

CARACTERIZAÇÃO DA LIGA Ni-45%Ti COM EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA SOLIDIFICADAS RAPIDAMENTE

G. C. S. Anselmo, W. B. de Castro, C. J. de Araújo
Universidade Federal de Campina Grande – Unidade Acadêmica de Engenharia
Mecânica
Aprígio Veloso, 882 – Cx. Postal 10069 – 58429-900 - Campina Grade – PB
walman@dem.ufcg.edu.br

RESUMO

As ligas com efeito de memória de forma são fortemente utilizados em muitas áreas da ciência e tecnologia. Com o surgimento de novos desafios na engenharia, novas pesquisas e desenvolvimentos em ligas com efeito de memória de forma com espessuras finas se fazem necessárias, para que atenda as necessidades de miniaturização, operação mais econômica e resposta rápida de dispositivos. Desenvolver materiais com memória de forma com geometria de fitas é o principal objetivo desse trabalho. As fitas foram obtidas por melting spinning e caracterizadas com difratômetro de raios-X. Aumentando a velocidade da roda do melting spinning de 30 para 50 m/s observou que a fase R (B2) era suprimida. A explicação para a supressão da fase R ou o seu completo desaparecimento é provavelmente em virtude do aumento do nível de super-resfriamento causado pelo aumento da velocidade de rotação da roda que leva a produção de fases metaestáveis.

Palavras-chave: Solidificação rápida, ligas Ni-Ti, memória de forma.

INTRODUÇÃO

Termo sensores são largamente usados em aplicações domésticas e em equipamentos industriais para controle de temperatura. Em muitas aplicações, especialmente em sistema de alarme de contra incêndio e em dispositivos de proteção contra superaquecimento, é muito importante aumentar a velocidade de resposta, e para isso é necessário a miniaturização desses dispositivos com garantia de baixo custo⁽¹⁾.

O material mais promissor para atender tais exigências são as ligas metálicas com Efeito de Memória de Forma (EMF). A designação de ligas com memória de forma é aplicada a um grupo de materiais metálico que demonstra a capacidade de retomar uma forma ou tamanho previamente definido quando sujeitas a um ciclo térmico apropriado⁽²⁾.

Em virtude de possuírem propriedades específicas, as ligas com efeito de memória de forma (SMA's) são fortemente utilizados em muitas áreas da ciência e tecnologia e está cada vez mais aumentando o campo de suas aplicações. As aplicações mais importantes são na engenharia elétrica e mecânica, tecnologia aeroespacial, medicina e robótica. Com o surgimento de novos desafios na

engenharia, novas pesquisas e desenvolvimentos em ligas com efeito de memória de forma com espessuras finas se fazem necessárias, para que atenda as necessidades de miniaturização, operação mais econômica e resposta rápida de dispositivos. Uma perspectiva consiste em produzir fitas com espessura de 100 μm ou menos a partir de ligas à base de nitinol (NiTi). Porém, é muito difícil produzir fitas com essa espessura a partir de ligas pré-deformadas à base de NiTi utilizando a técnica convencional, que é a de laminação, pois o trabalho vai ser árduo e o custo do processo se torna alto. Além disso, a tecnologia convencional por laminação de obtenção de fitas provoca diminuição do efeito de memória de forma das ligas⁽³⁾.

Diante disso, é bem sugestivo um projeto onde se possam obter fitas de ligas com efeito de memória de forma utilizando resfriamento rápido (técnica de melt spinning). Essa técnica permitirá obtenção de uma grande quantidade de fitas de novas ligas com memória de forma com variação nas propriedades físicas e mecânicas. A principal vantagem dessa nova tecnologia está no fato de que ela permite, através do resfriamento rápido, a obtenção de ligas com estrutura amorfa ou parcialmente amorfa, que depois do tratamento térmico, se tornam estruturas micro-cristalinas ou nano-cristalinas com um fino grau de dispersão da ordem 1-2, o que não é possível obter através da tecnologia convencional de processamento de ligas com efeito de memória de forma⁽⁴⁾.

O objetivo desse trabalho foi a caracterização da liga de Ni-45wt%Ti solidificada rapidamente através Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC) e Difração de Raios-X (DRX).

MATERIAIS E MÉTODOS

A liga bruta de fusão Ni-45wt%Ti foi produzida pelo processo de fusão por indução a vácuo e caracterizada por Calorimetria Diferencial de Varredura – DSC e por Difração de Raios-X, conforme Tab. 1.

As fitas foram obtidas através da técnica de *melt spinning*, que consiste em um jato de metal líquido fundido é lançado sob pressão num volante girando a uma alta velocidade. Ao chocar-se com o volante, que atua como substrato, o jato de metal líquido cria uma bolsa. Essa bolsa, que é gerada pela projeção continua de metal líquido, serve de reservatório por onde emerge uma fita de metal que, após ser solidificada rapidamente, é lançada fora do volante através da força centrífuga, conforme mostra a Fig 1⁽⁵⁾. A velocidade do volante variou de 30 m/s a 50 m/s. O processo *melt spinning* apresenta altas taxas de resfriamento, da ordem de 10^5 a 10^9 K/s. A caracterização física das fitas resfriadas rapidamente foi através de Calorimetria Diferencial de Varredura – DSC (Fig. 2), bem como por Difração de Raios-X.

Tabela 1. Composição e temperaturas de transformação da liga bruta de fusão.

Ti (%wt)	M _I (°C)	M _P (°C)	M _F (°C)	A _I (°C)	A _P (°C)	A _F (°C)
45,1	59,3	52,2	44,0	67,6	82,4	87,8

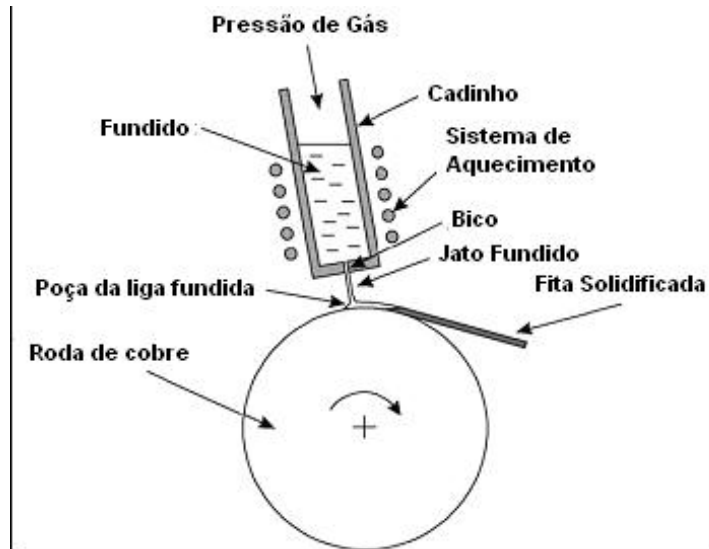


Figura 1. Representação esquemática do processo *melt spinning*.

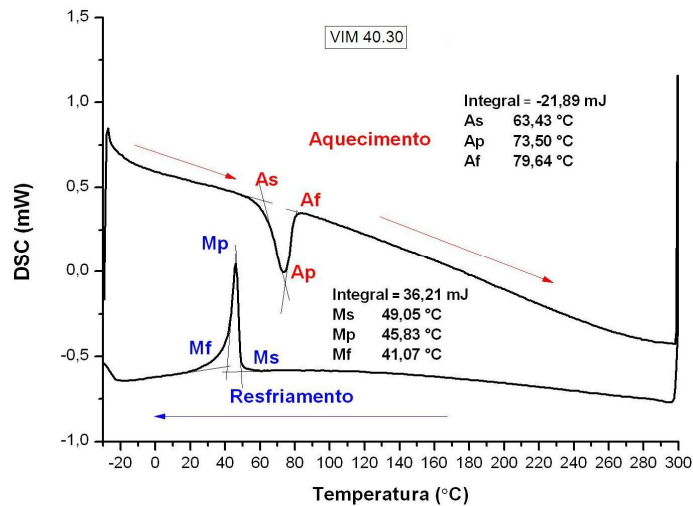


Figura 2. Curva obtida do DSC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1) Influência da rápida extração de calor nas temperaturas de transformação

A Tab. 2 contém todos os valores das temperaturas de transformação, tanto da liga como fabricada como das fitas obtidas por melting spinning com variação da velocidade da roda. Observa-se que com o aumento da velocidade da roda as temperaturas de transformação diminuiriam. Essa queda nos valores de temperaturas de transformação está relacionada provavelmente com o tamanho de grão, ou seja, quanto maior a velocidade da roda produzirá um menor tamanho de grão será obtido na microestrutura da liga. Isto porque, o processo de solidificação rápida gerada pela alta extração de calor da roda de cobre quando da obtenção das fitas, gera uma grande quantidade de defeitos e tensão residual. O contorno de grão e os defeitos causados pela tensão residual podem agir como barreiras para a transformação martensítica como um resultado da energia extra requerida durante a

transformação, levando a uma diminuição das temperaturas de transformação quando a velocidade da roda é aumentada⁽⁶⁾.

Tabela 2. Valores das temperaturas de transformação.

<i>Amostra</i>	<i>T_i (%wt) Nominal</i>	<i>M_I (°C)</i>	<i>M_P (°C)</i>	<i>M_F (°C)</i>	<i>A_I (°C)</i>	<i>A_P (°C)</i>	<i>A_F (°C)</i>
(Bruta de Fusão)	45,1	59,3	52,2	44,0	67,6	82,4	87,8
30m/s	45,1	49,0	45,8	41,0	63,4	73,5	79,6
50m/s	45,1	37,3	29,6	23,7	54,0	68,2	79,8

A literatura reporta o efeito do tamanho de grão nas temperaturas de transformação de fitas obtidas por técnicas de resfriamento rápido, atribuindo esse fenômeno aos contornos de grão e os defeitos causados pela tensão residual, gerados pela rápida extração de calor advinda do processo de solidificação rápida, que agem como barreiras para a transformação martensítica diminuindo as temperaturas de transformação^(5, 6, 7).

2) Influência da rápida extração de calor na estrutura de solidificação

Caracterização das fases presentes foi feita com Difração de Raios-X (DRX) e são apresentados na Fig. 3.

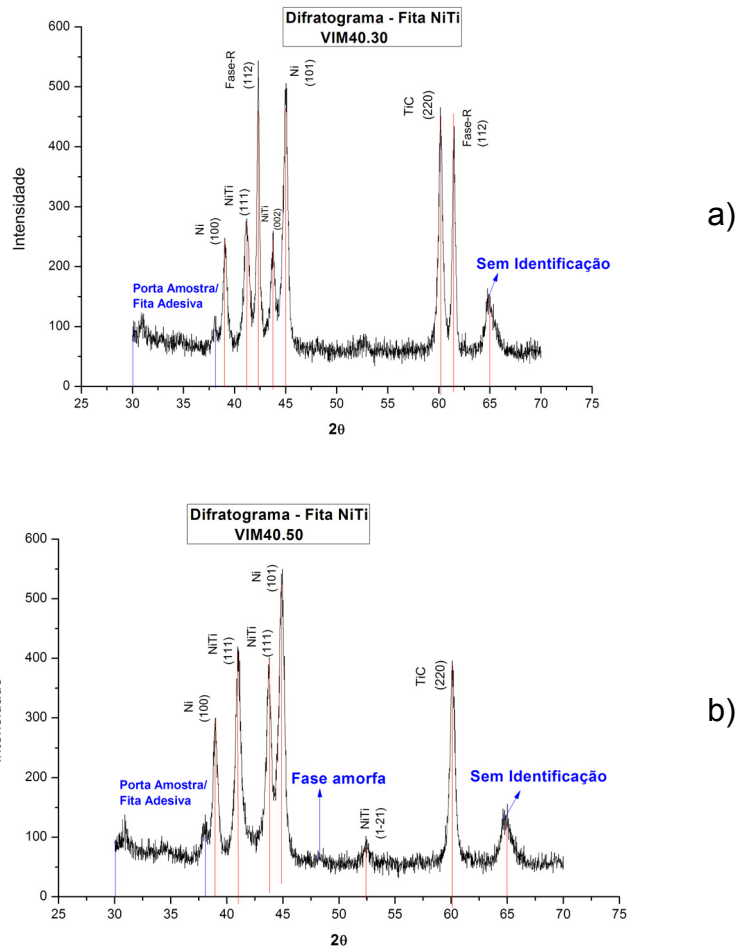


Figura 3. Padrão de DRX das fitas fabricadas nas seguintes velocidades de rotação: a) 30 m/s e b) 50 m/s.

Observa-se que, com o aumento da velocidade da roda, foi suprimida e apenas a fase B19 (TiC) aparece nos difratogramas apresentados, ou seja, com o aumento da velocidade de rotação da roda de 30 m/s para 40 m/s, a fase R foi totalmente suprimida, aparecendo apenas a fase B19. A fase R é uma fase não muito explorada comercialmente, mas que contribui com o efeito memória de forma que é a fase romboédrica.

O desaparecimento da fase R provavelmente pode ser atribuído ao aumento do nível de super-resfriamento causado pelo aumento da velocidade de rotação da roda que levaria a produção de fases metaestáveis. Observa-se em alguns trabalhos da literatura que a supressão de todas as fases em determinadas regiões, principalmente no lado da fita em contato com a roda, dá-se pelo fato da formação de fitas completamente amorfas^(8, 9, 10).

CONCLUSÕES

Após os resultados obtidos neste trabalho, chegamos às seguintes conclusões:

- 1- A técnica de *melting spinning* permite a produção de fitas da ordem de 30 µm em apenas uma etapa de processamento;
- 2- Provavelmente a diminuição do tamanho de grão com o aumento da velocidade de rotação da roda diminuiu as temperaturas de transformação induzidas pela maior quantidade de contornos de grão e tensões residuais que retardam a formação da martensita;
- 3- A presença da fase R foi suprimida à medida que a velocidade de rotação da roda aumentava. Isto provavelmente é porque o processo de solidificação rápida provocada pela alta extração de calor favorece o aparecimento de fases metaestáveis (fase B19) e suprime as fases estáveis (fase R).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro através dos projetos CASADINHO projeto nº 620091/2008-8, UNIVERSAL projeto 471831/2009-3 e a concessão da bolsa de estudos para o aluno George Carlos S. Anselmo.

REFERÊNCIAS

1. BELLOUARD Y., **Shape memory alloys for microsystems: A review from a material research perspective**, Materials Science and Engineering, vol. A 481–482, p. 582–589, 2008.
2. SABURI T., IN: OTSUKA K., WAYMAN C.M. (Eds.), **Shape Memory Materials**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 49–73, 1998.
3. FERNANDES, F. M. B. “**Ligas Com Memória de Forma**”. Departamento de ciência dos Materiais / CENIMAT, Universidade de Lisboa, Lisboa, p.1-32, 2006.
4. DUWEZ P. “**Mettalic Glasses – Historical Background**”, **Topics in Applied Physics**, v. 46, p. 19, 1981.
5. KIMA, Y.; YUN, Y.; NAM, T. The effect of the melt spinning processing parameters on the solidification structures in Ti–30 at.% Ni–20 at.% Cu shape memory alloys. **Materials Science and Engineering**, A. 438-440, p.545–548, 2006.

6. CHANG, S.H.; WU, S.K.; CHANG, G.H. Grain size effect on multiple-stage transformations of a cold-rolled and annealed equiatomic TiNi alloy. **Scripta Materialia**, v.52, p. 1341–1346, 2005.
7. WU, S.K.; LIN, K..N. Martensitic transformation of grain-size mixed Ti51Ni49melt-spun ribbons. **Journal of Alloys and Compounds**, 424 , 171–175, 2006.
8. KIMA , Y.; MALARRIA J.; ELGOYHEN C.; OCHIN P; PORTIER, R. Shape memory properties of Cu-based thin tapes obtained by rapid solidification. **Materials Science and Engineering**, A 438–440, 763–767, 2006.
9. KIMA, Y.; YUN, Y.; NAM, T. Microstructures and shape memory characteristics of rapidly solidified Ti50Ni30Cu20 alloy ribbons. **Materials Science and Engineering** , A. 438-440, p.540–544, 2006.
10. XING, H.; KIM , H. Y.; MIYAZAK S. Microstructures of Ti-48%Ni shape memory melt-spun ribbons. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China** , p. 1-16, 2006.

CHARACTERIZATION OF THE Ni-45wt%Ti SHAPE MEMORY ALLOY RAPIDLY SOLIDIFIED

ABSTRACT

One important challenge of microsystems design is the implementation of miniaturized actuation principles efficient at the micro-scale. Shape memory alloys (SMAs) have early on been considered as a potential solution to this problem as these materials offer attractive properties like a high-power to weight ratio, large deformation and the capability to be processed at the micro-scale. shape memory characteristics of Ni–45wt%Ti alloy ribbons prepared by melt spinning were investigated by means of differential scanning calorimetry and X-ray. In these experiments particular attention has been paid to change the velocity of cooling wheel from 30 to 50 m/s. Then the cooling rates of ribbons were controlled. The effect of this cooling rate on martensitic transformation behaviors and structure are discussed.

Key-words: Rapid solidification, Ni-Ti alloy, shape memory.