$ под действием возмущающей силы $F_z(v)$, зависящей от скорости резания $v = dz/dt = \dot{z}$. Динамика автоколебаний такой динамической модели описывается дифференциальном уравнением второго порядка с правой частью

$$m_n\ddot{z} + b_n\dot{z} + c_z z = F_z(v) \quad (1).$$

По известной из литературы экспериментально-эмпирической зависимости для заданных параметров системы СПИД численно рассчитываются зависимости силы резания $F_z(v)$ для конкретного диапазона скоростей $\Delta v = v_{\max} - v_{\min}$, крутизна $H = dF/dv \approx \Delta F/\Delta v$ на рабочем участке Δv скоростей резания. После математических преобразований дифференциальное уравнение (1) получает вид

$$\ddot{z} + 2n_H\dot{z} + k^2 z = 0, \quad (2)$$

решение которого $z(t)$ описывает гармонические колебания

$$z(t) = A_0 e^{-n_н t}\cdot\sin(kt + \alpha), \quad (3),$$

где A_0 – условная начальная амплитуда; $n_н$ – приведенный коэффициент демпфирования с учетом крутизны, $n_н = b_п/m_п - H$; k – круговая частота

$$k = \sqrt{(c_п/m_п)^2 - n_н^2} \quad (4).$$

По величине коэффициента $n_н$ делается анализ характера и устойчивости автоколебаний при резании. Если $n_н > 0$, то автоколебания устойчивые (в одном цикле при $t < 2\pi/k$ затухающие), а при $n_н < 0$, автоколебания неустойчивы с возрастающей амплитудой $A_z = A_0 \cdot e^{n_н t}$.