

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS LIGAS Cu-10%Al E Cu-11%Al. Alan C. Pilon, Antonio T. Adorno, Ricardo A. G. Silva, Thaisa M. Carvalho, Aroldo G. Magdalena. – Inter-Áreas - Química – Departamento de Físico-Química – Instituto de Química – Campus da UNESP de Araraquara-SP.

As ligas à base de cobre constituem um dos maiores grupos de ligas comerciais. Elas são utilizadas por sua excelente condutividade térmica, elétrica, resistência à corrosão, coloração e facilidade de manuseio. As ligas do sistema Cu-Al apresentam vários aspectos interessantes visto que a adição do alumínio ao cobre modifica as propriedades das ligas, tornando-as mais interessantes do ponto de vista acadêmico e tecnológico. Segundo o trecho do diagrama de equilíbrio da figura 1, as ligas contendo até 8,5%Al em peso apresentam a máxima solubilidade do alumínio no cobre e, portanto, não são susceptíveis a endurecimento por envelhecimento. Além disso, estas ligas possuem uma estrutura semelhante à do cobre puro e são utilizadas na confecção de juntas, guias, suportes, bordas, engrenagens e diversas outras peças.

As ligas do sistema Cu-Al com concentrações de alumínio acima de 8,5% em peso apresentam a fase β (cúbica de corpo centrado) em altas temperaturas, que passa por uma transformação martensítica durante o resfriamento rápido.

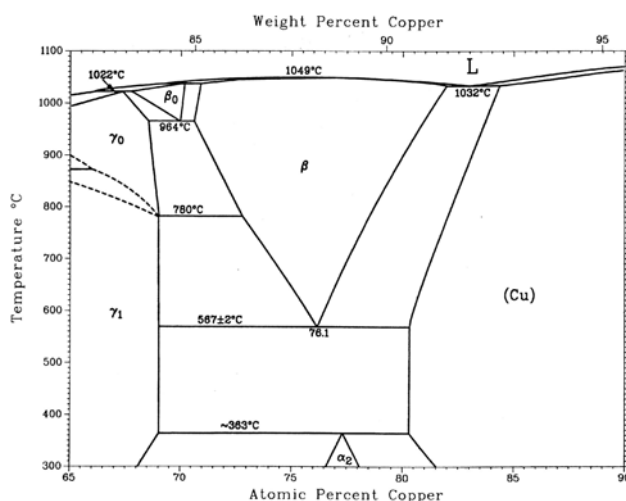


Figura 1. Trecho do diagrama de equilíbrio do sistema Cu-Al, na região rica em cobre [1].

As ligas Cu-10%Al e Cu-11%Al foram preparadas em um forno de indução Inductotherm sob atmosfera de argônio, utilizando-se material de partida com pureza em torno de 99,95 % e cadinho de grafite. Dos tarugos obtidos foram cortados discos com cerca de 2,0 mm de espessura, que foram laminados até a deformação de 50 %, para se obter pequenas placas quadradas, com cerca de 20 mm de lado e 1,0 mm de espessura. Essas amostras foram inicialmente submetidas a um recozimento por 120 horas a 850°C, para homogeneização. Algumas dessas amostras foram novamente recozidas, nas mesmas condições, e em seguida submetidas a têmpera em água gelada, a partir de 850°C. Os tratamentos térmicos foram efetuados em um forno EDG 3P, com controle de temperatura. As fases presentes nas ligas Cu-10%Al e Cu-11%Al, foram identificadas e caracterizadas por difratometria de raios X, utilizando-se um difratômetro Siemens D5000, por microscopia óptica, utilizando-se um microscópio metalográfico Leica DMR com estação de captura e análise de imagem com software Leica Qwin e por microscopia eletrônica de varredura, utilizando um microscópio Jeol JSM T330 com um microanalisador Noran acoplado. Para traçar as curvas DTA foi obtido um cilindro, com cerca de 10 mm de altura e 5,0 mm de diâmetro das ligas Cu-10%Al e Cu-11%Al. Cada cilindro tinha um pequeno orifício para introdução do termopar durante o ensaio. Foi utilizado um suporte contendo dois termopares de cromel-alumel. Um destes termopares foi introduzido na amostra e o outro foi colocado em um pedaço de cobre puro, com as mesmas dimensões da amostra e usado como referência. Este suporte foi colocado dentro de um tubo de Vickor e o tubo foi introduzido no forno, para aquecimento controlado entre 100 e 750 °C, com razão de aquecimento de 10 e também de 20 °Cmin⁻¹. Na

extremidade do suporte, que ficava fora do forno, estavam os terminais dos termopares ligados diferencialmente, que foram conectados a um multímetro HP 34401A, de 6,5 dígitos, para registro da diferença de potencial produzida nos termopares. A temperatura do forno foi monitorada por um outro termopar de cromel-alumel, conectado a uma placa interfacial MQ 112 da Micro-Química, que controlava o aquecimento do forno. A aquisição dos dados foi feita através de um microcomputador e os dados tratados utilizando-se um programa gráfico.

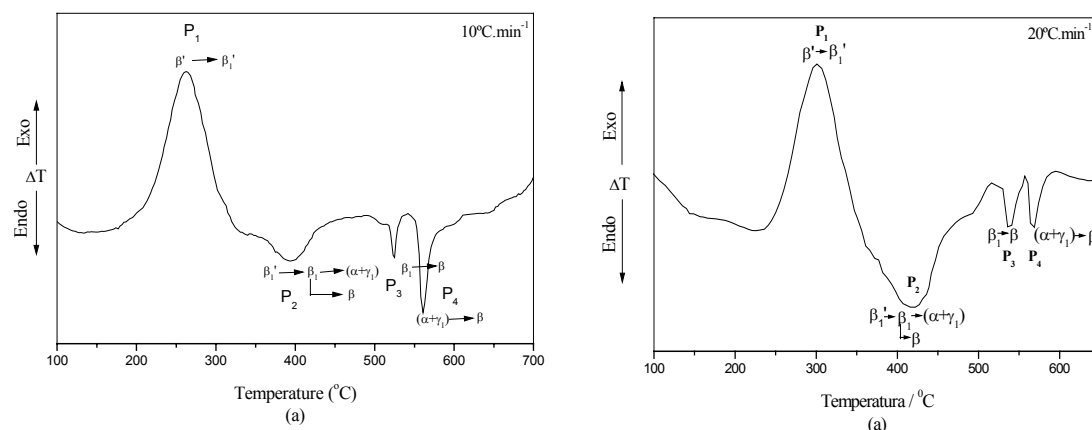


Figura 2. Curvas DTA obtidas para liga Cu-10%Al submetida a têmpera a partir de 850°C, com razões de aquecimento de: a) 10°C.min⁻¹ e b) 20°C.min⁻¹.

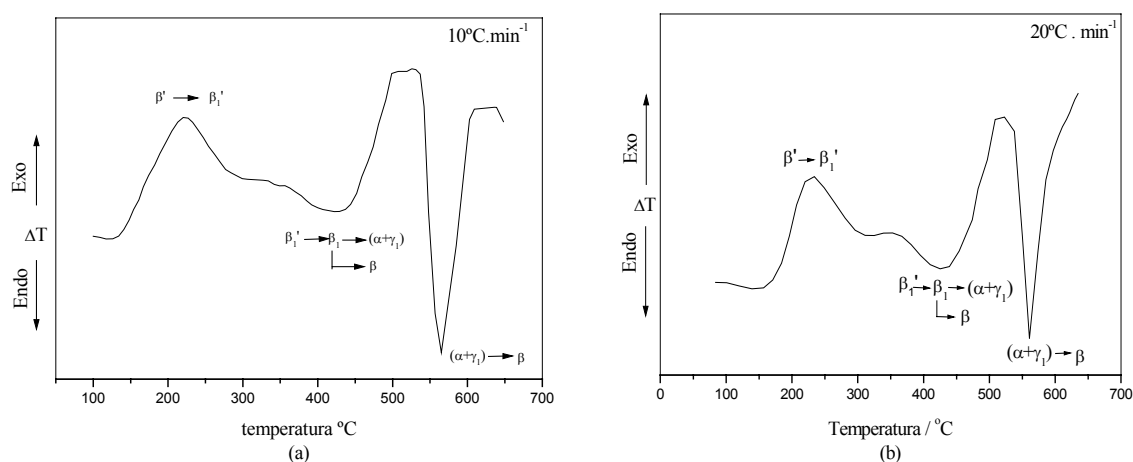


Figura 3. Curvas DTA obtidas para liga Cu-11%Al submetida a têmpera a partir de 850°C, com razões de aquecimento de: a) 10°C.min⁻¹ e b) 20°C.min⁻¹.

A Figura 2 mostra as curvas de análise térmica diferencial obtidas para a liga Cu-10%Al, com razões de aquecimento de 10 e 20°C.min⁻¹, em amostras inicialmente submetidas a um recozimento prolongado e posteriormente submetidas a têmpera a partir de 850°C. Na curva da figura 2-a, obtida com razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹, foram observados três picos endotérmicos e um exotérmico. O pico exotérmico P₁, em torno de 270°C, deve corresponder ao ordenamento da fase martensítica $\beta' \rightarrow \beta_1'$. O pico endotérmico P₂, em torno de 400°C, está associado à transformação martensítica reversa $\beta_1' \rightarrow \beta_1$, seguida das reações $\beta_1 \rightarrow \beta$ e da decomposição $\beta_1 \rightarrow (\alpha + \gamma_1)$ de parte da fase β_1 . O pico P₃, em torno de 540°C, é atribuído à transição $\beta_1 \rightarrow \beta$ da parte remanescente da fase β_1 formada a 400°C. O pico P₄, em torno de 570°C, é devido à transformação $(\alpha + \gamma_1) \rightarrow \beta$. Na curva da figura 2-b, obtida com razão de aquecimento de 20°C.min⁻¹, foram observados os mesmos picos da figura 2-a, com alteração nas intensidades dos picos P₂ e P₄. O pico P₂ aparece mais intenso e o pico P₄ com

menor intensidade. Isso deve estar associado ao fato dessas reações ocorrerem com velocidades diferentes, sendo a reação associada ao pico P_2 mais rápida e aquela associada ao pico P_4 mais lenta.

A figura 3 mostra as curvas de análise térmica diferencial obtidas para a liga de Cu-11%Al, com razões de aquecimento de 10 e 20°C.min⁻¹, em amostras inicialmente submetidas a um recozimento prolongado e posteriormente submetidas a têmpera a partir de 850°C. Na curva da figura 3-a, obtida com razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹, foram observados dois picos endotérmicos e um exotérmico. O pico P_1 , em torno de 230°C, deve estar associado ao ordenamento da fase martensítica $\beta' \rightarrow \beta_1'$. O pico P_2 , em torno de 430°C, corresponde à transformação martensítica reversa $\beta_1' \rightarrow \beta_1$, seguida das reações $\beta_1 \rightarrow \beta$ e da decomposição $\beta_1 \rightarrow (\alpha + \gamma_1)$ de parte da fase β_1 . O pico P_3 , em torno de 570°C, está associado à transformação eutetóide $(\alpha + \gamma_1) \rightarrow \beta$. Na curva da figura 3-b, obtida com razão de aquecimento de 20°C.min⁻¹, foram observados os mesmos picos da figura 3-a, sem nenhuma alteração relevante, indicando que a mudança na razão de aquecimento praticamente não alterou o resultado final.

Esses resultados das curvas DTA, junto com os difratogramas de raios X obtidos, permitiram determinar as temperaturas nas quais ocorrem as transições de fase metaestáveis nas ligas Cu-10%Al e Cu-11%Al e identificar as fases presentes nessas transições. Foi possível ainda observar que a transformação martensítica reversa $\beta_1' \leftrightarrow \beta$ ocorre numa temperatura um pouco mais elevada na liga Cu-11%Al, em relação à temperatura em que essa transformação foi observada na liga Cu-10%Al. Essa diferença na temperatura deve estar associada à diferença na concentração de Al.