

INFLUÊNCIA DO TEOR DE COBRE NA ESTRUTURA E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE LIGAS *Al-Cu*. Franco Augusto Silva Silvério, Carlos Kiyam. – Exatas – Departamento de Materiais e Tecnologia – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Campus de Guaratinguetá

As ligas metálicas são combinações de dois ou mais elementos sendo o principal deles um metal e os outros não são necessariamente metais, de maneira a criar um material com propriedades adequadas a uma dada aplicação. (CALLISTER, 2002)

Nas ligas, um metal é a base e está presente em maior quantidade e os chamados “elementos de liga” são colocados em menor quantidade, mas o suficiente para otimizar uma ou mais características do metal de base.

Para a formação de uma liga metálica é necessário que os componentes sejam misturados no estado líquido (fundido). E mesmo no estado fundido existe certo limite de solubilidade do elemento de liga no elemento de base de acordo com a temperatura. Esse limite de solubilidade com a temperatura varia de acordo com os elementos formadores da liga. (CALLISTER, 2002)

Os lingotes no estado bruto de solidificação podem apresentar três tipos de regiões em sua macroestrutura de fundição: coquilhada, colunar e equiaxial central. Cada uma dessas regiões possui condições de formação, que são determinadas pelo teor de elementos de liga, temperatura de vazamento e paredes do molde utilizado.

A zona coquilhada é formada próximo às paredes do molde e sua extensão é proporcional às temperaturas do molde e de vazamento. Quando o metal líquido é vazado e entra em contato com estas paredes, ele se resfria rapidamente, e sua temperatura cai abaixo da temperatura de solidificação; dizemos que há um super-resfriamento do metal líquido conforme mostrado na figura 1.

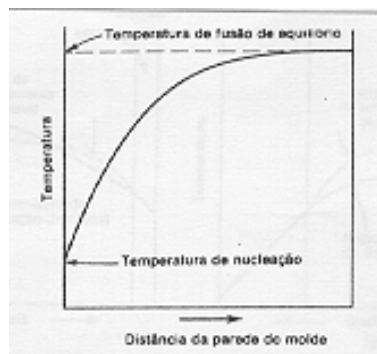


Figura 1 - Distribuição da temperatura próxima às paredes do molde no instante anterior à nucleação (extraído de PETZ, 2004)

Nessa fina camada de metal super-resfriado há uma nucleação intensa de grãos cristalinos que crescem de forma aleatória. Estes cristais dispersos próximo às paredes do molde recebem o nome de zona coquilhada. O tamanho de grão nesta região é pequeno e praticamente uniforme.

A zona colunar é uma região constituída de grãos alinhados na direção do fluxo de calor durante o resfriamento. Esta região tem sua origem na zona coquilhada e cresce até que o líquido atinja sua temperatura *liquidus* onde começa a existir uma nucleação que impedirá o crescimento dos grãos colunares. (CAMPOS) Quanto maior a temperatura de vazamento maior o tamanho da zona colunar, o que pode ser mostrado na figura 2.

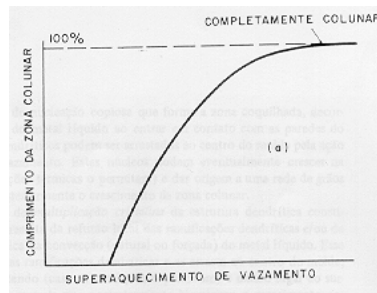


Figura 2 - Variação do comprimento da zona colunar em relação ao superaquecimento (extraído de PETZ, 2004)

Quanto maior a quantidade de soluto, mais núcleos se formam e por consequência os grãos colunares são impedidos de crescer diminuindo a zona colunar, o que é demonstrado no gráfico da figura 3 a seguir:

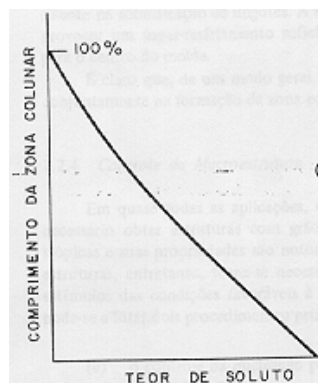


Figura 3 - Variação do comprimento da zona colunar com o teor de soluto (extraído de PETZ, 2004)

A zona equiaxial central é formada por grãos maiores que os grãos coquilhados. Seu crescimento está relacionado ao teor de elemento de liga adicionado e a agitação do sistema durante o processo de solidificação. Na maioria das aplicações é desejada uma estrutura equiaxial devido à isotropia de propriedades mecânicas, mas em determinadas aplicações é desejada uma estrutura colunar, quando os maiores esforços sofridos pelo material estão aplicados na direção desses grãos. (CAMPOS)

Os metais utilizados para a obtenção dos lingotes foram: alumínio e cobre comercialmente puros com 99,5% de pureza.

Foi utilizada uma lingoteira de seção transversal quadrada feita de aço 1045 com as seguintes dimensões: 130 mm de altura, 40 mm de comprimento interno, 40 mm largura interno e 15 mm de espessura.

As quantidades de cada um dos dois metais foram calculadas em termos de suas proporções em massa de acordo com as medidas da lingoteira, de forma a se obter ligas de alumínio contendo 4% e 8% de cobre.

Primeiramente, o alumínio foi cortado em pequenos blocos a partir de um lingote, e o cobre foi cortado em cavacos para facilitar a sua fusão.

Com os materiais preparados, foi feito um lixamento das paredes internas da lingoteira. Este lixamento evita a formação de nucleadores de grãos retirando óxidos deixados por vazamentos anteriores. A fundição do alumínio foi feita em um cadinho de carbetto de silício, em um forno do tipo mufla. Para o vazamento das ligas, foi determinada previamente a temperatura de vazamento, a qual foi de 760 °C.

Depois de vazada na lingoteira, cada liga foi deixada em repouso e resfriada ao ar até a temperatura ambiente.

Para a visualização da macroestrutura das ligas e determinação da dureza do material, primeiramente, os lingotes foram cortados ao longo de suas seções longitudinais com uma serra de fita e resfriadas com querosene para evitar aquecimento das peças e possíveis alterações estruturais devido ao aumento de temperatura. Depois de cortados os lingotes foram preparadas com um fresamento e posterior lixamento com lixas d'água com a seguinte granulação: 80, 100, 220 e 320. A cada mudança de lixa as amostras eram rotacionadas de 90 graus para eliminar riscos deixados pela lixa anterior

Lixadas as amostras, foi realizado o ataque químico para revelar suas macroestruturas. O ataque utilizado é conhecido como reagente de Fick, que possui a seguinte composição química: 13% HCl, 8,7% HF e 78,3% de H₂O (ASTM E340). O reagente foi preparado algumas horas antes da realização do ataque, para evitar alterações no mesmo já que o HF é extremamente volátil. Após o ataque com o reagente Fick, a superfície atacada ainda foi lavada com água e banhada com HNO₃ concentrado. Todo o processo foi feito em uma capela, devido à saída de compostos voláteis durante o ataque.

Reveladas as macroestruturas, foram capturadas imagens com um estereoscópio Leica GZ6 com um aumento de 13,4 vezes, utilizando o software Image Pro Plus. Para fins de comparação foram feitas também imagens de um lingote de alumínio puro.

Por fim foi realizado um ensaio de dureza Brinell em vários pontos das amostras, ao longo da direção transversal, de modo a verificar a variação da dureza da amostra e de acordo com a macroestrutura presente na região onde ocorreu o ensaio. Foram ensaiados 10 pontos no sentido longitudinal com um intervalo de 10 mm para as ligas e para a amostra de alumínio puro foram feitas apenas 5 medidas em virtude do comprimento da peça.

As imagens para o alumínio puro são mostradas nas figuras 4a e 4b.



(a)



(b)

Figura 4 – Macroestruturas do lingote de Al puro: (a) zona equiaxial central; (b) zona colunar

As imagens para a liga com 4% de cobre são mostradas nas figuras 5a e 5b.



(a)



(b)

Figura 5 – Macroestruturas do lingote de Al com 4% de Cu: (a) zona equiaxial central; (b) zona colunar

As imagens para a liga com 8% de cobre são mostradas nas figuras 6a e 6b.

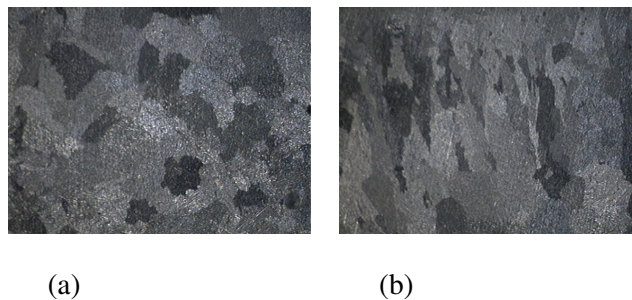


Figura 6 – Macroestruturas do lingote de *Al* com 8% de *Cu*: (a) zona equiaxial central; (b) zona colunar

Pelos resultados obtidos para a dureza Brinell, foi feito um valor médio de dureza para as amostras, os quais são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios de dureza Birnell

	<i>Al</i> 99,5%	<i>Al</i> + 4% <i>Cu</i>	<i>Al</i> + 8% <i>Cu</i>
Dureza HB	22,40	42,10	56,84

Com a avaliação das macroestruturas das amostras, pode-se concluir que o aumento do teor de cobre influenciou diretamente na formação dos grãos equiaxiais centrais, sendo que à medida que o teor de cobre aumentou, diminuíram o tamanho dos grãos e aumentou a sua quantidade. O mesmo efeito ocorreu com os grãos da zona colunar, quanto maior o teor de cobre menores eram os grãos colunares, mas nesse caso, o cobre não alterou a quantidade de grãos formados.

Com relação à dureza das amostras, foi verificado que o cobre aumentou consideravelmente a dureza das amostras. No caso da liga com 4% de cobre, a dureza foi quase duas vezes maior em relação à dureza do alumínio puro, e para a liga com 8% de cobre a dureza foi superior ao dobro da dureza do alumínio e consideravelmente maior que a dureza da liga com 4%.

- ASTM E340, “**Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys**”, pág 3.
- CALLISTER, W. D., “**Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**”, São Paulo, ed. 5., LTC 2002. 589 p.
- CAMPOS, M. P.; DAVIES, G. J., “**Solidificação e Fundição de Metais e suas Ligas**”, Ed LTC/ EDUSP, 246 P.
- PETZ, E. F. S.; SILVA, D. A., “**Influência das Condições de Solidificação na Macroestrutura de Lingotes de Alumínio**”, Relatório parcial de PDCM, Guaratinguetá, 2004, 15 P.