

## Cinética da reação eutetóide nas ligas Cu-11%Al-x%Ag (x = 0, 1, 2 e 3)

Edna S. Machado<sup>1\*</sup> (IC), Ricardo A. G. Silva<sup>1</sup> (PQ), Antonio T. Adorno<sup>2</sup> (PQ), Aroldo G. Magdalena<sup>2</sup> (PG), Thaisa M. Carvalho<sup>2</sup> (PG) \*[edna\\_quimica@yahoo.com.br](mailto:edna_quimica@yahoo.com.br)

<sup>1</sup>Núcleo de Química – Campus Prof. Alberto Carvalho - UFS – Av. Vereador Olímpio Grande, Centro – 49500-000 Itabaiana-SE. <sup>2</sup>Departamento de Físico-Química – Instituto de Química - Unesp – Caixa Postal 355 – 14801-970 Araraquara-SP.

Palavras Chave: Cinética, Ligas de Cu-Al-Ag.

### Introdução

Ligas de Cu-Al, com concentração de Al acima 8,5%, apresentam uma reação difusiva do tipo eutetóide em torno de 565 °C associada com a decomposição da fase  $\beta$  e a formação da fase  $(\alpha+\gamma_1)$ , durante o resfriamento lento a partir de altas temperaturas<sup>1</sup>. No resfriamento rápido a fase  $\beta$  produz a fase martensítica, que por sua vez está intimamente relacionada ao desenvolvimento de ligas inteligentes. A fase martensítica ( $\beta_1$ ) herda a estrutura cristalográfica da fase  $\beta$  e, portanto, a formação desta fase  $\beta$  pode interferir no efeito memória de forma. Nesse trabalho a cinética não-isotérmica da reação eutetóide reversa (RER),  $(\alpha+\gamma_1)\rightarrow\beta$ , na liga Cu-11%Al com e sem adição de Ag, foi estudada usando medidas de calorimetria exploratória diferencial (DSC), difratometria de raios X in situ (DRX), microscopias eletrônica de varredura (MEV) e óptica (MO).

### Resultados e Discussão

Para estabelecer a sequência das reações nas ligas Cu-11%Al-x%Ag (x=1, 2 e 3), curvas DSC partindo de amostras recozidas foram obtidas. O tratamento térmico de recozimento consiste em aquecer a amostra até 900 °C e em seguida resfriá-la lentamente a uma razão em torno de 1 °C.min<sup>-1</sup>. Curvas DSC das amostras foram obtidas com razão de aquecimento igual a 5,0; 10; 20 e 30 °C.min<sup>-1</sup>, fluxo de N<sub>2</sub> igual a 50 mL.min<sup>-1</sup> no intervalo de temperaturas de 30 a 600 °C. As curvas DSC obtidas a 10 °C.min<sup>-1</sup> são mostradas na fig. 1-a. Após os ensaios de DRX, realizados no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, MEV e MO, as fases produzidas durante o aquecimento das amostras recozidas foram identificadas, caracterizadas e a sequência das reações foi estabelecida. Na curva da fig.1-a, associada com a amostra sem Ag, dois eventos térmicos foram observados. P<sub>1</sub> foi devido à reação de desordenamento da fase  $\alpha_2$ ; o pico P<sub>2</sub> relacionado com a RER,  $(\alpha+\gamma_1)\rightarrow\beta$ . Com as adições de Ag dois novos picos foram observados. O pico P<sub>3</sub> associado com reação de decomposição da martensita retida no resfriamento lento e o pico P<sub>4</sub> foi associado com a transição  $\beta_1\rightarrow\beta$ . Os resultados obtidos indicaram que a presença de Ag introduz dois novos eventos térmicos e retarda a reação de decomposição da fase  $\beta$  durante o resfriamento

lento, tornando possível que seja obtida a fase martensítica ( $\beta_1$ ) em amostras recozidas (resfriadas lentamente). É importante ressaltar que a martensita é obtida durante resfriamento rápido. Isso provoca uma diminuição da fração relativa da fase  $(\alpha+\gamma_1)$  disponível para formar  $\beta$ . Além disso, a prata desloca a temperatura de transição para temperaturas mais baixas, num fenômeno associado com o aumento da entropia do sistema.

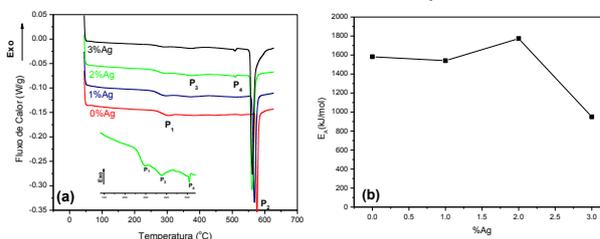


Figura 1. (a) Curvas DSC das amostras recozidas e (b) curva de variação da energia de ativação vs. %Ag.

Os valores das energias de ativação ( $E_a$ ) da RER na liga Cu-11%Al com e sem adição de Ag foram obtidos utilizando um modelo não-isotérmico (método de Kissinger), no qual o gráfico do logaritmo natural da razão entre a taxa de aquecimento e o quadrado da temperatura de pico absoluta,  $\ln(\dot{\phi}/T_p^2)$ , em função do inverso da temperatura de pico absoluta fornece uma reta com coeficiente angular correspondente à  $-E_a/R$ . A variação dos valores de  $E_a$  é mostrada na figura 1-b. Estes valores permanecem praticamente constantes até em torno de 2%Ag e depois diminui até 3%Ag. Essa diminuição nos valores de  $E_a$  é devida às mudanças na fração relativa de  $(\alpha+\gamma_1)$ <sup>1</sup>. Para a liga com adições de 1 e 2%Ag a variação na fração relativa da fase  $(\alpha+\gamma_1)$  não é suficiente para alterar o mecanismo da reação, enquanto a adição de 3%Ag diminui a fração de  $(\alpha+\gamma_1)$ , tornando a reação eutetóide reversa (RER) mais rápida.

### Conclusões

A presença de Ag altera a sequência das reações na liga Cu-11%Al e a fração relativa da fase complexa  $(\alpha+\gamma_1)$ . Por conta disso, o valor da energia de ativação para reação eutetóide reversa (RER) diminui na liga com adição de 3%Ag.

### Agradecimentos

FAPITEC/SE/FUNTEC e ao LNLS.

<sup>1</sup>Adorno, A. T.; Silva, R. A. G.; *J. Therm. Anal. Cal.*, **2005**, 79, 445.