

УДК 681.5

Л.А. Княшко, ассистент,

В.Н. Торлин, профессор, д-р техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: auto@sevgtu14.sebastopol.ua

РАСЧЕТ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ДЕТАЛИ

Приводится методика построения дополнительного контура коррекции настроечного размера обрабатываемой детали по величине ее теплового расширения.

Процессы обработки деталей на станках с ЧПУ традиционно корректируются по величине износа инструмента либо деформациям элементов технологической системы, возникающим под действием сил резания [1]. Учет температурных деформаций детали необходим при длительной многопроходной обработке ее поверхностей, когда суммарное количество тепла, поступившее в деталь, вызывает ее нагрев и тепловое расширение [2]. Основной целью работы является разработка математической модели объекта управления, в качестве которого принят процесс обработки детали, нагреваемой и расширяющейся во времени. Учитывая, что величина тепловой деформации детали в процессе обработки случайным образом зависит от условий нагрева и охлаждения, с целью повышения качественных показателей технологического процесса в расчетную траекторию инструмента в процессе обработки вносятся корректирующие поправки. Для расчета величины корректирующего воздействия процесс обработки детали был рассмотрен как объект управления с распределенными параметрами, описываемый оператором термоупругости [3]

$$\mu \nabla^2 \bar{u} + (\lambda + \mu) \text{grad div} \bar{u} - (3\lambda + 2\mu) \alpha_T \text{grad}(T(r, z, t) - T_0) = 0, \quad (1)$$

где $\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$, $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$ – параметры Ляме; E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; α_T – коэффициент линейного расширения; $\bar{u}$ – вектор перемещений; $T(r, z, t)$ – нестационарное температурное поле детали; r, z – цилиндрические координаты; t – время; T_0 – температура окружающей среды.

В качестве регулируемой величины в каждом фрагменте программы выбирается определяющая величина r_p – размер, который необходимо получить при завершении процесса регулирования. На входе процесса задается расчетная траектория, определяемая управляющей программой (УП), по которой должен двигаться инструмент для получения заданного размера. Однако в процессе обработки деталь нагревается, и размеры ее поверхностей случайным образом меняются, т.е. возникают возмущающие воздействия. Определить текущее значение величины r_p непосредственно в процессе обработки не представляется возможным, поэтому ход процесса контролируется косвенным образом. В качестве измеряемой величины была принята температура резания – среднеинтегральная температура в зоне контакта инструмента (резца для токарной обработки) с деталью, которая измерялась дистанционно с помощью радиационного пирометра. Количество тепла, идущее в деталь, определялось по формуле

$$q_0 = \frac{3\lambda_\delta T_{рез} a k_\delta}{V_{рез}^n}, \quad (2)$$

где λ_δ – коэффициент теплопроводности материала детали; $T_{рез}$ – температура резания ($T_{рез}$ для металлов составляет 900...1200 К); a – коэффициент температуропроводности; k_δ – коэффициент, характеризующий пластические свойства материала детали (для стали $k_\delta=0,4$); $V_{рез}$ – скорость резания ($V_{рез} \approx 100...120$ м/мин); $n \approx 0,1...0,2$ – эмпирический коэффициент.

Величина температурной деформации детали была определена интегрированием (1) при граничном условии (2) и нулевых начальных условиях. Окончательное решение задачи термоупругости имеет вид

$$\Delta r(r, z, t) = \frac{1+\nu}{1-\nu} \alpha_T \frac{r_1 r_2}{r_2^2 - r_1^2} \sum_{n=0}^n \left((a_n J_1(r) + b_n Y_1(r)) \int_{-l/2}^{l/2} \cos k_n z dz \int_0^t (T - T_0) dt \right), \quad (3)$$

где r_1, r_2 – наружный и внутренний размеры обрабатываемой цилиндрической детали; $J_1(r)$, $Y_1(r)$ – функции Бесселя; l – длина детали; t – время; a_n, b_n – постоянные интегрирования, определяемые по формулам:

$$a_n = \left[\sum_{n=0}^N J_0(\lambda_n) \frac{4k_n^2 \lambda_n^2 s h \lambda_n}{(k_n^2 + \lambda_n^2)^2} \right] / [k_n^2 - k_n - 2(1-\nu) J_1(k_n)];$$

$$b_n = \left[\sum_{n=0}^N Y_0(\lambda_n) \frac{4k_n^2 \lambda_n^2 c h \lambda_n}{(k_n^2 + \lambda_n^2)^2} \right] / [k_n^2 - k_n - 2(1-\nu) Y_1(k_n)].$$

Величина $\Delta r(r, z, t)$ как функция z имеет различное значение по длине обработки. Для расчета корректирующего воздействия необходимо определить Δr_{max} и сложить его с номинальным размером x_i , заданным программой (рисунок 1).

Алгоритм расчета заключается в следующем. Вначале заготовка имеет размер x_3 . Размер, который необходимо получить после обработки (после остывания детали) задан чертежом и равен x_i . В процессе обработки деталь нагревается и принимает размер $x_i + \Delta r_{max}$, поэтому, если проход осуществить по координате x_i , то после остывания деталь будет иметь размер $x_i - \Delta r_{max}$, т.е. попадет в брак. В связи с этим настроечный размер выбирается из условия $x_i + \Delta r_{max}$.

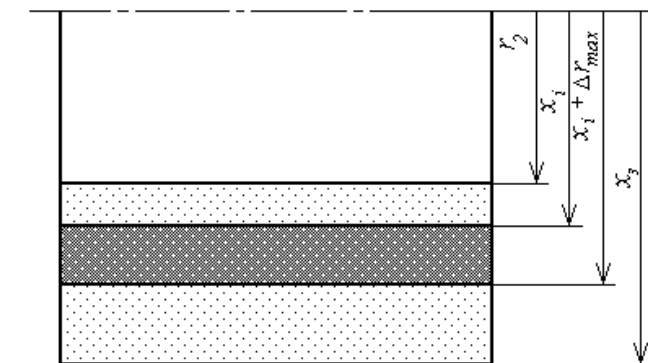


Рисунок 1 – Схема расчет корректирующего воздействия

Функциональная схема дополнительного контура коррекции размера показана на рисунке 2.

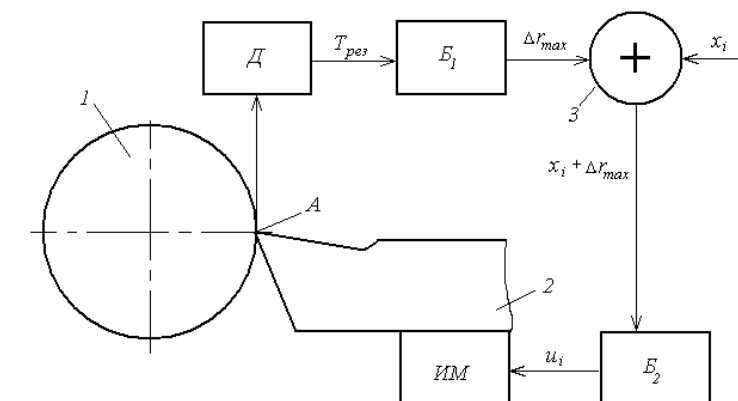


Рисунок 2 – Функциональная схема дополнительного контура коррекции размера

Схема работает следующим образом. В процессе обработки детали 1 резцом 2 температура резания в зоне обработки (точка А) контролируется датчиком Д. Цифровой сигнал $T_{рез}$ от датчика Д поступает в блок Б1 управляющего компьютера, в котором осуществляется вычисление $\Delta r(r, z, t)$ по формуле (3) при изменении z от z_1 до z_2 ($z_2 - z_1 = l$ – длина прохода), при этом из массива Δr выбирается Δr_{max} . Затем в сумматоре 3 эта величина складывается с номинальным размером x_i , в результате получается настроечный размер x_n

$$x_n = x_i + \Delta r_{max},$$

который в блоке Б₂ преобразуется в код u_i , поступающий в двигатель исполнительного механизма ИМ.

Таким образом, введение дополнительного контура коррекции настройки технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ позволяет повысить его точность.

Дальнейшее развитие задачи может осуществляться в направлении расчета Δr_i для криволинейного контура, когда обрабатываемая поверхность интерполируется приращениями Δx_i и Δz_i . Это и составляет предмет дальнейших исследований в этом направлении.

Полученные результаты представляют интерес для специалистов в области управления технологическими процессами изготовления прецизионных деталей в машиностроительном производстве.

Библиографический список

1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. — М.: Машиностроение, 1981. — 279 с.
2. Соломенцев Ю.М. Адаптивное управление технологическими процессами/ Ю.М. Соломенцев, В.А. Митрофанов, А.А. Гусев. — М.: Машиностроение, 1980. — 536 с.
3. Коваленко А.Д. Основы термоупругости / А.Д. Коваленко. — К.: Наук. думка, 1979. — 307 с.

Поступила в редакцию 27.04.2006 г.