



A INFLUÊNCIA DAS FORMAS DE RESFRIAMENTO NA LIGA Al2%Cu FABRICADA EM MOLDE DE AREIA ¹

Gilcimar Pereira²
Elielson Alves dos Santos²
Christie Franco Ribeiro²
Nereyda Queiroz Campos²
Jose Nazareno Santos da Silva³
Evaldo Júlio Ferreira Soares⁴

Resumo

As ligas de alumínio-cobre são amplamente aplicadas em componentes mecânicos onde se deseja reduzir o peso e melhorar suas propriedades mecânicas para determinadas aplicações, onde para tanto, é necessário que essas ligas passem por um tratamento térmico específico. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência das diferentes formas de resfriamento na estrutura da liga Al2%Cu através do comportamento dos precipitados e pelo ensaio de dureza Brinell, após os determinados tratamentos térmicos. A liga foi fabricada em molde de areia e obtidas quatro amostras que foram submetidas à solubilização e posterior precipitação. As amostras submetidas ao resfriamento mais lento e maior tempo de precipitação apresentaram precipitados mais grosseiros, elevando desta forma sua dureza, melhorando a resistência mecânica do material.

Palavras-chave: Tratamento térmico; Resfriamento; Precipitados

THE INFLUENCE OF COOLING WAYS IN THE ALLOY Al2%Cu MANUFACTURED IN SAND MOLD

Abstract

The aluminium-cooper alloys are widely applied in mechanical components where want to reduce the weight and improve their mechanical properties in certain applications, in which is necessary these alloys be submitted by specific heat treatment. This work have as objective to analyze the influence of different cooling ways in the structure alloy Al2%Cu through behavior of precipitates and by Brinell hardness test, after certain heats treatments. The alloy was manufactured in sand mold and obtained four samples which were submitted to solubilization and subsequent precipitation. The samples submitted to slower cooling and a longer precipitation time presented coarser precipitates, so increasing your hardness, improving the strength of the material.

Key words: Heat treatment; Cooling; Precipitates

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Graduando em Engenharia de Materiais, IFPA

³ Prof. Ms em Engenharia de Materiais, IFPA

⁴ Prof. Dr em Engenharia de Materiais, IFPA

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a fundição de alumínio e suas ligas têm recebido maior atenção devido às suas aplicações na indústria automotiva e aeroespacial, além de diversas outras finalidades.⁽¹⁾ As ligas fundidas empregadas nas aplicações gerais de engenharia frequentemente utilizam silício para melhorar suas características de fundibilidade, tais como fluidez (no vazamento e preenchimento do molde) e resistência a trincas de contração (quando o metal quente solidifica e contrai). O cobre e o magnésio também são freqüentemente utilizados como elemento de liga para proporcionar às propriedades mecânicas uma maior dureza e resistências exigidas em serviço.⁽²⁾

A maioria das ligas fundidas de alumínio pode ter suas propriedades mecânicas, estabilidade dimensional ou resistência à corrosão, melhoradas por meio de tratamentos térmicos, que têm por objetivo remover ou reduzir as segregações e controlar certas características metalúrgicas. O tipo de tratamento térmico a ser realizado depende, muitas vezes, das propriedades desejadas na peça fundida. Os tratamentos térmicos recomendados para o aumento de dureza e resistência mecânica das ligas Al-Cu são a solubilização seguido de envelhecimento (precipitação). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6834,⁽³⁾ para o alumínio e suas ligas trabalháveis do grupo 2000, a variação do teor de cobre é de 0,7% a 6,8%, logo as ligas Al-2%Cu e Al-5%Cu são ligas que fazem parte do grupo 2000. Essas ligas da série 2000 são tratáveis termicamente (endurecimento por precipitação).

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência das diferentes formas de resfriamento na estrutura da liga Al2%Cu através do comportamento dos precipitados e pelo ensaio de dureza Brinell, após os determinados tratamentos térmicos e verificar a interferência desse mecanismo na resistência mecânica para esse tipo de liga.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O alumínio e suas ligas são caracterizados por uma densidade relativamente baixa ($2,7\text{g/cm}^3$), condutividades elétricas e térmicas elevadas e uma boa resistência a corrosão em alguns ambientes. Muitas dessas ligas são de fácil conformação mecânica em virtude de sua elevada ductilidade.⁽⁴⁾ A resistência mecânica do alumínio pode ser aumentada através de adição de elementos de ligas, sendo os principais o magnésio, silício e cobre.

Segundo Chiaverini,⁽⁵⁾ existe uma grande variedade de ligas de alumínio, as quais podem em princípio ser divididas em duas classes: as ligas tratáveis termicamente, onde suas propriedades mecânicas podem ser melhoradas por meio de tratamento térmico, sendo o tratamento térmico de endurecimento por precipitação o mais importante a ser aplicado para esse tipo de ligas, e as ligas não tratáveis termicamente, que apresentam propriedades mecânicas relativamente baixas que são melhoradas apenas por trabalho a frio ou encruamento.

As ligas de alumínio fundidas diferem das ligas conformadas pela ausência de qualquer tipo de conformação mecânica em seu processamento, ou seja, são obtidas diretamente do líquido por meio de processos de fundição. Do ponto de vista de fundição, as ligas de alumínio caracterizam-se pela baixa temperatura de fusão. Esta característica permite uma grande flexibilidade quanto aos tipos de moldes utilizados, já que as solicitações térmicas são reduzidas.⁽⁶⁾

O cobre aumenta consideravelmente a resistência mecânica e a dureza do fundido, tanto antes como depois do tratamento térmico. O cobre ainda torna a liga termicamente tratável, permitindo um grande aumento da resistência mecânica, diminui a contração interna de solidificação e melhora a usinabilidade.⁽¹⁾ No sistema parcial Al-Cu pode-se observar uma grande região de solubilidade sólida (Figura 1). O limite máximo de solubilidade sólida é de 5,65% de Cu em Al, o que propicia que as ligas desse sistema sejam tratadas termicamente através de solubilização.⁽²⁾

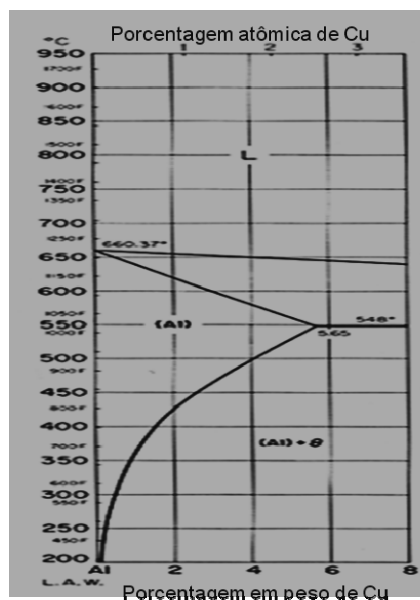


Figura 1 – Diagrama parcial de Equilíbrio Al-Cu.⁽⁷⁾

Os duralumínios (termo patenteado para a série 2xxx) são um conjunto de ligas de alumínio com cobre (4,0%-5,5% em peso), podendo ter elementos secundários como o magnésio (0,45%-1,5%), manganês (0,6%-0,8%) e silício (0,5%-0,8%). Esse grupo de ligas Al-Cu pode ainda ser subdividido em dois grupos principais: ligas Al-Cu com teores de magnésio relativamente baixos e ligas com teores de magnésio relativamente altos (>1%), também denominadas Al-Cu-Mg.

As Ligas Al-Cu contendo 2% a 10% Cu, geralmente com outras adições, formam importantes famílias de ligas. Tanto ligas fundidas quanto trabalhadas respondem ao tratamento térmico seguido de envelhecimento, com um aumento na resistência à tração e dureza e diminuição do alongamento. A resistência à tração é máxima com teores entre 4% e 6% Cu, dependendo da influência de outros elementos presentes. As características de envelhecimento das ligas binárias alumínio-cobre têm sido estudadas com maiores detalhes em outros sistemas, mas atualmente as ligas comerciais Al-Cu são muito poucas.⁽¹⁾

Segundo Rezende⁽⁸⁾ o tratamento térmico de solubilização promove uma redistribuição da segunda fase, o primeiro passo é provocar a dissolução da fase β , no caso das ligas de alumínio cobre (Al_2Cu), inicialmente localizados no contorno de grão, de modo a se tornar novamente uma estrutura monofásica composta apenas da fase α , ou seja, uma matriz de alumínio. Esse tratamento deve ser feito com uma temperatura abaixo da temperatura eutética, para evitar que ocorra uma fusão parcial da peça.

O endurecimento por precipitação é um tratamento térmico muito importante das ligas não-ferrosas, sendo utilizado tanto em ligas trabalhadas como em ligas

fundidas. A condição necessária para que ocorra a precipitação é a existência de uma solução sólida supersaturada que é conseguida através da solubilização.⁽²⁾

Para que a precipitação ocorra deve se escolher uma temperatura em que a velocidade de nucleação seja maior que a velocidade de crescimento, mas que seja baixa o suficiente para impedir a difusão de longo alcance, dificultando a movimentação dos átomos de soluto para os contornos de grão, de modo a provocar a nucleação da segunda fase no interior dos grãos.^(8,9)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação das Amostras

Para execução deste trabalho, utilizou-se alumínio de alta pureza e cobre comercial. Os materiais foram pesados em balança eletrônica de alta precisão, obtendo-se 2% em peso de cobre em relação ao peso total do material, para a elaboração da liga. Confeccionou-se o molde em formato cilíndrico utilizando-se areia de fundição com um pequeno percentual de umidade. Primeiramente, fundiu-se o alumínio em forno tipo mufla e em seguida adicionou-se o cobre. Obtida a liga fundida, agitou-se mecanicamente o banho para melhor homogeneização ou distribuição do soluto. Vazou-se a liga no molde obtendo-se o corpo de prova de aproximadamente 3 cm de diâmetro por 10 cm de altura. Seccionou-se o corpo de prova em quatro partes iguais para a obtenção das amostras a serem tratadas termicamente, designadas por A, B, C e D. Obteve-se uma amostra vazada para a realização da análise química.

3.2 Solubilização e Precipitação

As quatro amostras foram submetidas ao tratamento térmico de solubilização a 500°C, em forno tipo mufla, num intervalo de tempo de 24 horas. Após, resfriou-se as amostras rapidamente em água a 24°C, a fim de obter-se uma estrutura monofásica de matriz α . Em seguida, executou-se o tratamento térmico de precipitação em 03 (três) amostras, a 200°C, no tempo de 1 hora. Em seguida, resfriou-se a amostra A de forma rápida (na água, a 24°C), a amostra B foi resfriada de forma lenta (no ar, a 27°C) e a amostra C foi resfriada de forma muito lenta (no forno desligado).

Submeteu-se a amostra D à precipitação, a $\pm 220^\circ\text{C}$, num intervalo de tempo de 24 horas. Após, resfriou-se a amostra em água a 24°C.

O gráfico da Figura 2 mostra o esquema do desenvolvimento dos tratamentos de solubilização e precipitação executados nas referidas amostras:

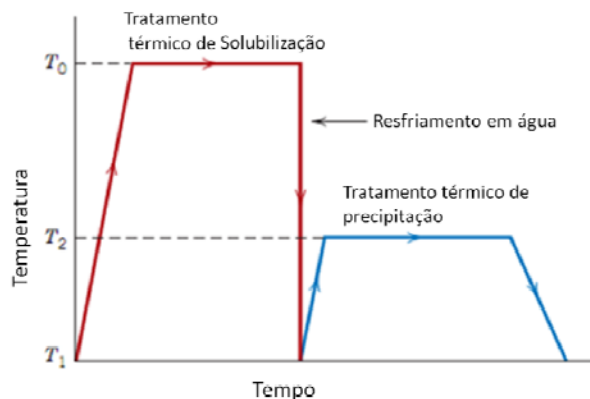


Figura 2: Gráfico temperatura versus tempo. Solubilização e precipitação.⁽⁴⁾

3.3 Análises Metalográfica

As amostras foram lixadas, polidas com pasta diamantada e em seguida atacadas com reagente Keller (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃, 190 ml H₂O) por imersão a frio, para revelação das microestruturas. As imagens das microestruturas foram obtidas por meio de um microscópio UC30 Olympus.

3.4 Ensaios de Dureza

Submeteu-se as amostras ao ensaio de dureza Brinell (HB). Utilizou-se equipamento com esfera de penetração de 5 mm de diâmetro, com aplicação de uma carga de 125 Kgf, num intervalo de tempo de aproximadamente 30 segundos. Foram obtidas três impressões em cada amostra e com o auxílio de uma lupa graduada em milímetros (mm) foram extraídas as respectivas médias do diâmetro dessas impressões para a verificação, em tabela, da dureza Brinell das amostras ensaiadas.

4 RESULTADOS

A composição química da liga Al2%Cu fundida em molde de areia é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química da liga Al2%Cu, realizada em 26/10/2010

Análise	Al (%)	Cu (%)	Fe (%)	Si (%)	Ni (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Cr (%)	Pb (%)
1	97,68	1,925	0,1717	0,1068	0,0614	0,0013	0,0015	0,0067	0,0078	0,0122
2	97,83	1,8078	0,1529	0,0991	0,0552	0,0011	0,0006	0,0064	0,0078	0,0108
média	97,76	1,8664	0,1623	0,103	0,0583	0,0012	0,0011	0,0065	0,0078	0,0115

A Figura 3 revela a mudança da estrutura bruta de fusão da liga Al2%Cu após o tratamento térmico de solubilização a 500°C em um período de tempo de 24h.

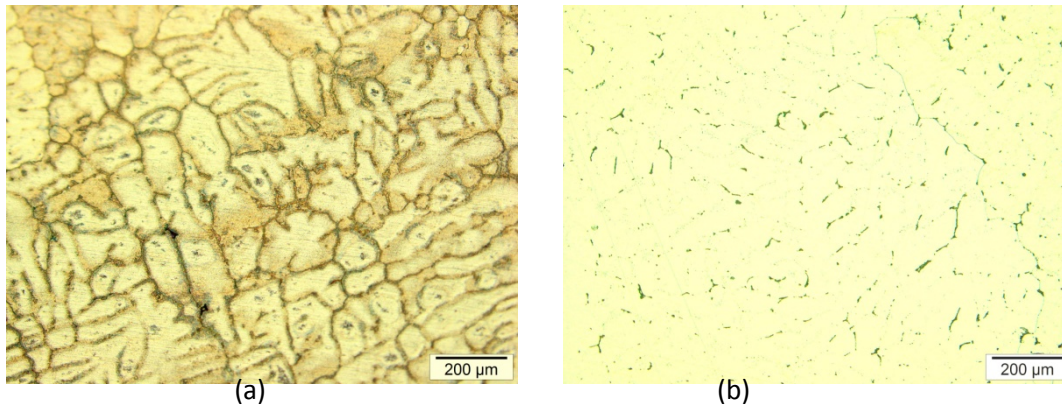


Figura 3: (a) estrutura bruta de fusão e (b) estrutura solubilizada.

A Figura 4 mostra a presença de precipitados da liga Al2%Cu distribuídos no interior dos grãos da matriz α de alumínio sob diferentes condições de resfriamento. As Figuras 4a e 4b revelam precipitados finamente dispersos na matriz enquanto que as Figuras 4c e 4d evidenciam a formação de precipitados mais grosseiros.

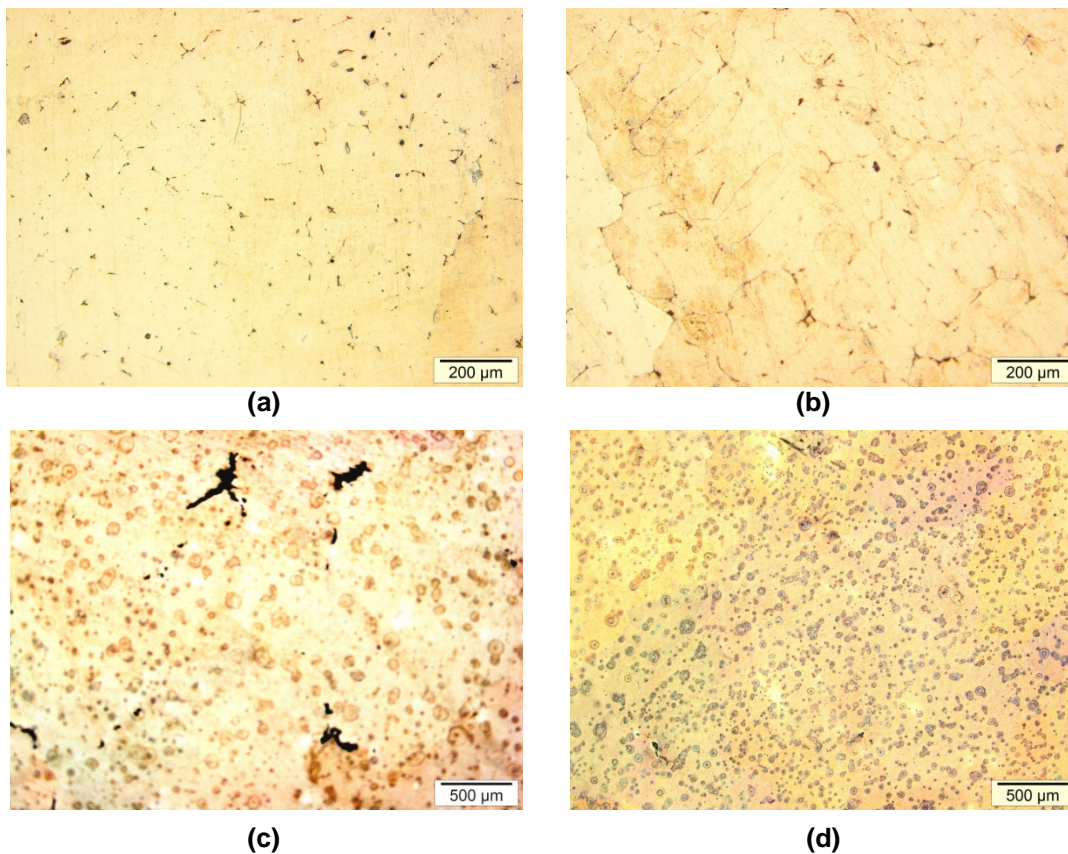


Figura 4: precipitação a 1 h e resfriamento em: (a) água, (b) ar e (c) forno. Precipitação a 24 hs Resfriamento em: (d) água.

Tabela 2: dados de precipitação da liga Al2%Cu

Amostra	Precipitação			
	A	B	C	D
Tempo (horas)	1	1	1	24
Resfriamento	água	ar	forno	água
Dureza (HB)	32,8	31,2	45,8	42,4

5 DISCUSSÃO

As ligas de alumínio-cobre são materiais que possuem uma importância muito grande em aplicações que requerem um baixo peso e uma grande resistência mecânica. Essa aplicabilidade é exigida principalmente em componentes que são fabricados pela indústria automobilística e aeroespacial. Essas ligas, na presença também de alguns outros elementos, quando sujeitas à solubilização e à precipitação sob determinado tempo, manifestam um considerável aumento de resistência mecânica e de dureza. Conforme mencionado por ASM Metal RandBook, esse aumento de propriedades é causado pela presença do cobre, tanto antes como após os tratamentos térmicos. Essa melhoria pode ser constatada através dos resultados de dureza Brinell obtidos neste trabalho, uma vez que as amostras sujeitas a um tempo maior para poder precipitar a fase β no interior dos grãos da fase α apresentaram durezas superiores em relação às amostras submetidas a resfriamentos mais rápidos. É importante ser colocado que esse aumento considerável de dureza é devido a uma maior dificuldade do movimento das discordâncias ocasionada pela presença dos precipitados grosseiros no interior dos grãos da fase α . Se os precipitados são maiores e bem mais próximos uns dos outros, os obstáculos ao movimento das discordâncias serão maiores, aumentando a dureza e a resistência mecânica, porém, até um determinado limite de crescimento e de dispersão dos aglomerados que se ultrapassado, o material passa a perder essas propriedades (superenvelhecimento), daí a importância de se utilizar uma temperatura de precipitação que permita uma dispersão e tamanho ótimo desses precipitados. Mas é importante também se estudar as formas de como a liga é resfriada após o processo de precipitação. Esses métodos podem ser empregados para acelerar ou retardar a velocidade de precipitação a fim de se buscar a distribuição e tamanho ideais dos precipitados no interior dos grãos da matriz sem que para isso se manipule a temperatura de precipitação.

6 CONCLUSÃO

O estudo mostrou uma grande eficiência dos tratamentos térmicos aplicados ao material analisado, revelando que se trata de uma liga fundida que pode ser tratada termicamente pelos processos de solubilização e precipitação no intuito de otimizar suas propriedades mecânicas e que as formas de resfriamento empregadas após o processo de precipitação causam mudança no comportamento dos precipitados. Resfriamentos mais bruscos geram menores precipitados e, conseqüentemente, menores durezas, enquanto que resfriamentos mais lentos originam maiores precipitados, gerando assim durezas elevadas, ressaltando também a importância do tempo e da temperatura aplicada ao processo, permitindo com que se alcancem



outros resultados que possam revelar novas melhorias a resistência mecânica do material.

Agradecimentos

À empresa Alubar Metais e Cabos S/A, sediada no município de Barcarena, Pará, pela realização da análise de composição química da liga em estudo.
Ao IFPA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, pelo apoio e fornecimento dos materiais/equipamentos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 METALS HANDBOOK; Metallography and Microstructures 2004, v. 9. ed. United States of America: ASM International 2004, p. 711–751.
- 2 VERRAN, Guilherme O. Metalurgia física: endurecimento por precipitação. 2005. 13p. Notas de aula.
- 3 ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 6834: Alumínio e suas ligas – Classificação. Rio de Janeiro, 2006. 25p.
- 4 CALLISTER, William D. Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2008. , p. 402 – 409.
- 5 CHIAVERINI, Vicente. Tratamentos Térmicos das Ligas Metálicas. S.I.: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, p. 243, 2003.
- 6 REIS, P. B. Influência da estrutura de solidificação nas condições de solubilização da liga Al-4,0%Cu. Dissertação de Mestrado da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2009.
- 7 Diagramas de fases: Infomet. Disponível em: www.infomet.com.br/diagramas-fases.php, acessado em 12 de fevereiro de 2011.
- 8 SANTOS, R. G. dos. Transformação de fases: Em materiais metálicos. SP.Unicamp, 2006.
- 9 GARCIA, A. Solidificação: fundamentos e aplicações.. 2ª Ed. Unicamp, 2007.