ISSN: 2594-6153

Análise da macroestrutura das Al-20%Zn-2%Bi, Al-20%Zn-5,4%Bi, Al-5%Zn-0,5%Fe e Al-5%Zn-1,5%Fe solidificadas em regime transiente de extração de calor

Wallace Alfredo Travassos Junior[1], Felipe Bertelli[1,2]

[1]Universidade Santa Cecília, Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de São Paulo, Santos-SP, Brasil

E-mail: wt_sv@yahoo.com.br

Resumo: As ligas metálicas à base de alumínio são conhecidas por serem leves e apresentarem elevadas propriedades mecânicas à medida que se acrescentem pequenas quantidade de elementos de soluto. A morfologia dos grãos provenientes da solidificação são importantes parâmetros que interferem diretamente nas propriedades finais de ligas metálicas. Para esse estudo, as ligas Al-20%Zn-2%Bi, Al-20%Zn-5,4%Bi, Al-5%Zn-0,5%Fe e Al-5%Zn-1,5%Fe foram solidificadas em regime transiente de extração de calor, a fim de se analisar as respectivas macroestruturas. Foram encontrados crescimentos colunares, transição colunar/equiaxial e dendritas gêmeas.

Palavras chave: Ligas Al-Zn-Bi. Ligas Al-Zn-Fe. Macroestrutura.

Macrostructure analysis of Al-20%Zn-2%Bi, Al-20%Zn-5,4%Bi, Al-5%Zn-0,5%Fe and Al-5%Zn-1,5%Fe alloys solidified in a transient heat extraction condition

Abstract: Aluminum-based metallic alloys are known to be light and to present high mechanical properties as small amounts of solute elements are added. The morphology of grains resulting from solidification are important parameters that directly interfere with the final properties of metallic alloys. In this study, Al-20%Zn-2%Bi, Al-20%Zn-5.4%Bi, Al-5%Zn-0.5%Fe and Al-5%Zn-1.5% Fe alloys alloys were solidified in transient heat extraction conditions, in order to analyze the respective macrostructures. Columnar growths, columnar/equiaxial transition and twin dendrites were found.

Keywords: Al-Zn-Bi alloys. Al-Zn-Fe alloys. Macrostructure.

Introdução

Os processos de manufatura de peças e componentes metálicos, em sua maioria, passa pelo menos uma vez pelo processo de solidificação. As estruturas que se formam após a solidificação determinam as propriedades do produto final das peças de fundição, como também, daqueles produtos que após, serão trabalhados mecanicamente [1].

Nos processos de solidificação em regime transiente, o calor do sistema é retirado por um molde, que pode ser resfriado com um fluido refrigerante em contato com a superfície externa, sendo esta forma a que ocorre em grande parte dos processos industriais de solidificação [2]. A característica mecânica de uma peça metálica é influenciada pela macroestrutura de solidificação resultante, que por sua vez é consequência dos parâmetros térmicos de solidificação

ISSN: 2594-6153

como a velocidade de deslocamento da isoterma *liquidus* (V_L), o gradiente térmico (G) e a taxa de resfriamento ($\dot{T}$) [3].

A macroestrutura pode ser definida como a distribuição, orientação, forma, dimensão dos grãos cristalinos e aparecer em três zonas diferentes: coquilhada, colunar e equaxial e com uma estrutura mais complexa conhecida como transição colunar-equiaxial (TCE), conforme visto na Figura 1 [4].

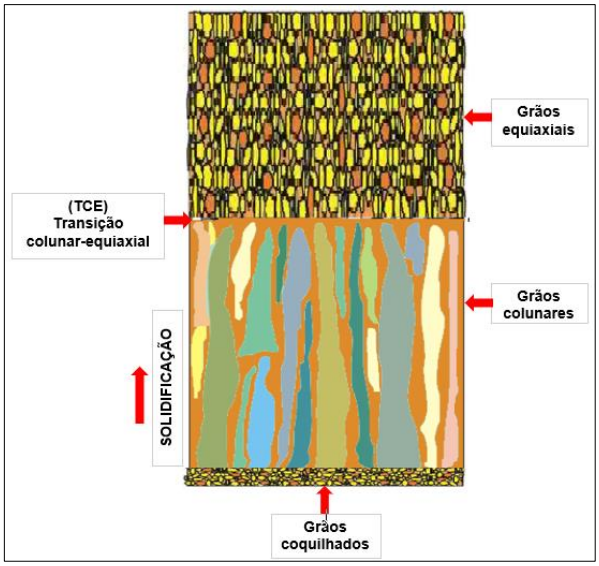

Figura 1 – Macroestrutura com transição colunar-equiaxial. Fonte: [5].

A zona coquilhada se apresenta como uma camada de grãos cristalinos de orientações aleatórias, normalmente de pequenas dimensões e pode ser formada junto a interface metal/molde [6]. A zona colunar é formada de grãos alongados e alinhados paralelamente ao fluxo de maior extração de calor. Ela se inicia pelo crescimento de núcleos formados pelo rápido resfriamento do líquido no início da solidificação e que apresentam direção cristalográfica favorável à da extração de calor [7]. A principal consequência desta macroestrutura é a anisotropia obtida nos ensaios mecânicos, considerando diferentes direções de solicitação. A zona equiaxial se caracteriza por uma formação de grãos cristalinos que crescem em direções cristalográficas aleatórias conhecidas como equiaxiais e bem maiores que os da zona coquilhada. A zona equiaxial apresenta, na sua formação, um crescimento competitivo com a frente colunar [8]. O efeito nas propriedades mecânicas é a isotropia, apresentando o mesmo comportamento em diferentes sentidos de solicitação. A faixa da macroestrutura em que ocorre a mudança da estrutura dos grãos colunares para equiaxiais é denominada transição colunar/equiaxial (TCE), que só acontece se for possível nuclear e crescer grãos equiaxiais à frente da interface colunar [1].

ISSN: 2594-6153

Objetivo

Este trabalho teve por objetivo analisar a macroestrutura resultante da solidificação ascendente e em regime transiente de extração de calor das ligas Al-20%Zn-2%Bi; Al-20%Zn-5,4%Bi; Al-5%Zn-0,5%Fe e Al-5%Zn-1,5%Fe.

Materiais e Métodos

O processo de fusão e solidificação das quatro ligas foi idêntico. Foram utilizados alumínio, zinco, ferro e bismuto comercialmente puros. Após a pesagem, os elementos de liga foram colocados em um cadinho de carbeto de silício recoberto internamente com alumina, começando pela fusão do alumínio, seguido do acréscimo dos elementos de soluto correspondente a cada sistema ternário: Al-Zn-Fe e Al-Zn-Bi. O cadinho foi levado a um forno mufla e aquecido a aproximadamente 800 ºC. Após a fusão dos elementos, os óxidos da superfície líquida foram removidos e realizada a homogeneização da liga. Para o vazamento, foi utilizada uma lingoteira bipartida de aço 310, previamente recoberta com alumina, que foi colocada no interior de um dispositivo de solidificação controlado por resistências e pré-aquecida a 700 °C. Na base, uma chapa molde intercambiável foi inserida, a fim de permitir a extração de calor de forma unidimensional. A superfície de contato foi lixada até a granulometria 600 *mesh*. Após o metal líquido ser vazado no interior da lingoteira foi acionada a água de refrigeração na superfície inferior da chapa molde, dando início à solidificação, que gerou lingotes de 100 mm de comprimento e 60 mm de diâmetro.

As temperaturas *liquidus* das ligas foram obtidas no *Thermocalc Software* e em pesquisa recente, cujos valores são: 625°C para as ligas com bismuto [9]; 645 °C para a liga Al-5%Zn-0,5%Fe e 650 °C para a liga Al-5%Zn-1,5%Fe [10]. A partir destas temperaturas, um superaquecimento de 5% foi mantido no começo de cada experimento, quando o sistema de refrigeração foi acionado.

Os lingotes solidificados foram seccionados no sentido de solidificação e uma das metades utilizadas para registro da macrografia, conforme indicado na Figura 2. A amostra foi lixada até granulometria 600 *mesh* e após, feita a revelação com reagente químico composto de 0,5 ml de ácido fluorídrico e de 50 ml de água destilada.

ISSN: 2594-6153

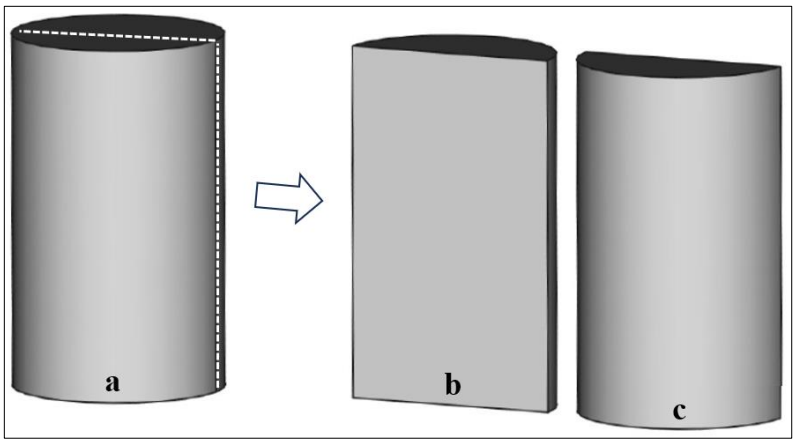

Figura 2 – Corte do lingote solidificado (a). Para macrografia (b). Para outros testes (c).

Resultados e Discussões

Na Figura 3 são vistas as macrografias reveladas das ligas Al-20%Zn-2%Bi, Al-5%Zn-1,5%Fe, Al-5%Zn-0,5%Fe, Al-20%Zn-5,4%Bi, que apresentaram diferentes macroestruturas de solidificação.

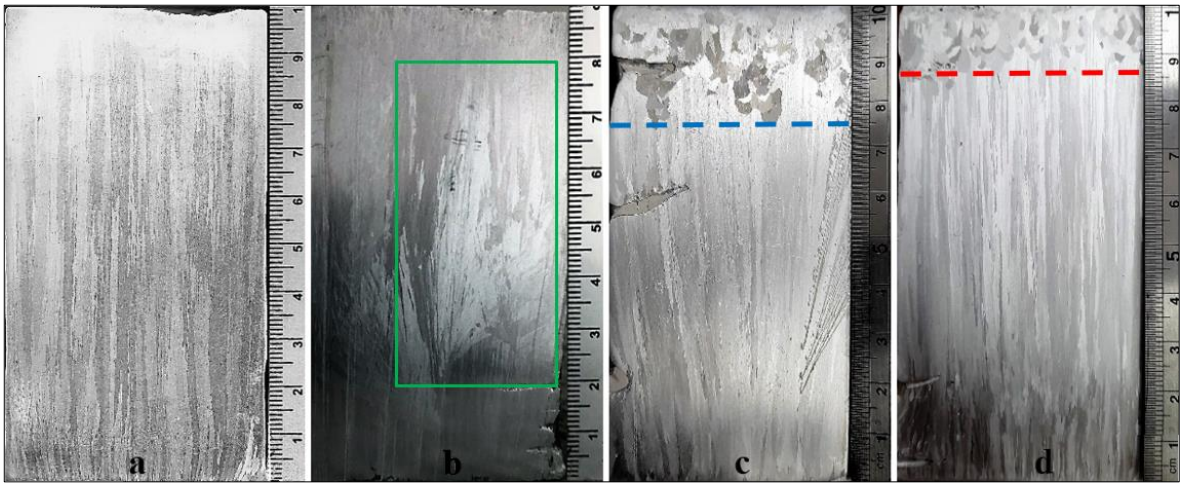

Figura 3 – Macroestruturas das ligas (a) Al-20%Zn-2,0%Bi (b) Al-20%Zn-5,4%Bi (c) Al-5%Zn-0,5%Fe (d) Al-5%Zn-1,5%Fe

As macroestruturas não apresentaram zonas coquilhadas nas regiões próximas a base onde o fluxo de calor é mais intenso, sendo observados grãos colunares mais refinados.

A macroestrutura da liga Al-20%Zn-2%Bi (a) teve um crescimento de grãos totalmente colunar, concordando com a direção perpendicular a de extração de calor do processo. Não se vê porosidades e nem a presença da região de Transição Colunar-Equiaxial.

A macrografia da liga Al-20%Zn-5,4%Bi (b) apresentou crescimento colunar até a região próxima a posição 20 mm e um crescimento de “dendritas gêmeas” concomitante com o crescimento colunar a partir desta posição. Este desvio dendrítico facetado em forma de leque

ISSN: 2594-6153

(retângulo verde) está relacionada aos altos valores de gradiente térmico e de velocidade de solidificação [11]. Não se vê a presença da região de Transição Colunar-Equiaxial.

A macrografia da liga Al-5%Zn-0,5%Fe (c) mostrou um crescimento de grãos colunar, com leves inclinações, provavelmente pela extração de calor pelas laterais do molde devido a alguma deficiência do isolamento térmico. Houve uma Transição Colunar-Equiaxial próximo à região superior do lingote, aproximadamente à 75 mm da interface metal/molde (tracejado em azul).

A macrografia da liga Al-5%Zn-1,5%Fe (d) apresentou crescimento de grãos colunares até a posição aproximada de 86 mm (tracejado em vermelho), onde nesta região ocorreu a Transição Colunar-Equiaxial.

Conclusões

O estudo das ligas Al-5%Cu-0,5%Fe e Al-5%Cu-1,5%Fe que foram solidificadas em regime transiente ascendente apresentou algumas conclusões. Não foi possível observar a formação de zona coquilhada devido ao pré-aquecimento do molde e superaquecimento inicial da liga. Devido às altas taxas de resfriamento nas regiões próximas a base do molde, as macroestruturas apresentaram-se mais refinadas em comparação às regiões mais afastadas. No sistema Al-Zn-Fe, foi possível observar que o acréscimo do elemento ferro propiciou uma transição colunar/equiaxial, não vista no sistema Al-Zn-Bi.

Referências

1. GARCIA, A. Solidificação – Fundamentos e Aplicações. Editora da Unicamp, 2ª ed., 2007.
2. ROSA, D.M. Estruturas celulares, transição celular dendrítica e estruturas dendríticas na solidificação unidirecional transitória. Tese de Doutorado. Unicamp. Campinas-SP, 2007.
3. BESKOW, A.B. Estudo da solidificação unidirecional ascendente para obtenção de estruturas colunares grosseiras. Dissertação de Mestrado. PUC-RS. Porto Alegre-RS, 2008.
4. GARCIA, L.R. Microestrutura de Solidificação e Propriedades Mecânicas de Ligas Sn-Zn para Soldagem e Recobrimento de Superfícies. Dissertação de Mestrado. Unicamp. Campinas-SP, 2008.
5. DANTAS, P.P. Caracterização de ligas hipereutéticas de Al-Ni solidificadas unidirecionalmente. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2014.
6. BOWER, T. F.; FLEMINGS, M. C. Formation of chill zone in ingot solidification. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, v. 239, p. 216, 1967.

ISSN: 2594-6153

7. PAULISCH, M. C.; WANDERKA, N.; HAUPT, M.; SELVE, S. The influence of heat treatments on the microstructure and the mechanical properties in commercial 7020 alloys. Materials Science and Engineering. Vol. A626, pages 254–262, 2015.
8. WALTON, D.; CHALMERS, B. The origin of the preferred orientation in the columnar zone of ingots. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, Vol. 215, page 447, 1959.
9. TRAVASSOS JUNIOR, W.A. Avaliação das propriedades tribológicas de ligas Al-Zn(Bi) solidificadas em regime transiente. Dissertação de Mestrado. Unisanta. Santos-SP, 2021.
10. THERMO-CALC SOFTWARE, v.4, Stockholm, Sweden, 2008.
11. SALGADO-ORDORICA, M.A.; RAPPAZ, M. Twinned dendrite growth in binary aluminium alloys. ScienceDirect. Acta Materialia, 2008.