

УДК 677.055.621.3.015.3

ДО РОЗРАХУНКУ ЦИКЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ ГОЛОК ПАНЧІШНО-ШКАРПЕТОЧНИХ АВТОМАТІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЇХ НАДІЙНОСТІ ЗА КРИТЕРІЄМ ВТОМЛЕНІСНОЇ МІЦНОСТІ

Л.М. БЕРЕЗІН

Київський національний університет технологій та дизайну

Досліджено умови можливого відриву п'ятки голки від робочої поверхні нахилого клина, отримано залежність для визначення швидкості відскоку голки та виконано аналіз впливу інерційних, пружних та силових характеристик системи клин-голка-паз циліндру на параметри післяударного руху голки.

В роботі [1] запропоновано основні положення визначення довговічності(надійності) по критерію втомленісної міцності стержньових елементів (голок, селекторів, штовхачів тощо) голкового циліндру панчішно-шкарпеточних автоматів (ПША) як обладнання з найбільш складним спектром навантаження. Визначальною ланкою представленої методології є питання визначення навантаженості стержньових елементів з урахуванням величини та кількості циклів навантаження при їх взаємодії з клинами різної конструкції на швидкісних режимах технологічного процесу. При обчисленні циклів навантаження від взаємодії п'ятки стержньових елементів з робочими нахиленими поверхнями клинів для операцій закінчення та кулірування приймалось припущення їх одноразової взаємодії. В статті на прикладі в'язальних голок представлено результати аналітичного дослідження та експериментальної перевірки умов відскоку їх п'яток від клинів з нахилою робочою поверхнею.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано голки в'язального механізму ПША та розрахунки циклів їх навантаження при взаємодії з робочими нахиленими поверхнями клинів для подальшого визначення довговічності за критерієм втомленісної міцності. Використовували положення динамічного дослідження з урахуванням пружно-інерційних характеристик тіл взаємодії та дисипації їх енергії при коливаннях.

Постановка завдання

Стаття спрямована на підвищення точності ймовірнісних розрахунків довговічності за критерієм втомленісної міцності в'язальних голок ПША. Питання ударної взаємодії п'яток голок при їх горизонтальному переносному русі разом з циліндром з нахиленими робочими поверхнями клинів досліджувались в межах припущення неперервного контакту між ними. Експериментально встановлено, що в перехідний період на ділянці початкової ударної взаємодії голки з клином можливий розрив їх кінематичної пари, що впливає на число циклів навантаження голки та, як наслідок, на характеристики її навантаженості та довговічності.

Результати та їх обговорення

Досліджуємо умови силового замикання пари голка-клин та їх вплив на параметри руху п'ятки голки після удару. Використовуємо основні положення дослідження ударної взаємодії голки з нахиленим клином круглов'язальних машин[2]. В роботі додатково враховували сили характерного для ПША підгіну стержня голки та дисипацію енергії при коливаннях.

Диференційне рівняння руху голки

$$m_{np}\ddot{y} + b\dot{y} + K_C(y - V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot t)C_{np} + P_C = 0 \quad (1)$$

приводимо до нормального виду, ввівши позначення $\omega^2 = \frac{K_C C_{np}}{m}$ та $2h = \frac{b}{m}$:

$$\ddot{y} + 2h\dot{y} + \omega^2 y = (K_C C_{np} V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot t - P_C) / m_{np}, \quad (2)$$

де m_{np}, C_{np} - приведені маса та жорсткість голки при боковій взаємодії її п'ятки з нахиленою поверхнею клина (надалі в розрахунках m_{np} доцільно прирівнювати до маси голки m , а c_{np} обчислювати за осцилограмою вільних затухаючих коливань при умові відповідного відтворення частотних характеристик ударного процесу); b - коефіцієнт демпфірування; K_C - коефіцієнт для урахування впливу підгину стержня голки на його деформацію в момент удару; V_x - колова швидкість п'ятки голки на поверхні циліндра з діаметром D при обертанні з частотою n ($V_x = V_y = \frac{\pi n D}{60}$); α - кут нахилу профілю робочої ділянки клину; P_C - сила опору руху голки в пазу, яка створюється штучно для унеможливлення довільного опускання голки в пазу циліндра (силою опору нитки пров'язуванню у випадку дії кулірного клина та тертям старої петлі при переміщенні її вздовж голки нехтуємо); $h = \delta / T$ - коефіцієнт демпфірування; δ - логарифмічний декремент коливань (визначається за формулою $\delta = \ln(P_i / P_{i+1})$ по суміжним амплітудам P_i та P_{i+1} на осцилограмі затухаючих коливань ударного процесу); $T = 2\pi / \omega$ - період затухаючих коливань голки при частоті вимушених коливань ω ; $\omega_d = \sqrt{\omega^2 - h^2} = \sqrt{\omega^2 - \omega^2 \delta^2 / 4\pi^2} = \sqrt{(1 - \delta^2 / 4\pi^2) K_C C_{np} / m}$ - частота власних коливань з урахуванням демпфірування.

Однорідне рівняння (2) має загальний та окремий розв'язки відповідно:

$$y_{заг} = e^{-ht} (A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t) \quad \text{та} \quad y_{окр} = V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot t - (P_C + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m) / K_C C_{np}.$$

Сталі інтегрування A_1 та A_2 визначаємо за початковими умовами: при $t = 0$ $y_1 - y = P_C / K_C C_{np}$, де y та $y_1 = V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot t$ - координати веденої (голка) та ведучої (робоча нахилена поверхня клина) ланок.

Розв'язком рівняння (2) є:

$$y = e^{-ht} (-V_x \operatorname{tg} \alpha / \omega_d) \sin \omega_d t + V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot t - (P_C + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m) / K_C C_{np} \quad (3)$$

Тоді навантаження на п'ятку голки

$$P = C_{np}(y_1 - y) = C_{np} e^{-ht} (V_x \operatorname{tg} \alpha / \omega_d) \sin \omega_d t + (P_C + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m) / K_C \quad \text{або} \\ P = e^{-ht} V_x \operatorname{tg} \alpha \sqrt{m \cdot C_{np} / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} K_C \sin \omega_d t + (P_C + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m) / K_C. \quad (4)$$

В результаті порівняння навантажень встановлено відповідність розрахункових значень експериментальним в межах певного інтервалу.

За рівнянням (4) при $\sin \omega_d t_{max} = 1$ маємо максимальне ударне навантаження, яке виникає при взаємодії п'ятки голки з клином:

$$P_{max} = e^{-ht_{max}} V_x \operatorname{tg} \alpha \sqrt{m \cdot C_{np} / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} K_C + (P_C + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m) / K_C, \quad (5)$$

де $t_{max} = \pi / 2 \sqrt{(K_C C_{np} / m)(1 - \delta^2 / 4\pi^2)} = 2,878 \cdot 10^{-4}$ с, що значно перевищує час проходження повздовжньою хвилею тіла голки в прямому та зворотному напрямках і підтверджує правомочність застосування при дослідженні теорії контактної деформації.

В момент зустрічі п'ятки голки з клином повинна виникати миттєва зміна напрямку руху голки з силою інерції за величиною наближеною до нескінченості, що призводило б до розмикання елементів вищої пари і додаткових співударів п'ятки голки з клином. Однак реально жорсткого удару не відбувається через амортизаційний ефект пружності ланок, але дотик цих елементів на ділянці ударної взаємодії може бути порушений.

Розрив кінематичної пари голка-клин при їх ударі визначаємо за умовою аналогічною для кулачкового механізму:

$$V_x \operatorname{tg} \alpha \sqrt{m \cdot C_{np} \cdot K_C / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} \geq P_C + 2hV_x \operatorname{tg} \alpha \cdot m \quad \text{при } |\sin \omega_d t| \leq 1.$$

Звідси колова швидкість голкового циліндру при якій можливий розрив пари п'ятка голки-клин

$$V_x \geq P_C / \operatorname{tg} \alpha (\sqrt{m \cdot C_{np} \cdot K_C / (1 - \delta^2 / 4\pi^2)} - 2h \cdot m). \quad (6)$$

Використовуємо для розрахунку вихідні дані для ПША середнього класу: маси голок позицій 0-1305, 0-1306 та 0-1308 в межах $(0,592 \dots 0,623) 10^{-3}$ кг, приймаємо $m = 0,6 \cdot 10^{-3}$ кг; кут клина клірування $\alpha = 47^\circ 30'$; $P_C = 4,8$ Н; $h = \delta \cdot \omega_d / 2\pi = 565,1$ с⁻¹ при $\delta = 0,43$; $c_{np} = 5,31 \cdot 10^4$ Н/м (логарифмічний декремент коливань та приведену жорсткість визначали за даними експерименту); $K_C = 0,352$ – визначали за [2] по параметрам

для ПША. Після підстановки для ПША з діаметром голкового циліндру $D = 3 \frac{3}{4}$ '' за формулою (6)

отримаємо $V_x \geq 1,64$ м/с або $n = 328,5$ об/хв., тобто величина швидкості, яка реальна в перспективних моделях ПША.

Правомірність застосування залежності (6) перевіряли експериментально. Розрив кінематичної пари голка - клин в зоні їх початкової взаємодії фіксувався осцилографом типу С8-9А за допомогою контактного датчика. Під час контакту голки з клином електрична ланцюг замикалась і на вході осцилографа миттєво зростав рівень напруги, при відриві п'ятки від клина ланцюг розмикався, що супроводжувалось нульовим рівнем напруги. Для забезпечення на установці розриву пари голка - клин при швидкостях діючих ПША величину P_C зменшували з реальних 4,8Н до 3,0Н.

Аналіз осцилограм неусталеного руху голки по клину показав, що при швидкості голкового циліндру $V_x = 0,9$ м/с відрив голки від поверхні клину відсутній, на швидкості $V_x = 1,1$ - зафіксований. В заданих умовах за формулою (6) отримали мінімальне значення швидкості, при якій забезпечується розрив кінематичної пари $V_x^{розр} \approx 1,026$ м/с, що добре узгоджується з експериментальними даними.

Визначаємо вертикальну складову швидкості відскоку голки $V_y \equiv V_{відс}$ в момент удару її по нахиленому клину при наявності розриву кінематичної пари.

Диференціюючи рівняння руху голки (3), отримаємо рівняння вертикальної складової швидкості п'ятки голки при відскоку:

$$\dot{y} = V_x \operatorname{tg} \alpha (1 + e^{-ht} (\frac{h}{\omega_d} \sin \omega_d t - \cos \omega_d t)) \quad (7)$$

Відскок можливий в момент, коли $P=0$, тоді з виразу (4) маємо:

$$\sin \omega_d t = -\frac{P_C + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha}{K_C \cdot e^{-ht} V_x \operatorname{tg} \alpha \sqrt{m \cdot C_{np}} / (1 - \delta^2 / 4\pi^2) K_C} \quad \text{або} \quad \sin \omega_d t = -\frac{(P_C + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha) \omega_d}{e^{-ht} V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot C_{np} \cdot K_C}, \quad (8)$$

враховуючи, що $\sqrt{m \cdot C_{np}} / (1 - \delta^2 / 4\pi^2) K_C = C_{np} / \omega_d$, та

$$\cos \omega_d t = \sqrt{1 - \sin^2 \omega_d t} = \sqrt{1 - \left(\frac{(P_C + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha) \omega_d}{e^{-ht} V_x \operatorname{tg} \alpha \cdot C_{np} \cdot K_C} \right)^2}. \quad (9)$$

Приймаємо позначення швидкостей голки вздовж голкового пазу циліндра при відскоку $\dot{y} = V_{відс}$ та при усталеному русі по клину $V_x \operatorname{tg} \alpha = V_{ycm}$. Після підстановки (8) і (9) в (7), та враховуючи зміст кореня в рівнянні (9), при якому забезпечується умова $\dot{y} > V_x \operatorname{tg} \alpha$, остаточно отримаємо вираз для визначення швидкості відскоку голки від нахиленого клина:

$$V_{відс} = V_{ycm} (1 + e^{-ht} \left[\sqrt{1 - \left(\frac{(P_C + 2mhV_{ycm}) \omega_d}{e^{-ht} V_{ycm} \cdot C_{np} \cdot K_C} \right)^2} \right]) - \frac{h}{K_C \cdot C_{np}} (P_C + 2hV_{ycm} \cdot m). \quad (10)$$

Аналізуючи формулу (10) справедливий наступні висновки: швидкість відскоку збільшується з підвищенням лінійної швидкості обертання голкового циліндра V_x , кута нахилу клину α , приведені жорсткості системи голка-клин-паз C_{np} та особливо при зменшенні сили корисного опору P_C . При умовних $P_C + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha \rightarrow 0$ маємо $V_{відс} \rightarrow V_{ycm} (1 + e^{-ht})$, а при зростанні $P_C + 2mhV_x \operatorname{tg} \alpha$ відповідно $V_{відс} \rightarrow V_{ycm}$, тобто $V_{ycm} \leq V_{відс} \leq V_{ycm} (1 + e^{-ht})$.

Висновки

Отримано залежності для силового та кінематичного аналізу руху голки в момент ударної взаємодії її з нахиленим клином. Встановлено, що в розрахунках навантаженості голок, які експлуатуються при колових швидкостях голкового циліндру до $V_x = 1,64$ м/с ($n = 328,5$ об/хв.) допустимо нехтувати впливом повторних ударів голки з робочою нахиленою поверхнею клинів.

Досліджено умови можливого відриву п'ятки голки від робочої нахиленої поверхні клина та проаналізовано вплив інерційних, пружних та силових характеристик системи на швидкість руху голки після удару. Встановлено, що $V_{відс} \geq V_{ycm}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Березін Л.М., Барилко С.В. До розрахунку довговічності селекторів панчішно-шкарпеточних автоматів по критерію втомленісної міцності // Вісник КНУТД, 2007, №5(37), с. 32–35.
2. Пипа Б.Ф., Волощенко В.П., Шипуков С.Т., Орлов В.А. Повышение надежности трикотажного оборудования. – К.: Техніка, 1983. – 111 с.

Надійшла 13.09.2010