

АНАЛІЗ ДІНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ РІЗУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ

The analysis of dynamic characteristics of restoring the cutting ability of abrasive wheels, its skeleton scheme and conducted simulation process of diamond-grinding spark.

Вступ. Наявність в складі системи управління верстатом засобів періодичного відновлення різучої здатності шліфувального круга підвищує техніко-економічні показники процесу алмазного шліфування [1]. Автори пропонують використати процес алмазно-іскрового шліфування у якості метода автоматичної правки шліфувального круга з металевим зв'язуванням алмазних зерен шліфування (алмазний інструмент). Система управління верстатом поєднує у єдиний технологічний цикл обробки деталі процеси алмазного та алмазно-іскрового шліфування. Правка круга на етапі чистової обробки деталі супроводжується можливим утворенням прижогів на поверхні, що обробляється. Регулюванням скважності імпульсів вихідного сигналу генератора обмежується величина енергії, яка подається в зону обробки деталі при алмазно-іскровому шліфуванні. Як наслідок цього регулювання усуваються прижоги обробленої поверхні деталі та забезпечується задане значення амплітуди її мікронерівностей.

Розробка структурної схеми. В основу розробки системи (рис. 1) покладено: принципи безпосереднього цифрового управління та допускового контролю, а також непрямі методи оцінювання різучої здатності шліфувального круга в силу відсутності відповідних первинних перетворювачів.

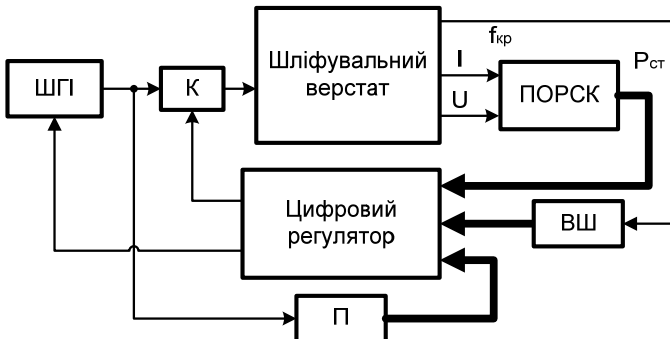


Рис. 1. Структурна схема системи відновлення різучої здатності шліфувального круга
© О.Ф.Єнікєєв, Г.В. Соколовська, Т.Л.Щербак

На основі обробки експериментальних даних в роботі [4, 6] запропоновано такі можливі два методи оцінювання невідповідності норми ріжучої здатності: по збільшенню на 5% потужності, яка споживається приводом головного руху верстату; по зменшенню на 7% середньої швидкості обертання шліфувального круга.

На рис. 1 позначено: ПОРСК – пристрій статистичного оцінювання ріжучої здатності круга, П – пристрій оцінювання сквапності електричних імпульсів, ШГІ (шаговий генератор імпульсів) – технологічне джерело живлення, К – комутатор аналогових сигналів, ВШ – вимірювач швидкості. Цифровий регулятор, який побудовано на базі мікроконтролеру, організує регулювання сквапності вихідного сигналу ШГІ. В роботі [6] запропоновано варіанти технічної реалізації пристроїв для статистичного оцінювання ріжучої здатності шліфувального круга. На основі інформаційного підходу визначено їхні метрологічні характеристики та встановлена придатність для використання у складі системи.

Моделювання технологічного процесу алмазно-іскрового шліфування. Межі регулювання системою сквапності імпульсів вихідного сигналу ШГІ визначені на основі аналізу детермінованої математичної моделі процесу алмазно-іскрового шліфування. В роботі [3] отримано такий вираз для електричної енергії, яка подається в зону обробки деталі

$$W_3 = T \left[\frac{U_m R_3}{q(R_3 + R_r)} \right]^2, \quad (1)$$

де U_m, q, T – відповідно амплітуда, сквапність та період слідування імпульсів, R_3, R_r – опори відповідно зони обробки деталі та ШГІ. В цьому виразі змінні (U_m, T, R_3, R_r) подано у нормованому вигляді.

Для розрахунку величини енергії регулятор має у своєму банку пам'яті масив опорів зони обробки деталей. Цей параметр процесу правки як функція поперечної та повздожньої подач шліфувального круга отримано в результаті статистичної обробки експериментальних даних. У області невизначеності, як довірчого інтервалу, вимірних значень опорів проведено детерміновану середню лінію, яку прийняли за його номінальну характеристику. В результаті апроксимації цієї характеристики ступеневими поліномами отримали такий вираз [4]

$$R_3 = (3.03 - 60S_{non} + 328S_{non}^2)(3.74 + 1.17S_{np}), \quad (2)$$

де S_{non}, S_{np} – відповідно величини поперечної та повздожньої подач шліфувального круга.

На основі виразу (1) отримано рівняння для завдання регулятором сквапності імпульсів вихідного сигналу ШГІ

$$\left. \begin{aligned} q_{\min} &= \frac{U_m R_s}{(R_s + 1) \sqrt{W_{\max} F}} \\ q_{\max} &= \frac{U_m R_s}{(R_s + 1) \sqrt{W_{\min} F}} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де W_{\max} – верхня межа енергії, перевищення якої призводить до утворення прижогів на обробленій поверхні деталі; W_{\min} – нижня межа енергії, яка забезпечує умови виконання процесу правки шліфувального круга з металевим зв'язуванням алмазного інструмента; F – частота імпульсів вихідного сигналу ШГІ. Ці величини енергії визначено на основі обробки експериментальних даних [3].

Імітаційним моделюванням за допомогою виразів (1) та (2) отримано графіки зміни енергії у функції скважності імпульсів вихідного сигналу ШГІ (рис. 2). На цьому рисунку позначено також межі регулювання енергії, яка споживається зоною обробки деталі при алмазно-іскровому шліфуванні. За допомогою графіків та виразів (2) і (3) визначено межі зміни скважності при різних величинах поперечної і повздовжньої подачі алмазного інструменту та сформовано банк даних в пам'яті цифрового регулятора.

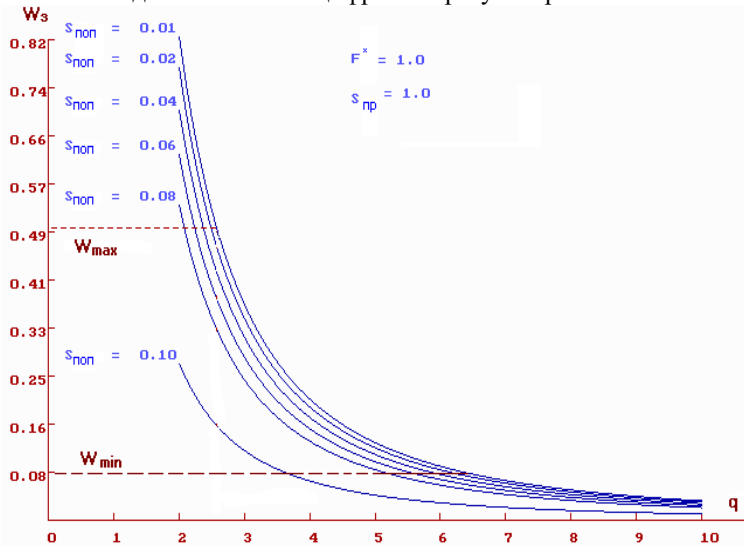


Рис. 2. Графіки зміни енергії як функції скважності імпульсів

Розроблено варіанти технічної реалізації пристроїв для оцінювання та управління скважністю імпульсів вихідного сигналу ШГІ. Досліджено випадкові складові похибок перетворення пристроями періоду та тривалості імпульсу у відповідний позиційний код. Визначено мінімальне значення

середньоквадратичної похибки такого перетворення [2]

$$\delta_{\min} = \frac{180}{\sqrt{N_x} \sqrt[3]{15N_x}}, \quad (4)$$

де N_x – число імпульсів.

Моделювання елементів системи. Структурна схема системи при проведенні моделюючого експерименту з використанням програмного середовища Matlab, яка задає скважність імпульсів вихідного сигналу ШГІ при технологічному процесі алмазно-іскрового шліфування, подано на рис. 3. На ньому позначено: ПУШ – пристрій управління сквапністю імпульсів.

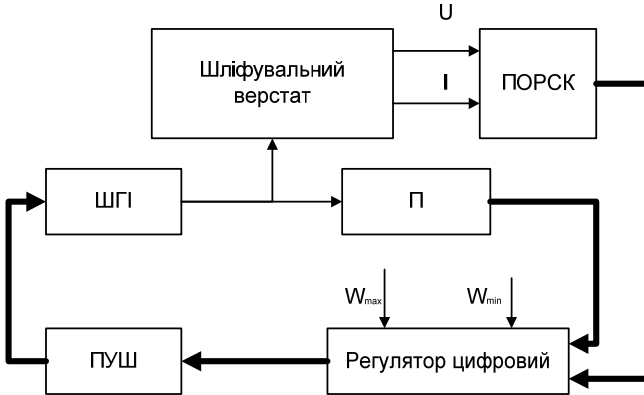


Рис. 3. Структурна схема системи управління, яка завдає сквапність імпульсів вихідного сигналу ШГІ

Регулятор виконує прості обчислювальні процедури, які пов'язані з порівнянням поточної скважності імпульсів вихідного сигналу ШГІ та заданими значеннями (q_{\max}, q_{\min}) банку даних. Загальний випадок подання передатної функції цифрового регулятора має такого вигляду [1]

$$H_p(p) = \frac{1 - e^{-p\tau_r}}{\tau_r}, \quad (5)$$

де τ_r – постійна часу.

Специфіка роботи блоків П та ПУШ дозволяє подати їх у вигляді аперіодичного ланцюга з запізненням, який має таку передатну функцію [5]

$$H_{II}(p) = \frac{1 - e^{-pT_2}}{p}, \quad (6)$$

де T_2 – період вихідного сигналу ШГІ.

Функціонування блоку ПОРСК подається у вигляді аперіодичного ланцюга з запізненням, який має таку передатну функцію

$$H_{\text{ПОРСК}}(p) = \frac{1 - e^{-pT_{np}}}{p}, \quad (7)$$

де T_{np} – час перетворення блоком ПОРСК.

Блок ШПІ має коефіцієнт перетворення ($K_{\text{ШПІ}}$) та відповідно таку передатну функцію

$$H_{\text{ШПІ}}(p) = K_{\text{ШПІ}}. \quad (8)$$

Вважаємо, що регулятор виконує процедуру підсумовування вихідних сигналів блоків П та ПОРСК. У результаті аналізу структурної схеми (рис. 3) із застосуванням математичного апарату z-перетворень маємо такий вираз для дискретної передатної функції системи, яка задає скважність імпульсів вихідного сигналу ШПІ при технологічному процесі алмазно-іскрового шліфування

$$H_{\text{ЗАМ}}(z) = \frac{k_{\text{ШПІ}} T_z (T_z + K_{\text{ОВ}} T_{np}) \frac{T_1}{T_3 - T_2} \left(e^{-\frac{T_0}{T_3}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z^{-1}}{\left(1 - e^{-\frac{T_0}{T_2}} z^{-1} \right) \left(1 - e^{-\frac{T_0}{T_3}} z^{-1} \right)}, \quad (9)$$

де T_0, T_1, T_2, T_3 – постійні часу.

На основі мінімізації квадратичного критерію якості шліфування деталей отримуємо передатну функцію оптимального регулятора

$$H_{\text{ОПТ}}(z) = \frac{k_{\text{ШПІ}} T_z (T_z + K_{\text{ОВ}} T_{np}) \frac{0.25 \tau_r}{T_3 - T_2} \left[z^2 + \left(e^{-\frac{T_0}{T_3}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z \right]}{e^{-\frac{T_0}{T_3}} e^{-\frac{T_0}{T_2}} z^2 - \left(e^{-\frac{T_0}{T_3}} + e^{-\frac{T_0}{T_2}} \right) z + 1}. \quad (10)$$

На основі виразів (9) і (10) у процесі моделювання в Matlab сформована імітаційна модель системи, яка завдає скважність імпульсів вихідного сигналу ШПІ при технологічному процесі алмазно-іскрового шліфування. Поданням вхідного впливу системи у вигляді функції Хевісайда $0.043(t)$ отримано графік зміни її вихідного сигналу у функції часу (рис. 4). З аналізу графіка встановлено: аперіодичний характер зміни вихідного сигналу, швидкодія відпрацювання системою вхідного впливу складає 0.078 с при цьому режим перерегулювання відсутній.

На основі частотного аналізу передатної функції похибки замкненої системи в роботі [5] отримано такий вираз для оцінювання її точності перетворення

$$\delta = \frac{T_z}{\sqrt{\left[T_z - 4\pi^2 \tau_r K_{\text{ШПІ}} (T_z + K_{\text{ОВ}} T_{np}) \right]^2 + 4\pi^2 T_z K_{\text{ШПІ}} (T_z + K_{\text{ОВ}} T_{np})^2}}. \quad (13)$$

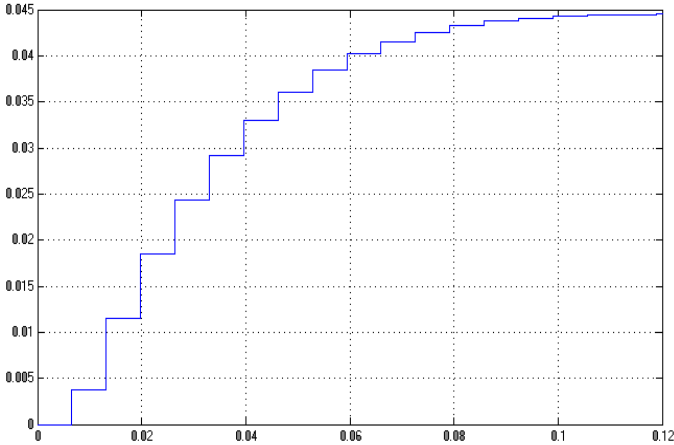


Рис. 4. Вихідний сигнал імітаційної моделі технічного процесу шліфування

Висновки. По результатам теоретичного аналізу і проведеного моделюючого експерименту на основі програмного середовища Matlab, встановлена придатність системи до вимог технологічного процесу алмазно-іскрового шліфування по швидкодії регулювання і заданій якості обробки деталей.

1. *Абрамська І.Б.* Пристрій оптимізації процесу правки шліфувального круга на металевій зв'язці / Абрамська І.Б., Єнікєєв О.Ф., Суботін О.В., Шищенко Л.О. // В збірник «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем». – Краматорськ: Вып. 16, 2004. – С. 183-186.
2. *Євсюкова Ф.М.* Метод підвищення ефективності алмазно-іскрового шліфування / Євсюкова Ф.М., Євсюкова О.В., Єнікєєв А.Ф., Зыков І.С., Шищенко Л.А. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: Вып. 78, 2000. – С. 48 – 50.
3. *Євсюкова Ф.М.* Об установлении математической зависимости для сопротивления межэлектродного промежутка / Євсюкова Ф.М., Євсюкова О.В., Єнікєєв А.Ф., Зыков І.С., Шищенко Л.А. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: Вып. 83, 2000. – С. 41 – 43.
4. *Євсюкова Ф.М.* Система виправлення шліфувального круга / Євсюкова Ф.М., Єнікєєв О.Ф., Зыков І.С., Шищенко Л.О., Яровий Р. О. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: № 28, 2004. – С. 116-124.
5. *Єнікєєв А.Ф.* Оптимальное управление технологическим процессом алмазного шлифования. – Краматорськ: ДГМА, 2001. – 160 с.
6. *Єнікєєв О.Ф.* Основи синтезу і проектування слідкуючих систем верстатів та промислових роботів: Навчальний посібник / Єнікєєв О.Ф., Суботін О.В. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – 268 с.

Поступила 24.02.2011р.