

1. TBBB B Polypromprinterbank: http://www.de.schunk.com/schunk/schunk_websites/products/products.html
2. Oba Hitz Werkzeugfabrik GmbH & Co. Thermo Grip Induktiongerät ISG2000. Ostfildern, 2001 (інструкція до користування)
3. Информационные материалы / Под общ. ред. Писаренко Г.С. – К.: Вища школа, 1979. – 696 с.

Одержано 23.02.2007 р.

УДК 621.923:621.90.17

Ю. Новосьолов¹, докт. техн. наук; Д. Каїнов¹, канд. техн. наук;
М. Покінтелиця², канд. техн. наук

¹Севастопольський національний технічний університет

²Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ПОБУДОВА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ТЕРМОФРИКЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

Наведено розрахункову схему для побудови співвідношень, що характеризують динаміку процесу термофрикційної обробки унаслідок впливу відхилень від номінальних режимів. Запропоновано залежності динаміки відхилень поточних параметрів, що характеризують технологічний процес, по відношенню до відхилень від розрахункових величин, використаних при призначенні оптимізованого циклу.

Y. Novosjolov, D. Kajinov, M. Pokintelysia

DYNAMICAL SIMULATION DEVELOPMENT OF THE PROCESS OF THERMOFRICTIONAL PROCESSING

The settlement circuit for construction of the ratio describing dynamics of process thermofrictional of processing, owing to influence of rejections from nominal modes is resulted. Dependences of dynamics of rejections of the current parameters describing technological process, in relation to rejections from the settlement sizes used at purpose of the optimized cycle are offered.

Вступ

Сучасний етап машинобудівної промисловості потребує розробки та використання високоефективних та конкурентоспроможних способів обробки металів різанням. Для поліпшення оброблюваності використовують попередній розігрів шару, що різеться. Це приводить до зменшення опору деформуванню і надає можливості підвищити режими обробки при одночасному збереженні високої стійкості інструменту. Термофрикційна обробка (ТФО) належить до комбінованих методів, де теплову та механічну дію на оброблюваний метал робить ріжучий диск, який обертається з високою швидкістю (до 80 м/с) [1].

Рішення завдань підвищення продуктивності ТФО при одночасному поліпшенні якості деталей може бути забезпечене оптимізацією технологічних режимів. Неточності задання параметрів і їх зміни в ході технологічного процесу вимагають стабілізації режимів обробки, що виконуються за наперед заданою програмою оптимізованого циклу, за допомогою систем із зворотним зв'язком.

Для вирішення такого завдання необхідна побудова моделей динаміки відхилень поточних параметрів, що характеризують технологічний процес, щодо номінальних величин, використаних при призначенні оптимізованого циклу.

Побудова динамічної моделі

Оскільки основні явища ТФО відбуваються в зоні контакту ріжучого диска, жорстко закріпленого на шпинделі верстата, і оброблюваної заготовки, встановленої в затискному пристосуванні, то визначальний вплив на характеристики процесу надає динаміка їх відносних переміщень.

Розрахункова схема для побудови співвідношень, що характеризують динаміку процесу ТФО унаслідок впливу відхилень від номінальних режимів, наведена на рис. 1.

У розрахунковій схемі прийнято:

m_1 – еквівалентна маса заготовки і затискного пристосування (її зміною в процесі обробки (у порівнянні з первинним значенням) можна нехтувати з достатнім ступенем точності);

m_2 – приведена маса інструменту і вузла шпинделя (при побудові динамічної моделі вважається постійною);

$c_1, b_1; c_2, b_2$ – еквівалентна жорсткість і демпфування зв'язку заготовки із столом верстата і вузла шпинделя з інструментом, відповідно;

c_3 – еквівалентна динамічна характеристика взаємодії інструменту і заготовки у зоні їх контакту при виконанні процесу ТФО;

$x_1(\tau)$ – поточне значення відстані між столом верстата і центром мас заготовки у момент часу τ ;

$x_2(\tau)$ – відстань між центрами мас заготовки m_1 і інструменту m_2 у той же момент часу;

$x_{1,ном}$ і $x_{2,ном}$ – значення тих же відстаней, прийняті як номінальні при оптимізації процесу ТФО;

$\Delta x_1(\tau)$ і $\Delta x_2(\tau)$ – величини відхилень координат $x_1(\tau)$ і $x_2(\tau)$ від номінальних значень, відповідно;

$h(\tau)$, $h_{ном}$ і $\Delta h(\tau)$ – поточне, номінальне значення і відхилення товщини заготовки від розрахункового розміру.

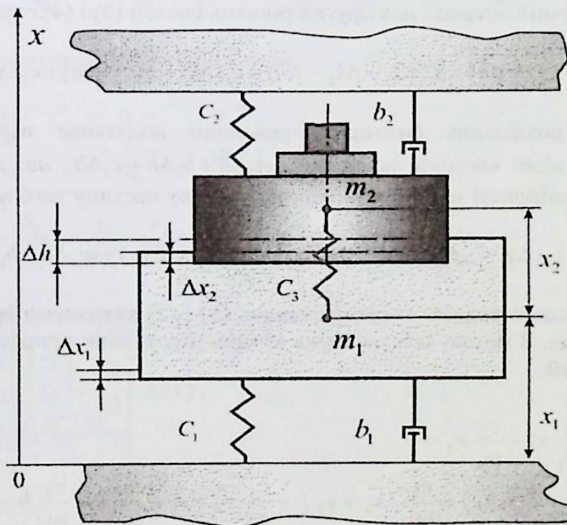


Рисунок 1 – Розрахункова схема для побудови моделі динаміки процесу ТФО.

Розрахунковій схемі відповідають диференціальні рівняння, що характеризують динаміку переміщень елементів системи ТФО, які отримані із застосуванням принципу Даламбера:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 = c_3 x_2 \\ m_2 (\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 - \ddot{h}) + b_2 (\dot{x}_1 + \dot{x}_2 - \dot{h}) + c_2 (x_1 + x_2 - h) + c_3 x_2 = F(\tau) \end{cases} \quad (1)$$

де

$$x_1(\tau) = x_{1,ном} + \Delta x_1(\tau), \quad x_2(\tau) = x_{2,ном} + \Delta x_2(\tau), \quad h(\tau) = h_{ном} + \Delta h(\tau) \quad (2)$$

і, додатково до позначень, наведених раніше, вказана збурююча сила $F(\tau)$, причиною появи якої є невірноваженість інструменту.

Для номінального режиму ($x_1(\tau) = x_{1,ном}$, $x_2(\tau) = x_{2,ном}$, $h(\tau) = h_{ном}$) співвідношення (1) набувають вигляду

$$\begin{cases} c_1 x_{1,ном} - c_3 x_{2,ном} = 0 \\ c_2 [x_{1,ном} + x_{2,ном} - h_{ном}] + c_3 x_{2,ном} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Підставляючи співвідношення (2) в (1), запишемо

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + c_1 x_{1,ном} + c_1 \Delta x_1 = c_3 x_{2,ном} + c_3 \Delta x_2 \\ m_2 (\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2 - \ddot{h}) + b_2 (\dot{x}_1 + \dot{x}_2 - \dot{h}) + \\ + c_2 [(x_{1,ном} + x_{2,ном} - h_{ном})] + c_2 [\Delta x_1 + \Delta x_2 - \Delta h] + c_3 x_{2,ном} + c_3 \Delta x_2 = F(\tau). \end{cases} \quad (4)$$

З урахуванням першого рівняння системи (3), перше рівняння системи (4) набуває форми

$$m_1 \Delta \ddot{x}_1 + b_1 \Delta \dot{x}_1 + c_1 \Delta x_1 = c_3 \Delta x_2. \quad (5)$$

При аналогічній операції для других рівнянь систем (3) і (4) отримаємо:

$$m_2 (\Delta \ddot{x}_1 + \Delta \ddot{x}_2 - \Delta \ddot{h}) + b_2 (\Delta \dot{x}_1 + \Delta \dot{x}_2 - \Delta \dot{h}) + c_2 [\Delta x_1 + \Delta x_2 - \Delta h] + c_3 \Delta x_2 = F(\tau). \quad (6)$$

З метою розділення факторів проведемо додаткове перетворення (6), з перенесенням з лівої частини складових $m_2 \Delta \ddot{h} + b_2 \Delta \dot{h} + c_2 \Delta h$, що визначають внесок збурень від неспостійності товщини заготовки, в праву частину того ж співвідношення:

$$m_2 (\Delta \ddot{x}_1 + \Delta \ddot{x}_2) + b_2 (\Delta \dot{x}_1 + \Delta \dot{x}_2) + c_2 [\Delta x_1 + \Delta x_2] + c_3 \Delta x_2 = F(\tau) + m_2 \Delta \ddot{h} + b_2 \Delta \dot{h} + c_2 \Delta h. \quad (7)$$

Для подальшого аналізу системи рівнянь (5) і (7) виконаємо їх нормування щодо старших похідних. З метою забезпечення компактності знак приросту Δ в подальших записах опущений.

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \frac{b_1}{m_1} \dot{x}_1 + \frac{c_1}{m_1} x_1 - \frac{c_3}{m_1} x_2 = 0 \\ (\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) + \frac{b_2}{m_2} (\dot{x}_1 + \dot{x}_2) + \frac{c_2}{m_2} [x_1 + x_2] + \frac{c_3}{m_2} x_2 = \ddot{h} + \frac{b_2}{m_2} \dot{h} + \frac{c_2}{m_2} h + \frac{F(\tau)}{m_2}. \end{cases} \quad (8)$$

З позначеннями

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1; & \dot{y}_1 &= \dot{x}_1 = y_2; & y_3 &= x_2; & \dot{y}_2 &= \dot{x}_2; \\ \dot{y}_3 &= \dot{x}_2 = y_4; & \dot{y}_4 &= \dot{x}_3; & h &= z_1; & \dot{h} &= z_2; & \ddot{h} &= \dot{z}_2 = z_3, \end{aligned}$$

перепишемо (8) у вигляді

$$\begin{cases} \dot{y}_2 + \frac{b_1}{m_1} y_2 + \frac{c_1}{m_1} y_1 - \frac{c_3}{m_1} y_3 = 0 \\ (\dot{y}_2 + \dot{y}_4) + \frac{b_2}{m_2} (y_2 + y_4) + \frac{c_2}{m_2} (y_1 + y_3) + \frac{c_3}{m_2} y_3 = \dot{z}_2 + \frac{b_2}{m_2} z_2 + \frac{c_2}{m_2} z_1 + \frac{F(\tau)}{m_2}. \end{cases} \quad (9)$$

Розглядаючи перше з рівнянь (9) як тотожність, віднімемо його компоненти з другого рівняння системи

$$\begin{cases} \dot{y}_2 + \frac{b_1}{m_1} y_2 + \frac{c_1}{m_1} y_1 - \frac{c_3}{m_1} y_3 = 0 \\ \dot{y}_4 + \frac{b_2}{m_2} y_4 + \left(\frac{b_2}{m_2} - \frac{b_1}{m_1}\right) y_2 + \left(\frac{c_2}{m_2} - \frac{c_1}{m_1}\right) y_1 + \left(\frac{c_2}{m_2} + \frac{c_3}{m_1}\right) y_3 = \dot{z}_2 + \frac{b_2}{m_2} z_2 + \frac{c_2}{m_2} z_1 + \frac{F(\tau)}{m_2}. \end{cases} \quad (10)$$

Співвідношення (10) доцільно представити у вигляді системи нормованих диференціальних рівнянь першого порядку в нормальній формі Коші, що характеризує простір станів даної динамічної системи [2]

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2; \\ \dot{y}_2 = -\frac{b_1}{m_1} y_2 - \frac{c_1}{m_1} y_1 - \frac{c_3}{m_1} y_3; \\ \dot{y}_3 = y_4; \\ \dot{y}_4 = -\frac{b_2}{m_2} y_4 - \left(\frac{b_2}{m_2} - \frac{b_1}{m_1}\right) y_2 - \left(\frac{c_2}{m_2} - \frac{c_1}{m_1}\right) y_1 - \left(\frac{c_2}{m_2} + \frac{c_3}{m_1}\right) y_3 + \dot{z}_2 + \frac{b_2}{m_2} z_2 + \frac{c_2}{m_2} z_1 + \frac{F(\tau)}{m_2}, \end{cases} \quad (11)$$

які можна записати у векторно-матричній формі:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{c_1}{m_1} & -\frac{b_1}{m_1} & -\frac{c_3}{m_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{c_1}{m_1} - \frac{c_2}{m_2} & \frac{b_1}{m_1} - \frac{b_2}{m_2} & -\frac{c_3}{m_1} - \frac{c_2}{m_2} & \frac{b_2}{m_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_2}{m_2} & \frac{b_2}{m_2} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot F(\tau), \end{aligned} \quad (12)$$

або

$$\dot{Y} = A \cdot Y + B \cdot Z + C \cdot F, \quad (13)$$

де

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}, \dot{Y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix} - \text{вектор станів системи і його похідна, відповідно;}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{c_1}{m_1} & -\frac{b_1}{m_1} & -\frac{c_3}{m_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{c_1}{m_1} - \frac{c_2}{m_2} & \frac{b_1}{m_1} - \frac{b_2}{m_2} & -\frac{c_3}{m_1} - \frac{c_2}{m_2} & \frac{b_2}{m_2} \end{bmatrix} - \text{матриця, що характеризує динамічні}$$

властивості системи;

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} - \text{вектор стану динаміки збурень;}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_2}{m_2} & \frac{b_2}{m_2} & 1 \end{bmatrix} - \text{матриця, що характеризує динамічні властивості збурень,}$$

пов'язаних з нерівністю поверхні заготовки;

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} - \text{матриця, що характеризує інтенсивність збурень, пов'язаних з}$$

неврівноваженістю інструменту;

$F = F(\tau)$ – характеристика неуврівноваженості інструменту.

Висновки

Для вирішення задачі підвищення ефективності процесу ТФО плоских поверхонь заготовок необхідна стабілізація режимів обробки, що виконуються за наперед заданою програмою, за допомогою систем із зворотним зв'язком.

Вирази (12) або (13) представляють різні форми шуканих представлень залежності динаміки відхилень поточних параметрів, що характеризують технологічний процес, по відношенню до відхилень від розрахункових величин, використаних при призначенні оптимізованого циклу обробки.

Література

1. Покинтелица Н.И. Применение высокоскоростного трения в резании металла. – К.: ВИПОЛ, 1993. – 156 с.
2. Дерусо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления. – М.: Наука, 1979. – 620 с.

Одержано 26.01.2007 р.