

Лабораторна робота №7

Тема роботи: Вплив тривалості захоплення полоси робочих валків на динаміку лінії приводу прокатного стану

Мета роботи: встановлення взаємозв'язку між динамічними навантаженнями в приводі прокатного стану, часом захоплення металу валками і частотними характеристиками лінії приводу.

Теоретичні положення

Тривалість захоплення заготовки робочими валками - це час заповнення осередку деформації металом, яке залежить від швидкості обертання робочих валків при захопленні, величини обтиску, пружності робочої кліті, діаметра робочих валків, геометричних розмірів смуги, початкової швидкості смуги і інших чинників.

Найбільший вплив має швидкість обертання валків, з її збільшенням час зменшується по гіперболічній залежності.

При постійній швидкості обертання робочих валків тривалість захоплення можна визначити за формулою

$$t_{\text{зах}} = k \frac{\alpha_{\text{зах}}}{\omega_{\text{вал}}}, \quad (1)$$

де $\alpha_{\text{зах}}$ - початковий кут захоплення;

$\omega_{\text{вал}}$ - кутова швидкість обертання робочих валків при захопленні;

k - експериментальний коефіцієнт, що враховує стан задається кінця смуги, прослизання валків щодо смуги, випередження і інші фактори..

Іноді захоплення смуги здійснюється в період розгону приводу лабораторного стану. При рівноприскореному обертанні валків

$$t_{\text{зах}} = k \sqrt{\frac{\omega_{\text{вал.нач}}^2}{\varepsilon^2} + \frac{2\alpha_{\text{зах}}}{\varepsilon} - \frac{\omega_{\text{вал.нач}}}{\varepsilon}}, \quad (2)$$

де $\omega_{\text{вал.нач}}$ - початкова кутова швидкість робочих валків при захопленні;

ε - кутове прискорення робочих валків.

Оскільки коефіцієнт k не піддається точному аналітичному визначенню, при розрахунках динамічних навантажень слід виходити з найбільш несприятливого випадку навантаження, коли $k=1$, тобто відсутня прослизання валків щодо смуги і площину переднього торця перпендикулярна поздовжньої осі смуги і осі прокатки.

Для оцінки впливу тривалості захоплення $t_{\text{зах}}$ на динамічні навантаження в лінії приводу лабораторного стану використовується параметр навантаження

$$\beta = \frac{t_{\text{зах}}}{T_1}, \quad (3)$$

де T_1 - період, відповідний нижчої власної частоти (першої гармоніці) лінії приводу.

Розглянемо як приклад одномасову розрахункову схему (рис. 1).

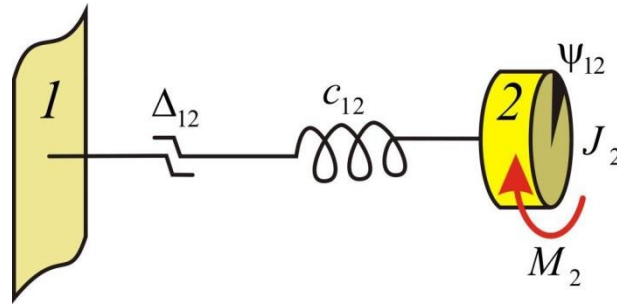


Рисунок 1 - Одномасова розрахункова схема:

1 - закладення; 2 - масивний диск

Рівняння, яке описує крутильні коливання цієї одно частотною пружно масовою системою має такий вигляд:

$$J_2 \frac{d^2 \Psi_{12}}{dt^2} - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = -M_2 \quad (4)$$

або

$$\frac{d^2 \Psi_{12}}{dt^2} = \frac{M_2}{J_2} - \frac{c_{12}}{J_2} \Psi_{12} \quad (5)$$

Рішення рівняння (5) на етапі захоплення заготовки $t < t_{\text{зах}}$, коли $M_2(t) = M_2 \cdot t/t_{\text{зах}}$, має вигляд

$$\Psi_{12} = \frac{M_2}{c_{12}} \left[\frac{t}{t_{\text{зах}}} - \frac{\sin k_{12} t}{k_{12} t_{\text{зах}}} \right], \quad (6)$$

де $k_{12} = \sqrt{c_{12}/J_2} = 2\pi/T_1$ - частота власних коливань лінії приводу.

На наступному етапі при відліку часу від початку встановленого процесу $t \geq t_{\text{зах}}$ рішення рівняння (5) має вигляд

$$\Psi_{12} = \frac{M_2}{c_{12}} \left[1 + \frac{\sin \pi \beta}{\pi \beta} \sin(k_{12} t - \gamma) \right], \quad (7)$$

де

$$\gamma = \arctg \left(\frac{\sin 2 \pi \beta}{1 - \cos 2 \pi \beta} \right). \quad (8)$$

Помноживши (6) і (7) на c_{12} , отримаємо вирази для моменту сил пружності M_{12} . Максимальне значення цього моменту, віднесене до M_2 , дає шукану зв'язок між коефіцієнтом динамічності η і параметром навантаження β

$$\eta = 1 + \frac{\sin \pi \beta}{\pi \beta}. \quad (9)$$

Найбільше значення $\eta = 2$ досягається при миттєвому захопленні, коли $\beta = 0$, оскільки

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{\sin \pi \beta}{\pi \beta} = 1. \quad (10)$$

При збільшенні β динамічна добавка $\frac{\sin \pi \beta}{\pi \beta}$ зменшується, і вже при $\beta > 5$ з нею можна практично не рахуватися. Процес захоплення в таких умовах називають статичним на відміну від динамічного захоплення з різко вираженими крутильними коливаннями лінії приводу.

Нехай рівняння руху 3-масової розгалуженої системи мають вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d^2(\varphi_1 - \varphi_2)}{dt^2} = \frac{M_1 - M_{12} - M_{13}}{J_1} - \frac{M_{12} - M_2}{J_2} \\ \frac{d^2(\varphi_1 - \varphi_3)}{dt^2} = \frac{M_1 - M_{12} - M_{13}}{J_1} - \frac{M_{13} - M_3}{J_3} \end{cases} \quad (11)$$

Якщо крутильна система - високочастотна, електродвигун слабо реагує на механічні коливання в лінії приводу, оскільки момент інерції ротора на порядок більше моментів інерції інших обертових мас. Тому при математичному моделюванні виходять з того, що ротор обертається рівномірно ($d\varphi_1/dt = \text{Const}$), і визначення функції M_1 не потрібно.

Найпростіший математичний опис моментів прокатки на верхньому M_2 і нижньому M_3 робочих валках не враховує час захоплення заготовки робочими валками:

$$\begin{aligned} M_2(t) &= M_2 = \text{Const}; \\ M_3(t) &= M_3 = \text{Const}, \end{aligned} \quad (12)$$

де M_2 , M_3 - усталені значення моментів прокатки, знайдені по осцилограмам навантаження верхнього і нижнього шпинделів крутним моментом.

Найбільш часто моменти прокатки описуються як кусочно-лінійні функції часу (рис. 2, а)

$$M_2(t) = \begin{cases} M_2 \frac{t}{t_{\text{зах}}}, & \text{при } t < t_{\text{зах}} \\ M_2, & \text{при } t \geq t_{\text{зах}} \end{cases} \quad (13)$$

$$M_3(t) = \begin{cases} M_3 \frac{t}{t_{\text{зах}}}, & \text{при } t < t_{\text{зах}} \\ M_3, & \text{при } t \geq t_{\text{зах}} \end{cases}$$

де $t_{\text{зах}}$ - час захоплення заготовки робочими валками.

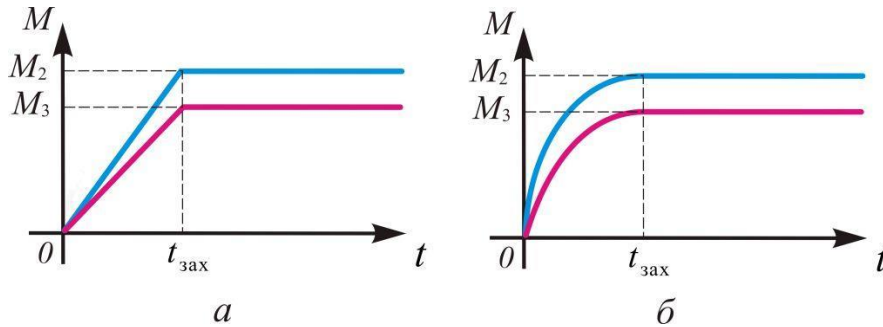


Рисунок 2 - Функції зовнішніх моментів прокатки:
а - кусочно-лінійна; б - експоненціально-лінійна

Більш точно зовнішні моменти прокатки з боку верхнього і нижнього робочого валків задаються як експоненціально-лінійні функції часу (рис. 2, б):

$$M_2(t) = \begin{cases} M_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right), & \text{при } t < t_{\text{зах}} \\ M_2, & \text{при } t \geq t_{\text{зах}} \end{cases} \quad (14)$$

$$M_3(t) = \begin{cases} M_3 \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right), & \text{при } t < t_{\text{зах}} \\ M_3, & \text{при } t \geq t_{\text{зах}} \end{cases}$$

де $A = (0,4 \dots 0,5) t_{\text{зах}}$ - показник експоненти наростання моментів прокатки.

Одна з причин виникнення асиметрії моментів $M_2 \neq M_3$ - заготовка, що прокочується і володіє власною масою, кривизною, поздовжньою і поперечною різнотовщиною.

Асиметрія моментів $M_2 \neq M_3$ викликається також конструктивними особливостями прокатного стану, наприклад, різними кутами нахилу верхнього і нижнього шпинделів.

Після підстановки виразів внутрішніх моментів сил пружності і зовнішніх моментів прокатки в (11), отримуємо математичну модель для дослідження впливу тривалості захоплення смуги робочими валками на динаміку лінії приводу прокатного стану:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2\psi_{12}}{dt^2} = \frac{M_1 - \left(c_{12}\psi_{12} + \beta_{12} \frac{d\psi_{12}}{dt} \right) - \left(c_{13}\psi_{13} + \beta_{13} \frac{d\psi_{13}}{dt} \right)}{J_1} - \\ \frac{\left(c_{12}\psi_{12} + \beta_{12} \frac{d\psi_{12}}{dt} \right) - \begin{cases} M_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right), & \text{при } t < t_{\text{зах}} \\ M_2, & \text{при } t \geq t_{\text{зах}} \end{cases}}{J_2} \\ \frac{d^2\psi_{13}}{dt^2} = \frac{M_1 - \left(c_{12}\psi_{12} + \beta_{12} \frac{d\psi_{12}}{dt} \right) - \left(c_{13}\psi_{13} + \beta_{13} \frac{d\psi_{13}}{dt} \right)}{J_1} - \\ \frac{\left(c_{13}\psi_{13} + \beta_{13} \frac{d\psi_{13}}{dt} \right) - \begin{cases} M_3 \left(1 - e^{-\frac{t}{A}} \right), & \text{при } t < t_{\text{зах}} \\ M_3, & \text{при } t \geq t_{\text{зах}} \end{cases}}{J_3} \end{array} \right. \quad (15)$$

де ψ_{12} , ψ_{13} - кути закручування валопроводів на ділянках 1-2 і 1-3 відповідно.

Лабораторне обладнання

Лабораторний стан ХПЛ-160.

Порядок виконання роботи

- 1 Прокатати заготовку на лабораторному стані, отримати осцилограми навантаження верхнього і нижнього шпинделів, за якими визначити орієнтовний час захоплення заготовки робочими валками $t_{\text{зах}}$ і встановилися значення моментів прокатки $M_{2\text{уст}}$ і $M_{3\text{уст}}$ на верхньому і нижньому робочих валках.
- 2 Ввести вихідні дані в комп'ютерну MathCAD-програму і отримати теоретичні графіки моментів сил пружності $M_{12}(t)$ і $M_{13}(t)$ при $t_{\text{зах}} = 0$.
- 3 Визначити кут захоплення заготовки робочими валками і, знаючи кутову швидкість обертання робочих валків $\omega_{\text{вал}}$, обчислити час захоплення за формулою $t_{\text{зах}} = \frac{\alpha_{\text{зах}}}{\omega_{\text{вал}}}$.
- 4 Варіюючи параметр тривалості захоплення $t_{\text{зах}}$ оцінити його вплив на коефіцієнт динамічності η , досліджуючи крутильні коливання в лінії приводу лабораторного стану.

Зміст звіту

- 1 Найменування і мета роботи.
- 2 Короткі теоретичні відомості.
- 3 осцилограми навантаження верхнього і нижнього шпинделів.
- 4 Результати розрахунків.
- 5 Графіки моментів сил пружності $M_{12}(t)$ і $M_{13}(t)$ при $t_{\text{зах}} = 0$.

Контрольні питання

- 1 Що характеризує тривалість захоплення заготовки робочими валками?
- 2 Для чого використовується параметр навантаження?
- 3 Який параметр використовується для оцінки впливу тривалості захоплення на динамічні навантаження в лінії приводу лабораторного стану?
- 4 Якими функціями найбільш часто описуються моменти прокатки?
- 5 Які причини виникнення асиметрії моментів на верхньому M_2 і нижньому M_3 робочих валках?