

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO E DO COMPORTAMENTO DE FIOS DE Ti-Ni COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA VIABILIZANDO FABRICAÇÃO DE ATUADORES

E.A.C. Pina, O. O. de Araújo Filho, S.L. Urtiga Filho, C.H. Gonzalez

Universidade Federal de Pernambuco/ CTG – Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife–PE, kikipina@hotmail.com

Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Engenharia Mecânica.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo efetuar a caracterização do fio comercial de Ti-Ni de 1,27 mm de diâmetro com efeito memória de forma para desenvolvimento de molas helicoidais com função de sensor/atuador. Após tratamento térmico, as temperaturas de transformação, a presença de precipitados, o grau de amortecimento, tensão máxima de ruptura, o módulo de elasticidade, a presença da fase R, o comportamento da liga sob tensão, serão analisados e comparados em cada situação. Para a caracterização foram utilizados vários métodos entre eles: tratamentos térmicos, Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Ensaio de Tração, Análise Dinâmica Mecânica (DMA), Difração de raios-X, Ciclagens Termomecânica. Os fios foram cortados em pedaços e submetidos a tratamentos térmicos a 400°C com variação de tempo em fornos de mufla e têmpera em água a 25°C.

Palavras-chave: Efeito memória de forma, Caracterização, Fase R, Ciclagens termomecânica.

INTRODUÇÃO

As Ligas com Memória de Forma (LMF) são materiais funcionais não convencionais que apresentam uma larga faixa de aplicações baseadas em suas propriedades termoelásticas que são: Efeito Memória de Forma (EMF), do coeficiente de amortecimento e aumento do módulo de elasticidade em relação a martensita não estabilizada ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾.

As LMF são consideradas “materiais inteligentes”, pois possuem funções de atuador e sensor nas chamadas estruturas inteligentes, com capacidade de alterar a sua forma, rigidez, frequências naturais dentre outras características mecânicas,

mediante a imposição de tensão externa, de temperatura, de campos elétricos ou eletromagnéticos⁽¹⁾. Uma grande quantidade de ligas metálicas exibe o efeito memória de forma, contudo somente apresentam interesse comercial àquelas que podem recuperar quantidades substanciais de deformação ou que gerem forças significativas durante a mudança de formato. Para as análises acima mencionadas, após a obtenção das ligas procedeu-se aos tratamentos térmicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado um fio de liga Ti-Ni com composição próxima a equiatômica com diâmetro de 1,27 mm para a confecção da mola. A mola analisada foi submetida a seqüências de carregamentos de tração com variação de temperatura, no intervalo entre 25°C e 115°C. O primeiro carregamento foi efetuado com o banho a temperatura de 115°C. Isso se deve a predominância da fase austenita no material a esta temperatura, que apresenta maior capacidade de solicitações sem grandes variações no comprimento inicial da mola devido a sua maior rigidez ⁽¹⁾. Em seguida foram efetuados tratamentos térmicos nos fios a uma temperatura de 400°C e têmpera em água a 25°C, as amostras foram analisadas em um difratômetro de raios-X da marca SHIMADZU modelo XRD 600 utilizando radiação Cu-K α com comprimento de onda de $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$.

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFCG empregando-se a máquina de ensaio mecânico universal INSTRON modelo DL1000 com uma célula de carga de XX toneladas sem controle de temperatura de ensaio. A aquisição dos diferentes parâmetros que são: força aplicada e deformação dos corpos de provas foram registradas em um computador, acoplado a máquina.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os atuadores foram analisados com o objetivo de caracterizar o comportamento face às cargas externas aplicadas e aos ciclos térmicos (Fig.1). O comportamento termoelástico, as temperaturas críticas de transformações, as deformações termoelásticas, o surgimento da fase R, e a influência da carga externa no aumento dos valores médios das temperaturas.

A figura 2 apresenta os espectros de difração de raios-X da amostra de fio de Ti-Ni utilizado no experimento. As fases características presentes no material são os precipitados e a fase matriz que foram identificados por comparação com a literatura.

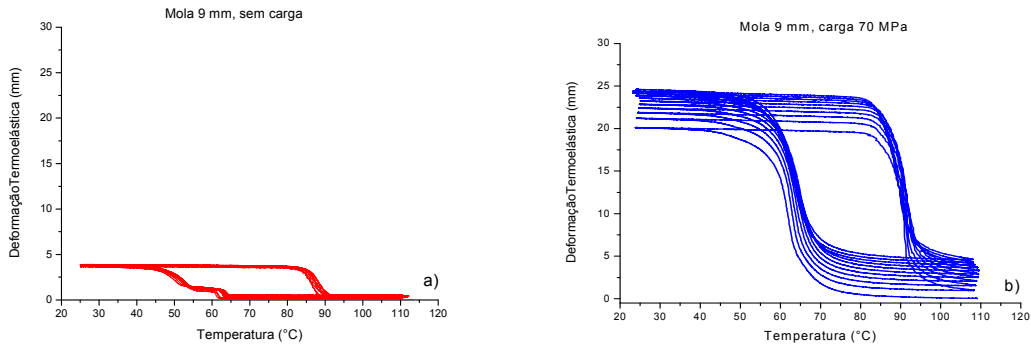


Figura 1- Curva Temperatura x Deformação das ciclagens térmicas dos atuadores de 9 mm.

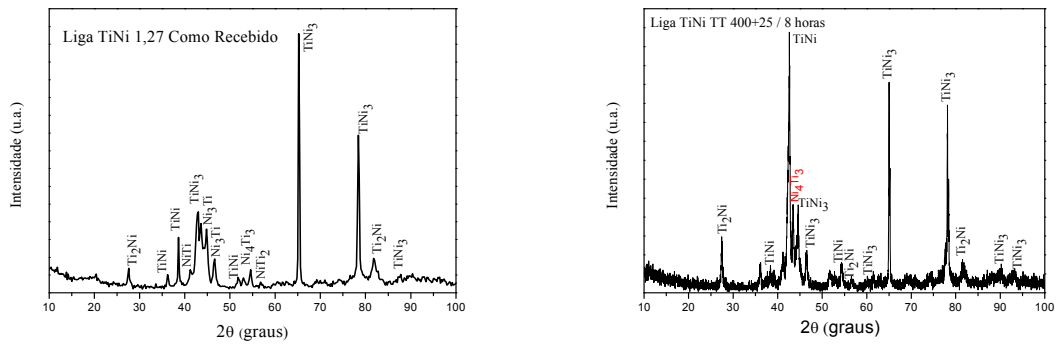


Figura 2 – Difratoograma da liga Ti-Ni sem tratamento térmico e com tratamento térmico a 400°C +25 durante 8 horas

As propriedades mecânicas dos fios fornecidos pela Metalle Memory foram obtidas através de ensaios de tração convencional até a ruptura do material. As figuras 3 (a) e 3 (b), mostram uma curva tensão-deformação média dos fios.

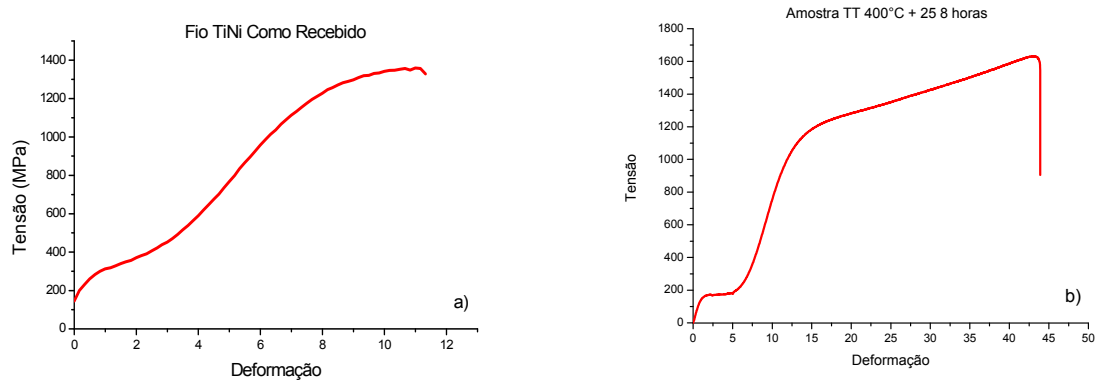


Figura 3 – Ensaio de tração efetuados na liga Ti-Ni: (a) como recebida e (b) com tratamento térmico a 400°C durante 8 horas

Os atuadores, com diâmetro de 9 mm foram ensaiados em um banho térmico com óleo de silicone. Não foi aplicada carga alguma ao primeiro atuador, (fig. 1 (a)) e ao segundo atuador foi aplicado uma carga de 70 MPa (fig. 2 (b)). A partir das curvas obtidas da deformação termoelástica versus temperatura verificou-se que quando aplicado um carregamento externo se produz uma histerese maior durante a ciclagem em relação ao atuador sem carregamento. A deformação termoelástica recuperada para o atuador com carregamento é de 24 mm e para o atuador sem carregamento é de 4 mm. O atuador sem carregamento apresenta duas transformações no arrefecimento, caracterizando assim o surgimento da fase R, ou a transformação em duas etapas: da fase austenita para a fase R e da fase R para a fase austenita. Enquanto que a amostra carregada apresenta apenas uma transformação no arrefecimento caracterizando a transformação direta da fase austenita para a fase martensita. A aplicação de carregamento externo interfere no resultado das ciclagens. Isso pode ocorrer devido ao processo de reorientação das discordâncias que promove a reconfiguração das plaquetas da martensita durante a ciclagem ⁽⁶⁾.

No caso dos fios de Ti-Ni com efeito memória de forma, com 1,27 mm de diâmetro foram efetuados diversos tratamentos térmicos para caracterização e escolha do tratamento mais adequado para a confecção da mola helicoidal.

As ligas Ti-Ni com efeito memória de forma, muitas vezes requerem tratamentos térmicos específicos para ajustar as temperaturas de transformação e assim facilitar sua aplicação prática. Otsuka e Ren⁽²⁾, concluíram em estudos recentes que as três fases Ti_3Ni_4 , Ti_2Ni_3 e $TiNi_3$ aparecem dependendo da temperatura e do tempo de recozimento. Isto é, em temperaturas mais baixas e

tempos mais curtos de tratamento térmico, a fase Ti_3Ni_4 aparece, em temperaturas e tempos maiores aparece $TiNi_3$, enquanto que em temperaturas e tempos intermediários surge a fase Ti_2Ni_3 .

Alguns estudos já realizados apontam que os tratamentos termomecânicos podem causar diferentes reações no estado sólido, tais como: mudança local na composição química (precipitação); redução dos defeitos (recristalização); e transformação estrutural de fase ⁽⁸⁾.

As amostras após serem submetidas a tratamentos térmicos têm suas estruturas alteradas. Nas amostras como recebido (fig. 2 a), há a predominância dos compostos da fase $TiNi_3$, representando uma liga com excesso de Ni. O tratamento térmico faz com que o composto $TiNi_3$ se decomponha, gerando composto de precipitação Ti_2Ni_3 ou Ti_3Ni_4 que são os responsáveis pelo surgimento da fase R. Na amostra com tratamento térmico de 8 horas há a presença de compostos da fase $TiNi$, $TiNi_3$ e Ti_3Ni_4 . Nessa amostra há um misto dos compostos de ligas rica em Ni e composto responsável pelo surgimento da fase R. Assim sendo, os picos no arrefecimento estão bem próximos (ver figura 2), indicando o seu desaparecimento caso se utilize um tratamento com maior temperatura.

As figuras 3 (a) e 3 (b) mostram uma curva tensão-deformação dos fios de Ti-Ni submetidos à tração até a ruptura dos mesmos. O material sem tratamento térmico rompe a 1360 MPa de tensão e 11,3 mm de deformação, enquanto que o material tratado a 400°C por 8 horas rompe a 1632 MPa de tensão e 43,5 mm de deformação. A amostra como recebida não apresenta o platô bem definido.

A curva da figura 3 (a) não apresenta um platô bem definido porque o material se encontra num estado misto, ou seja, temos a presença da fase austenita, da fase martensita e a fase R. Nesta situação, o material se encontra encruado com uma quantidade elevada de discordâncias criando barreiras para a não formação do platô.

A curva da figura 3 (b) é típica de um fio com memória de forma apresentado o platô que representa a formação da fase R. Com a aplicação da tensão há o início da deformação (1,5 mm) devido ao rearranjo das variantes da martensita da fase R e das discordâncias caracterizando o primeiro ponto de escorregamento. O segundo escorregamento se dá logo a seguir (5 mm), caracterizando o ponto do

início da deformação devido à tensão induzida por tensão da martensita da fase R para a fase B19⁽³⁾.

CONCLUSÕES

A aplicação de carregamento externo e a imposição de temperatura as amostras para tratamentos térmicos influenciam no resultado final dos experimentos.

O fio de Ti-Ni utilizado para os experimentos apresenta a fase R. Ficou comprovada através das ciclagens térmicas e também pelo ensaio de tração.

As tensões induziram modificações no comportamento do efeito memória de forma do material durante o treinamento. E o tratamento térmico modificou comportamento do efeito memória de forma durante o ensaio de tração.

Foi detectado a presença de compostos da fase TiNi₃, que se decompôs, gerando composto de precipitação Ti₂Ni₃ ou Ti₃Ni₄ que são os responsáveis pelo surgimento da fase R.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Otsuka, K., Wayman, C.M. *Shape Memory Materials*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1998.
2. PETTY, E.R. Otsuka K.; Rien X. Physical metallurgy of Ti-Ni-based Shape Memory Alloys. Elsevier Progress in Material Science. Vol. 50. p. 511-678. 2005.
3. NISHIDA, M.; HONMA, T. All-round shape memory effect in Ni-rich TiNi alloys generated by constrained aging. **Scripta Metallurgica**, v. 18, p. 1293 – 1298, 1984
4. MANTEL M., RAPACIOLI R., GUENIN G. Étude de cinétiques de vieillissement en martensite de l'alliage Cu-Zn-Al. Relation avec la transformation martensitique inverse, mémoires et études scientifiques revue de métallurgie, , INSA de Lyon, Villeurbanne, France, pp. 97 – 104, 1988.
5. AHLERS M. Martensite and equilibrium phases in Cu-Zn and Cu-Zn-Al alloys, Progress in Materials Science, vol. 30, pp 135-186, 1986.
6. Fan, Zhou G., Chen Y., Ren X., Otsuka K. Precipitation kinetics of Ti₃Ni₄ in polycrystalline Ni-rich TiNi alloys and relation to abnormal multi-stage transformation behavior. Materials Science and Engineering, pp 438-440, 2006.

7. PAULA, A. S.; CANEJO, J. P. H. G.; MARTINS, R. M. S.; BRAZ FERNANDES, F. M. Effect of thermal cycling of transformation temperature range of Ni-Ti shape memory alloys. **Materials Science and Engineering**, v. A378, p.92-96, 2003.
8. Viana, A. C. D. Influência dos Processos de Esterilização nas Propriedades Mecânicas de Instrumentos Endodônticos de NiTi, Dissertação de Mestrado UFMG. Belo Horizonte. p 37 – 40. 2005.

CHARACTERIZATION AND STUDY OF THE BEHAVIOR OF WIRE Ti-Ni WITH SHAPE MEMORY EFFECT ENABLES MANUFACTURE OF ACTUATORS

ABSTRACT

This work aims to characterize the wire commercial Ti-Ni of 1.27 mm in diameter with shape memory effect for the development of helical springs with the function of sensor / actuator. After heat treatment, the transformation temperatures, the presence of precipitates, the degree of damping, maximum stress of rupture, modulus of elasticity, the presence of phase R, the behavior of the alloy under tension, will be analyzed and compared in each situation. For characterization we used several methods including: heat treatment, Differential Scanning Calorimetry (DSC), tensile, dynamic mechanical analysis (DMA), X-ray diffraction, thermo-mechanical cycling. The wires were cut into pieces and heat-treated at 400°C with variation of time in muffle furnaces and quenching in water at 25°C.

Keywords: Shape memory effect, Characterization, R-Phase, Thermomechanical cycling.