

Cinética de precipitação de Ag na liga Cu-6%Al com adições de Ag

Aroldo G. Magdalena¹ (IC)*, Ricardo A G Silva¹ (PG), Antonio T Adorno¹ (PQ), Alan C. Pilon¹ (IC).
*aroldogm@grad.iq.unesp.br

¹Departamento de Físico-Química – Instituto de Química–Unesp, Caixa Postal 355, CEP 14801-970, Araraquara - SP.

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

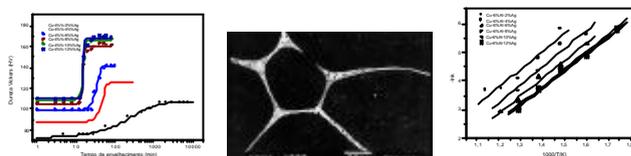
Introdução

No diagrama de equilíbrio do sistema Cu-Al o limite de estabilidade da fase α -Cu está 8,5 e 9,0%Al no intervalo de temperatura até 300°C. A fase α_2 tem uma estrutura ordenada fcc e coexiste com as fases α e γ_1 abaixo da reação peritética ($\alpha + \gamma_1 \leftrightarrow \alpha_2$). As adições de Ag às ligas de Cu-Al aumentam sua dureza, resistência à corrosão sob tensão e modificam as características de envelhecimento dessas ligas. O processo de formação dos precipitados de Ag na liga Cu-6%Al com adições de 2, 4, 6, 8, 10 e 12%Ag foi estudado usando medidas de variação da microdureza com a temperatura e o tempo de envelhecimento, calorimetria exploratória diferencial (DSC), análise térmica diferencial (DTA), microscopias óptica (MO) e eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X (DRX).

Resultados e Discussão

A caracterização das amostras foi feita usando DTA, DSC, DRX, MO e MEV. Os resultados obtidos indicaram que a dissolução total de Ag na matriz Cu-Al ocorre em torno de 800°C e a precipitação de Ag está em torno de 530°C. Os gráficos de variação da microdureza com a temperatura mostraram um pico de máximo da dureza em torno de 500 °C, que foi associado à reação de precipitação de Ag. Portanto, a temperatura onde foi obtido o valor máximo da dureza deve estar relacionada ao máximo da velocidade da reação. Com base na curva de variação da microdureza com a temperatura foram selecionadas algumas temperaturas, em torno do valor máximo da dureza, para a análise da cinética de precipitação de Ag nas ligas. O gráfico de variação da microdureza com o tempo, fig. 1-a, forneceu curvas sigmoidais. A micrografia eletrônica de varredura da figura 1-b mostra a fase rica em prata (região clara) no final da reação. Os picos das curvas obtidas a partir da primeira derivada das curvas sigmoidais estão relacionados à velocidade máxima do processo global de formação dos precipitados ricos em Ag. Os gráficos do logaritmo natural da velocidade da reação $\ln(dHv/dt)$ vs. $\ln t$, indicaram que para concentrações até 6%Ag a reação é de segunda ordem, e acima desta concentração (8 a 12%Ag) o processo é de ordem zero, ou seja, a velocidade da reação não é

alterada com a concentração. O processo de segunda ordem está relacionado com a nucleação e o crescimento dos precipitados e a mudança mecanística observada para as amostras contendo 8, 10 e 12%Ag, ordem zero, indica uma saturação da liga Cu-6%Al com a prata. Isso parece sugerir que 6%Ag deve estar próximo do limite de solubilidade de Ag na liga Cu-6%Al. A equação de Johnson-Mehl-Avrami (JMA) escrita na forma : $y = b - (b - a)\exp[-(kt)^n]$ foi ajustada aos pontos experimentais das curvas sigmoidais obtidas, fig. 1-a, usando um método de regressão não-linear. O parâmetro k obtido a partir desse ajuste, embora aproximado, fornece informações sobre a cinética da reação considerada. A constante k pode ser relacionada à temperatura absoluta pela equação de Arrhenius, $k = k_0 \exp(-E/RT)$, e o gráfico de $\ln k$ vs. $1000/T$, fig. 1-c, forneceu valores de energias de ativação compreendidos entre 54 a 49kJmol⁻¹. Esses valores sempre diminuíam com o aumento da concentração de Ag e estão próximos daquele encontrado na literatura¹ para a precipitação



de Ag, $E=49,1$ kJmol⁻¹ em ligas de Cu-Al, sugerindo que o processo é controlado pela difusão da prata pelos contornos de grão da matriz.

(a) (b) (c)
Figura 1. (a) Curvas de variação da microdureza x tempo. (b) MEV obtida a 500°C no final da reação. (c) Gráfico de $\ln k$ x $1/T$.

Conclusões

Os resultados obtidos indicaram que o processo de precipitação de Ag atinge sua velocidade máxima em torno de 500°C. A análise da ordem de reação indicou que 6%Ag deve estar próximo do limite de solubilidade de Ag na liga Cu-6%Al. O cálculo da energia de ativação para a formação de precipitados ricos em Ag, usando a equação de JMA, forneceu um valor bastante próximo daquele encontrado na literatura, confirmando que o processo é controlado pela difusão da prata.

Agradecimentos

CAPES e CNPq

¹ Adorno, A. T.; Guerreiro, M. R.; Silva, R. A. G. *J. Alloys. Comp.* **2003**, *354*, 165.