

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ КІЛЬЦЕПРОКАТНИХ МАШИН

*Проведені дослідження, пов'язані з підвищенням ефективності процесів функціонування станів для виготовлення кілець з одночасним покращенням гнучкості при виконанні замовлень.*

*Ключові слова: кільцепрокатний стан, програмне забезпечення, числове програмне управління.*

V.A.TOLBATOV, O.A. DOBRORODNOV

Sumy state university

A.V. TOLBATOV, G.A. SMOLYAROV, O.B. VIUNENKO

Sumy National Agrarian University

## RESEARCH ISSUES EFFICIENCY AND RELIABILITY DURING FUNCTIONING MILLS FOR ROLLING RINGS

*The research related to improvements in the functioning of state for making rings with improved flexibility in contracts.*

*Keywords: condition for rolling rings, software, numerical control.*

Велика перевага кільцепрокатних машин полягає в мінімальному споживанні енергії, матеріалів та інструменту, а також в інтуїтивному та ефективному обслуговуванні в поєднанні з високою точністю виготовлення. Високий ступінь автоматизації процесів прокатки повинна забезпечувати оптимальне використання можливостей технологічного обладнання. Результат – стабільний, економічно ефективний процес виробництва [1–7].

На кільцепрокатних машинах можна обробляти всі ковкі матеріали, в тому числі вуглецеві, низьколеговані, високолеговані й аустенітні марки сталі. Як приклад кільцепрокатний стан RAW 160/125 фірми «Wagner Dorthmund» з радіальним зусиллям 160 т.с. і аксіальним 125 т.с. дозволяє отримувати безшовні прокатні кільця із зовнішнім діаметром від 450 мм до 3500 мм, висотою від 60 до 500 мм і масою до 3500 кг. Виготовлення кілець починається з виробництва кільцевих заготовок на спеціально призначених для цього пресах. У багатоступеневому процесі з операціями осадки та прошивки вони набувають оптимальну для прокатки форму. На наступному етапі заготовка піддається радіальній або радіально-осьовій прокатці на кільцепрокатному стані.

Система ЧПУ забезпечує відтворюваність процесів прокатки, незмінно високу якість продукції і вузькі допуски виготовлення. Точна прокатка знижує витрати в наступних процесах. Вимірювальний пристрій для безконтактного вимірювання зовнішнього діаметра кільця надає при розкочуванні разом з іншими вимірювальними осями всі необхідні для системи управління дані відповідних розмірів кільця. У зв'язку з тим, що при розкочуванні кілець близько 90% енергії витрачається на нагрів, точна прокатка безпосередньо пов'язана з витратою енергії: знижена маса деталей приводить до економії енергії при нагріванні. Крім того, вузькі допуски знижують витрати і витрати часу на токарну обробку.

Система управління комплексом являє собою систему ЧПУ, яка в сукупності з програмним забезпеченням кільцепрокатного стану, забезпечує майже повну автоматизацію процесів розкочування та виготовлення кілець незмінно високої якості. Програмне забезпечення мінімізує овальність і конусність кілець, забезпечує досягнення вузьких допусків і запобігає дефекти поверхні. Крім того, воно є основою автоматизованих процесів виробництва і тим самим дозволяє здійснювати ефективно і економічне виробництво кілець. Всі процеси розкочування можуть програмуватися в точній відповідності з необхідними характеристиками кілець. Ввідні параметри перевіряються системою управління на достовірність і перетворюються в дані, що служать для управління прокатним станом. Альтернативно ручному введенню завдання можлива передача даних управління від технологічної комп'ютеризованої системи.

Радіальні і радіально-осьові кільцепрокатні машини оснащені системами ЧПУ, що дозволяють здійснювати автоматизацію процесів розкочування відповідно до необхідним технологічними вимогами. Модульна архітектура, яка ґрунтується на стандартизованих модулях управління, відрізняється відкритістю і сумісністю з подальшими розширеннями і новими розробками. Ядром є мікропроцесорна система з автоматизованим керуванням, розроблена спеціально для радіально-осьового кільцепрокатного процесу.

У питанні ефективного виготовлення кілець і підвищення гнучкості у виконанні замовлень найважливішою відмінною характеристикою передусім є програмне забезпечення для управління і технології. Система управління дозволяє виявити потенціали економії використання матеріалу, наприклад, при визначенні припусків, допусків, облоя або окалини. Особливо в спеціальних сферах застосування переваги системи очевидні. Так, при виготовленні фланців для вітроустановок можна заощадити до 30 відсотків матеріалу, так, як вони можуть безпосередньо розгортати профільовані фланці, без необхідності

подальшого створення кінцевого профілю методом трудомісткою токарної обробки. Це знижує також витрати на обробку та інструмент в наступних технологічних процесах. Програмне забезпечення дозволяє впровадження покращень в процес: обслуговуючий персонал може легко визначити які граничні характеристики перешкоджають збільшенню швидкості виробництва або як може бути скорочено допоміжний час.

Можливість універсального використання кільцепрокатних машин заснована на їх модульній конструкції: концепція установок включає в себе численні варіації, індивідуальну комплектацію інструментів і різні технологічні концепції режимів прокатного процесу.

У базовій комплектації кільцепрокатний стан (рис. 1) представляється, як технологічний об'єкт, який забезпечує:

- двоопорність зовнішнього та внутрішнього валків - висока жорсткість, малогабаритність використовуваного інструменту;
- система регулювання зовнішнього та внутрішнього валків, а також розкату столу по висоті;
- циліндричні напрямні радіальної каретки і роликівна напрямна осьової кліті - запобігання уривчастого ковзання;
- електро-гідравлічні контури регулювання позицій, сервогідравліка - висока точність операцій;
- безконтактні цифрові вимірювальні осі з індикацією фактичних значень - висока точність роботи, простота техобслуговування;
- регулювання центричного положення кільця - оптимальний процес розкочування, підвищення якості продукції.

При розгляді динаміки руху і обертання пристроїв кільцепрокатної машини вони являють собою активні багатоланкові просторові механізми з упругоінерційними ланками і складними кінематичними ланцюгами зі змінною структурою. Моделювання динаміки керованого руху конкретного ступеня рухливості може служити вихідним матеріалом для проектування пристроїв керування і синтезу їх основних динамічних характеристик. Розрахунок показників ступеня рухливості в процесі функціонування дозволить підвищити якість управління, а також реалізувати заданий закон руху з необхідною точністю.

Розглянемо теоретичні положення точності позиціонування технологічного обладнання. Помилки позиціонування, викликані помилками роботи пристроїв управління, приводів, технологічними похибками та пружними властивостями кінематичних ланок, будемо вважати незалежними випадковими величинами з відомим законом розподілення. Нормальному закону розподілення випадкових величин буде, як правило, слідувати будь-яка, що випадково варіюється, величина, яка представляє суму більшого числа незалежних випадкових величин. Це положення визначається і підтверджується центральною граничною теоремою. Теоретичне рішення найважливіших питань, що відносяться до композиції більшого числа розподілень було представлено в роботах відомих математиків, що встановили, зокрема, що розподілення суми слабо залежних один від одного випадкових величин також асимптотично нормально. Це найважливіше положення розповсюджується на переважну більшість процесів в машинобудуванні [1 – 4].

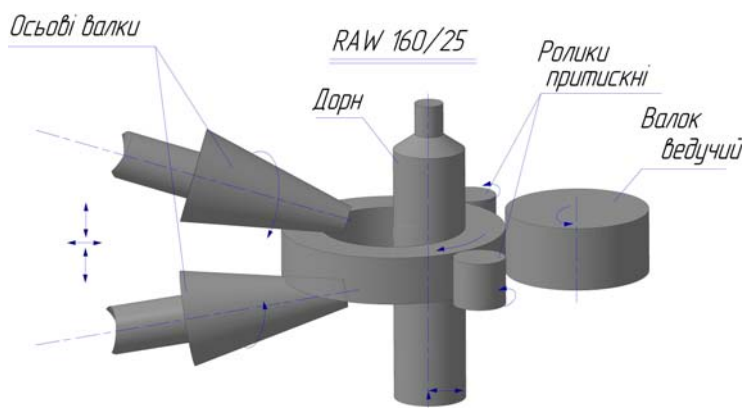


Рисунок 1. Радіально-осьова машина. Розкатка кілець

Проведемо математичний опис функціонування слідкуючого електроприводу постійного струму для привідної частини осьових валків кільцезопркатної машини як одного з основних елементів комплексу.

Будемо вважати, що всі елементи електроприводу лінійні, крім редуктора, який має люфт і зону насичення. Запишемо рівняння лінійних елементів електроприводу:

- вимірювальний пристрій  $\theta_{вх} - \theta_{вих} = \delta;$
- фазочутливий підсилювач UB  $\delta k_{Ф.П.} = u_{Ф.П.} .;$
- підсилювач напруги А  $u_{Ф.П.} k_{П} = U_{п.} .;$
- тиристорний перетворювач UM

Уп. к Т.П = УД ..

У цих рівняннях кФП, кП, кТП - коефіцієнти передачі фазочутливого випрямляча, підсилювача і тиристорного перетворювача; uФП, Уп, УД - їх вихідні напруги.

Двигун постійного струму з незалежним збудженням описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + r_{\text{я}} i_{\text{я}} + cw = u_d; \\ M - M_c = J \frac{dw}{dt} \\ cw = e_{\text{о}} \\ ci_{\text{я}} = M \end{cases} \quad (1)$$

де  $L_{\text{я}}$ ,  $R_{\text{я}}$  - індуктивний і активний опір якорного ланцюга;  $I_{\text{я}}$ ,  $o_d$  - струм якоря, ЕРС і швидкість двигуна;  $c$  - коефіцієнт пропорційності між ЕРС і швидкістю двигуна, а також між моментом і струмом якоря при незмінному потоці збудження;  $M_c$  - момент статичного навантаження, приведений до валу двигуна;  $J$  - сумарний момент інерції електроприводу, приведений до валу двигуна.

Перше рівняння системи (1) записано за другим законом Кірхгофа для ланцюга якоря, а друге рівняння цієї системи - закон рівноваги моментів на валу двигуна.

Перше рівняння системи (1), враховуючи третє рівняння, запишемо в такому вигляді:

$$\frac{L_{\text{я}}}{r_{\text{я}}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + i_{\text{я}} = \frac{1}{r_{\text{я}}} (u_d - e_{\text{о}}); \quad (2)$$

а друге рівняння з урахуванням четвертого - у вигляді:

$$\frac{Lr_{\text{я}}}{c^2} \frac{dw}{dt} = \frac{r_{\text{я}}}{c} (i_{\text{я}} - i_c); \quad (3)$$

де  $i_c = \frac{i_c}{r_{\text{я}}}$

Введемо електромагнітну і електромеханічну постійну часу і використовуємо оператор і запишемо  $T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{r_{\text{я}}}$ ,  $T_M = \frac{Jr_{\text{я}}}{c^2}$ ,  $p = \frac{d}{dt}$  рівняння (2) і (3) у вигляді:

$$(T_{\text{я}}p + 1)i_{\text{я}} = \frac{1}{r_{\text{я}}} (u_d - e_{\text{о}}); \quad (4)$$

$$T_M p w = \frac{r_{\text{я}}}{c} (i_{\text{я}} - i_c); \quad (5)$$

Редуктор з люфтом і зоною насичення описується рівнянням:

$$\theta_{\text{вих1}} = \frac{1}{q} \int w dt; \quad (6)$$

або

$$\theta_{\text{вих1}} = \frac{W}{qQ}; \quad (7)$$

де  $q$  - передавальне число редуктора і рівняннями неоднозначності нелінійної характеристики (8).

Рівнянням, що описують елементи стежить електроприводу, відповідає структурна схема, на яка зображена на рис. 2. Цю схему можна привести до найпростішої. Порядок приведення зображено на рис. 3 (а, б, в). У результаті отримаємо схему, яка зображена на рис. 3 а.

$$\Phi = \begin{cases} -b, \varepsilon < -c_1, \frac{ds}{dt} > 0; \\ k(\varepsilon - c), -c_1 \leq \varepsilon \leq c_2, \frac{ds}{dt} > 0; \\ b, \varepsilon > c_2, \frac{ds}{dt} > 0; \\ -b, \varepsilon < -c_2, \frac{ds}{dt} < 0; \\ k(\varepsilon + c), -c_1 \leq \varepsilon \leq c_2, \frac{ds}{dt} < 0; \\ b, \varepsilon > c_1, \frac{ds}{dt} < 0; \\ const, |k\varepsilon - \phi| < c \end{cases} \quad (8)$$

При перетворенні структурної схеми вважається, що  $M_c = 0$ . У цьому випадку ланка, яка описує двигун, замінюється однією ланкою з передавальної функцією:

$$W_{\text{о}}(p) = \frac{k_{\text{д}}}{T_{\text{я}} T_M p^2 + T_M p + 1}; \quad (9)$$

де  $k_{\text{д}}$  - коефіцієнт передачі двигуна, і структурна схема має  $\frac{1}{s}$  вигляд, який показаний на рис. 3.2, а.

Визначимо передавальну функцію лінійної частини системи:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{k_{\text{ф.п.}} k_{\text{н.}} k_{\text{м.н.}} k_{\text{о}}}{qp(T_{\text{я}} T_M p^2 + T_M p + 1)}; \quad (10)$$

отримаємо структурну схему, наведену на рис. 3, б. Після перенесення суматора через ланку  $W(p)$  матимемо структурну схему, зображену на рис. 3, в, а після перенесення вузла через ланку  $W(p)$  - схему на рис. 4.

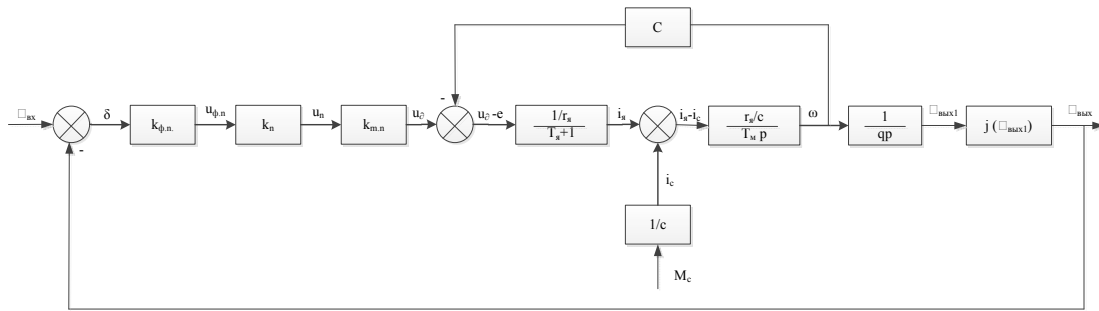
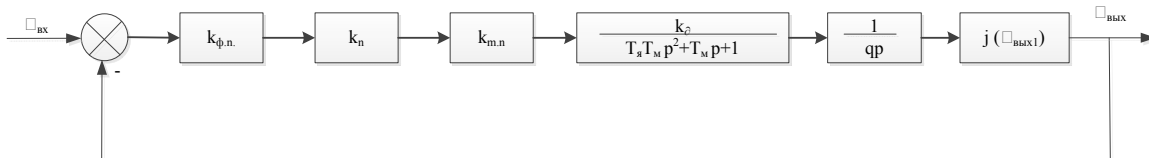
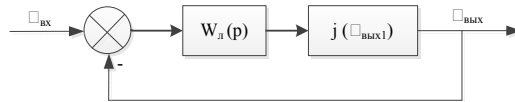


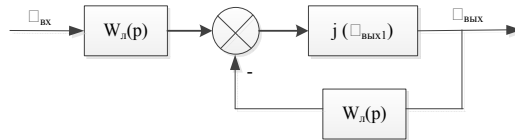
Рис. 2. Вхідна структурна схема



а)



б)



в)

Рис. 3. Перетворення вихідної структурної схеми: а, б, в.

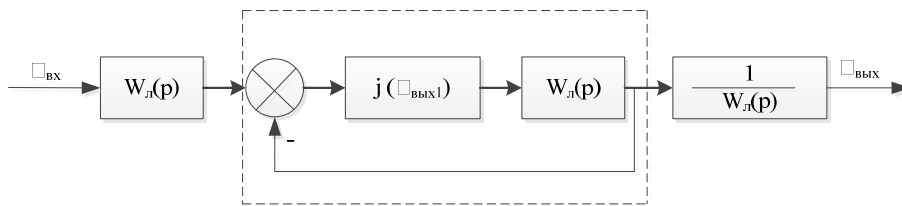


Рис. 4. Перетворена структурна схема.

Дослідження системи проводяться методом фазової площини з побудовою графіка фазової траєкторії і графіка фазового портрету. Наведений електромеханічний привід забезпечує високу швидкість, широкий діапазон регулювання частоти обертання, рівномірність обертання, великий обертальний момент на максимальній швидкості і високу надійність.

Динаміку механічної частини кільцезокатної машини (рис. 1) можна описати різними способами, в тому числі із застосуванням принципу Д'Аламбера, принципу найменшого примушення Гаусса, а також в рамках голономних зв'язків - методом рівнянь Лагранжа 2-го роду. Цей метод у багатьох відношеннях має перевагу в порівнянні з іншими методами при описі динаміки функціонування кільцепрокатної машини [2, 3].

**Висновок.** Для підвищення ефективності та надійності функціонування кільцепрокатних машин дане технологічне обладнання необхідно доукомплектувати:

- системою ЧПУ типу PCNC;
- лазерним вимірювальним пристроєм для безконтактного вимірювання діаметра кільця;
- програмним забезпеченням високого рівня, розробленим на основі сучасних інформаційних технологій;
- системою комп'ютеризованого моніторингу на базі інформаційних технологій з елементами діагностики і тестування для підвищення коефіцієнту корисної дії та експлуатаційної надійності

технологічного обладнання;

- програмно-реалізованим контролером електроавтоматики для всіх ступенів рухливості з можливістю автоматичного виконання всіх маніпуляцій стану.

### Література

1. Толбатов В.А., Толбатов А.В. Методологічні основи вибору критерію параметричної надійності електричних систем управління металорізальним обладнанням. Вісник СумДУ. Серія технічні науки.-2010.-№1.-С.37-45.
2. Толбатов В.А., Толбатов А.В., Толбатов С.В. Інженерний синтез за критерієм надійності електричних систем керування металорізальним обладнанням із жорсткою логікою. Вісник СумДУ. Серія технічні науки.-2011.-№2.-С.48-54.
3. Толбатов В.А., Толбатов А.В., Толбатов С.В. Техніко-економічне обґрунтування побудови систем управління підвищеної надійності. Вісник СумДУ. Серія технічні науки.-2012.-№3.-С.68-71.
4. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Tolbatov S.V. Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmel'nuckyi.-2014.-№3 P.132-135.
5. Толбатов А.В., Щербак Т.Л. Метод захисту цифрової інформації на основі СЗК. Тезиси докладов Второй Международной научной конференции “Современные методы кодирования в электронных системах”. – Суми : Вид-во СумДУ, 2004. – С. 67–68.
6. Толбатов, А.В. Основні принципи організації захисту технологічного обладнання від відмов у системі управління / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, О.А. Добророднов, О.Б. В'юненко // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Серія: “Технічні науки”. – Хмельницький, 2015. – № 3(225). – С. 46–50.
7. Толбатов, А.В. Розробка програмного забезпечення для реалізації моделювання технологічних процесів промислових підприємств / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, О.А. Добророднов, С.В. Толбатов // Інформатика, математика, автоматика (ІМА :: 2016) : матеріали та програма наук.-техн. конф., 18–22 квітня 2016 р. – Суми : СумДУ, 2016. – С. 164.

### References

1. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Metodologichni osnovy' vy'boru kry'teriyu parametry'chnoyi nadijnosti elektry'chny'x sy'stem upravlinnya metalorizal'ny'm obladnanniam. Visny'k SumDU. Seriya texnichni nauky' .-2010.-№1.-S.37-45.
2. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Inzhenerny'j sy'ntez za kry'teriyem nadijnosti elektry'chny'x sy'stem keruvannya metalorizal'ny'm obladnanniam iz zhorstkoyu logikoyu. Visny'k SumDU. Seriya texnichni nauky' .-2011.-№2.-S.48-54.
3. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V., Tolbatov S.V. Texniko-ekonomichne obrgruntuвання pobudovy' sy'stem upravlinnya pidvy'shenoyi nadijnosti. Visny'k SumDU. Seriya texnichni nauky' .-2012.-№3.-S.68-71.
4. Tolbatov V.A., Tolbatov A.V. Tolbatov S.V. Dobrorodnov O.A. Information technology of the work complexity optimization for metalworking machinery with flexible logic operations' dynamics analysis. International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmel'nuckyi.-2014.-№3 P.132-135.
5. Tolbatov A.V., Shherbak T.L. Metod zaxy'stu cy'frovoyi informaciyi na osnovi SZK. Tezisy dokladov 2 Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii “Sovremennye metody kodirovaniya v elektronnyh sistemah”. – Sumy' : Vy'd-vo SumDU, 2004. – S. 67–68.
6. Tolbatov, A.V. Osnovni pry'ncy'py' organizaciyi zaxy'stu texnologichnogo obladnannya vid vidmov u sy'stemi upravlinnya / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, O.A. Dobrorodnov, O.B. V'yunenکو // Visny'k Xmel'ny'cz'kogo nacz. un-tu. Seriya: “Texnichni nauky'”. – Xmel'ny'cz'ky'j, 2015. – № 3(225). – S. 46–50.
7. Tolbatov, A.V. Rozrobka programnogo zabezpechennya dlya realizaciyi modelyuvannya texnologichny'x procesiv promy'slovy'x pidpr'yemstv / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, O.A. Dobrorodnov, S.V. Tolbatov // Informaty'ka, matematy'ka, avtomaty'ka (IMA :: 2016) : materialy' ta programa nauk.-texn. conf., 18–22 kvitnya 2016 r. – Sumy' : SumDU, 2016. – S. 164.

Рецензія/Peer review : 29.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 11.11.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією