

INFLUÊNCIA DO SUPER-RESFRIAMENTO NAS LIGAS Cu-Al-Ni COM EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA.

Influence of the undercooling in the Cu-Al-Ni alloy with shape memory effect

RESUMO

Nesse trabalho foi avaliada a microestrutura da liga 83%Cu – 13%Al – 4%Ni (porcentagem em peso) em 3 condições experimentais: a) estado bruto de fusão, b) estado bruto de fusão temperada e c) solidificada com fluxo. A liga no estado bruto de fusão apresentou grãos contendo partículas precipitadas no interior dos grãos, sem a presença de martensita e o contorno desses grãos foi definido pelas partículas segregadas, enquanto a liga no estado bruto de fusão temperada apresentou grãos com a presença de martensita e contornos sem precipitados. A liga solidificada com fluxo apresentou grãos com a presença de martensita e sem precipitado.

PALAVRAS-CHAVE: Ligas Cu-Al-Ni com memória de forma, Técnica de fluxo, super-resfriamento..

ABSTRACT

In this work, 83%Cu - 13%Al - 4%Ni (percentage in weight) alloy was evaluated in 3 experimental conditions: a) as-melted, b) as casting quenched and c) flux solidified. Effects of the undercooling phase structures were investigated. Compared with the The as-melted alloy presented grains containing precipitate particles inside of the grains, without martensite morphology and the contour of those grains were defined by the segregated particle. The alloy in the as-melted quenched presented grains with internal martensite morphology and contours without precipitate. The flux solidified alloy presented grains with martensite morphology and without precipitate.

KEYWORDS: Shape memory alloys, Cu-Al-Ni alloys, undercooling, Flux Technique

1. INTRODUÇÃO

A Solidificação Rápida de metais e ligas metálicas pode ser alcançada através da aplicação de altas taxas de resfriamento ($10^2 - 10^6$ K/s) ou pela imposição de altos níveis de super-resfriamento através da minimização ou eliminação de agentes nucleantes.

O processo de solidificação rápida pode levar a formação de estruturas com características bem particulares e de grande interesse tecnológico tais como grãos refinados, estruturas homogêneas sem segregações, soluções sólidas supersaturadas, fases metaestáveis e estruturas amorfas [1]. As técnicas que reduzem os agentes nucleantes com alto potencial catalítico possibilitam a obtenção de altos graus de super-resfriamento com baixas taxas de resfriamento, da ordem de 1 K/s.

Neste caso, o monitoramento da temperatura é mais preciso, a medida da temperatura de nucleação e conseqüentemente o super-resfriamento do metal líquido [2] poderão também ser monitorados. Os agentes nucleantes que promovem a nucleação heterogênea podem estar presentes nos materiais usados

para confecção da liga, podem ser resultados de reações molde/metal, ou ainda podem ser formados durante a operação de fusão por oxidação de elementos do metal ou liga. A própria parede do cadinho pode atuar como um substrato para ocorrência da nucleação heterogênea, caso o ângulo de molhamento entre o metal fundido e a parede do cadinho for pequeno, sendo esta uma das formas mais eficientes de sítios catalíticos. Dentre essas técnicas se encontra a técnica de fusão em presença de fluxo, que consiste em fundir e resfriar o metal ou liga envolto em um fluxo. Esse fluxo, que além de evitar o contato do metal fundido com as paredes do cadinho que são pontos de nucleação, pode atuar como agente de limpeza absorvendo óxidos superficiais e/ou impurezas que possam vir a atuar como agente de nucleação heterogênea.

A designação de ligas com memória de forma é aplicada a um grupo de materiais metálicos que demonstra a capacidade de retomar uma forma ou tamanho previamente definidos quando sujeitas a um ciclo térmico apropriado. Geralmente estes materiais podem ser facilmente deformados plasticamente a uma temperatura relativamente baixa e, ao serem expostos a uma temperatura mais elevada, retomam a forma inicial

CRISTIANO C. NAKATANI

Estudante de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Campina Grande
crisnakatani@gmail.com

WILTON W. BATISTA

Engenheiro de Materiais, Dr.
Pesquisador
Universidade Federal de Campina Grande
wiltonwalter@hotmail.com

CARLOS J. DE ARAÚJO

Engenheiro Mecânico, Ph. D.
Professor Adjunto
Universidade Federal de Campina Grande
carlos@dem.ufcg.edu.br

WALMAN B. DE CASTRO

Engenheiro Mecânico, Dr.
Professor Associado
Universidade Federal de Campina Grande
walman@dem.ufcg.edu.br

(anterior à deformação). Embora uma grande variedade de materiais possa manifestar o efeito de memória de forma, só têm interesse comercial as ligas em que é possível obter uma quantidade significativa de recuperação da deformação ou os casos em que é gerada uma força significativamente importante durante a mudança de forma. De momento tal acontece unicamente com as ligas Ni-Ti, bem como com ligas de Cu dos sistemas Cu-Al-Zn e Cu-Al-Ni.

O objetivo do presente trabalho foi a verificação da influência do super-resfriamento da liga na microestrutura da liga 83%Cu-13%Al-4%Ni, utilizando a técnica de fusão em presença de fluxo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de aproximadamente 2 g da liga 83%Cu – 13%Al – 4%Ni (porcentagem em peso) solidificadas em 3 condições experimentais: a) estado bruto de fusão, b) solidificada com fluxo e c) no estado temperado. As amostras no estado temperado, foram aquecidas até a temperatura de 900 °C e temperadas em água. As ligas super-resfriadas usando a técnica de fluxo foram submetidas a 30 ciclos de fusão-solidificação, entre 900 e 1100°C, empregando como fluxo de vidro néon cuja temperatura de amolecimento é de 800°C. As amostras e o fluxo foram colocados em cadinho de quartzo e submetidas a ciclos de aquecimento, até uma temperatura superior a de fusão de cada liga e resfriamento até a nucleação.

Para o monitoramento e aquisição de dados de temperatura um termopar tipo K (cromel-alumel), com isolamento mineral de $\phi = 1,5$ mm, foi imerso diretamente na amostra para que se pudesse ter o registro da temperatura com fidelidade. Antes de inserir o termopar na amostra, o mesmo foi protegido com cápsula de quartzo, para assim evitar o contato direto do termopar com a amostra, o que poderia induzir nucleação. O monitoramento dessa temperatura e a aquisição de dados foram feitos por um sistema de aquisição computadorizado (100 pontos/s).

Considerando que a taxa de resfriamento deve ser maximizada, que a vibração no metal fundido deve ser evitada e que a vida útil dos elementos do forno pode ser comprometida com ciclos aquecimento-resfriamento contínuos, o sistema experimental Fig. (1) foi concebido de tal maneira que o cadinho é sustentado por um suporte independente do forno. Com isso o forno pode ser trasladado verticalmente, o resfriamento se dá sem o resfriamento do forno, mas sim pelo abaixamento do mesmo, expondo ao ar o cadinho com a amostra. O aquecimento para o próximo ciclo é realizado pelo levantamento do forno, resultando em rápido aquecimento.

As amostras foram preparadas por metalografia convencional e as microestruturas foram analisadas em microscópio ótico.

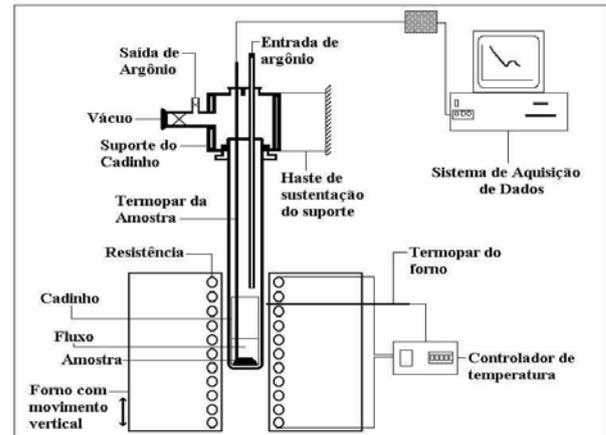


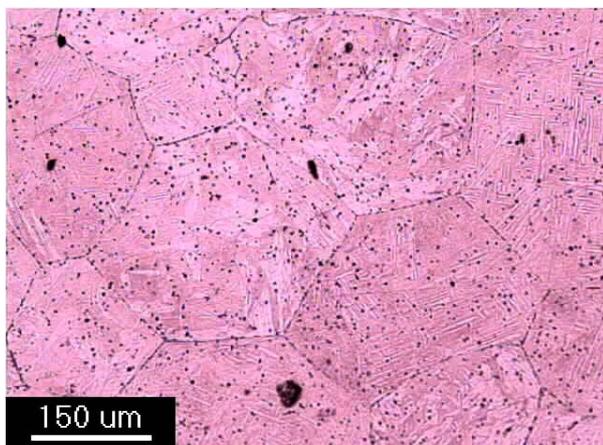
Figura 1. Desenho esquemático do sistema experimental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

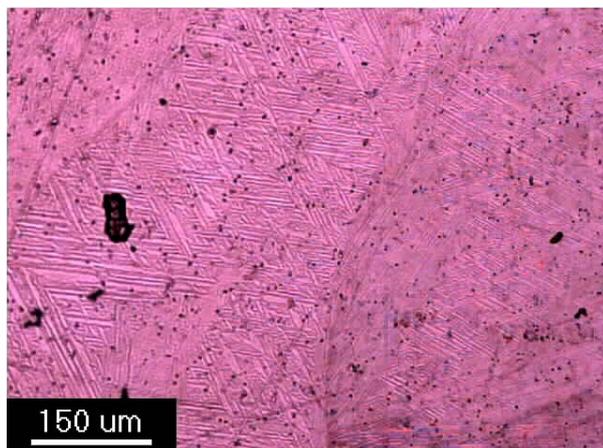
A microestrutura da liga 13% Al foi analisada em 3 condições experimentais: a) estado bruto de fusão, b) solidificada com fluxo e c) no estado temperado, Figura 2. As curvas de resfriamento temperatura versus tempo da liga em estudo não conseguiu detectar a nucleação das fases, que acontece geralmente quando se observa uma inflexão nessa curva. Conseqüentemente não foi possível medir o nível de super-resfriamento para essa liga. Contudo, observando as microestruturas da liga nas 3 condições, verifica-se que a liga no estado bruto de fusão apresentou uma microestrutura de grãos da fase primária e alguns precipitados dentro desses grãos. Já a amostra solidificada com fluxo, observa-se que diminuiu a quantidade de grãos da fase primária e diminuiu também a quantidade dos precipitados dentro dos grãos, entretanto já percebemos a presença da fase martensítica. Enquanto a amostra na condição temperada quase não apresentou grãos, nem precipitados e a quantidade de martensita foi maior. Na liga solidificada com fluxo pudemos observar a formação da fase metaestável martensita, apesar das baixas taxas de resfriamento, da ordem de 1 K/s, impostas nesse processo, isto significando que o processo de eliminação de agentes nucleantes pelo fluxo foi de certa forma eficiente, levando a liga a um processos a uma solidificação rápida. Isto pode ser evidenciado pois a microestrutura da amostra obtida para essa condição foi muito semelhante a da amostra na condição temperada, onde ambas apresentaram a presença da martensita, diferentemente da liga no estado bruto de fusão.

Sabe-se que a força motriz para a solidificação de um fundido super-resfriado é a diferença das energias de Gibbs entre o sólido e o líquido. Entretanto, a microestrutura da liga solidificada muda com o aumento do super-resfriamento. Quando o super-resfriamento é pequeno, a solidificação acontece em condições de equilíbrio, fazendo com que tanto a nucleação quanto o crescimento dos cristais ocorram lentamente. Mas

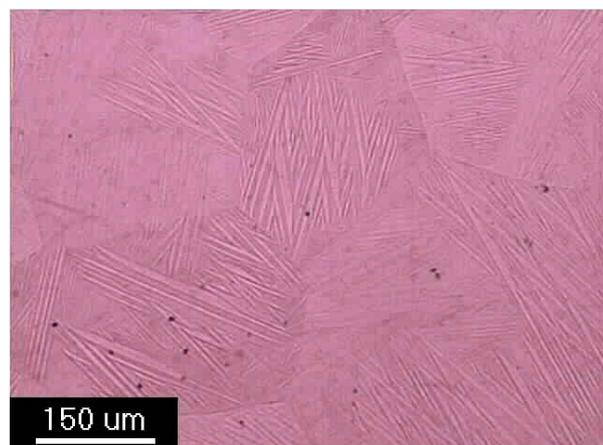
quando o super-resfriamento é alto a nucleação e a velocidade de crescimento dos cristais também é alta, provocando mudanças de fases estáveis para metaestáveis.



(a)



(b)



(c)

Figura 2 - Microestrutura da liga 83% Cu - 13% Al - 4% Ni. (a) No estado bruto de fusão; (b) Solidificada com fluxo e (c) No estado temperado.

Zheng H. X. et al [5] estudaram o super-resfriamento da liga $Ni_{56}Fe_{17}Ga_{27}$ e verificaram que o aumento do super-resfriamento não modificou a temperatura de transformação martensítica, significando que as transformações de transformações martensíticas são estáveis ao longo da direção de crescimento utilizando altos super-resfriamentos em técnica de crescimento unidirecional, isto sendo favorável na prática no campo da engenharia.

4. CONCLUSÕES

A técnica de fluxo foi aplicada à liga 83%Cu – 13%Al – 4%Ni. A microestrutura da liga super-resfriada pela técnica de fluxo mostrou a presença de martensita, mesmo a técnica utilizando baixa taxa de resfriamento, 1 K/s. Isso mostra que a técnica de fluxo foi eficiente em reduzir alguns agentes nucleantes e provocar o surgimento da fase metaestável martensítica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão da bolsa de PIBIC do aluno Cristiano Couto Nakatani.

6. REFERÊNCIAS

- [3] FERNANDES, F. 2003 – “LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA”, 2006, Departamento de Ciências dos Materiais – CENIMAT, Universidade Nova de Lisboa.
- [2] HERLACH, M. 1994 – “Non-equilibrium solidification of undercooled metallic melts”, Materials Science and Engineering, R 12, pp. 177-272
- [1] JONES, H. 1982 – “Rapid solidification of metals and alloys” The institute of Metallurgist, Monograf n°8, London
- [4] WANG, N and WEI, B, 2001, “Rapid solidification behaviour of Ag–Cu–Ge ternary eutectic alloy”, Materials Science and Engineering, Vol. A307, p. 80.
- [5] ZHENG H.X., XIA M.X., LIU J., LI J.G. 2004 “Martensitic transformation of highly undercooled Ni–Fe–Ga magnetic shape memory alloys”, Journal of Alloys and Compounds