ISSN: 2594-6153

Efeitos da solidificação direcional ascendente sobre a formação de grãos colunares e microestruturas de ligas Al4Cu1Mg

Carlos Maranhão Piorski Júnior[1], Felipe Bertelli[1,2]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) - Santos-SP, Brasil
E-mail: carlospiorski@gmail.com

Resumo: As ligas metálicas a base de alumínio reforçadas com cobre e magnésio podem atingir elevados valores de propriedades mecânicas após tratamentos térmicos de solubilização e precipitação. Este trabalho refere-se a um projeto de pesquisa mais amplo que objetiva avaliar os efeitos da microestrutura bruta de solidificação inicial sobre tratamentos térmicos, e será limitada na abordagem dos aspectos iniciais, apresentando uma análise dos efeitos da solidificação transiente vertical ascendente de uma liga de alumínio ternária, com 4% em peso de cobre e 1% em peso de magnésio. A macroestrutura de solidificação mostrou-se totalmente colunar ao longo do lingote e a microestrutura típica foi de dendritas mais refinadas na base e mais grosseiras à medida que se tomam posições mais afastadas da interface de solidificação.

Palavras-chave: Solidificação transiente; Sistema AlCuMg; Macroestrutura de solidificação; Microestrutura de solidificação; Grãos colunares.

Effects of upward directional solidification on columnar grain formation and microstructures of Al4Cu1Mg alloys

Abstract: Aluminum-based metal alloys reinforced with copper and magnesium can reach high values of mechanical properties after thermal treatments of solubilization and precipitation. This work refers to a broader research project that aims to evaluate the effects of the initial solidification microstructure on heat treatments and will be limited in the approach of the initial aspects, presenting an analysis of the effects of the upward vertical transient solidification of a ternary aluminum alloy, with 4wt% of copper and 1wt% of magnesium. The solidification macrostructure was shown to be completely columnar along the ingot and the typical microstructure was of more refined dendrites at the base and coarser as positions were taken further away from the solidification interface.

Keywords: Transient solidification; AlCuMg System; Solidification macrostructure; Solidification microstructure; Columnar grains.

Introdução

A microestrutura de ligas metálicas influencia diretamente as suas propriedades mecânicas, químicas, elétricas, magnéticas, ópticas e térmicas [1]. A morfologia microestrutural, com uma distribuição de elementos de liga tanto em solução sólida como partículas de segunda fase segregadas o dependerá das condições de solidificação [2].

ISSN: 2594-6153

A obtenção de fundidos em moldes resfriados em condições transientes de fluxo de calor permitem uma extensa faixa de taxas de resfriamento, onde há uma intensa troca térmica próxima às paredes do molde e menor à medida que se tomam posições mais afastadas. Este fenômeno impõe morfologias distintas em amplas escalas microestruturais que podem ser correlacionadas com os parâmetros térmicos do processo [3].

Objetivos

O presente estudo tem como objetivos realizar a solidificação ascendente vertical com molde refrigerado à água de uma liga Al4Cu1Mg e avaliar a macroestrutura resultante e as microestruturas típicas para diferentes posições ao longo do lingote.

Material e Métodos

O dispositivo de solidificação unidirecional ascendente vertical possui um controlador automático de temperatura e foram projetados e construídos na Universidade Santa Cecília de Santos, baseando-se nas configurações iniciais do projeto desenvolvido na UNICAMP pelo Grupo de Pesquisas em Solidificação-GPS [4,5]. O dispositivo possui uma parede interna com material refratário, resistências para controle da temperatura inicial de vazamento e um sistema de refrigeração na base, como podem ser vistos na figura 1. A extração de calor da lingoteira, inserida no interior do dispositivo de solidificação, se dá por meio de um jato de água pela parte inferior da base.



Figura 1. Controlador de temperatura, forno de resistências e lingoteira cilíndrica com molde em aço 1040 na parte inferior.

ISSN: 2594-6153

Resultados

Após a desmoldagem da lingoteira, foi obtido um lingote cilíndrico com 60mm de diâmetro e 100mm de altura, que foi seccionado no sentido longitudinal, lixado até lixa 600 *mesh* e atacado com reagente HF, com 0,5% de concentração. A Figura 2 apresenta a macroestrutura de grãos colunares, podendo ser observado um maior refino na base onde ocorreu a extração de calor através do resfriamento com água.



Figura 2. Macroestrutura da liga Al4Cu1Mg apresentando grãos colunares

Após a obtenção da macroestrutura, foram seccionados corpos de prova transversais ao sentido do fluxo de calor nas posições 5, 15 e 40mm a partir da interface metal/molde. Nota-se a formação dendrítica refinada para a posição 5mm, mais grosseira na posição 40mm e intermediária na posição 15mm, como era esperado. As regiões interdendríticas possuem uma composição química composta majoritariamente dos elementos de liga cobre e magnésio, mas que neste trabalho não pôde ser avaliado devido a limitação das análises por microscopia óptica.

ISSN: 2594-6153

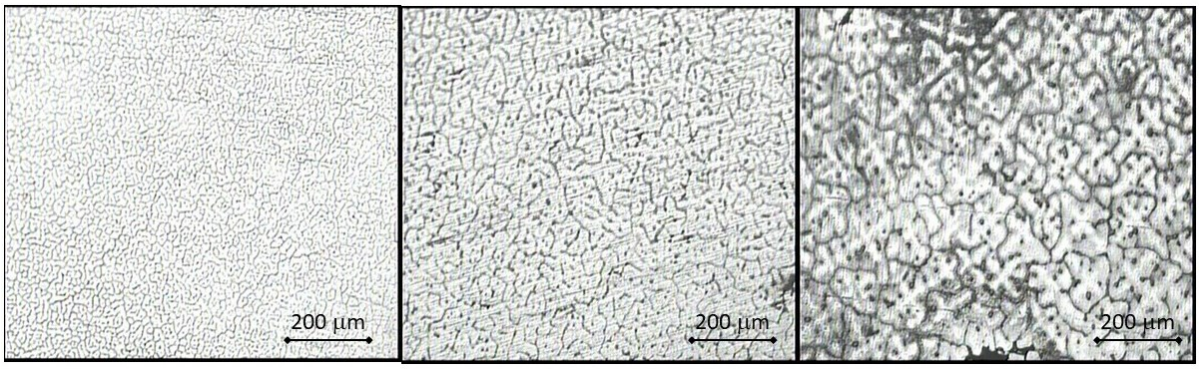


Figura 3. Microestruturas típicas da liga Al4Cu1Mg para as posições 5, 15 e 40mm a partir da interface metal molde

Discussão

A solidificação controlada proposta neste trabalho, de forma a impor um fluxo intenso na superfície do molde na base da lingoteira permite a formação de grãos colunares, conforme pode ser visto na Figura 2. Este fenômeno ocorre, pois, dentro do sistema refratário utilizado para o experimento, a intensidade de troca térmica é maior na parte inferior quando comparada às trocas pela parede do forno, o que direciona os grãos de forma colunar. Ao mesmo tempo, não foram observados grãos equiaxiais ao longo do lingote.

As microestruturas típicas do sistema de liga adotado apresentaram totalmente dendrítico, sendo possível notar a partir das microestruturas transversais observar o centro da dendrita, os braços secundários e também braços terciários se formando de maneira mais evidente na posição 40mm que nas posições anteriores, de 5 e 15mm.

Conclusões

Considerando que este trabalho é a parte inicial de um projeto de mestrado em andamento até o fechamento do artigo, a macroestrutura de solidificação foi obtida conforme proposto, bem como uma caracterização prévia das microestruturas de solidificação resultantes em uma faixa de escala microestrutural, nitidamente afetadas pelo intenso fluxo de calor direcional promovido pela chapa molde refrigerada na base da lingoteira.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer o apoio dado pelo laboratório de microscopia da Unisanta pela disponibilização do espaço para pesquisa.

ISSN: 2594-6153

Referências

1. Callister J: Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução. Editora S.A. (2008), p. 178.
2. Garcia A: Solidificação – Fundamentos e Aplicações. Editora da Unicamp, 2ª edição, 2007.
3. Garcia A. Influência das Parâmetros térmicos de solidificação na formação da macroestrutura e da microestrutura e correlação com propriedades decorrentes. Projeções, v. 23, p. 13-32, jan./dez. 2005.
4. FEM.UNICAMP. Disponível em: https://www.fem.unicamp.br/index.php/pt-br/lab-gps-publicacoes. Acesso em 10/09/2022.
5. Matos T, Bertelli F. Projeto e construção de um forno de solidificação unidirecional ascendente. Universidade Santa Cecília, Cobric, Santos-SP, 2018.