

## Cinética da reação eutetóide na liga Cu-11%Al com adições de Ag.

Thaís M. Carvalho<sup>1\*</sup>(PG), Antonio T. Adorno<sup>1</sup>(PQ), Aroldo G. Magdalena<sup>1</sup>(PG), Luiz H. Vieira<sup>1</sup>(IC), Ricardo A. G. Silva<sup>2</sup>(PQ).

\*[thaisa.mary@gmail.com](mailto:thaisa.mary@gmail.com)

<sup>1</sup>Instituto de Química-UNESP, Departamento de Físico-Química, Laboratório de Materiais Metálicos, Caixa Postal 355, 14801-970 Araraquara-SP

<sup>2</sup>UNIFESP, Departamento de Ciências Exatas e da Terra, 09920-540 – Diadema-SP

Palavras-chave: cinética não-isotérmica, reação eutetóide, ligas de Cu-Al, adições de Ag.

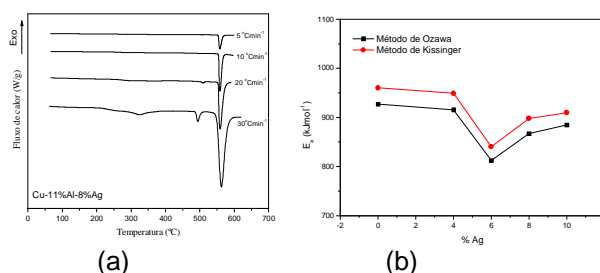
### Introdução

As ligas do sistema Cu-Al-Ag apresentam, em um amplo intervalo de composições, as mesmas fases existentes no sistema Cu-Al, não sendo observadas fases ternárias intermediárias<sup>1</sup>. Sabe-se que, no sistema Cu-Al, durante o resfriamento lento a partir de altas temperaturas a fase  $\beta$  passa por uma transformação eutetóide  $\beta \leftrightarrow (\alpha + \gamma_1)$ <sup>2</sup>. Em um ensaio de análise térmica, como DSC, o máximo da velocidade de reação coincide com o pico da transformação. Medindo-se a temperatura de pico em várias taxas de aquecimento e determinando os coeficientes angular e linear do gráfico de  $\ln[\beta/T_p^2]$  (método de Kissinger), ou  $\ln\beta$  (método de Ozawa) em função de  $1/T_p$  é possível calcular a energia de ativação para o processo considerado<sup>3</sup>. Neste trabalho, a reação  $(\alpha + \gamma_1) \rightarrow \beta$  foi estudada utilizando métodos da cinética não-isotérmica em ligas de Cu-11%Al contendo 4, 6, 8 e 10%Ag (m/m). O estudo cinético foi realizado utilizando calorimetria exploratória diferencial (DSC), metalografia por microscopia óptica e eletrônica de varredura e difração de raios X.

### Resultados e Discussão

A figura 1-a mostra as curvas DSC obtidas para a liga Cu-11%Al-8%Ag (m/m), previamente submetida a um recozimento prolongado, em várias razões de aquecimento. O pico em torno de 560 °C está associado à reação  $(\alpha + \gamma_1) \rightarrow \beta$ . Essas curvas foram obtidas nas mesmas condições experimentais para todas as ligas e notou-se que este pico fica melhor definido com razão de aquecimento elevada e é deslocado para temperaturas mais altas, o que caracteriza uma reação controlada por difusão. A figura 1-b mostra os gráficos de variação da energia de ativação para a reação eutetóide com a concentração de Ag, obtidos pelos métodos de Kissinger e Ozawa. Nesses gráficos, pode-se observar que os dois métodos forneceram valores semelhantes para a energia de ativação, variando em torno de 810 a 960 kJmol<sup>-1</sup>. Pode-se observar também que o aumento na concentração de Ag diminui a energia de ativação para a reação. Esses resultados devem estar associados com a interação Ag-Al na matriz Cu-Al. Em temperaturas em torno de 560 °C, as ligas estudadas estão localizadas no campo hipoeutetóide  $[\alpha + \beta]$  e parte da Ag está

dissolvida da fase  $\alpha$  e outra parte na fase  $\beta$ . A fase  $\alpha$ , rica em Cu, nas ligas de Cu-Al-Ag é uma solução sólida de átomos de Al e Ag que possui estrutura cúbica de face centrada (f.c.c.). Os átomos de cobre e prata possuem raios atômicos diferentes dificultando a interação Cu-Ag, enquanto os átomos de alumínio e prata possuem raios atômicos mais próximos facilitando a interação dos pares Ag-Al. Então, a solubilidade da Ag pode ser maior em altas concentrações de Al e, nas ligas de Cu-11%Al com adições de Ag, o aumento da concentração de Al irá deslocar a concentração de equilíbrio para valores próximos do ponto eutetóide. Assim, a reação de formação da fase  $\beta$  deverá ocorrer com o Al como solvente, no lugar do Cu e o aumento do teor de Al, devido ao aumento na concentração de Ag, diminuirá o valor da energia de ativação da reação.



**Figura 1** - Curvas DSC obtidas em diferentes razões de aquecimento para a liga recozida (a) Cu-11%Al-8%Ag, e (b) Comparação dos valores de energia de ativação obtidos pelos métodos de Kissinger e Ozawa para as ligas Cu-11%Al-X%Ag (X = 0, 4, 6, 8 e 10).

### Conclusões

Os resultados obtidos indicaram que os métodos de Kissinger e Ozawa forneceram valores próximos da energia de ativação para a reação eutetóide reversa na liga Cu-11%Al com adições de Ag. A variação nos valores da energia de ativação com o aumento na concentração de Ag foi atribuído à interação Al-Ag na matriz Cu-Al.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp e à Capes pelo suporte financeiro.

<sup>1</sup>Massalski, T. B.; Perepezko, J. H. Z.W. *Zeitschrift für Metallkunde*, **1973**, *64*, 1294.

<sup>2</sup>Kwarciaik, J.; *J. Thermal Anal.*, **1986**, *31*, 559.

<sup>3</sup>Baram, J.; Erukhimovitch V., *Thermo Acta*, **1997**, *29*, 81.