



PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE POLÍMEROS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM NOVO MODELO DE RESFRIAMENTO DE ATUADORES DE LIGA DE MEMÓRIA DE FORMA

Danilo Moura Prata

UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
danilopra@aluno.feis.unesp.br

Henrique Gabriel Borduqui

henriquebor@aluno.feis.unesp.br

Cássio Thomé de Faria

cassiofar@dem.feis.unesp.br

Vicente Lopes Júnior

vicente@dem.feis.unesp.br

Resumo: As ligas de memória de forma (SMA) são materiais inteligentes que possuem habilidade de retornar a sua forma original após tem sofrido grande deformação, devido à imposição de um campo de temperatura. Devido a esta propriedade este material é utilizado na construção de atuadores leves e ágeis, porém o principal limitante da aplicação destes atuadores é a lentidão no processo de resfriamento, reduzindo assim o campo de aplicação deste tipo de atuador. Logo, este trabalho busca realizar um estudo sobre qual o melhor polímero que atende as necessidades para um novo modelo de resfriamento proposto, solução esta que ampliaria a aplicação destes tipos de atuadores.

Palavras-chave: liga de memória de forma, atuador, polímero, modelo de resfriamento.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais inteligentes são materiais que tem uma ou mais propriedades que pode ser drasticamente alterada, aumentando e muito as possibilidades na concepção de maquinários e dispositivos eletrônicos. Cada tipo de material inteligente tem diferentes propriedades que podem ser manipuladas, como por exemplo, condutividade térmica, viscosidade, volume entre outros.

Dentro deste raciocínio podemos citar vários exemplos de materiais inteligentes, como por exemplo, os piezelétricos, os magnetoresistivos, as ligas de memória de forma (SMA), os fluidos eletroreológicos, etc.

As SMAs dentro deste grupo são interessantes, pois apresentam a capacidade de recuperar a geometria original (ou de desenvolver consideráveis forças de restituição ao se restringir sua recuperação) quando é imposto ao um campo de temperatura e/ou de tensão. Estas transformações ocorrem devido a transformações de fase induzidas no material. As ligas com memória de forma apresentam uma série de comportamentos termomecânicos particulares (Savi, 2004). Os principais fenômenos associados à estas ligas são:

1.1. Pseudo-elasticidade

Toma-se uma liga que apresenta o efeito de memória de forma a uma temperatura acima da temperatura de estabilização da fase micro estrutural austenita e, ao aplicarmos um carregamento

mecânico ela se deformará por um período elástico. No período elástico o comportamento é semelhante aos dos materiais comuns em engenharia. Porém ao descarregar, a liga retorna a sua forma original, formando um ciclo de histerese, conforme pode ser observado na Figura 1, esta propriedade é conhecida como pseudo-elasticidade.

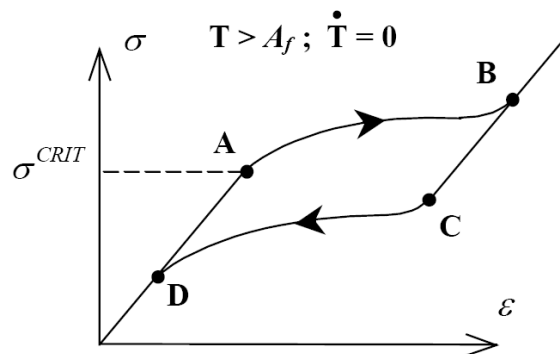


Figura 1: Propriedade pseudo-elasticidade.

Onde σ é a tensão aplicada, ε é a deformação específica, A_f é a temperatura final de estabilização da fase austenítica da liga.

1.2. Transformação de fase devido à variação de temperatura

Esta é uma propriedade comum dentro dos materiais aplicados em engenharia, pois corresponde a mudança da microestrutura cristalina do material ao submetê-lo a variação de temperatura. Este é um processo não-difusivo envolvendo as fases sólidas e ocorrem a velocidades muito elevadas. Atribui-se a causa dessas transformações à diferença de energia livre entre as estruturas constituintes envolvidas no processo, o que induz modificações nas ligações químicas, tornando as transformações de fase de caráter essencialmente cristalográfico.

De fato, existem duas possíveis fases de microconstituintes associadas às SMAs: a austenita (estável a alta temperatura) e a martensita (estável a baixa temperatura). Enquanto a austenita possui uma estrutura cúbica de corpo centrado bem ordenada que apresenta apenas uma variante, a martensita pode apresentar até vinte e quatro variantes para o caso mais geral e, sua estrutura depende do tipo de transformação sofrida pelo material.

Este fenômeno pressupõe três regiões distintas. Duas delas relacionadas aos trechos lineares que correspondem à expansão térmica das fases austenítica e martensítica e uma região onde há um laço de histerese relacionada aos trechos de transformação de fase. A área compreendida por este laço representa a energia dissipada durante o processo (Figura 2).

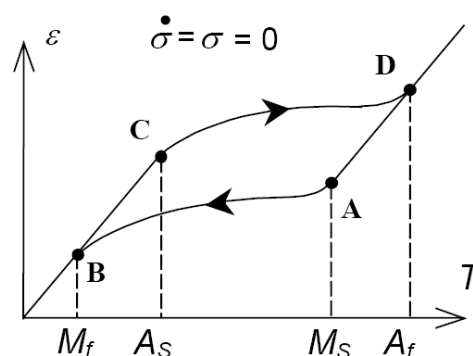


Figura 2: Transformação de fase devida à variação de temperatura.

Onde M_f e M_s é a temperatura de estabilização e de princípio de formação da martensita, respectivamente. A_s é a temperatura de formação da fase austenítica da liga.

1.3. Efeito de memória de forma

O efeito de memória de forma que caracteriza este tipo de material inteligente, é a capacidade da liga retornar a sua forma e estrutura original. Após o processo de aplicação de uma tensão mecânica na liga, esta por sua vez responde com um período de deformação elástico e posteriormente um período de deformação plástico. Caso a amostra esteja a uma temperatura onde a fase martensita é estável ao descarregar a liga esta apresentara uma deformação residual, a qual pode ser retirada quando se eleva a temperatura da liga para uma temperatura acima da qual a fase austenítica é estável. Feito isto a amostra recupera a sua forma original.

Quando isto ocorre, a liga dispersa a energia (carga) acumulada. Este conceito confunde-se com a pseudo-elasticidade, pois as mudanças drásticas de forma e estrutura que ocorrem nos fios com esta característica, resultam em maiores amplitudes de deformação e subsequente retorno à forma e estrutura original. Esta propriedade, portanto, apresenta-se mais evidente nos fios SMA que sofrem a transformação martensítica.

1.4. Efeito de memória de forma reversível

O efeito de memória de forma reversível consiste na associação de uma forma para a estrutura cristalina da liga, logo se tem uma forma associada para cada faixa de temperatura.

Existem dois processos de treinamento para ligas com memória de forma, denominados ciclos de SME (*Shape Memory Effect Cycling*), e o treinamento através de ciclos pseudo-elásticos (*Stress-Induced Martensite Training – SIMT*) (Savi, 2004).

Estes materiais vêm sendo utilizados nas mais diversas aplicações, variando desde a indústria aeroespacial até a biomédica, passando pela robótica. Para as aplicações deste material em atuadores um dos principais problemas é justamente o resfriamento da liga de forma ágil (Silva, 2005), para melhorar a resposta dos atuadores, uma vez que na etapa de aquecimento ele apresenta uma resposta excelente. Para melhorar a aplicação destes tipos de atuadores, este trabalho propõe um novo modelo de resfriamento.

2. MODELO DE RESFRIAMENTO PROPOSTO

Usualmente o ciclo de resfriamento em atuadores a base de SMA é feita via convecção natural, porém devido, a baixa eficiência este processo acaba se tornando lento em comparação com o ciclo de aquecimento. Então, deve-se aumentar a transferência de calor por convecção ao redor deste atuador, e isto pode ser feito de duas formas, ou aumenta-se a velocidade do escoamento ao redor do dispositivo, ou utiliza-se um fluido com maior condutividade.

Soluções muito simples podem ser apresentadas, porém os principais impedimentos destas soluções são, ou a complexidade, ou o gasto excessivo de energia durante estes processos. Para sanar esta dificuldade, apresenta-se neste trabalho um novo modelo de resfriamento desta liga o qual se baseia no princípio de aumentar a condutividade do fluido ao redor do atuador, elevando assim o coeficiente de transferência de calor por convecção, o que diminui o tempo de resposta dos atuadores.

Tal condição por si só não apresenta nenhuma inovação, porém para manter o processo de aquecimento ainda eficiente, principalmente no que diz respeito a agilidade, este novo fluido será uma solução polimérica para que durante o processo de aquecimento o polímero se aglomere em torno da liga.

O polímero em questão tem características especiais, pois é carregado eletricamente, fato este que permite, devido à corrente elétrica que circula na liga, a deposição junto a superfície da liga, figura 3. E, ainda, apresenta um baixo coeficiente de transferência de calor por condução, para manter a agilidade do processo de aquecimento do fio. O polímero é atraído para o fio através da imposição de um campo elétrico radial, que pode ser obtido, por exemplo, através de um capacitor cilíndrico. A equação que descreve a força de atração é dada por:

$$F_E = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \quad (1)$$

Onde q_1 e q_2 são as intensidades das cargas, d é a distância entre elas e k é a constante dielétrica, que depende do meio no qual se encontram as cargas.

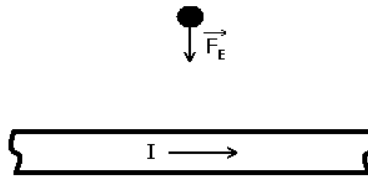


Figura 3: Esquema de atração do polímero através da força elétrica quando se circula uma corrente elétrica.

Em síntese o novo modelo de resfriamento consiste na liga mergulhada em uma solução polimérica e, quando circula na liga uma corrente elétrica o polímero a isola (figura 4), e para o momento em que a liga é resfriada o alto coeficiente de transferência de calor por convecção da solução acelera o processo, figura 5. A modelagem matemática despreza o período transiente onde o polímero se deposita e se retira do fio.

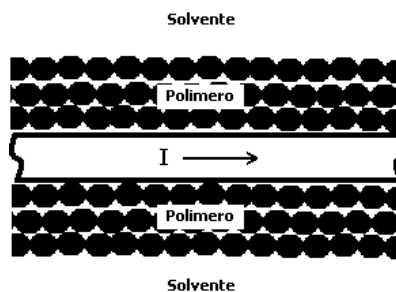


Figura 4: Condição de isolamento térmico do fio com o polímero atraído eletricamente

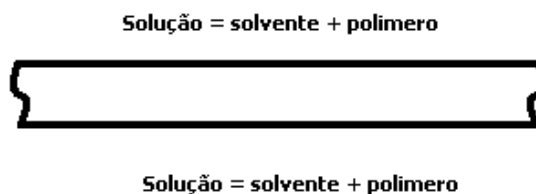


Figura 5: Período de resfriamento da liga

3. PROPRIEDADES DOS POLÍMEROS

Existem um grupo de polímeros que podem ser usados dentro do modelo proposto, pois apresentam uma certa carga elétrica e ainda trabalham em temperaturas nas quais os atuadores vão atuar. Após um pré-levantamento, os polímeros que se mostraram mais interessantes são os seguintes: poliálcool vinílico, poliácido metacrílico, poliácido acrílico e poliacrilamida.

Os fatores mais significantes para definição de qual polímero utilizar neste novo modelo de resfriamento de atuadores a base de liga de memória de forma são: a carga elétrica, o coeficiente de condução térmica, a temperatura em que o polímero inicia sua mudança de fase e o solvente.

Conforme observado na Equação (1), a carga elétrica do polímero (q_1) influi diretamente na forma de atração, logo quanto maior a carga, mais rápido o polímero se depositará na liga, acelerando assim o ciclo de aquecimento do atuador. Nestes polímeros estudados estas cargas são muito variáveis, dependentes do solvente, do tamanho da fibra e muitos outros.

O coeficiente de condução térmica (k) deve ser o menor possível, para que quando o polímero se aglomerar na liga impeça que o calor gerado no atuador seja perdido para o fluido. Já a temperatura de fusão do polímero (T) deve ser a maior possível, para impedir que o polímero mude de fase durante o processo de aquecimento do atuador.

A tabela 1 mostra uma síntese das propriedades dos polímeros selecionados, para realizar uma comparação e se determinar o mais adequado para a aplicação no novo modelo.

Tabela 1: Propriedades necessárias dos polímeros selecionados

Polímero	k (W/m K)	T (K)
poliálcool vinílico	0,2499	473
poliácido metacrílico	0,21315	432
poliácido acrílico	0,21945	414
poliacrilamida	0,23562	357

O solvente que pode ser usado para cada polímero é algo importante, pois este será o principal responsável por acelerar o ciclo de resfriamento da liga. Neste sentido os polímeros selecionados que tiverem solventes com maior coeficiente de transferência de calor por condução leva vantagens em relação aos demais. Logo a tabela 2 mostra os solventes associados a estes polímeros.

Tabela 2: Solventes associados a cada polímero

Polímero	Solventes
poliálcool vinílico	Glicerol, água, trietileno, hexametil fosfórico triamida, dimetil oxido de enxofre
poliácido metacrílico	Água, alcoóis, hidróxido de sódio, cloreto de hidrogênio.
poliácido acrílico	Alcoóis, formol, água.
poliacrilamida	Água, morfolina.

4.CONCLUSÕES

Após analisar os polímeros, observou-se que para as condições especificadas o poliácido metacrílico apresenta as melhores propriedades necessárias para ser aplicado neste novo modelo de resfriamento de atuadores baseados em ligas de memória de forma. Este polímero apresenta a menor condutividade térmica, bem como uma alta temperatura de fusão. Logo, além de isolar melhor a liga no ciclo de aquecimento ele pode ser submetido a maiores temperaturas sem alterar o seu estado físico.

Outra vantagem importante do poliácido metacrílico em relação aos demais polímeros selecionados é quanto aos solventes, pois este apresenta uma variedade muito interessante, uma vez que alguns destes compostos apresentam alta condutibilidade térmica, elevando assim o coeficiente de transferência de calor por convecção, o que por sua vez é interessante para acelerar o ciclo de resfriamento de atuadores desta natureza.

A aplicação deste novo modelo de resfriamento além de reduzir o tempo de resposta dos atuadores desta natureza, ainda permite que eles atuem em uma maior faixa de frequência, ampliando conseqüentemente o campo de aplicação de atuadores de SMA.

5. REFERÊNCIAS

- Breitbach, E. J. et al. “Overview of Adaptronics in Aeronautical Applications”, Revista Air & Space Europe, v. 3, n. ¾, p.148-151, 2001.
- Encyclopedia of polymer science and engineering. John Wiley & Sons, Second Edition, V1, V7, New York, 1985.
- Polymer handbook. John Wiley, 3° Edition, New York, 1989.
- Icropera, F. P.; DeWitt, D. P.; “Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”, 5° edição, Rio de Janeiro, 2003. 698 p.
- Mangonon, P. L. “The principles of materials selection for engineering design”. Prentice Hall: NJ 1999.
- Savi, M. A., “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, June, 2004.
- Silva, E. P. “Aplicação de ligas com memória de forma em estruturas adaptativas”. [personal message]. Message received by <dasilva@unb.br> , 20 out. 2005.

PROPOSAL OF APPLICATION OF POLIMER FOR IMPLEMENTATION IN A NEW COOLING MODEL FOR SHAPE MEMORY ALLOY ACTUATORS

Danilo Moura Prata

UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Departamento de Engenharia Mecânica
danilopra@aluno.feis.unesp.br

Henrique Gabriel Borduqui

henriquebor@aluno.feis.unesp.br

Cássio Thomé de Faria

cassiofar@dem.feis.unesp.br

Vicente Lopes Júnior

vicente@dem.feis.unesp.br

Abstract: *Shape memory alloy (SMA) is a smart material that has the ability to return to its original shape after undergoing a large plastic strain, by applying a thermal field. Due this property this material is used to build light and fast actuators, but the main problem is the slowness of the cooling cycle, reducing the application field of this kind of actuator. So, this paper proposes the utilization of polymer in order to overcome this drawback. This solution can increase the application field of this kind of actuator.*

Keywords: *shape memory alloy, actuator, polymer, cooling model.*