

Simulação Numérica Do Comportamento Pseudoelástico De Ligas Com Memória De Forma Sob Cargas De Tração e Compressão

RESUMO

Michel Antônio Da Silva
Michelsilva@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
Do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil

Vinicius Piccirillo
Piccirillo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
Do Paraná, Ponta Grossa, Paraná,
Brasil

Este trabalho objetiva a implementação de um algoritmo em linguagem Matlab capaz de descrever o comportamento de ligas com memória de forma não apenas sob cargas de tração como apresentado por Brinson (1993), mas também obter resultados numéricos quando a carga aplicada é compressiva. Para tal, utilizou-se o programa Matlab para confecção e execução de um código numérico, o qual foi alimentado com propriedades do material sugeridas por Brinson (1993). Durante a utilização do código, uma tensão externa harmônica foi empregada como entrada (*input*) e a deformação foi verificada. Os resultados obtidos condisseram com o que é sugerido por Paiva e Savi (2006). Desta forma, houve evidências gráficas suficientes para afirmar que o algoritmo funcionou de forma adequada.

PALAVRAS-CHAVE: Ligas com memória de forma. Histerese. Pseudoelasticidade.

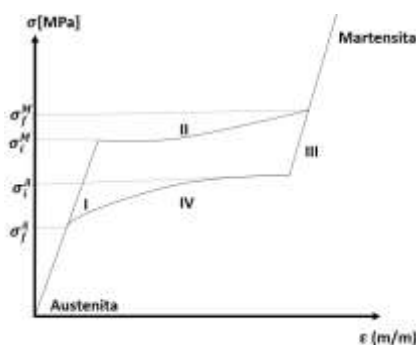
1 INTRODUÇÃO

Ao considerar-se a escolha de materiais utilizados previamente ao século 19, vê-se que estes não seguiam uma padronização, o que juntamente com um conhecimento apenas empírico de performance e propriedades, por vezes causavam erros desastrosos. Esta abordagem foi radicalmente mudada a partir da disseminação do uso do aço e alcançou outro patamar em projetos auxiliados por computador (ADDINGTON; SCHODEK, 2005).

Ligas com memória de forma (LMFs) têm sido amplamente utilizadas: de aparatos cirúrgicos à indústria naval. Além disso, para melhor descrever seu comportamento, pesquisadores tem proposto modelos matemáticos afim de simular o comportamento real destes materiais. Sob aspectos fenomenológicos, os modelos podem ser baseados em quatro diferentes pontos de vista, sendo um deles, a cinética de transformação de fases possui maior comprovação empírica por ter se popularizado. Um dos modelos a adotar tal ponto de vista foi o de Brinson (1993) (PAIVA; SAVI; PACHECO, 2003).

Além de apresentarem uma curva de histerese no gráfico de deformação por temperatura, LMFs também exibem este comportamento no diagrama de tensão por deformação como exposto na Figura 1. Nela, as cargas σ_i^M e σ_f^M representam o início e fim da transformação em martensita; da mesma forma, σ_i^A e σ_f^A representam o início e fim da transformação reversa, respectivamente. Este comportamento, definido por duas regiões lineares (I e III) e duas regiões não lineares (II e IV), é chamado de pseudoelasticidade e o responsável pelo uso de LMFs em carregamentos cíclicos afim de dissipar energia (INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MICROMECHANICS AND HUMAN SCIENCE, 1998) (PINTO, 2011).

Figura 1- Laço de histerese



Fonte: Autoria própria

Como carregamentos cíclicos geralmente oscilam entre esforços de tração e compressão, um algoritmo capaz de capturar estas alternâncias, baseado em um modelo de boa comprovação experimental, torna-se interessante para simulação numérica do comportamento dinâmico das LMFs. Desta forma, o presente trabalho, foca-se na adaptação e implementação do modelo de Brinson (1993) para descrever, isotermicamente, o comportamento histerético de um

elemento de LMF sob esforços trativos e compressivos. Para isso, um código em linguagem Matlab é proposto.

2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A equação termomecânica constitutiva para LMFs, em sua forma isotérmica e já simplificada, como apresentado em Brinson (1993), é representada pela Equação 1.

$$\sigma - \sigma_0 = [E_A + \delta (E_M - E_A)] (\varepsilon - \varepsilon_0) - \varepsilon_r [E_A + \delta (E_M - E_A)] (\delta - \delta_0) \quad (1)$$

Na Equação 1, E , ε , σ , δ e ε_r representam o módulo de Young, a deformação, a carga mecânica aplicada, a fração volumétrica da fase martensítica, e a máxima deformação residual (constante para cada material) respectivamente. Adicionalmente, o índice “0” representa o estado inicial de cada região do gráfico de carga por deformação, o índice “A” é referente a austenítica, já o índice “M” faz menção a fase martensítica.

Complementarmente, para o modelo de Brinson (1993), o cálculo da fração de martensita existente no material é feito basicamente de três formas. Na primeira, em regiões lineares, isto é, sem transformação de fases, ela é considerada constante. Seguidamente, para regiões de transformação a partir da fase austenítica, esta fração é obtida pela Equação 2

$$\delta = \frac{1 - \delta_0}{2} \cos \left\{ \frac{\pi}{\sigma_S^{crit} - \sigma_F^{crit}} [\sigma - \sigma_F^{crit} - C_M(T - M_S)] \right\} + \frac{1 - \delta_0}{2} \quad (2)$$

onde σ_S^{crit} , σ_F^{crit} , C_M e M_S são propriedades do material e T representa a temperatura da liga durante a aplicação da carga.

Por último, para regiões de transformação de fase a partir da martensita, a fração é calculada pela Equação 3.

$$\delta = \frac{\delta_0}{2} \left\{ \cos \left[\frac{\pi}{A_F - A_S} \left(T - A_S - \frac{\sigma}{C_A} \right) \right] + 1 \right\} \quad (3)$$

onde A_F , A_S e C_A são propriedades do material

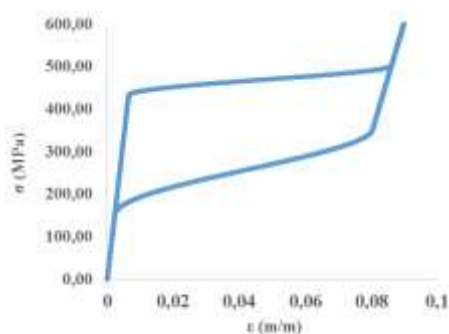
3 METODOLOGIA

Após ser implementado, o modelo de Brinson (1993) foi adaptado e executado com a propriedades apresentadas por Paiva e Savi (2006) através do programa MATLAB®. Adicionalmente, a carga utilizada representava um sinal senoidal com amplitude de 600 MPa e frequência de 0.1 rad/s. Desta forma, variando-se o tempo obteve-se a curva de tensão por deformação do material

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

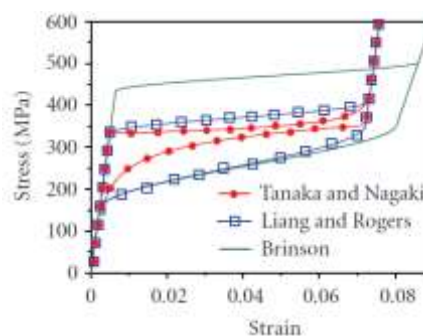
A Figura 2 ilustra os resultados obtidos para o carregamento trativo do material. Nela, o eixo horizontal representa a deformação enquanto o vertical exhibe a tensão exercida sobre a liga. À título de comparação, a Figura 3 exhibe o resultado sob mesmas condições e propriedades sugerido por Paiva e Savi (2006); nesta imagem, o modelo corresponde a linha verde sem pontos. Com as duas Figuras, pôde-se afirmar que o algoritmo foi implementado de forma coerente.

Figura 2- Implementação do modelo de Brinson (1993).



Fonte: Autoria própria

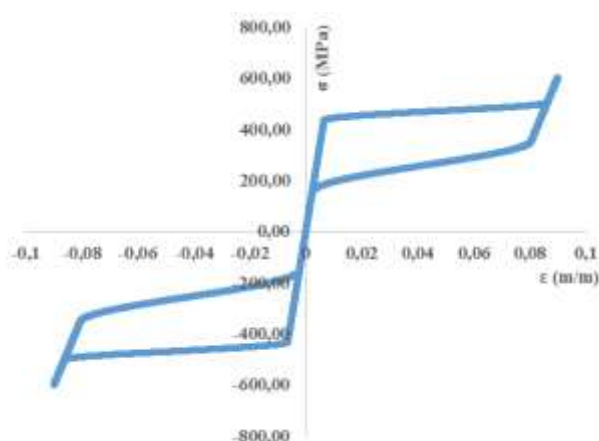
Figura 3- Implementação do modelo de Brinson (1993).



Fonte: Paiva e Savi (2006)

A Figura 4 exhibe o resultado da adaptação do modelo de Brinson (1993) para simular o comportamento do material sob tração e compressão. Com ela, houve evidências gráficas suficientes para afirmar que o algoritmo se comportou de maneira adequada ao problema proposto. Isto é, assumindo que o material se comporte sob cargas de compressão da mesma forma que sob cargas de tração, o algoritmo foi capaz de descrever a curva de carga por deformação.

Figura 4- Adaptação do modelo de Brinson



Fonte: Autoria própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o algoritmo foi capaz de descrever razoavelmente o comportamento da LMF tanto sob cargas de compressão quanto sob as de tração, o código poderia ser incorporado no estudo dinâmico de sistemas mecânicos vibratórios amortecidos por LMFs.

Numerical Simulation Of Shape Memory Alloys' Pseudoelastic Behavior Under Tensile And Compression Loads

ABSTRACT

This paper aims the implementation of a Matlab language algorithm capable of describing the behavior of shape memory alloys under not only tensile loads as presented by Brinson (1993), but also obtain numerical results when a compressive load is applied. For this purpose, Matlab software was used to write and run a numerical code, which was provided with the material properties suggested by Brinson (1993). During the code running, a harmonic external load was used as input and the deformation was verified. The results obtained were in agreement with what was suggested by Paiva and Savi (2006). In this way, there was enough graphic evidence to affirm that the algorithm worked properly.

KEYWORDS: Shape Memory Alloys. Hysteresis. Pseudoelasticity.

REFERÊNCIAS

ADDINGTON, D Michelle; SCHODEK, Daniel L.. **Smart Materials And New Technologies**. Burlington: Elsevier, 2005. 241 p.

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**, v. 4, n. 2, p. 229–242, 1 abr. 1993.

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MICROMECHATRONICS AND HUMAN SCIENCE, 1998, [Nagoia]. **A control system to compensate the hysteresis by Preisach Model on SMA actuator**. [s.i.]: Ieee, 1998. 250 p.

PAIVA, Alberto; SAVI, Marcelo Amorim. An overview of constitutive models for shape memory alloys. **Mathematical Problems In Engineering**, [s.l.], v. 2006, p.1-30, 2006. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/mpe/2006/56876>.

PINTO, Aurélio Alves. **Estudo teórico e numérico de modelos constitutivos de ligas com memória de forma e associação com sistemas vibratórios**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

SILVA, M. A. et al. Simulação Numérica Do Comportamento Pseudoelástico De Ligas Com Memória De Forma Sob Cargas De Tração e Compressão. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

Correspondência:

Michel Antônio Da Silva
Av Monteiro Lobato, s/n - Km 04, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

