

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

На основі фізичної та математичної моделі температурних деформацій розроблено інженерну методику розрахунку деформаційно-силових характеристик та конструктивних параметрів приводів з силовими елементами з матеріалів з ефектом пам'яті форми.

The method of calculation of deformation-force characteristics and constructive parameters of drives with power elements made from memory metals have been created on the basis of above-mentioned models.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

Пріоритетним напрямком розвитку технологічної науки є розробка сучасних технологій та засобів технологічного оснащення (ЗТО) на основі нових фізичних принципів, які відповідають жорстким вимогам щодо ресурсо- та енерго-збереження, надійності та екологічної безпеки.

Нині в різних засобах автоматизації застосовують пневматичні, електрогідравлічні та електричні приводи. Ці приводи мають свої галузі застосування згідно з їх функціональними можливостями та необхідними умовами технологічних процесів.

Перспективним напрямом є створення приводів з використанням матеріалів з ефектом пам'яті форми (ЕПФ). Маючи ряд позитивних властивостей (високі циклічна стійкість (більш ніж 10^7 циклів) і питома потужність (до 16000 Вт/кг), екологічна безпека), приводи з силовими елементами з матеріалів з ЕПФ здатні розвивати великі реактивні напруження σ_p ($\epsilon = 7-8\%$) = 500-600 МПа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значний вклад у вивчення матеріалів, що мають ЕПФ, внесли Г.В. Курдюмов, Л.Г. Хандрос, В.О. Лихачов, Д.Б. Чернов, Р.Дж. Василевський та інші.

Більш повному використанню матеріалів з ЕПФ у різноманітних ЗТО перешкоджала до останнього часу відсутність науково обґрунтованої й апробованої методики, яка б давала змогу на стадії проектування прогнозувати деформаційно-силові характеристики і конструктивні параметри приводів багаторазової дії з робочими елементами з матеріалів з ЕПФ.

На сьогодні для розрахунку деформаційно-силових характеристик матеріалів з ЕПФ створено ряд моделей і методів [1; 2; 3; 4; 5], але їх реалізація пов'язана з труднощами одержання попередньої інформації, виявлення постійних, що входять до визначальних рівнянь. Крім того, більша частина методик розрахунку виконавчих деталей зі сплавів з ЕПФ не підтверджена експериментальними дослідженнями.

З метою усунення цієї проблеми були розроблені фізична та математична моделі температурних деформацій силових елементів з матеріалів з ЕПФ та проведено їх дослідження [6; 7].

Постановка завдання

Метою роботи є розробка на основі

математичної моделі інженерної методики для визначення деформаційно-силових і конструктивних характеристик приводів з робочими елементами, що мають ЕПФ, розробка схеми, проведення конструкторської проробки і практичної реалізації відрізного напівавтомата з приводом з матеріалу з ЕПФ.

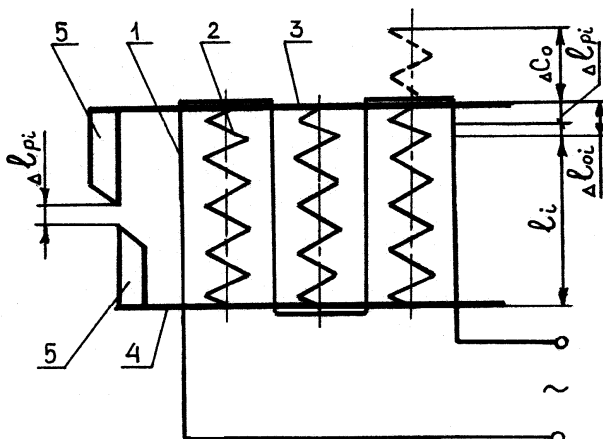
Виклад основного матеріалу дослідження

При виборі схеми силового елемента мають

$$\left. \begin{aligned} (1)' & [I^2 \rho_{\text{ел}} \ell_i / F_i - \alpha_{\text{срi}}^{\text{нагр}} f_i (t_1^{\text{ср}} - t_{\text{нав}})] \Delta \tau_{\text{нагр}} = c_M M (t_1 - t_0); \\ (2)' & [\alpha_{\text{срi}}^{\text{охл}} f_i (t_1^{\text{ср}} - t_{\text{нав}})] \Delta \tau_{\text{охл}} = c_M M (t_1 - t_0); \\ (3)' & E_0 F_i \Delta \ell_{0i} / \ell_i = A \Delta C_0 \kappa; \\ (4)' & E_1 F_i (\Delta \ell_{0i} - \Delta \ell_{pi}) / \ell_i + N_{\text{різ}} / i = A (\Delta C_0 + \Delta \ell_{pi}) \kappa; \\ (5)' & \sigma_0 \geq [\sigma_0]; \\ (6)' & \sigma_1 \leq [\sigma_1]; \\ (7)' & N_{\text{різ}} \geq [\tau_d] S_d, \end{aligned} \right\} (1.1)$$

де I – сила струму; $\rho_{\text{ел}}$ – питомий електричний опір матеріалу з ЕПФ; ℓ – довжина силового елемента; F – площа поперечного перерізу провідника (силового елемента з ЕПФ), $F = \pi d^2/4$; d – діаметр силового елемента; $\alpha_{\text{ср}}$ – середнє значення конвективної тепловіддачі у процесі нагріву чи охолодження; $f = \pi d \ell$ – охолоджувана бокова поверхня провідника; t_0 , t_1 – початкова і кінцева температури силового елемента; $\Delta \tau$ – час нагріву (охолодження) провідника; c_M – теплоємність матеріалу з ЕПФ; M –

маса силового елемента, що нагрівається, $M = \rho(\pi d^2/4)\ell$; ρ – густина матеріалу з ЕПФ; $t_{\text{нав}}$ – температура навколишнього середовища; A – коефіцієнт пропорційності лінійного елемента; ΔC – переміщення зворотної пружини; $\Delta \ell$ – переміщення силового елемента; E_0 , E_1 – модулі пружності матеріалу з ЕПФ в мартенситному та аустенітному стані; σ_0 , σ_1 – напруги, що виникають в силовому елементі в мартенситному та аустенітному стані; $[\sigma_0]$ – межа пружності в мартенситному стані; $[\sigma_1]$ – межа міцності в аустенітному стані; $N_{\text{різ}}$ – зусилля різання;



Термомеханічна схема відрізного напівавтомата:

1 – елемент з матеріалу з ЕПФ; 2 – зворотна пружина; 3, 4 – рухома і нерухома траверси; 5 – ножи

Беручи до уваги

$$A \Delta C_{0к} = F_i [\sigma_0]; \quad (1.2)$$

$$A (\Delta C_0 + \Delta \ell_{pi}) = F_i \sigma_i; \quad (1.3)$$

$$\Delta \ell_{0i} = A \Delta C_{0к} \ell_i / E_0 F_i = F_i [\sigma_0] \ell_i / E_0 F_i = [\sigma_0] \ell_i / E_0. \quad (1.4)$$

Рівняння (4)' системи (1.1) може бути переписане в такому вигляді:

$$E_1 F_i ([\sigma_0] \ell_i / E_0 - \Delta \ell_{pi}) / \ell_i + [\tau_d] S_d / i = F_i \sigma_1. \quad (1.5)$$

Перетворимо це рівняння, помноживши перший член на ℓ_i / ℓ_i і поділивши праву і ліву частини на F_i :

$$[(E_1 F_i ([\sigma_0] \ell_i / E_0 - \Delta \ell_{pi}) \cdot 1 / \ell_i) / (\ell_i \cdot 1 / \ell_i)] \cdot 1 / F_i = [F_i \sigma_1] \cdot 1 / F_i \quad (1.6)$$

$$E_1 ([\sigma_0] / E_0 - \bar{\Delta} \ell_{pi}) + [\tau_d] S_d / F_i i = \sigma_1, \quad (1.7)$$

де $\bar{\Delta} \ell_{pi} = \Delta \ell_{pi} / \ell_i$.

Враховуючи, що

$$M_i = \rho (\pi d_i^2 / 4) \ell_i; \quad (1.8)$$

$$F_i = \pi d_i^2 / 4; \quad (1.9)$$

$$f_i = \pi d_i \ell_i; \quad (1.10)$$

рівняння (1) і (2) системи (1.1) перепишемо у такому вигляді:

$$4 I^2 \rho_{ел} \ell_i / \pi d_i^2 - \alpha_{срi}^{нагр} \pi d_i \ell_i (t_1^{cp} - t_{нав}) = (c_M \rho \pi d_i^2 \ell_i / 4 \Delta \tau_{нагр}) (t_1 - t_0); \quad (1.11)$$

$$\alpha_{срi}^{охл} \pi d_i \ell_i (t_1^{cp} - t_{нав}) = (c_M \rho \pi d_i^2 \ell_i / 4 \Delta \tau_{охл}) (t_1 - t_0) \quad (1.12)$$

Перетворимо рівняння (1.11) і (1.12), помноживши ліву і праву частини на $4 / \pi d_i^2 \ell_i$:

$$16 I^2 \rho_{ел} / \pi^2 d_i^4 - 4 \alpha_{срi}^{нагр} / d_i (t_1^{cp} - t_{нав}) = (c_M \rho / \Delta \tau_{нагр}) (t_1 - t_0); \quad (1.13)$$

$$4 \alpha_{срi}^{охл} / d_i (t_1^{cp} - t_{нав}) = (c_M \rho / \Delta \tau_{охл}) (t_1 - t_0) \quad (1.14)$$

Маємо замість системи (1.1) таку систему:

$$\left. \begin{aligned} 16 I^2 \rho_{ел} / \pi^2 d_i^4 - 4 \alpha_{срi}^{нагр} / d_i (t_1^{cp} - t_{нав}) &= (c_M \rho / \Delta \tau_{нагр}) (t_1 - t_0); \\ 4 \alpha_{срi}^{охл} / d_i (t_1^{cp} - t_{нав}) &= (c_M \rho / \Delta \tau_{охл}) (t_1 - t_0); \\ E_1 ([\sigma_0] / E_0 - \bar{\Delta} \ell_{pi}) + 4 [\tau_d] S_d / i \pi d_i^2 &= \sigma_1; \\ \sigma_1 &\leq [\sigma_1]. \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

Беручи до уваги, що $\alpha_{срi}^{нагр} \approx \alpha_{срi}^{охл} \approx \alpha_{срi}$, розглянемо перше і друге рівняння системи (1.15) у спрощеному вигляді, позначивши:

$$a = 16 I^2 \rho_{ел} / \pi^2 d_i^4;$$

$$b = 4 \alpha_{срi} / d_i (t_1^{ср} - t_{нав});$$

$$c = c_M \rho (t_1 - t_0).$$

Рівняння набудуть такого вигляду:

$$a - b = c / \Delta \tau_{нагр}; \quad (1.16)$$

$$b = c / \Delta \tau_{охл} \quad (1.17)$$

Звідки

$$\Delta \tau_{нагр} = c / (a - b); \quad (1.18)$$

$$\Delta \tau_{охл} = c / b \quad (1.19)$$

Отже,

$$\Delta \tau_{охл} > \Delta \tau_{нагр}.$$

Технологічний цикл різання залежатиме, переважно, від інтервалу охолодження лінійного елемента з матеріалу з ЕПФ. Тому діаметр елемента визначається інтервалом охолодження $\Delta \tau_{охл}$,

відносним подовженням $\Delta \ell_{pi}$, площею поперечного перерізу деталі S_d і постійними, що характеризують матеріал з ЕПФ, включаючи $[\sigma_0]$, $[\sigma_1]$, E_0 , E_1 :

$$d_i = f(\Delta \tau_{охл}; \Delta \ell_{pi}; S_d; \text{const}).$$

Опис конструкції та принцип дії відрізного напівавтомата з робочими елементами з матеріалу з ЕПФ наведено в [8].

Висновки

1. На базі математичної моделі розроблено інженерну методику, яка дає можливість на стадії проектування визначити деформаційно-силові характеристики і конструктивні параметри приводів з силовими елементами з матеріалів з ЕПФ.
2. Комплексне вирішення завдання створення приводів нового типу (математична модель, інженерна методика розрахунку, практична реалізація) відкриває нові можливості в проектуванні і застосуванні автоматизованих технологічних систем та підвищення їх екологічної безпеки.

Література

1. Бондарев Е.Н. Феноменологическая модель деформирования материалов с механической памятью формы: Дисс. ... канд. техн. наук. – Куйбышев: Куйбышевский университет, 1980. – 118 с.
2. Калачев И.Б. Работоспособность сплавов для силочувствительных элементов приборов и автоматических систем: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 1990.
3. Проектирование маргенситных двигателей: Отчет о НИР. – Л.: ЛКИ, 1987. – 32 с.
4. Розов А.И. Механика материалов с маргенситными превращениями: эксперимент и расчет. – Л., 1984. – 20 с. – Деп. в ВИНТИ 31.05.84, №3556-84.
5. Танака К. Феноменологическое описание термомеханического поведения сплавов с памятью формы // Современное машиностроение. – 1990. – №11. – С. 44-51.
6. Козленко А.А., Албантов А.К. Приближенная математическая модель температурных деформаций приводных силовых элементов из материалов с эффектом памяти формы // Триботехнология судового машиностроения: Сб. научн. трудов. – Николаев: НКИ, 1992. – С. 123-128.
7. Козленко А.А., Албантов А.К. Исследование параметров приводных силовых элементов полуавтоматов резки материалов // Триботехнология судового машиностроения: Сб. научн. трудов. – Николаев: НКИ, 1992. – С. 128-130.
8. Козленко А.А. Применение материалов с эффектом памяти формы при изготовлении деталей корпусостроительной номенклатуры // Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв, 1998. – №3 (351). – С. 77-79.