

PROJETO DE UM ATUADOR COM LIGA DE MEMÓRIA DE FORMA PARA APLICAÇÃO NO MOVIMENTO DE UM AILERON.

Cássio Thomé de Faria, Prof. Dr. Vicente Lopes Júnior, Henrique Gabriel Borduqui. – Mecânica dos Sólidos – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

As ligas com memória de forma (SMA) são ligas metálicas capazes de recuperar a geometria original (ou de desenvolver consideráveis forças de restituição ao se restringir sua recuperação) através da imposição de um campo de temperatura e/ou de tensão, devido a transformações de fase induzidas no material. As SMAs apresentam uma série de comportamentos termomecânicos particulares. Os principais fenômenos associados a estas ligas são: a pseudoelasticidade; o efeito de memória de forma; a transformação de fase devida à variação de temperatura e o efeito de memória de forma reversível (Savi, 2004). Este trabalho trata do projeto um atuador de SMA que seja capaz de controlar o movimento de um aileron, tomando como base o projeto da equipe Zebra de *aerodesign*, da UNESP - campus de Ilha Solteira (figura 1). A aplicação deste tipo de atuador nos permite ganhos de: menor tempo de resposta do atuador; menor custo de manutenção; melhora na aerodinâmica do conjunto, entre outros (Breitbach *et. al.*, 2001).

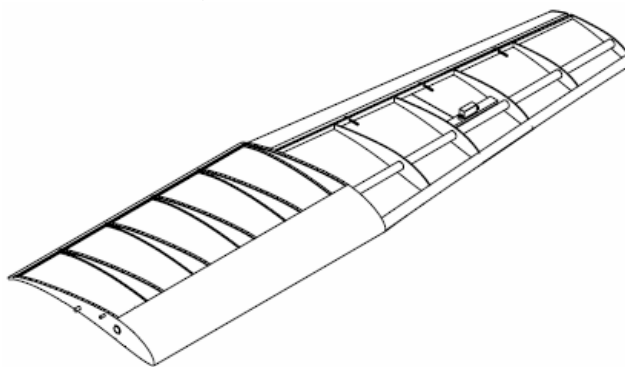


Figura 1 - Modelo de asa do aeromodelo desenvolvido pela equipe Zebra de *Aerodesign* da UNESP – campus de Ilha Solteira

Tomando como base a estrutura da asa considerada, desenvolve-se um atuador dimensionado para tal, partindo do princípio que este novo modelo de atuador possa ser instalado em uma asa já construída sem grandes modificações. Procedeu-se então um levantamento bibliográfico para determinar qual a melhor forma de desenvolver tal atuador de SMA, chegando então ao esquema de atuação mostrado pela figura 2.

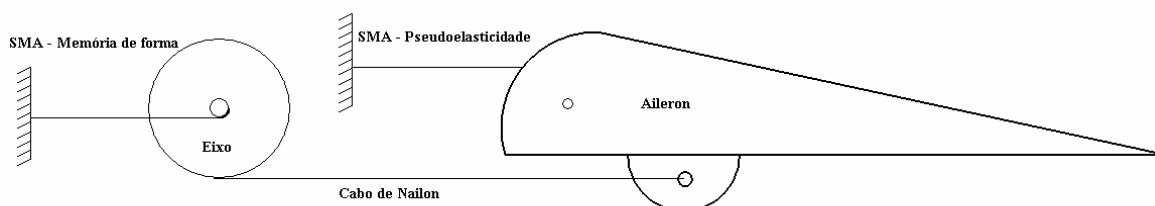


Figura 2 – Atuador de liga de memória de forma

A equação da dinâmica deste atuador é da forma:

$$F_{\text{mola}} \cdot h_1 + F_{\text{arrasto}} \cdot h_2 - \left(F_{\text{SMA}} \cdot \frac{r_1}{r_2} - J_{\text{eixo}} \cdot \frac{\ddot{x}}{r_2^2} \right) \cdot h_2 = J_{\text{aileron}} \cdot \frac{\ddot{x}}{r_3} \quad (1)$$

Onde $r_3 = \sqrt{(h_2)^2 + (d)^2}$

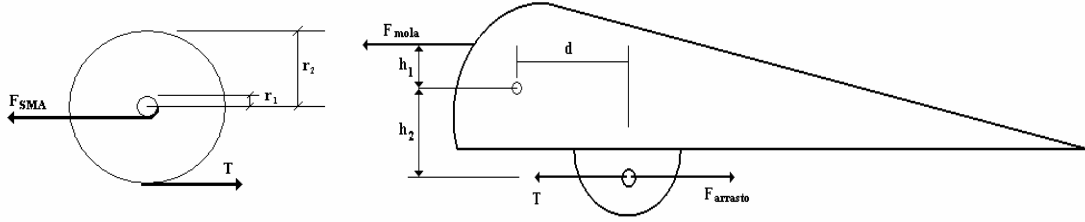


Figura 3 – Diagrama de corpo livre dos componentes do atuador

As forças descritas são definidas como:

$$F_{SMA} = K \left(\varepsilon_{\max} - \frac{x}{l_0} \frac{r_1}{r_2} \right) \quad (2)$$

$$F_{mola} = K \left(\frac{x}{l_0} \frac{h_1}{r_3} \right) \quad (3)$$

Sendo $K = [(1 - \xi) \cdot E_A] A_{fio}$

$$F_{arrasto} = C_D \frac{\rho}{2 \cdot r_3} A_{aileron} x \cdot v^2 \quad (4)$$

Onde ξ é a fração martensítica, a qual é função do tempo, descrita em Hirose et. al, 1991, E_A é o módulo de elasticidade da austenita, l_0 é o comprimento inicial do fio de SMA (idêntico aos dois fios), ε a deformação específica do fio, C_D é o coeficiente de arrasto, ρ a densidade do ar e v a velocidade do escoamento. Aplicando-se então (2), (3) e (4) em (1) e adicionando um termo de amortecimento, temos por fim:

$$\left(\frac{J_{eixo}}{r_2^2} h_2 - \frac{J_{aileron}}{r_3} \right) \ddot{x} + C \dot{x} + \left[\frac{K}{l_0} \left(\frac{h_1^2}{r_3} + h_2 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right) + C_D \frac{\rho}{2 \cdot r_3} A_{aileron} v^2 \cdot h_2 \right] x = K \varepsilon_{\max} \quad (5)$$

Tem-se então que projetar o componente de eixo, o qual será constituído de alumínio, por se tratar de um material resistente, leve e barato, comparado a materiais poliméricos que apresentam características semelhantes. Os valores de tensão considerados estão no caso onde as tensões aplicadas são máximas, devido à pequena massa do eixo todos os esforços de flexão serão desconsiderados. Para a posição de máximos esforços no eixo temos a seguinte equação:

$$r_1(r_3 \theta') = r_2(l_0 \varepsilon_{\max}) \quad (6)$$

Deve-se então analisar o ponto b destacado na figura 4, o qual por estar numa região de redução de secção, deve ser tomado como o ponto crítico do projeto, portanto a peça deve ser dimensionada para suportar as tensões neste ponto:

$$\tau_b = K \left(\frac{T \cdot r_2 - F_{SMA} \cdot r_1}{J} \right) r_1 \quad (7)$$

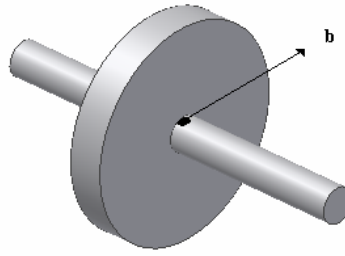


Figura 4 – Ponto de análise de tensões no eixo

As seguintes equações aplicadas na equação (7), junto com a tabela 1 e o critério da máxima tensão de ruptura, fornecem um valor de r_1 , assim:

$$J = \pi \cdot r_1^4 / 2 \quad (8)$$

$$T = E_A A_{fio} \varepsilon_{\max} \frac{h_1}{h_2} + F_{\text{arrasto}} \quad (9)$$

$$F_{SMA} = E_A A_{fio} \varepsilon_{\max} \quad (10)$$

	Método de obtenção	Valor
r_3	Definição do projeto	26,7 mm
h_1	Definição do projeto	2,5 mm
h_2	Definição do projeto	22,85 mm
θ'	Definição do projeto	$0,083\pi$ rad (15°)
K	Tabela (Hibbeler, 2004)	1,2
F_{arrasto}	Dado experimental	4,04 N
l_0	Definição do projeto	40 mm
E_A	Característica do material	508 N/mm ²
A_{fio}	Definição do projeto	0,2552 mm
ε_{\max}	Característica do material	4%
F_s	Adoção convencional	2
σ_e	Tabela (Hibbeler, 2004)	131 N/mm ²

Tabela 1 – Valores utilizados no dimensionamento do eixo

Logo, $r_1 \approx 0,6$ mm, e por (6), $r_2 \approx 2,61$ mm. O comprimento do eixo

Procedendo-se analogamente para o dimensionamento do cabo de nylon, utilizando a equação (11) e tomando $\sigma_e = 65$ N/mm², (ASM, 1990),

$$\sigma_{\text{cabo}} = \frac{T}{\pi \cdot r_{\text{nylon}}^2} \quad (11)$$

Portanto $r_{\text{nylon}} = 0,3$ mm.

A equação (5) descrevem o movimento do conjunto atuador e aileron, tais equações combinadas a um modelo térmico, pois a fração de martensita é função da temperatura, fornece todas as condições para realizar o controle da estrutura (Slotine et. al, 1991).

Este trabalho apresentou um desenvolvimento matemático importante para desenvolver o controle da estrutura, bem como propõe e dimensiona um novo modelo de atuador, simples, leve, ágil e de imediata aplicação nos aeromodelos.

Referências Bibliográficas

- [1] Savi, Marcelo Amorim. Modelagem do Comportamento Termomecânico das Ligas com Memória de Forma. In: 3.º Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações - 3.º DINCON, Ilha Solteira, junho, 2004.
- [2] Breithbach, E. J. *et al.* “Overview of Adaptronics in Aeronautical Applications”, Revista Air & Space Europe, v. 3, n. ¾, p.148-151, 2001.
- [3] Hirose, S., Ikuta K. and Tsukamoto M., “Mathematical Model and Experimental Verification of Shape Memory Alloy for Designing Micro Actuator”, Proc. of the IEEE on Micro Electromechanical Systems, an Investigation of Microstructures, Sensors, Actuators, Machines, and Robots, 1991, pag.103-108.
- [4] Slotine, J.J.E. and Li, W., “Applied nonlinear control”, Englewood Cliffs: Prentice –Hall, EUA, 1991.
- [5] Hibbeler, R. C, “Resistência dos Materiais”, 5ª edição, São Paulo: Editora Pearson, 2004, pag.183 e 674.
- [6] Mangonon, P. L. “The principles of materials selection for engineering design”. Prentice Hall: NJ 1999.
- [7] ASM handbook 10.ed., 1990 v. 1

Bolsa: PET/Sesu