

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS DE SOLIDIFICAÇÃO EM LIGAS DE Al-Cu

Leandro Disiuta¹, Rodrigo Paz França¹, Dr. Carlos Alexandre dos Santos¹ (orientador)

¹*Faculdade de Engenharia, PUCRS*

Resumo

O projeto proposto analisou a influência da transferência de calor ao longo da solidificação sobre a formação da estrutura bruta da liga Al-4%Cu (duralumínio) nas dependências do NUCLEMAT-FENG. A liga foi preparada em um forno tipo poço. Após, foi novamente fundida e solidificada em um forno vertical que permite solidificação *in situ* com resfriamento a ar comprimido. A liga foi fundida em uma temperatura média de 700°C. Utilizou-se uma lingoteira de aço inoxidável AISI 304 onde foram dispostos seis termopares em diferentes posições, na base e dentro do metal fundido, para monitoramento dos parâmetros da solidificação, como velocidades, gradientes térmicos e taxas de resfriamento. Foi realizada a caracterização da macroestrutura, microestrutura e testes de dureza, para determinação da posição da transição colunar-equiaxial (TCE).

Introdução

A indústria focada cada vez mais na produção de produtos e insumos mais leves e, portanto mais eficiente em relação ao gasto de combustível, tem elevado o uso do alumínio e suas ligas para substituição de peças forjadas ou fundidas de metais ferrosos (LEE; HUNT, 2001; ABAL, 2010). Na solidificação unidirecional vertical ascendente, em que o metal é fundido e, quando a temperatura do metal líquido atinge um determinado valor, inicia-se a solidificação através do acionamento do fluido de refrigeração (ar comprimido) na parte inferior do molde. Nesse tipo de dispositivo, a solidificação se processa em sentido contrário ao da ação da gravidade e, conseqüentemente, o peso próprio do metal atua no sentido de favorecer o contato térmico com a base refrigerada (WEBBER, 2008). Os principais parâmetros afetados no processo de solidificação dos metais na fundição são as velocidades de solidificação e taxas de resfriamento, caracterizando os tempos de solidificação e os perfis

térmicos. Tais parâmetros influenciam diretamente nas propriedades do material e seu conhecimento é importante para o controle da estrutura final, que afeta a morfologia da interface sólido-líquido (PORÁS, 2009).

Metodologia

Primeiramente foi realizada uma revisão da literatura no tema. Após, a liga mãe Al-4,0%Cu foi preparada e solidificada unidirecionalmente *in situ* em forno de solidificação unidirecional vertical ascendente em sistema metal/molde instrumentado com termopares tipo K na base da lingoteira e diferentes posições dentro do metal. Para o resfriamento foi utilizado ar comprimido com uma vazão de 5 l/min, injetado na base da lingoteira. Os dados da evolução de solidificação foram adquiridos e armazenados no sistema de aquisição de dados, em computador, sendo cada canal do software representado por um dos seis termopares posicionados no metal e no molde. O sistema de aquisição de dados registra todas as temperaturas simultaneamente em intervalos de tempo de 1s e grava. Após a solidificação, o lingote foi seccionado longitudinalmente em posição perpendicular a dos termopares, onde foi realizado ataque químico com água régia fluorada para revelar a macroestrutura. Após foi caracterizada a macroestrutura e a microestrutura dos lingotes obtidos, determinando a posição da transição colunar-equiaxial (TCE), tamanho médios dos grãos e espaçamentos dendríticos secundários (λ_2). Através dos dados coletados pelos termopares foram geradas curvas de resfriamento, determinando os principais parâmetros afetados no processo de solidificação como a velocidade de solidificação, gradiente térmico e taxa de resfriamento (Figura 1), caracterizando os tempos de solidificação e os perfis térmicos correlacionando-os com as condições operacionais e a estrutura formada (GARCIA, 2001).

Resultados

Foram construídos os gráficos juntamente com curvas de tendência e suas respectivas equações por meio de regressão. Foram determinados: tempo de solidificação (t), mostrando o tempo de passagem da isoterma *liquidus* (temperatura de fusão da liga) em função da posição do termopar, velocidade de solidificação (V_s), mostrando a velocidade da isoterma *liquidus* em função também do posicionamento lingote, gradiente térmico (G_{TL}) e de taxa de resfriamento (Tr). A velocidade da frente de solidificação mostra o avanço da interface em direção ao líquido. Os gradientes térmicos foram determinados considerando a diferença de temperaturas de dois termopares adjacentes e a distância entre os mesmos.

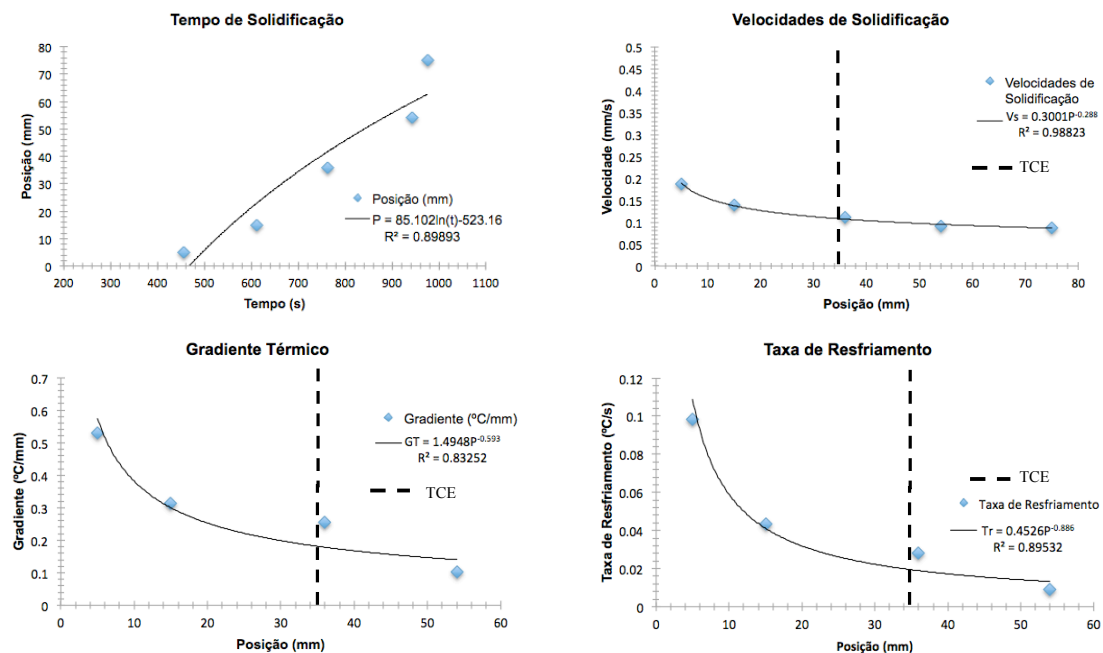


Figura 1: Gráficos de parâmetros de solidificação.

Conclusão

A estrutura formada no lingote não foi muito refinada, mas apresentou uma TCE em 35 mm, com regiões de grãos colunares e equiaxiais bem formados ao mesmo tempo em que uma grande quantidade de porosidade e trincas. Apresentou baixa taxa de resfriamento, o que desfavorece formação de grãos colunares.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a PUCRS (Faculdade de Engenharia e Faculdade de Química), ao CNPq (Edital PIBIC) e a Sulina de Metais S/A.

Referências

LEE P. D.; HUNT, J. D. Hydrogen Porosity In Directionally Solidified Aluminium – Cooper Alloys: A Mathematical Model. **Acta Materialia** 49 (2001) 1383–1398

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio

GARCIA, A. **Solidificação: Fundamentos e Aplicações**. Campinas: Editora da UNICAMP, v. 01. 399 p, 2001.

WEBBER, C.L.; Beskow, A.B.; Dedavid, B.A.; Costa, E.M.; Santos, C.A. Desenvolvimento de uma Metodologia Experimental de Solidificação Unidirecional Ascendente para Obtenção de Lingotes com Estrutura Colunar Grosseira em Metais Puros e Silício Policristalino. **Anais do XXXIV Seminário de Aciaria – Internacional**, ABM, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, Brasil.

PORÁS, B.R. **Influência da Estrutura de Solidificação nas Condições de Solubilização da Liga Al-4,0%Cu**. 2009. Dissertação Mestrado, PUCRS. Orientador: Prof. Carlos Alexandre dos Santos, 2009.