

Metamateriais autosintonizáveis utilizando ligas com memória de forma

Marcos Davi de Souza Castro

Virgílio Junior Caetano

Prof. Dr. Carlos De Marqui Junior

Escola de Engenharia de São Carlos/USP

marcosdavi.17@usp.br

Objetivos

O objetivo deste trabalho é modelar um metamaterial termicamente sintonizável baseado em ressonadores de ligas com memória de forma (LMF). Pela variação de temperatura das ligas, altera-se a rigidez dos ressonadores e, assim, a posição do *bandgap*.

Métodos e Procedimentos

As LMF são materiais inteligentes com acoplamento termomecânico que apresentam dois fenômenos: o efeito de memória de forma e superelasticidade. Esses dois processos são regidos pela alteração de sua configuração microestrutural entre duas fases, mediante variação de temperatura (memória de forma) ou de tensão mecânica (superelasticidade). Uma característica interessante é a alteração do módulo de elasticidade do material quando o mesmo se encontra na fase martensítica ou austenítica, ou seja, seu valor é dependente da temperatura do material.

A presença de ressonadores periodicamente distribuídos em uma estrutura resulta em um metamaterial ressonante, permitindo o surgimento de *bandgaps* [2], uma faixa de frequências onde não há propagação de ondas na estrutura. Em sistemas com propriedades não sintonizáveis, o *bandgap* se encontra em uma faixa fixa de frequências, abrindo na frequência de ressonância dos ressonadores e

cuja largura depende da razão entre massa adicionada e massa original da estrutura. Os ressonadores com molas compostas de LMF deste trabalho possuem ressonância dependente da temperatura.

O metamaterial investigado é uma viga de comprimento $L = 0,19685$ m sob excitação de base, com 5 ressonadores de LMF periodicamente distribuídos, conforme a figura 1.

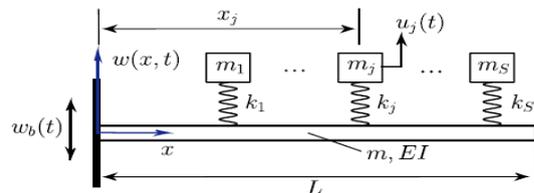


Figura 1: Representação do metamaterial ressonante [2].

A massa de cada ressonador vale 0,0033 kg, e as rigidezes k_a das molas são modeladas por [2]:

$$k_a(\xi) = \frac{r^4 E(\xi)}{8R^3 N_e (1+\nu)} \quad (1)$$

onde E é o módulo de elasticidade da LMF; ξ a fração volumétrica de martensita; ν o coeficiente de Poisson da liga (0,33); r o raio do fio da mola, (0,475 mm); R o raio médio

formado pela espiral da mola (4 mm); e N_e número de espiras (26). A viga na condição engastado-livre é submetida a um deslocamento harmônico de base w_b e as equações de movimento do sistema são dadas por [2]:

$$\sum_{i=1}^N \left[\delta_{ik} + \sum_{j=1}^S \widehat{m}_j \phi_i(x_j) \phi_k(x_j) \right] \ddot{\eta}_i(t) + \sum_{j=1}^S \widehat{m}_j \phi_k(x_j) \ddot{u}_j(t) + \omega_k^2 \eta_k(t) = -\ddot{w}_b(t) \left(\int_0^L \phi_k(x) dx + \sum_{j=1}^S \widehat{m}_j \phi_k(x_j) \right) \quad (3)$$

$$\ddot{u}_j(t) + \omega(\xi)_{aj}^2 u_j(t) + \sum_{i=1}^N \ddot{\eta}_i(t) \phi_i(x_j) = -\ddot{w}_b(t) \quad (4)$$

onde N é o número de modos de vibração da viga; S é o número de ressonadores nela acoplados; ϕ_k corresponde ao modo de vibração k da viga; η refere-se ao deslocamento modal da viga; u refere-se ao deslocamento da massa dos ressonadores; x_j é a posição do ressonador j ao longo da viga; \widehat{m}_j é a massa normalizada do ressonador j ; ω_k é a frequência de ressonância da viga no modo de vibração k ; e $\omega(\xi)_{aj}$ a frequência de ressonância do ressonador j que depende da fração de martensita ξ da LMF.

Resultados

Os resultados obtidos referem-se ao processo de aquecimento da metaestrutura, com

temperatura inicial $T = 35^\circ C$, para uma temperatura final de $T = 60^\circ C$. A figura 2 mostra a transmissibilidade entre a ponta da viga e o deslocamento de base, evidenciando a mudança de posição do bandgap.

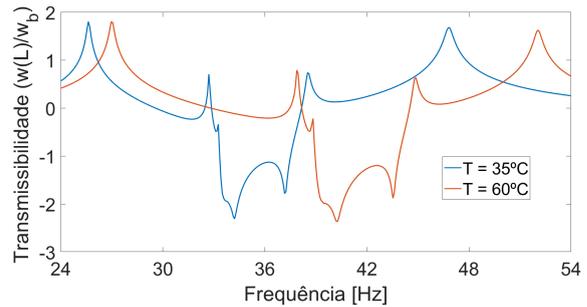


Figura 2: Gráfico da transmissibilidade em função da frequência para diferentes temperaturas.

Conclusões

Verificou-se que o comportamento dinâmico de um metamaterial com ressonadores de LMF pode ser alterado de acordo com a temperatura do meio em que ele se encontra, abrindo caminho para o projeto de sistemas autosintonizáveis.

Agradecimentos

Ao professor orientador e membros do grupo de pesquisa, que, com suas orientações, permitiram a evolução da minha formação pessoal e profissional durante o projeto.

Referências

- [1] Brinson, L. C. One-dimensional constitutive behavior of shape memory alloys: thermomechanical derivation with non-constant material functions and redefined martensite internal variable. *Journal of intelligent material systems and structures*, 4(2):229–242, 1993.
- [2] De Sousa, V. C. Sugino, C., De Marqui, C. and Erturk, A. Adaptive locally resonant metamaterials leveraging shape memory alloys. *Journal of Applied Physics*, 2018.