

УДК 681.516

Л.А. Княшко, ассистент

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: auto@sevgtu14.sebastopol.ua

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ ТОКАРНОГО СТАНКА С СИСТЕМОЙ ЧПУ ПРИ ОБРАБОТКЕ СРЕДНЕГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Предлагается методика построения регулятора, стабилизирующего размерную настройку токарного станка с ЧПУ по величине температурного расширения обрабатываемой детали.

1. Постановка задачи

Известны системы стабилизации размерной настройки процесса токарной обработки, в которых регулирование выходной координаты осуществляется устройствами, измеряющими силу резания, потребляемую мощность, износ инструмента, температуру резания и другие переменные процесса [1].

Такие системы разрабатывались для конкретных условий и форм обработки. Однако в ряде случаев, например при многопроходной обработке среднегабаритных деталей на токарных станках с ЧПУ с высотой центров до 200 мм погрешность выходной координаты процесса $x \pm \delta_x$ (рисунок 1) определяется величиной теплового расширения детали u_r . При обработке коротких деталей $l/D \approx 1$ мм их жесткость превосходит жесткость технологической системы станка, поэтому их деформациями можно пренебречь, а тепловое расширение детали становится соизмеряемым с величиной поля допуска. При этом тепловое расширение инструмента (например, резца с вылетом до 20 мм) составляет 0,03 % поля допуска и им также можно пренебречь. При сложной многопроходной обработке таких деталей второй проход осуществляется чистовым резцом и поэтому износ чернового инструмента не влияет на формирование окончательного размера. Таким образом, ставится задача стабилизировать величину $x \pm \delta_x$ в пределах поля допуска при изменении во времени размеров детали вследствие её теплового расширения.

Основной целью работы является повышение точностных показателей исследуемого технологического процесса.

2. Инженерный синтез регулятора

В качестве чувствительного элемента регулятора предлагается использовать термопару, встраиваемую в резец, которая идентифицирует среднеинтегральную температуру в зоне резания $T_{рез}$. Регулируемая величина $x \pm \delta_x$ в процессе регулирования определяется косвенно через $T_{рез}$. В соответствии с работой [2] тепло, идущее в деталь представим через $T_{рез}$ следующим образом

$$q_0 = \frac{3\lambda_0 T_{рез} a k_0}{V_{рез}^n}, \quad (1)$$

где k_0 – коэффициент, характеризующий пластические свойства материала детали; a – коэффициент температуропроводности; λ_0 – коэффициент теплопроводности материала детали; $V_{рез}$ – скорость резания ($V_{рез} \approx 100 \dots 120$ м/мин); $n \approx 0,1 \dots 0,2$.

Используя (1) в качестве граничного условия на поверхности детали, в [2] была построена математическая модель процесса теплового расширения детали следующего вида

$$u_r(r, z, t) = -\frac{1+\nu}{1-\nu} \cdot \alpha_T \cdot r^2 \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \cdot \sum_{k=0}^K \frac{a_k}{p_k^2 + \lambda_k^2} J_0(r) \cos p_k z \cdot \exp(-k_0 t),$$

где ν – коэффициент Пуассона; α_T – коэффициент линейного расширения; $T(r, z, t)$ – нестационарное температурное поле детали; r, z – цилиндрические координаты; t – время; a_k – коэффициенты ряда Фурье по z ; $p_k = \pi k r / z$; λ_k – корни уравнения $J_1(r) = 0$.

Представляя $T_{рез}$ в функции скорости подачи инструмента

$$T_{рез} = C_T s_u^x,$$

где s_u – скорость подачи инструмента, мм/мин, C_T, x – эмпирические коэффициенты, получаем искомую зависимость между выходной переменной u_r и входным воздействием s_u :

$$u_r = f(s_u).$$

Рассмотренный здесь метод непосредственного интегрирования исходных дифференциальных уравнений при единичных граничных условиях позволил получить модель распределённого объекта управления в виде

$$u_r(r, z, t) = F(r, z) \cdot \exp(-k_0 t^*), \quad (2)$$

где $t^* = t - t_3$, t_3 – время запаздывания.

Преобразование Карсона–Хевисайда выражения (2) для единичного воздействия даёт передаточную функцию для процесса резания

$$W_1(r, z, p) = F(r, z) \cdot \frac{k_0 \cdot p}{1 + T_{np} \cdot p} \cdot \exp(-t_3 p), \quad (3)$$

где $T_{np} = 1/a \cdot k_0$, $p = d/dt$ – оператор дифференцирования.

Функциональная схема системы регулирования с регулятором, осуществляющим стабилизацию u_r при изменении s_u , изображена на рисунке 2. Схема содержит следующие блоки. Блок W_4 , осуществляющий преобразование $T_{рез}$ в u_r . В него входит датчик температуры $T_{рез}$, передаточная функция которого представлена в виде

$$W_4'(p) = \frac{k_4' \cdot p}{1 + T_4 \cdot p},$$

где k_4' , T_4 – коэффициент передачи датчика и его постоянная времени.

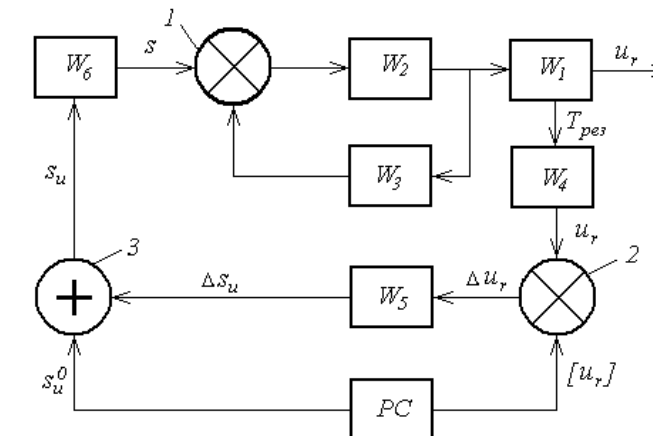


Рисунок 2 – Функциональная схема системы регулирования

Вычислительное устройство блока W_4 представляет собой безынерционное звено с коэффициентом передачи k_4'' , таким образом, передаточная функция блока W_4 имеет вид

$$W_4(p) = \frac{k_4 \cdot p}{1 + T_4 \cdot p}, \quad (4)$$

где $k_4 = k_4' \cdot k_4''$.

Вычисленное значение u_r поступает в блок сравнения 2, в котором сравнивается текущее значение u_r и допускаемое $[u_r]$, поступающее из памяти РС. Рассогласование Δu_r поступает в вычислительный блок W_5 , где вырабатывается сигнал Δs_u , пропорциональный Δu_r . В сумматоре 3 сигнал Δs_u суммируется с заданной величиной s_u^0 , поступающей из РС. Ввиду того, что длительность переходного процесса в вычислительных блоках на 2...3 порядка меньше, чем в термопаре и блоке W_1 , передаточная функция блока W_5 равна коэффициенту передачи k_5 . Далее скорректированная величина $s_u = s_u^0 \pm \Delta s_u$ из сумматора поступают в блок W_6 с передаточной функцией k_6 , который вырабатывает управление s привода ЧПУ. Привод ЧПУ имеет внутреннюю обратную связь $W_2 - W_3$ и сравнивающее устройство 1. Передаточная функция W_2 устройства ЧПУ была принята в виде k_2 , а передаточная функция привода ЧПУ – в виде колебательного звена

$$W_3(p) = \frac{k_3}{1 + T_1 \cdot p + T_2^2 \cdot p^2}. \quad (5)$$

Передаточная функция разомкнутой системы с регулятором получена в виде

$$W_\Sigma(r, z, p) = W_5(p)W_4(p)W_1(p) \frac{W_2(p)W_3(p)W_6(p)}{1 + W_2(p)W_3(p)} \cdot e^{-t_3 p}. \quad (6)$$

Подстановка (3), (4), (5) в (6) даёт

$$W_\Sigma(r, z, p) = \frac{k \cdot F(r, z) \cdot p^2 \cdot \exp(-t_3 p)}{(1 + T_7 p + T_8 p^2) \cdot (a_1 + T_1 p + T_2^2 p^2)}, \quad (7)$$

где $k = k_0 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6$, $T_7 = T_{np} + T_4$, $T_8 = T_{np} \cdot T_4$, $a_1 = 1 + k_2 k_3$.

3. Исследование устойчивости системы

Исследование устойчивости распределенной функции (7) осуществлялось частотным методом Найквиста. Для этого было принято $p = i\omega$, функция $F(r, z)$ вычислялась дискретно с шагом 0,01 мм, а передаточная функция разомкнутой системы была представляется в виде

$$W(i\omega) = a + ib. \quad (8)$$

Вычисление (8) при $\omega = 0 \dots 30 \text{ с}^{-1}$ позволило построить амплитудно-фазовую частотную характеристику разомкнутой системы, показанную на рисунке 3. Для замкнутой системы амплитудно-фазовая частотная характеристика показана на рисунке 4.

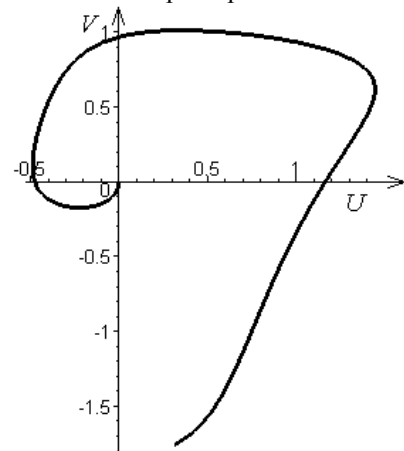


Рисунок 3 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы

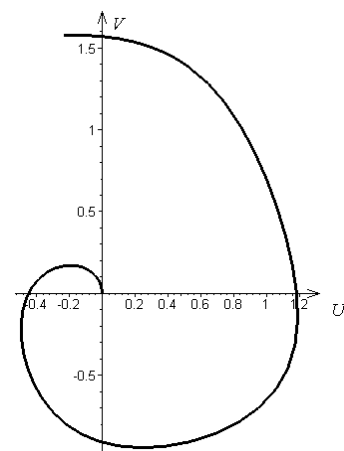


Рисунок 4 – Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутой системы

Как следует из рисунков 3, 4, система устойчива, так как кривая амплитудно-фазовой частотной характеристики не охватывает точку $(-1, i0)$.

4. Заключение

Рассмотренный регулятор позволяет стабилизировать размерную настройку токарного станка с ЧПУ, при этом использованные при синтезе регулятора средства обеспечивают устойчивость процесса управления. Совершенствование системы управления связано с повышением быстродействия измерительных средств и увеличением числа измеряемых переменных, что и составляет задачу дальнейших исследований

Библиографический список

1. Соломенцев Ю.М. Адаптивное управление технологическими процессами/ Ю.М. Соломенцев, В.А. Митрофанов, А.А. Гусев. — М.: Машиностроение, 1980. — 536 с.
2. Кияшко Л.А. Деформации цилиндра конечной длины, вызванные бегущей по его поверхности высокотемпературной тепловой волной /Л.А. Кияшко, В.Н. Торлин // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2005. — С. 36–39.

Поступила в редакцию 29.01.2007 г.