

Висновки. Встановлено, що перебудова мікроструктури окремих зон відновленої деталі в процесі термоциклічної обробки починається в різних стартових умовах і здійснюється з різними темпами, але у сукупності з дифузійними процесами, змінами щільності дислокацій та іншими процесами перебудови кристалічної решітки, приходиться до одного результату. При цьому термоциклічна обробка призводить до суттєвого змін зернистості різних зон, що докорінно змінює положення первинних та вторинних кордонів зерен у наплавленому металі й прилягаючих ділянках, змушуючи найважливіші хімічні елементи, в основному розташовані на кордонах, мігрувати у енергетично найбільш сприятливі зони, які збідненні за хімічним складом. Як результат структурної перебудови після ТЦО відбувається покращення механічних властивостей відновленої деталі.

Список літератури: 1.Черновол М.И. и др. Повышение качества восстановления деталей машин. - К.:Техніка, 1989.-169с. 2.Коровайченко Ю.М. Підвищення якості наплавки та зварних з'єднань термоциклічною обробкою: Монографія. –К.: МАУП, 1999. – 240 с. 3.Павлюк С.К. Теоретические основы упрочнения деталей, периодически контактирующих с расплавами металлов, нанесением защитных слоев и покрытий. Дисерт. докт.техн.наук. Могилев, 1990. – 244 с.

Поступила в редколлегию 21.04.2008

УДК 658.52.011

О.Ф. ЄНІКЄЄВ, Ф.М. ЄВСЮКОВА, Л.О. ШИШЕНКО

АНАЛІЗ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ *MATLAB*

На базе методов теории автоматического управления построена и исследована двухкоординатная модель технологического процесса алмазного шлифования.

На базі методів теорії автоматичного керування побудована й досліджена двокоординатна модель технологічного процесу алмазного шліфування.

Вступ. Розробка й впровадження засобів автоматизації технологічних процесів алмазного шліфування твердих сплавів підвищує їхню ефективність. Побудова технічних засобів управління шліфувальними станками базується на розробці та дослідженні детермінованих моделей технологічних процесів. Особливості управління шліфувальними верстатами визначаються на підставі аналізу моделей та враховуються при розробці алгоритмів роботи системи автоматизації.

Розробка математичної моделі. Узагальнена математична модель технологічних процесів алмазного шліфування в даній роботі побудована на прикладі верстата моделі ЗВ624. Конструктивні особливості цього верстата дозволили використовувати як регулюючі впливи поперечну $S_{\text{поз}}$ та

подовжню S_{np} подачі алмазного інструмента. За вихідну величину детермінованої математичної моделі прийнята сила різання F матеріалу заготівлі. Математична модель побудована для кожної незалежної координати управління шліфувальним верстатом. За вихідну величину математичної моделі управління верстатом по координаті S_{non} прийнята радіальна складова сили різання F_y матеріалу заготівлі. З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготівлі, пружних деформацій кінематичної системи верстата і лінійного зносу алмазного інструмента в роботі [1] отримана така передатна функція

$$H_1(p) = \frac{K_{pez,y}(1 - e^{-pt_1})}{1 + K_{pez,y}(1 - e^{-pt_1}) \left[pK_y \left(\frac{p^2}{\Omega_m^2} + \frac{2\beta_m p}{\Omega_m} + 1 \right) + \frac{K_{ук}}{p\tau_{sp}} (1 - e^{-p\tau_{sp}}) \right]}. \quad (1)$$

При управлінні верстатом по координаті S_{np} вихідною величиною математичної моделі є тангенціальна складова сили різання F_x матеріалу заготівлі. Процес шліфування заготівлі по цій координаті управління верстатом виконується без зносу круга $K_{ук} = 0$. З урахуванням динаміки процесу різання матеріалу заготівлі і пружних деформацій кінематичної системи верстата в роботі [1] отримана така передатна функція

$$H_2(p) = \left(K_{pez,x}(1 - e^{-pt_1}) \right) / \left(1 + \frac{K_x K_{pez,x}}{p}(1 - e^{-pt_1}) \right). \quad (2)$$

У середовищі *Matlab* виконано аналіз отриманих передатних функцій і встановлено, що вони стійкі. Вхідний вплив моделі по незалежних координатах представлено таким сигналом

$$S_{non}(t) = \begin{cases} 0 & n\pi - \pi < \Omega t < -\pi + \alpha, -\alpha < \Omega t < \alpha, \pi - \alpha < \Omega t < \pi, \\ S_{non} n\pi & \alpha < \Omega t < \pi - \alpha, \\ -S_{non} n\pi & -\pi + \alpha < \Omega t < -\alpha, \alpha > 0, 0 < \alpha < 0.5\pi. \end{cases} \quad (3)$$

Розкладання сигналу (3) у ряд Фур'є має такий вигляд

$$S_{non}(\Omega) = \frac{4S_{non}}{\pi} \left[\cos \frac{\Omega}{2}(t_1 - t_2) \sin \Omega t + \frac{1}{3} \cos \frac{3\Omega}{2}(t_1 - t_2) \sin 3\Omega t + \frac{1}{5} \cos \frac{5\Omega}{2}(t_1 - t_2) \sin 5\Omega t + \dots \right]. \quad (4)$$

Процедура підсумовування побудованих математичних моделей виконана з урахуванням ортогональності координат управління шліфувальним верстатом. У силу лінійності перетворення Лапласа та з урахуванням теореми додавання отримано таке операторне рівняння, яке легко реалізується стандартними засобами пакета *Matlab*

$$F(p) = \sqrt{H_1^2(p)S_{non}^2(p) + H_2^2(p)S_{np}^2(p)}. \quad (5)$$

Сила різання матеріалу заготівлі створює на валу шліфувального круга

возмущающий момент, який є джерелом крутильних коливань. Вал із установленим на ньому шліфувальним кругом у роботі представлено механічною системою з одним ступенем волі. Рух мас подібної детермінованої системи описуються таким диференціальним рівнянням

$$J_{kp} \varphi''(t) + \beta_1 \varphi'(t) + \gamma_1 \varphi(t) = M_e(t) \quad (6)$$

Після виконання процедури нормалізації та перетворень отримана передатна функція, яка пов'язує девіації швидкості обертання шліфувального круга зі силою різання матеріалу заготовки

$$H_3(p) = (R_{kp} t_1 p) / \left(\frac{J_{kp} t_1}{\gamma_1} p^2 + \frac{\beta_1 t_1}{\gamma_1} p + 1 \right). \quad (7)$$

По виразах (1), (2) та (5), а також з урахуванням рівнянь (6) і (7), складена структурна схема детермінованої математичної моделі технологічних процесів алмазного шліфування (див. рис. 1). Її аналіз у середовищі *Matlab* показав, що вона стійка. Вихідною величиною математичної моделі технологічних процесів алмазного шліфування є девіації швидкості обертання алмазного інструменту. У результаті імітаційного моделювання в середовищі *Matlab* отримано графік вихідної величини (рис. 2).

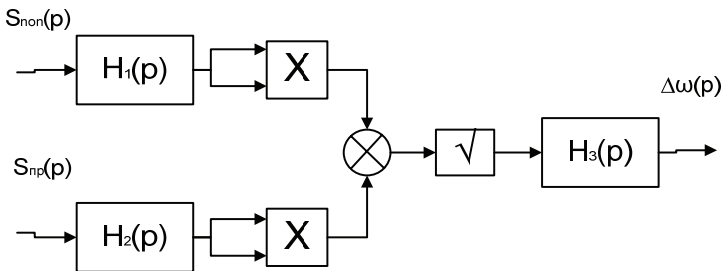


Рис. 1 – Структурна схема детермінованої моделі технологічних процесів алмазного шліфування

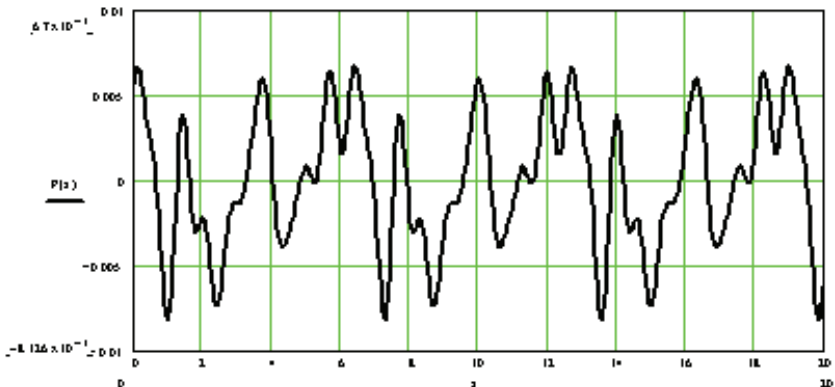


Рис. 2 – Графік девіацій швидкості обертання круга

Синтез регулятора. Адаптивне управління верстатом організовано на базі цифрових регуляторів з еталонною моделлю технологічних процесів алмазного шліфування (рис. 3). У цій системі настроювання параметрів цифрових регуляторів виконується на основі координатної помилки, що являє собою різниця вихідних сигналів основного контуру й еталонної моделі.

На основі мінімізації квадратичного критерію оптимальності з використанням z-перетворень синтезовано цифрові регулятори. Закон оптимального управління регулятора отримано у наступному вигляді [2]

$$U_t = \frac{1}{b_0} \left[R_1 (Z^{-1}) y_{m,t+d+1} - F (Z^{-1}) y_t - G^* (Z^{-1}) U_t \right]. \quad (8)$$

Після математичних перетворень маємо таку векторну форму представлення виразу (8)

$$U_t = \frac{1}{b_0} \left[R_1 (Z^{-1}) y_{m,t+d+1} - \bar{\Theta}_0^T \bar{X}_{0,t} \right], \quad (9)$$

де вектор параметрів цифрового регулятора

$$\bar{\Theta}_0 = \left[\bar{g}_1, \bar{g}_2, \dots, \bar{g}_{r+d}, f_0, f_1, \dots, f_f \right]^T \quad (10)$$

та вектор змінюваних координат

$$\bar{X}_{0,t} = \left[U_{t+1}, U_{t+2}, \dots, U_{t+r+d}, y_t, y_{t+1}, \dots, y_{t-f} \right]^T. \quad (11)$$

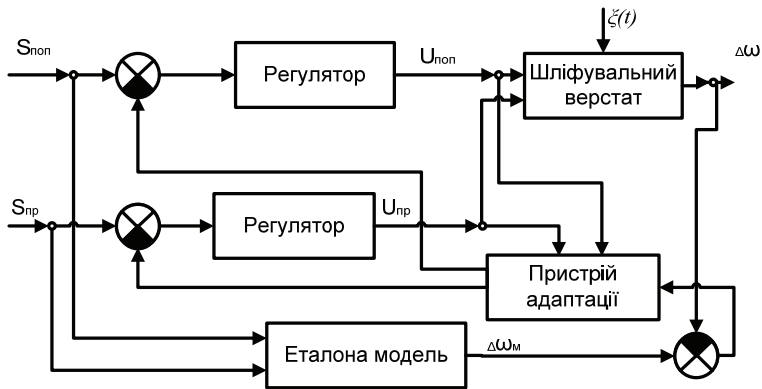


Рис. 3 – Структурна схема адаптивної системи

Оскільки параметри об'єкта автоматизації змінюються в часі, то для ідентифікації вектора параметрів цифрового регулятора в реальному часі використано наступний рекурентний алгоритм [3]

$$\hat{\Theta}_t = \hat{\Theta}_{t-1} + \bar{P}_{t-d-1} \bar{X}_{t-d-1} v_t. \quad (12)$$

де \bar{P} - матриця посилення адаптивної ідентифікації, яка лагодиться наступним чином

$$\left[\bar{P}_{t-d}\right]^{-1} = \lambda_{1,t} \left[\bar{P}_{t-d-1}\right]^{-1} + \lambda_{1,t} \bar{X}_{t-d-1} \bar{X}_{t-d-1}^T. \quad (13)$$

Динамічне поводження шліфувального верстата при впливі випадкових збурювань на систему управління ним описано таким кінцево-різницеvim рівнянням

$$\sum_{i=0}^m a_i y_{t-i} = \sum_{i=0}^{m-1} b_i U_{t-i-d} + \sum_{i=0}^m c_i \zeta_{t-i} + \eta. \quad (14)$$

Синтез оптимальної структури цифрового регулятора виконано відповідно до умови забезпечення мінімуму квадратичного критерію якості. У результаті перетворень закон оптимального управління цифрового регулятора одномірного об'єкта з запізнюванням отримано у вигляді [4]

$$C(Z^{-1})\Psi_{t+d,t}^* = F(Z^{-1})y_t + D(Z^{-1})U_t + H(Z^{-1})G_t + \delta = 0. \quad (15)$$

Алгоритм роботи цифрового регулятора незалежної координати управління верстату в кожен період квантування є послідовністю таких операцій: прогнозування вихідної координати еталонної математичної моделі на $(d+1)$ тактів квантування вперед; фільтрація вихідного сигналу еталонної математичної моделі за допомогою цифрового фільтра, який має передатну функцію $R_1(Z^{-1})$; обчислення керуючого впливу відповідно до закону оптимального керування (15); виміру вихідного сигналу верстату в моменти часу $T = nT_0$; цифрова фільтрація цього сигналу; зрушення в часі убик відставання на $(d+1)$ тактів квантування вихідного сигналу фільтра, тобто визначення $y_{m,t} R_1(Z^{-1}) = Z^{-(d+1)} y_{m,t+d+1} R_1(Z^{-1})$; обчислення відфільтрованої помилки неузгодженості між вихідним сигналом верстату й еталонною моделлю; оцінка параметрів регулятора на основі рекурентного алгоритму адаптивної ідентифікації, вирази (9) – (13); корекція параметрів регулятора і перехід для реалізації алгоритму в наступному такті квантування.

Висновки. Запропоновані оптимальні цифрові регулятори знайшли застосування в складі системи покоординатного управління шліфувальними верстатами. Наявність цих регуляторів дозволило системі підвищити продуктивність технологічного процесу алмазного шліфування з одночасною стабілізацією показника мікронерівностей оброблених поверхонь деталей.

Список літератури: 1. Анализ обобщенной модели технологического процесса прецизионного алмазного шлифования / Евсюкова Ф.М., Еникеев А.Ф., Зыков И.С., Шищенко Л.А.// В сборнике «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве». – Харьков: 2001. – С. 231 – 236. 2. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с. 3. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ: Учеб. Пособие. – К.: Вища шк., 1990. – 334 с. 4. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами. – К.: Техніка, 1990. – 280 с.

Надійшла до редколегії 21.04.08