

О.Ф. Єнікєєв, к.т.н, доц., УДАЗТ, м. Харків
Г.В. Соколовська, Т.Л. Щербак, НАУ, м. Київ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ТВЕРДИХ СПЛАВІВ

The methods of automatic control theory is proposed and analyzed a deterministic mathematical model of technological process of diamond grinding details of hard alloys.

Вступ. Підвищення техніко-економічних показників процесів алмазного шліфування забезпечується використанням системи покоординатного управління шліфувальними верстатами [1]. Відсутність первинних перетворювачів обумовлює технічні складності при побудові системи зі зворотнім зв'язком по стану поточної якості обробленої поверхні деталі. Серед можливих непрямих методів для її оцінювання надають перевагу вимірюванням гнучких деформацій кінематичної схеми шліфувального верстату. Ці деформації являються результатом взаємодії шліфувального круга та поверхні деталі, що оброблюється, і знаходять своє кількісне відображення у сигналі девіацій швидкості його обертання. Детермінована математична модель технологічного процесу алмазного шліфування встановлює функціональні зв'язки між режимами роботи верстату (поперечна та повздовжня подачі алмазного інструменту) та девіаціями швидкості обертання шліфувального круга [2, 5].

Розробка математичної моделі. Модель побудуємо на прикладі шліфувального верстату моделі ЗВ624, який широко використовується в сучасному машинобудівному виробництві. Регулюючі впливи на шліфувальний верстат: поперечна $S_{non}(t)$ й подовжня $S_{np}(t)$ подачі алмазного інструмента. Вихідний сигнал – сила різання $F(t)$ матеріалу оброблюваної деталі. При розробці моделі канали регулювання кожною координатою верстату є незалежними.

Математична модель каналу регулювання верстатом по координаті $S_{non}(t)$ враховує: динаміку процесу різання матеріалу деталі, пружні деформації кінематичної схеми шліфувального верстату, лінійний знос шліфувального круга. Вихідний сигнал по цій координаті – радіальна складова сили різання $F_y(t)$ матеріалу деталі. Стан ріжучої поверхні шліфувального круга у певний момент часу t із урахуванням пружних деформацій та лінійного зносу алмазного інструменту опишемо виразом [4]

$$y(t) = S_{non}(t) - S_{y\delta}(t) - S_{ук}(t), \quad (1)$$

де $S_{ук}(t) = K_{ук} \int_0^t F_y(t) dt$ – функція зносу круга, $K_{ук} = 6.5 \cdot 10^{-4}$ мм/С кГс – коефіцієнт зносу.

Зв'язок між пружними деформаціями і радіальною складовою сили різання матеріалу заготівлі в операторній формі описується наступним виразом

$$S_{y\partial,y}(p) = H_1(p)F_y(p), \quad (2)$$

де $H_1(p)$ – передатна функція еквівалентної пружної системи шліфувального верстата.

Шліфувальні верстати моделі 3В624 мають пружні системи, які відрізняються великою жорсткістю [2]. Такі конструкції верстатів мають одну характерну резонансну частоту Ω_m . У цьому випадку передатна функція має наступний вигляд

$$H_1(p) = \frac{k_y^{-1}}{\Omega_m^{-2} p^2 + 2\beta_m \Omega_m^{-1} p + 1}, \quad (3)$$

де $K_y = 8 \cdot 10^{-4}$ мм/кГс – орієнтована статична жорсткість пружної системи конструкції верстата по координаті $S_{non}(t)$; $\beta_m = 0.87$ – відносний коефіцієнт демпфірування конструкції верстату [4].

Після виконання шліфувальним кругом одного проходу положення його ріжучої кромки змінюється. Поточне положення кромки шліфувального круга після виконання одного проходу таке

$$y(t-t_1) = S_{non}(t-t_1) - S_{y\partial}(t-t_1) - S_{ук}(t-t_1).$$

Товщину зрізу шару матеріалу з поверхні деталі за один прохід шліфувального круга оцінимо за допомогою такого виразу

$$a_y(t) = y(t) - y(t-t_1) = [S_{non}(t) - S_{non}(t-t_1)] - [S_{y\partial,y}(t) - S_{y\partial,y}(t-t_1)] - [S_{ук}(t) - S_{ук}(t-t_1)]. \quad (4)$$

Різницю двох членів останнього виразу, які укладені в квадратні дужки, подаємо функцією запізнення. Записавши вираз (4) в операторній формі, маємо

$$a_y(p) = [S_{non}(p) - S_{y\partial,y}(p) - S_{ук}(p)](1 - e^{-pt_1}). \quad (5)$$

Товщину зрізу шару матеріалу з поверхні деталі за один прохід круга подаємо через радіальну складову сили різання

$$F_y(t) = K_{рез,y} a_y(t), \quad (6)$$

де $K_{рез,y} = 1700$ кГс/мм – коефіцієнт передачі процесу різання по координаті $S_{non}(t)$ [6].

В операторній формі останнє рівняння запишеться в такому вигляді

$$F_y(p) = K_{рез,y} a_y(p). \quad (7)$$

За час t_1 виконання одного проходу шліфувальний круг виконає декілька

обертів. Відповідно з цим лінійний знос круга в часі подаємо функцією запізнення. В операторній формі маємо наступне рівняння для цього зносу

$$S_{ук}(p) = \frac{K_{ук}}{p\tau_{кр}} \left(1 - e^{-p\tau_{кр}}\right), \quad (8)$$

де $\tau_{кр} = 0.023$ С – час виконання шліфувальним кругом одного обертю.

З урахуванням виразів (3), (7) й (8) рівняння (5) після перетворень маємо наступний вигляд

$$F_y(p) \left\{ 1 + \left[\frac{1}{pH_1(p)} + \frac{K_{ук}}{p\tau_{кр}} \left(1 - e^{-p\tau_{кр}}\right) \right] K_{рез,y} \left(1 - e^{-p\tau_1}\right) \right\} = S_{non}(p) K_{рез,y} \left(1 - e^{-p\tau_1}\right), \quad (9)$$

Після перетворень останнього виразу маємо передатну функцію процесу алмазного шліфування по координаті $S_{non}(t)$

$$H_2(p) = \frac{K_{рез,y} \left(1 - e^{-p\tau_1}\right)}{1 + K_{рез,y} \left(1 - e^{-p\tau_1}\right) \left[pK_y \left(\frac{p^2}{\Omega_m^2} + \frac{2\beta_m p}{\Omega_m} + 1 \right) + \frac{K_{ук}}{p\tau_{кр}} \left(1 - e^{-p\tau_{кр}}\right) \right]}. \quad (10)$$

Перехід в частотну область дає такий вираз для радіальної складової сили різання матеріалу заготівлі

$$F_y(\Omega) = L_2(\Omega) e^{j\varphi_2(\Omega)} S_{non}(\Omega). \quad (11)$$

У даному виразі невідомим є дискретний частотний спектр Ω вхідного сигналу. При його обчисленні врахуємо наступне: під час прямого та зворотного ходу шліфувального круга фаза вихідного сигналу змінюється на 180° ; прямий й зворотний хід разом утворюють період основної гармоніки частотного подання вхідного сигналу. З урахуванням цього найбільш повно специфіці поставленої задачі відповідає такий сигнал

$$S_{non}(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } -\pi < \Omega t < -\pi + \alpha, -\alpha < \Omega t < \alpha, \pi - \alpha < \Omega t < \pi, \\ S_{non} n \pi i & \alpha < \Omega t < \pi - \alpha, \\ -S_{non} n \pi i & -\pi + \alpha < \Omega t < -\alpha, \alpha > 0, 0 < \alpha < 0.5\pi; \end{cases} \quad (12)$$

де $\alpha = \frac{\Omega}{2}(t_1 - t_2)$, $t_2 = 4.1$ С – час взаємодії шліфувального круга з поверхнею деталі, що обробляється.

Розклад сигналу (12) в ряд Фур'є на періоді $T = 2t_1$ має наступний вигляд

$$S_{non}(\Omega) = \frac{4S_{non}}{\pi} \left[\cos \frac{\Omega}{2}(t_1 - t_2) \sin \Omega t + \frac{1}{3} \cos \frac{3\Omega}{2}(t_1 - t_2) \sin 3\Omega t + \frac{1}{5} \cos \frac{5\Omega}{2}(t_1 - t_2) \sin 5\Omega t + \dots \right]. \quad (13)$$

При розробці математичної моделі каналу регулювання шліфувальним верстатом по координаті $S_{np}(t)$ враховано: динаміка процесу різання матеріалу деталі та лінійний знос круга. В результаті її аналізу у відповідності з вище описаною методикою отримано наступний вираз для

передатної функції

$$H_3(p) = \frac{pK_{pez,x}(1 - e^{-p\tau_1})}{p + K_x K_{pez,x}(1 - e^{-p\tau_1})}, \quad (14)$$

де $K_{pez,x} = 1250$ кГс/мм, $K_x = 8 \cdot 10^{-4}$ мм/кГс [4].

Перехід в частотну область дає такий вираз для тангенціальної складової сили різання матеріалу деталі

$$F_x(\Omega) = L_3(\Omega) e^{j\varphi_3(\Omega)} S_{np}(\Omega). \quad (15)$$

Частотне подання вхідного сигналу цього каналу аналогічне. Виконаємо підсумовування складових сили різання матеріалу деталі з урахуванням їхньої ортогональності. Енергія сигналу сили різання дорівнює сумі енергій радіальної та тангенціальної складових [3]

$$W = W_x + W_y.$$

Це надає можливість записати таке рівняння

$$F^2(t) = F_x^2(t) + F_y^2(t),$$

тобто, сила різання матеріалу деталі рівна геометричній сумі радіальної та тангенціальної складових.

Внаслідок лінійності перетворення Лапласа та з урахуванням теореми складання маємо таке операторне рівняння, яке реалізується стандартними засобами любого пакету прикладних програм

$$F(p) = \sqrt{F_x^2(p) + F_y^2(p)} = \sqrt{H_2^2(p) S_{non}^2(p) + H_3^2(p) S_{np}^2(p)}. \quad (16)$$

Сила різання матеріалу заготівлі утворює збурюючий вплив на шліфувальний круг

$$M_6(t) = R_{kp} F(t). \quad (17)$$

Цей збурюючий вплив є джерелом гнучких деформацій кінематичної схеми шліфувального верстату. Вал з кругом подаємо механічною системою з одним ступенем свободи. Рух маси описуються наступним диференціальним рівнянням [3, 4]

$$J_{kp} \varphi''(t) + \beta_1 \varphi'(t) + \gamma_1 \varphi(t) = M_6(t), \quad (18)$$

де J_{kp} – момент інерції круга, β_1 – коефіцієнт демпфування, γ_1 – крутильна жорсткість вала, $\varphi(t)$ – кут закрутки вала.

З урахуванням того, що миттєва швидкість обертання є похідною від кутової величини, після математичних перетворень рівняння (18) приводиться до такого вигляду

$$J_{kp} \Delta \omega'(t) + \beta_1 \Delta \omega(t) + \frac{\gamma_1}{t_1} \int_{t_1}^{t_1} \Delta \omega(t) dt = R_{kp} F(t), \quad (19)$$

де $\Delta \omega(t)$ – девіації швидкості обертання шліфувального круга.

Перейдемо від часової реалізації девіацій швидкості обертання шліфувального круга до перетворення по Лапласу при нульових початкових умовах цього сигналу

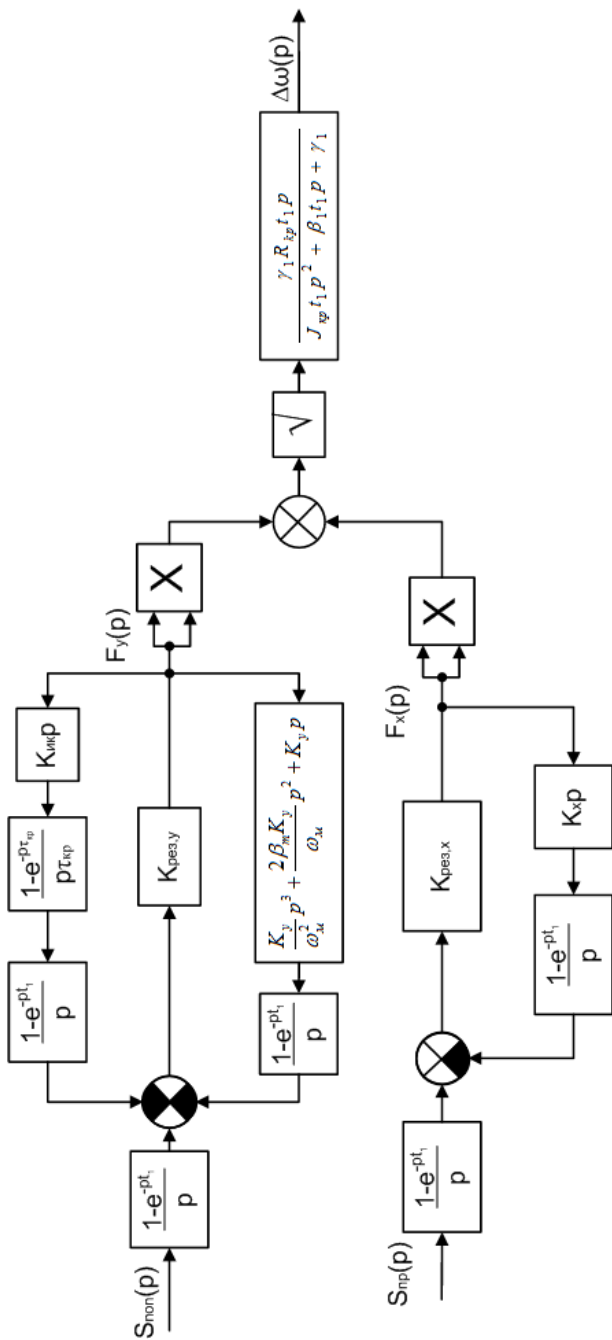


Рис. 1. Структурна схема математичної моделі технологічного процесу алмазного шліфування

$$J_{kp} \Delta \omega(p) + \beta_1 \Delta \omega(p) + \frac{\gamma_1}{p t_1} \Delta \omega(p) = R_{kp} F(p). \quad (20)$$

З даного рівняння маємо передатну функцію, яка зв'язує девіації швидкості обертання шліфувального круга з силою різання матеріалу деталі

$$H_4(p) = \frac{\gamma_1 R_{kp} t_1 p}{J_{kp} t_1 p^2 + \beta_1 t_1 p + \gamma_1}. \quad (21)$$

Перехід в частотну область дає такий вираз для девіацій швидкості обертання шліфувального круга

$$\Delta \omega(\Omega) = L_4(\Omega) e^{j\varphi_4(\Omega)} F(\Omega). \quad (22)$$

Математична модель процесу алмазного шліфування деталей з твердих сплавів побудована по операторним рівнянням (10), (13), (16) та (21) і подана на рис. 1.

Частотний спектр її вихідного сигналу з урахуванням рівнянь (11), (15) й (16) описується таким виразом

$$\Delta \omega(\Omega) = L_4(\Omega) e^{j\varphi_4(\Omega)} \sqrt{H_2^2(\Omega) S_{non}^2(\Omega) + H_3^2(\Omega) S_{np}^2(\Omega)}. \quad (23)$$

Результати імітаційного моделювання. Імітаційним моделюванням отримано графік вихідного сигналу (рис. 2). На цьому рисунку позначено: по вісі ординат – часова реалізація сигналу девіацій швидкості обертання шліфувального круга у протязі його повного оберту (град/с); по вісі абсцис – період першої гармоніки частотного подання сигналу девіацій.

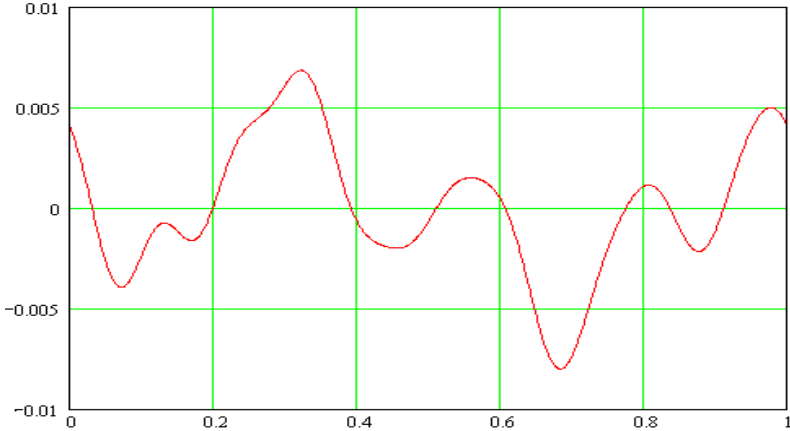


Рис.2 Часова реалізація вихідного сигналу моделі

З аналізу графіка девіацій швидкості обертання шліфувального круга встановлено, що цей сигнал має досить малу інтенсивність за своєю величиною. Його амплітудне значення не перевищує 0.05 амплітуди миттєвої швидкості обертання шліфувального круга. Тому процес вимірювань сигналу девіацій потребує використання високоточних технічних засобів. На підставі

аналізу графіка девіацій швидкості обертання шліфувального круга сформовано вимоги до метрологічних характеристик каналу зворотного зв'язку системи управління технологічного процесу алмазного шліфування деталей [1].

Висновок. Запропонований метод та математична модель знайшли застосування при розробці системи покоординатного управління технологічним процесом алмазного шліфування в умовах неповної інформації про поточну якість обробленої поверхні деталі.

1. Еникеев А.Ф. Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорск: ДГМА, 2001. – 160 с.
2. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967.– 360 с.
3. Матюха П.Г. Алмазное шлифование с управлением параметрами рабочей поверхности круга // Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 1993 Вып. 48 с. 33-35.
4. Михелькевич В.И. Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
5. Новоселов Ю.К., Братан С.М., Крылов И.В. Стратегия управления операцией шлифования в автоматизированном производстве// Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 2001, с. 25-31.
6. Полтавец В.В. Себестоимость шлифования с управляющими воздействиями на РПК // Резание и инструмент. - Донецк: ДонГТУ, 1999, с. 53-60.

Поступила 31.01.2011р.

УДК 519.8

А.М. Богданов, д.т.н., ИССЗИ НТУУ «КПИ», г. Киев

В.В. Мохор, д.т.н., ИССЗИ НТУУ «КПИ», г. Киев

УЧЕТ КВАЛИФИКАЦИИ УПРАВЛЕНЦА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Предлагается вариант учета квалификации человека-управленца при решении задач управления информационной безопасностью.

Пропонується варіант врахування кваліфікації людини-управлінця при вирішенні завдань управління інформаційною безпекою.

In this paper are proposed some variant incorporation of the managers qualification into solution of the tasks of the information security management.

Ключові слова: моделювання, інформаційна безпека, кваліфікація персоналу.