

УДК 686.12.056

Б. С. Стеців, Я. Б. Стеців*Українська академія друкарства***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
РЕВЕРСУВАННЯ РОЛИКА В МЕХАНІЗМАХ
ІЗ КІНЕМАТИЧНИМ ЗАМИКАННЯМ**

Розглядається поведінка ролика під час переходу з одного профілю паза на спряжений профіль при зміні діючого навантаження або напрямку переміщення.

Профіль, зазор, швидкість, реверс

Під час роботи циклових механізмів із кінематичним замиканням (ЦМКЗ) вищої пари відбувається реверсування ролика з певної кутової швидкості ω_{p1} на швидкість ω_{p2} і складається з двох фаз — гальмування з ω_{p1} до 0 і розгону у зворотний бік від 0 до ω_{p2} . Кутова швидкість ролика при цьому може змінюватися по-різному і не так, як це показано на графіку (див. рисунок), де $\varepsilon_p = d\omega_p/dt = \text{const}$.

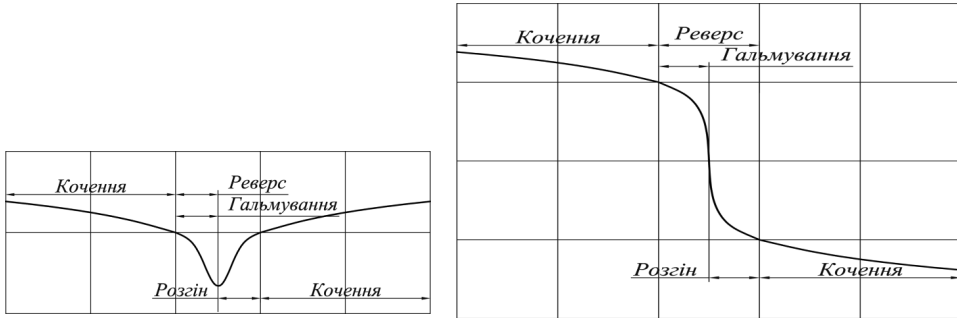
При реверсі частина енергії ролика витрачається на нагрівання та спрацювання поверхонь у зоні проковзування. Зменшення втрат енергії та збільшення довговічності деталей набуває важливого значення і потребує конкретного вирішення.

$$\left\{ \begin{array}{l} J_p \cdot \frac{d\omega_{p1}}{dt} = M_p - M_T \\ I_{к.зв.} \cdot \frac{d\omega_k}{dt} = M_T - M_2 \end{array} \right., \quad (1)$$

де $I_{к.зв.}$ — зведені до кулачкового вала моменти інерції мас; M_p — момент ролика при відриві; M_2 — момент сил опору, приведений до ролика; M_T — момент сил тертя між поверхнями, які проковзують.

Нехай ролик котиться поверхнею внутрішнього профілю (див. рисунок, б) і при відриванні його поверхня має певну лінійну швидкість. Через малість зазору він практично її не втрачає. При контакті із зовнішнім профілем паза, він внаслідок проковзування гальмується до нуля та починає розганятися у протилежному напрямку до моменту рівності швидкостей обох поверхонь. Цю швидкість і тривалість вільного переміщення можна визначити з рівнянь руху ролика та паза.

Для розв'язання системи рівнянь потрібно визначити M_p , M_2 і M_T від t , які можна встановити експериментально, але обмежимося наближеним рішенням.



а) б)
Графіки теоретичної схеми реверсування ролика
при переході з профілю на профіль:

а — у випадку спряженого кулачка або при повторному контакті з тим же профілем; б — у випадку пазового кулачка

Якщо M_2 і M_T незмінні під час гальмування та розгону, то отримаємо:

$$\begin{cases} J_p \cdot (\omega_{\text{сп}} - \omega_{1p}) = \int_0^t M' \cdot dt - M_T \cdot t, \\ I_k \cdot (\omega_{\text{сп}} - \omega_{2p}) = (M_T - M_2) \cdot t \end{cases} \quad (2)$$

де $\omega_{\text{сп}}$ і ω_{2p} — кутові швидкості ролика у момент початку контакту.

Позначивши через M_1 середнє значення моменту M' , що дорівнюватиме:

$$M_1 \cdot t = \int_0^t M' \cdot dt, \text{ тобто } M_1 = \frac{1}{t} \int_0^t M' \cdot dt, \quad (3)$$

то рівняння (3) можна записати в такій формі:

$$J_p \cdot (\omega_{\text{сп}} - \omega_2) = (M_1 - M_T) \cdot t. \quad (4)$$

Сумісний розв'язок рівнянь (3) і (4) дає:

$$\omega_{\text{сп}} = \frac{J_p \cdot \omega_{1n} \cdot (M_T - M_2) - I_{\text{к.зв.}} \cdot \omega_{2n} \cdot (M_1 - M_T)}{J_p \cdot (M_T - M_2) - I_{\text{к.зв.}} \cdot (M_1 - M_T)}, \quad (5)$$

$$t = \frac{J_p \cdot I_{\text{к.зв.}} \cdot (\omega_{1n} - \omega_{2n})}{J_p \cdot (M_m - M_2) - I_{\text{к.зв.}} \cdot (M_1 - M_m)}. \quad (6)$$

Оскільки при вищенаведених припущеннях $M_T - M_2 / J_p = \text{const}$, то із рівняння (4) випливає, що $d\omega_p / dt = \text{const}$ і кутова швидкість ролика змінюється за лінійним законом. Це також стосується швидкості ω_1 , якщо в рівнянні (6) замінити M' на M_1 , оскільки $M_1 - M_T / J_p = \text{const}$ і кут, на якому відбувається відносне ковзання поверхні ролика:

$$\varphi_{\text{ковз.}} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\omega_{1n} - \omega_{2n}}{2} \cdot t, \quad (7)$$

або, якщо підставити сюди значення t , обчисливши його згідно з [2], отримаємо:

$$\varphi_{\text{ковз}} = \frac{J_p \cdot I_{\text{к.зв}} \cdot (\omega_{1n} - \omega_{2n})^2}{2 \cdot [I_{\text{к.зв}} \cdot (M_T - M_2) - J_p \cdot (M_1 - M_T)]}. \quad (8)$$

Робота тертя за час відносного проковзування поверхонь ролика і паза:

$$A_T = M_T \cdot \varphi = M_T \cdot \frac{J_p \cdot I_{\text{к.зв}} \cdot (\omega_{1n} - \omega_{2n})^2}{2 \cdot [J_p \cdot (M_T - M_2) - I_{\text{к.зв}} \cdot (M_1 - M_T)]}. \quad (9)$$

Цю роботу можна зменшити через різницю кутових швидкостей кулачка та ролика, а також за інших умов, якщо: зменшити приведений момент інерції ролика; зменшити момент M_2 сил опору в маточині ролика; збільшити момент від сил тертя в зоні контакту ролика з профілем M_T . Отже, реверсування ролика має відбуватися при мінімальній різниці кутових швидкостей та мінімальному моменті M_2 .

Роботу поверхні, що приводить ролик, визначають так:

$$A_1 = \int_0^t M' \cdot \omega_1 \cdot dt = \int_0^t M_2 \cdot \omega_1 \cdot dt = \int_0^t I_{\text{к.зв}} \cdot \omega_1 \cdot \frac{d\omega_2}{dt} \cdot d = M_2 \cdot \omega_1 \cdot t_i + I_{\text{к.зв}} \cdot \omega_1 \cdot \int_0^t d\omega_2. \quad (10)$$

На початку цього проміжку при $t_i = 0$ швидкість ролика $\omega_2 = \omega_{2n}$; при $t_i = t_k$ кінцева швидкість $\omega_2 = \omega_{2k}$. Отже,

$$A_1 = M_2 \cdot \omega_1 \cdot t_i + J_p \cdot \omega_1 \cdot (\omega_{2k} - \omega_{2n}). \quad (11)$$

Перша складова у правій частині цього рівняння є витрачена робота A_1 на подолання сил опору в підшипнику ролика, а друга — сума робіт, які витрачаються на зміну швидкості ролика ($A_{\text{пришв.}}$) та тертя в зоні контакту A_T за час t . Отже:

$$A_{\text{пришв.}} + A_T = J_p \cdot \omega_1 \cdot (\omega_{2k} - \omega_{2n}). \quad (12)$$

Якщо припустити $M' = M_2 = M_T$, $M_2 = 0$, то отримаємо:

$$A_T = \frac{1}{2} \cdot J_p \cdot \omega_1 \cdot (\omega_{2k} - \omega_{2n})^2, \quad (13)$$

і робота пришвидшення ролика:

$$A_{\text{пришв.}} = J_p \cdot \omega_1 \cdot (\omega_{2k} - \omega_{2n}) - \frac{1}{2} \cdot J_p \cdot (\omega_{2k} - \omega_{2n})^2 = \frac{1}{2} \cdot J_p \cdot (\omega_{2k}^2 - \omega_{2n}^2). \quad (14)$$

Вона має дорівнювати приросту кінетичної енергії ΔE ролика:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{1}{2} \cdot J_p \cdot \omega_{2k}^2 - \frac{1}{2} \cdot J_p \cdot \omega_{2n}^2. \quad (15)$$

Якщо реверс ролика відбувається за наявності достатньої кількості мастила, то сили опору незначні і можна прийняти $M_2 \approx 0$, $A_{\text{ковз}} \approx 0$ та використувати вираз:

$$A_1 = A_{\text{пришв.}} + A_T = \Delta E + A_T, \quad (16)$$

у якому величини A_T і ΔE визначають рівняннями (13) і (16).

Якщо першу фазу реверсу — зміну швидкості ролика від ω_2 до 0 неможливо здійснити гальмом, а починається вона при контакті з іншою поверхнею профілю паза кулачка, тоді:

$$A_1 = J_p \cdot \omega_{p1} \cdot (\omega_{p2} - \omega_{p1}). \quad (17)$$

В окремому випадку, якщо $\omega_{p1} = -\omega_{p2}$, то практично спостерігається тільки в однокоромисловому двокулачковому механізмі [1]:

$$A_1 = 2 \cdot J_p \cdot \omega_{p1}^2. \quad (18)$$

Відповідно приріст кінетичної енергії

$$\Delta E = E_{\text{кінц.}} - E_{\text{поч.}} = \frac{1}{2} \cdot J_p \cdot (\omega_{2к}^2 - \omega_{2н}^2) = -\frac{1}{2} \cdot J_p \cdot \omega_{p1}^2, \quad (19)$$

та її втрата на роботу тертя:

$$A_{\tau}^{(м)} = A_1 - \Delta E = \frac{3}{2} \cdot J_p \cdot \omega_{2н}^2. \quad (20)$$

З порівняння виразів (19) і (20) випливає, що гальмування ролика профілем куліси, мальтійського хреста або кулачка, який має протилежну швидкість, супроводжується втратою енергії, яка в три рази більша, ніж гальмування нерухомою поверхнею. Для зменшення витрат енергії потрібно забезпечити гальмування ролика ще до контакту із зовнішнім профілем і перевагу роликам з підшипниками ковзання.

Проведені дослідження дають можливість визначити втрати на переборення тертя у вищих парах механізмів із кінематичним замиканням при аналізі їх роботи та синтезі.

1. Однокоромисловий двокулачковий механізм приводу форграйфера / Б. С. Стеців // Наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу та аспірантів: тези доп. — Львів: Укр. акад. друкарства. — С. 15. 2. Стеців Б. С. Дослідження явищ у парі кулачок — ролик під час їх геометричного замикання. / Б.С. Стеців // Полігр. і вид. справа. — 1986. — № 21. — С. 54–58.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕВЕРСИРОВАНИЯ РОЛИКА В МЕХАНИЗМАХ С КИНЕМАТИЧЕСКИМ ЗАМЫКАНИЕМ

Рассматривается поведение ролика во время перехода с одного профиля паза на сопряженный профиль при изменении действующей нагрузки или направления перемещения.

RESEARCH OF PROCESS OF REVERSING OF ROLLER IN MECHANISMS WITH KINEMATICS SHORTING

Consider of conduct roller in time transition with one sideview slot on attended sideview at change operating loadings or directions moving.

Стаття надійшла 06.11.2014