

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ СХЕМ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО РОЗМІРУ В ПРОЦЕСІ ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ

В статті розглядаються традиційні схеми систем регулювання радіального розміру в процесі хонінгування отворів. Представлений динамічний аналіз традиційних схем систем регулювання радіального розміру, в результаті якого отримані перехідні характеристики процесу регулювання. Побудовані амплітудно-фазові частотні характеристики та логарифмічні характеристики в умовах перехідного режиму роботи систем регулювання радіального розміру. Визначено наявність скачкоподібного руху, який обумовлений наявністю фрикційної інерційності та гідравлічної

Ключові слова: хонінгування отворів, система регулювання радіального розміру, фрикційна інерційність, гідравлічна інерційність.

MICHAEL PODGAETSKIY, KIRILL SCHERBINA

Kirovograd National Technical University

THE DYNAMIC ANALYSIS OF TRADITIONAL SCHEMES OF SYSTEMS OF REGULATION OF THE RADIAL SIZE IN THE COURSE OF A HONING OF OPENINGS

The analysis of functioning of traditional schemes of systems of regulation of the radial size in the course of a honing of openings in the field of small movements.

It is defined that functioning of systems of regulation of the radial size occurs in the field of small movements. In this regard functioning of system happens in the conditions of transient that demands probe in dynamics. The dynamic analysis of traditional constructive schemes of systems of regulation of the radial size as a result which transitional characteristics to regulation process are received. The amplitude-phase frequency characteristics and logarithmic characteristics in the conditions of a transitional mode of behaviour of systems of regulation of the radial size are constructed.

As a result of the dynamic analysis presence of jerking motion which is caused a frictional and hydraulic lag effect that leads to kick down of accuracy of regulation of the radial size is established.

Keywords a honing of openings, systems of regulation of the radial size, frictional lag effect, hydraulic lag effect.

Постановка задачі та аналіз досліджень

Процес регулювання радіального розміру при хонінгуванні отворів є одним із головних факторів, який впливає на точність та якість. Тому, велика увага приділяється саме системам регулювання радіального розміру (СРРР), а саме точності та сталості їх функціонування. СРРР відносяться до верстатних систем з точними переміщеннями в межах малих швидкостей.

Відповідно до робіт професорів Бушуєва В.В., Пуша В.Е., Решетова Д.Н. [1–3], приводи вузлів верстатів, яким необхідно надати точні малі переміщення з малими швидкостями є системами в яких пружно взаємодіють контактуючі поверхні. Наявність сил тертя між контактуючими поверхнями сприяє розгодуванню між рухами ланок, які задають сигнал і ланок, котрі виконують сигнал.

При малих швидкостях ковзання, нижче критичного значення спостерігається гостро визначена нерівномірність руху, який має скачко-подібний характер з періодичними стрибками і зупинками. Такий характер руху притаманний механізмам точних верстатів, коли необхідно забезпечити точне переміщення із швидкостями в декілька міліметрів за хвилину і нижче.

За характером руху при незначних точних переміщеннях з малими швидкостями, роботу таких систем відносять до функціонування в умовах перехідного режиму.

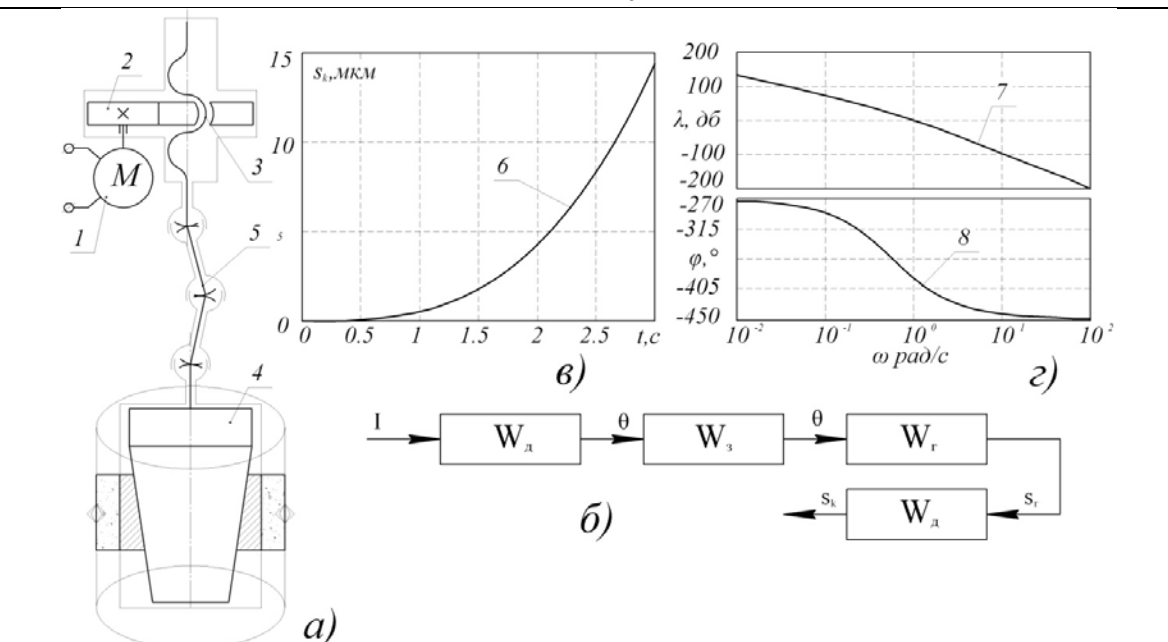
Внаслідок, чого функціонування таких систем необхідно оцінювати на основі динамічних досліджень.

Існуючі літературні джерела та матеріали каталогів [6, 7] доводять не можливість автоматичного регулювання розмірів для отворів з діаметром менше 35 мм. Але не надається теоретичне обґрунтування такого недоліку, а лише наводяться каталожні показники. В даній роботі надається теоретичне обґрунтування причин не можливості автоматичного регулювання для малих розмірів.

Електромеханічна система регулювання радіального розміру

За об'єкт дослідження приймемо електромеханічну СРРР [7] (рис.1,а), яка складається з електричного крокового двигуна 1, зубчатої 2, гвинтової 3 та клинної 4 кінематичної пари. Електромеханічна СРРР буде працювати наступним чином: вихідний вал крокового електродвигуна перевірає зубчате колесо на кут θ , яке в свою чергу перевірає гайку гвинтової передачі, що призводить до переміщення гвинта в осьовому напрямку. Гвинт взаємодіє з розтискним клином через шарнірну підвіску і переміщує його в осьовому напрямку, що призводить до переміщення алмазно-абразивних брусків в радіальному напрямку. У зв'язку з тим, що алмазно-абразивні бруски обмежені оброблюваним отвором, то їх радіальне переміщення приводить до утворення контактної тиску p_k , який забезпечує процес різання.

Дослідження динамічних характеристик СРРР будемо проводити у відповідності до теорії автоматичного управління [4]. Тому, визначимо рівняння передавальних функцій СРРР в динаміці. Для цього побудуємо структурну схему (рис.1,б).



1 – електричний кроковий двигун; 2 – зубчата кінематична пара; 3 – гвинтова кінематична пара; 4 – клинова кінематична пара; 5 – шарнірна підвіска; 6 – перехідна характеристика вихідної величини $s_k = f(t)$; 7 – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика; 8 – логарифмічна фазово-частотна характеристика; а) конструктивна схема; б) структурна схема; в) перехідна характеристика; г) логарифмічно-частотні характеристики;
Рис.1. Електромеханічна СРРР та характеристика перехідного процесу

Електромеханічна СРРР в динаміці характеризується наступним рівнянням:

$$W_E = \frac{s_k}{\theta} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha (m k p^2 + \mu k p)} * \frac{i_3}{(J_3 + \mu z) p} * \frac{\mu z}{0.5 m z d \operatorname{tg} \psi p} * \frac{\beta^{-1}}{\frac{J_d}{\beta} p + 1} \quad (1)$$

де p – оператор Лапласа;
 s_k – переміщення клинової кінематичної пари;
 ψ – кут підйому гвинтової лінії;
 $m z$ – маса рухомих частин гвинтової кінематичної пари;
 μz – коефіцієнт тертя в гвинтовій кінематичній парі;
 d – діаметр гвинта;
 β – коефіцієнт демпфування крокового електродвигуна;
 J_3 – момент інерції зубчатої кінематичної пари;
 J_d – момент інерції крокового електродвигуна;
 μz – коефіцієнт тертя в зубчатій передачі;
 α – кут підйому клина;
 μk – коефіцієнт тертя клинової кінематичної пари;
 $m k$ – маса рухомих частин клинової кінематичної пари.
В отриманому рівнянні перемножимо всі елементи між собою.

$$W_E = \frac{k}{a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3} \quad (2)$$

де $k = \mu z * i_3 * \beta^{-1}$;
 $a_1 = \frac{J_d}{\beta} \operatorname{rtg} \psi m z (J_3 + \mu z) \operatorname{tg} \alpha m k$;
 $a_2 = \operatorname{rtg} \psi m z (J_3 + \mu z) \operatorname{tg} \alpha m k + \frac{J}{\beta} \operatorname{rtg} \psi m z (J_3 + \mu z) \operatorname{tg} \alpha \mu k$;
 $a_3 = \operatorname{rtg} \psi m z (J_3 + \mu z) \operatorname{tg} \alpha \mu k$.

Отримане рівняння 2 передавальної функції дозволяє побудувати перехідну характеристику (рис.1,в), логарифмічно-частотні характеристики (рис.1,г) та амплітудно-фазові частотні характеристики (рис.1,д) електромеханічної СРРР за допомогою програмного продукту [5].

Перехідна характеристика електромеханічної СРРР свідчить про наявність інерційності, що підтверджується нелінійною характеристикою 6 виконання вихідної $s_k = f(t)$ та розузгодженням характеристики з виконанням вхідної дії $\theta = f(t)$. Наявність інерційності призводить до виникнення скачкоподібного руху в процесі функціонування електромеханічної СРРР.

Інерційність пояснюється, тим що ланки електромеханічної СРРР функціонують в умовах

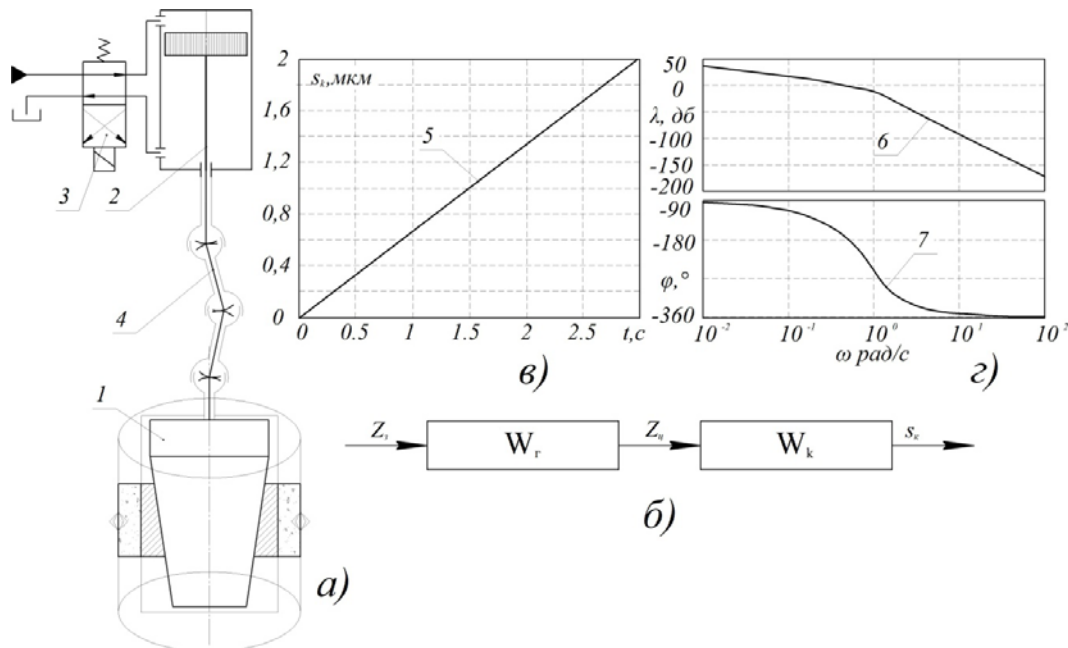
статичного та кінетичного тертя. Тобто отримана інерційність має фрикційний характер.

Отримані логарифмічно-частотні характеристики, а саме амплітудно-частотна та фазово-частотна характеристики свідчать, про стає функціонування електромеханічної СРРР.

Отже, електромеханічна СРРР має ряд недоліків, а саме наявність скачко-подібного руху обумовленого наявністю фрикційної інерційності.

Гідравлічна система регулювання радіального розміру

Наступним об'єктом дослідження є гідравлічна СРРР [7] (рис.2,а), яка складається з клинної кінематичної пари 1, гідроциліндру 2, гідророзподільника 3 та шарнірної підвіски 4. Гідравлічна СРРР працює наступним чином: золотник гідророзподільника 3 зміщується z_3 , що призводить до збільшення об'ємної подачі робочої рідини, яка надходить до безштокової камери гідроциліндру 2. Сукупність обумовлених дій призводить до переміщення поршню в осьовому напрямку. Шток поршню гідроциліндру взаємодіє з розтискним клином через шарнірну підвіску і переміщує його в осьовому напрямку, що призводить до переміщення алмазно-абразивних брусків в радіальному напрямку. У зв'язку з тим, що алмазно-абразивні бруски обмежені оброблюваним отвором, то їх радіальне переміщення приводить до утворення контактної тиску p_k , який забезпечує процес різання.



1 – клинова кінематична пара; 2 – гідроциліндр; 3 – гідророзподільник; 4 – шарнірна підвіска;
 5 – перехідна характеристика вихідної величини $p_k = f(t)$; 6 – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
 7 – логарифмічна фазово-частотна характеристика.
 а) конструктивна схема; б) структурна схема; в) перехідна характеристика; г) логарифмічно-частотні характеристики;
 Рис.2. Гідравлічна СРРР та характеристика перехідного процесу

Гідравлічна СРРР в динаміці характеризується наступним рівнянням:

$$W_{\Gamma} = \frac{s_k}{z_3} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha (mkp^2 + \mu kp)} * \frac{(k_x / U_p)}{\left(\left[\frac{1}{U_p} \sqrt{\frac{Vmp}{2E}} \right]^2 p^2 + \frac{k_Q}{U_p} \sqrt{\frac{mpE}{2V}} p + 1 \right)} \quad (3)$$

- де k_x – коефіцієнт характеристики переміщення золотника гідророзподільника;
- z_3 – переміщення золотника;
- k_Q – коефіцієнт витратної характеристики гідророзподільника;
- Q – об'ємна подача рідини;
- mp – маса поршню;
- V – об'єм стискаємої рідини;
- U_p – площа поршню;
- E – модуль пружності рідини;
- α – кут підйому клина;
- μk – коефіцієнт тертя клинної кінематичної пари;
- mk – маса рухомих частин клинної кінематичної пари.

В отримане рівняння введемо оператор Лапласа та перемножимо всі елементи між собою, так само, як для електромеханічної СРРР.

$$W_{\Gamma} = \frac{k}{a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p} \quad (4)$$

де $k = k_x / U_p$;

$$a_1 = \operatorname{tg} \alpha \mu k \left[\frac{1}{U_p} \sqrt{\frac{V_{mp}}{2E}} \right]^2$$

$$a_2 = \operatorname{tg} \alpha \mu k \left[\frac{1}{U_p} \sqrt{\frac{V_{mp}}{2E}} \right]^2 + \operatorname{tg} \alpha \mu k \frac{k_Q}{U_p} \sqrt{\frac{mpE}{2V}}$$

$$a_3 = \frac{k_Q}{U_p} \sqrt{\frac{mpE}{2V}} \operatorname{tg} \alpha \mu k + \operatorname{tg} \alpha \mu k$$

$$a_4 = \operatorname{tg} \alpha \mu k$$

Отримане рівняння 4 передавальної функції дозволяє побудувати перехідну характеристику (рис.2,в), логарифмічно-частотні характеристики (рис.2,г) та амплітудно-фазові частотні характеристики (рис.2,д) гідравлічної СРРР за допомогою програмного продукту [5].

Перехідна характеристика гідравлічної СРРР свідчить про наявність інерційності, що підтверджується нелінійною характеристикою 5 виконання вихідної $s_k=f(t)$ та розузгодженням характеристики 6 виконання вхідної дії $z_s=f(t)$. Наявність інерційності призводить до виникнення скачко-подібного руху в процесі функціонування електромеханічної СРРР.

Інерційність пояснюється, тим що в гідроциліндрі присутнє статичне та кінетичне тертя при переміщенні поршню. Також при переміщенні золотника гідророзподільника об'ємна подача не відразу змінює свою величину, що обумовлено таким явищем, як інерційність гідравлічної рідини.

Отримані логарифмічно-частотні характеристики, а саме амплітудно-частотна 8 та фазово-частотна характеристика свідчать, про стале функціонування гідравлічної СРРР [5].

Отже гідравлічна СРРР так само, як електромеханічна СРРР має ряд недоліків, а саме наявність скачко-подібного руху та невідповідність умовам сталого функціонування.

Висновки

В результаті проведеного аналізу визначено, що традиційним конструктивним схемам СРРР притаманне таке негативне явище, як скачко-подібний рух, що обумовлено наявністю фракційної та гідравлічної інерційності. Скачко-подібний рух ускладнює процес точного переміщення алмазно-абразивних брусків в процесі хонінгування, що призведе до погіршення якості оброблюваного отвору.

Також визначено, що традиційні конструктивні схеми не відповідають умовам сталого функціонування системи.

Опираючись на проведений аналіз, постала необхідність розробки СРРР на базі безінерційних ланок.

Література

1. Пуш В.Э Малые перемещения в станках. - М.: Машгиз, 1961. – 123 с.
2. Бушуев В.В Основы конструирования станков - М. Станкин.
3. Решетов Д.Н Детали и механизмы металлорежущих станков Т.2, М., Машиностроение 1972 – 520 с.
4. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. / Бесекерский В.А., Попов Е.П. / Спб. Профессия. 2003 -752с.
5. Петраков Ю.В. Автоматизоване управління процесами обробки матеріалів різанням / Петраков Ю.В. – К.: 2004. 384с.
6. <http://www.sunnen.com/honing-catalogs>
7. Куликов С.И. Хонингование. Справочное пособие / С.И. Куликов, В.А. Романчук, Ф.Ф. Ризванов, Ю.М. Евсеев. / М.: Машиностроение, 1973. с.168.

References

1. Pysh V.E Malie peremeschenia v stankah: - M.: Mashgiz, 1961. – 123 s.
2. Byshyev V.V. Osnovi konstruirovania stankov. – M. Stankin
3. Reshetov D.N. Detali i mehanizmu metallorezysch stankov T.2, M., Mashunostroenie 1972 – 520 s.
4. Besekerskiy V.A. Theory system automatic control. / Besekerskiy V.A., Popov E.P. / Spb. Profession. 2003 -752 p.
5. Petrakov Y.V. Automated management by processes of processing of materials by cutting. K.: 2004. 384 s.
6. <http://www.sunnen.com/honing-catalogs>
7. Kylikov S.I. Honing. Spravochnoe posobie/ S.I. Kylikov, V.A. Romanchyk, F.F. Rizvanov, Y.M. Evseev / M.: Mashunostroenie 1973 – 168 s

Рецензія/Peer review : 12.3.2014 р.

Надрукована/Printed :16.5.2014 р.

Рецензент: Осадчий С.І., д.т.н., проф. Завідувач кафедри “Автоматизації виробничих процесів”

Кіровоградського національного технічного університету