

5

Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

5.1

Conclusões

Este trabalho apresenta um modelo constitutivo macroscópico unidimensional para descrição do comportamento termomecânico das ligas com memória de forma. Este modelo contempla os fenômenos de plasticidade e de assimetria no comportamento tração-compressão, além do acoplamento entre os fenômenos de plasticidade e transformação de fase.

O desdobramento das devidas propriedades em uma associada à tração e outra à compressão possibilitou a distinção destes comportamentos. Através da análise de sensibilidade destas propriedades, desenvolvida no Item 2.4, verificou-se que é possível alterar todas as características de um comportamento sem influenciar o outro.

Fez-se, ainda, um estudo do tipo de influência de cada um dos parâmetros, mostrando que é possível exercer controle sobre as diversas propriedades exibidas pelo material para cada comportamento, isoladamente, como por exemplo: tensão crítica para início e fim das transformações de fase, deformação residual máxima, tamanho vertical e horizontal do laço de histerese, inclinação dos trechos de transformação de fase, entre outras.

Foi apresentado um procedimento sistemático para ajustes quantitativos com resultados experimentais, visando a identificação das diversas propriedades para facilitar a utilização do modelo.

A partir disso, foi feito um ajuste quantitativo entre os resultados numéricos obtidos pelo modelo e resultados experimentais encontrados na literatura para ensaios de tração pseudoelásticos a diversas temperaturas, visando a validação do modelo para este teste. A importância deste tipo de ensaio consiste em verificar que, a partir da resposta experimental a uma dada temperatura (ou seja, uma vez identificadas as propriedades do material), o modelo é capaz de prever o comportamento de ligas com memória de forma a uma temperatura qualquer.

Depois disso, foram apresentadas simulações numéricas para os principais fenômenos associados às ligas com memória de forma, atestando a habilidade do modelo em descrevê-los. Apresentaram-se testes envolvendo: pseudoelasticidade juntamente com plasticidade; efeito de memória de forma (**SME**) com plasticidade; efeito de transformação de fase devida à variação de temperatura; efeito de memória de forma reversível (**TWSME**) e ainda a reprodução de um ensaio cíclico que atesta o acoplamento entre os fenômenos de plasticidade e de transformação de fase.

As mudanças introduzidas no modelo, visando a distinção dos comportamentos à tração e à compressão foram validadas através do ajuste quantitativo entre resultados numéricos obtidos pelo modelo e resultados experimentais encontrados na literatura para ligas **SMA** mono e policristalinas, assim como para diferentes tratamentos térmicos. Os testes revelaram a capacidade do modelo em descrever a assimetria no comportamento tração-compressão, fornecendo resultados de acordo com os resultados experimentais para os diversos casos.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

A modelagem das ligas com memória de forma possui muitos pontos a serem explorados para uma correta descrição do seu comportamento termomecânico.

O modelo ainda apresenta limitações à descrição de alguns comportamentos inerentes às SMAs. Dentre eles, podem-se destacar a correta descrição do fenômeno dos sublaços internos devidos a transformações de fase incompletas e o problema de amolecimento/endurecimento para casos com deformação prescrita. Acredita-se que estes problemas estejam intimamente relacionados e possam ser resolvidos através da inclusão de novas restrições.

O modelo considera o acoplamento entre plasticidade e transformação de fase. No entanto, só é possível prever a influência da plasticidade sobre a transformação de fase. A recíproca não é verdadeira. Resultados experimentais, porém, atestam a influência da transformação de fase sobre a plasticidade. Desta forma, é conveniente reescrever as equações complementares, visando contemplar este fenômeno. Além disso, a consideração de leis de endurecimento isotrópico e cinemático não-lineares para o problema de plasticidade proporciona resultados mais coerentes com resultados experimentais.

Outro problema a ser avaliado no modelo diz respeito a uma instabilidade em ensaios mecânicos realizados na temperatura $T = T_M$ abaixo da qual a martensita é estável.

Uma outra contribuição relevante consiste em incorporar o acoplamento termomecânico ao modelo, calculando a temperatura através da *Primeira Lei da Termodinâmica*, em vez de preverê-la como no modelo atual.

A formulação de um modelo tridimensional também é um assunto importante que merece ser estudado. A concepção do modelo proposto permite a consideração de novas variantes de martensita, através da inclusão de novos funcionais de energia livre associados a estas novas variantes.