

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ, РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ УПРАВЛЯЕМОГО РЕЗОНАНСА

Шадурский А.В.¹, Клубович В.В.², Рубаник В.В.^{2,3} (мл)

¹УО «Полоцкий государственный аграрно-экономический колледж»

²ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»

³УО «Витебский государственный технологический университет»

ita@vitebsk.by

Одним из перспективных применений сплавов с памятью формы являются термомеханические приводы, действие которых основано на способности материала восстанавливать значительные неупругие деформации при нагревании. Использование таких материалов в пьезоэлектрических приводах позволит увеличить количество степеней свободы актюаторов, тем самым расширить область их практического применения. Т.е. помимо заданного движения по плоскости возможно перемещение в вертикальном направлении, вращательное движение. Например, сначала робот за счет реализации ЭПФ в исполнительных элементах поднимает груз, а затем перемещает в необходимом горизонтальном направлении или поворачивают его.

Перемещение робота по плоскости обеспечивается за счет придания исполнительным элементам различных геометрических параметров. Вследствие этого ноги робота будут иметь различные резонансные частоты и смогут совершать околорезонансные колебания с различными амплитудами. В зависимости от соотношения этих амплитуд может изменяться направление движения робота [1]. При этом возбуждение колебаний производится на одной частоте от общего генератора, что упрощает схему управления.

Характеристические температуры сплава и скрытые теплоты превращения были определены методами дифференциальной сканирующей калориметрии. Зная эти данные, можно целенаправленно осуществлять выбор геометрических размеров TiNi проволоки и режимов ее термообработки.

При необходимости поднятия грузов с массой, в разы большей массы привода, исполнительные элементы должны обеспечить соответствующие реактивные механические напряжения. Т.е. подводимая энергия для реализации обратимого термоупругого превращения должна быть значительной, что не всегда может обеспечиваться пьезоэлектрическим элементом. В этом случае возможна реализация ЭПФ посредством токового нагрева исполнительных элементов. Важно отметить, что при расчетах и моделировании процесса электроконтактного нагрева сплавов с ЭПФ

необходимо учитывать изменения физических свойств, обусловленных термоупругими превращениями $M \rightarrow A$. В отличие от обычных сплавов, в которых нагрев до температур $100 \div 150^\circ\text{C}$ практически не изменяет физических свойств, в сплавах с ЭПФ эти изменения существенны [2].

Моделирование процесса токового нагрева осуществлялось для проволоки из сплава TiNi диаметром $d = 0.60$ мм, зажатой в токоподводящие электроды таким образом, что база нагрева составляла 195 мм. Распределение температуры по длине исполнительного элемента можно описать следующим уравнением:

$$u(x, t) = u_0 + \frac{F}{b} \left[1 - \frac{e^{\sqrt{\frac{b}{a}}x} + e^{\sqrt{\frac{b}{a}}(t-x)}}{e^{\sqrt{\frac{b}{a}}l}} + \frac{2b}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m} \frac{e^{-\left(\frac{\pi^2 m^2}{l^2} + b\right)t}}{a \frac{\pi^2 m^2}{l^2} + b} \left(\sin\left(m\pi \frac{x}{l}\right) + \sin\left(m\pi \left(1 - \frac{x}{l}\right)\right) \right) \right]$$

где $u(x, t)$ – температура, x – текущая координата вдоль оси проволоки, t – время нагрева, $a = \frac{k}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности, c, ρ – соответственно

удельная теплоемкость и плотность материала образца, $b = \frac{ph}{c\rho S}$, p, S – периметр и

площадь поперечного сечения проволоки, h – коэффициент теплообмена с окружающей

средой, $F = \frac{I^2 \rho_e}{c\rho S^2}$ – функция источника, I – сила тока, ρ_e – удельное сопротивление

проводника. Температура окружающей среды u_0 задавалась постоянной и составляла 20°C .

Тепловизионные исследования, выполненные с помощью бесконтактной высокочувствительной инфракрасной камеры NEC TN9100 показали хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных процесса электроконтактного нагрева TiNi проволоки до температуры обратного фазового превращения.

Таким образом, реализацию обратного термоупругого превращения в исполнительных элементах из нитинола возможно осуществить с помощью токового нагрева до температуры A_k , и существенно расширить функциональные возможности пьезоэлектрических приводов.

1. Minchenya, V. Study of microrobots operating in the mode of steerable resonance / V. Minchenya, D. Stepanenko, V. Lysenko, A. Chigarev, K. Zimmermann // Proc. of the 53rd International Scientific Colloquium "Prospects in mechanical engineering". – Ilmenau, 2008.
2. Материалы с эффектом памяти формы: Справ изд.: В 4 т. / Под ред. В.А. Лихачева. – СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1998. – Т.4. – 1998. – 268 с.