

ANÁLISE DO REFINO DE GRÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO EUTÉTICO ATRAVÉS DA CURVA DE RESFRIAMENTO

Autores: [Tarcila Pedrozo BENEMANN](#); Mario WOLFART Junior; Ghisana FEDRIGO, Ilyushin Zaak SARAIVA

Identificação autores: Bolsista PIBIC-Af/CNPq; Orientador IFC-Campus Luzerna; Pesquisadora IFC-Campus Luzerna, Pesquisador IFC-Campus Luzerna

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o estudo das informações obtidas das curvas de resfriamento e a primeira derivada destas curvas para a obtenção dos parâmetros térmicos que influenciam o processo de refino de grão da liga A269. As curvas de resfriamento foram obtidas a partir da medição da temperatura utilizando termopares conectados por meio de uma placa microcontrolada a um computador. Os resultados mostram que a adição do refinador ocasionou diminuição dos grãos reduzindo o tempo de nucleação da fase α -Al e do eutético ao comparar com a curva de resfriamento da liga sem inoculante.

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A análise térmica é uma ferramenta que pode ser empregada para classificar se houve ou não refino de grão. Em resumo, essa análise considera a curva de resfriamento da liga em questão e sua derivada com enfoque em eventos energéticos que ocorrem durante a solidificação.

Conforme a Figura 1 ilustra, cada região representa um aspecto relevante sob perspectiva da metalurgia. Segundo Arango e Martorano (2011) a região 1 representa a nucleação e livre crescimento dos grãos de alumínio e no máximo valor da derivada (região da recalescência) tem-se uma rápida liberação de calor latente, já na região 4 tem-se a nucleação do silício indicando o início da solidificação do eutético, ocorrendo um rápido aumento na derivada e a região 5 a continuação do crescimento do silício e também do alumínio contido no eutético.

As recalescências apresentadas na Figura 1 (Região 1 e 4) referem-se respectivamente a temperatura liquidus, resultante da formação da fase α -Al e a temperatura do eutético, resultante da reação eutética. Além disso, a região 1 encontra-se destacada na Figura 2 para um metal fundido sem refinador (A) e com refinador (B), sendo possível observar que as curvas apresentam um vale na recalescência (ΔT) e um pico na derivada (dT/dt) menor após o refino de grão (SILVA, 2012).

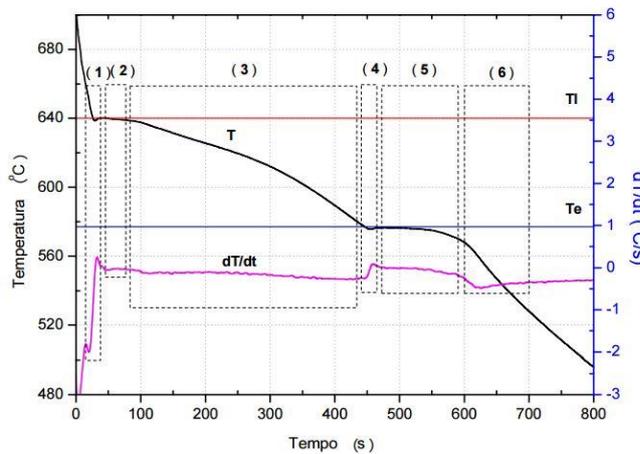


Figura 1: Curva de resfriamento típica de um sistema Al-Si e sua primeira derivada.
Fonte: ARANGO; MARTORANO (2011)

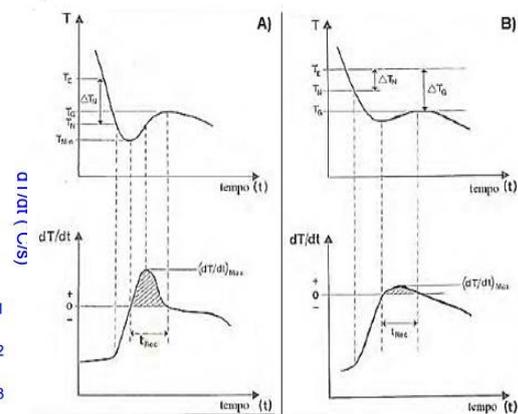


Figura 2: Início da curva de resfriamento e sua derivada para um metal fundido A) sem e B) com adição de refinador de grão.
Fonte: Adaptado de SILVA (2012)

Conforme Lima (2011) observou, a adição do inoculante também resulta em uma redução do tempo de nucleação de fase α -Al e do eutético, observados na extensão dos patamares, no eixo das abscissas na curva de resfriamento.

O objetivo desse trabalho foi o estudo das informações obtidas das curvas de resfriamento e primeira derivada desta, para a obtenção dos parâmetros térmicos que influenciam o processo de refino de grão da liga A269 e permitem afirmar se houve ou não refino de grão.

METODOLOGIA

A liga A 269 foi fundida em cadinho de grafite inserido em um forno do tipo mufla programado para uma temperatura de fusão final de 850 °C. O vazamento foi realizado em um sistema de solidificação composto por um molde de cavidade cilíndrica de aço inoxidável Al-Si 304 e por um sistema de aquisição de dados utilizado para o registro das curvas de resfriamento.

Foram realizados dois experimentos com a liga A269, um sem adição e outro com adição de Al-Ti-B resultando em um teor total de 0,05%Ti, sendo a adição do inoculante, na forma de uma liga-mãe Al-3%Ti-1%B com formato de vareta, realizada quando a liga atingia a temperatura de em torno de 720 °C e mantido nessa temperatura por mais trinta minutos para homogeneização.

Ambas as amostras obtidas dos ensaios, foram preparadas para análise de micrografia segundo procedimento de preparo padrão de amostras e atacadas quimicamente com o reagente Keller. O microscópio ótico utilizado foi o OPTIKA B1000MET.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta as curvas de resfriamento e taxa de resfriamento com aumento da região de superesfriamento (ΔT), obtidas do ensaio sem e com a adição de inoculante respectivamente.

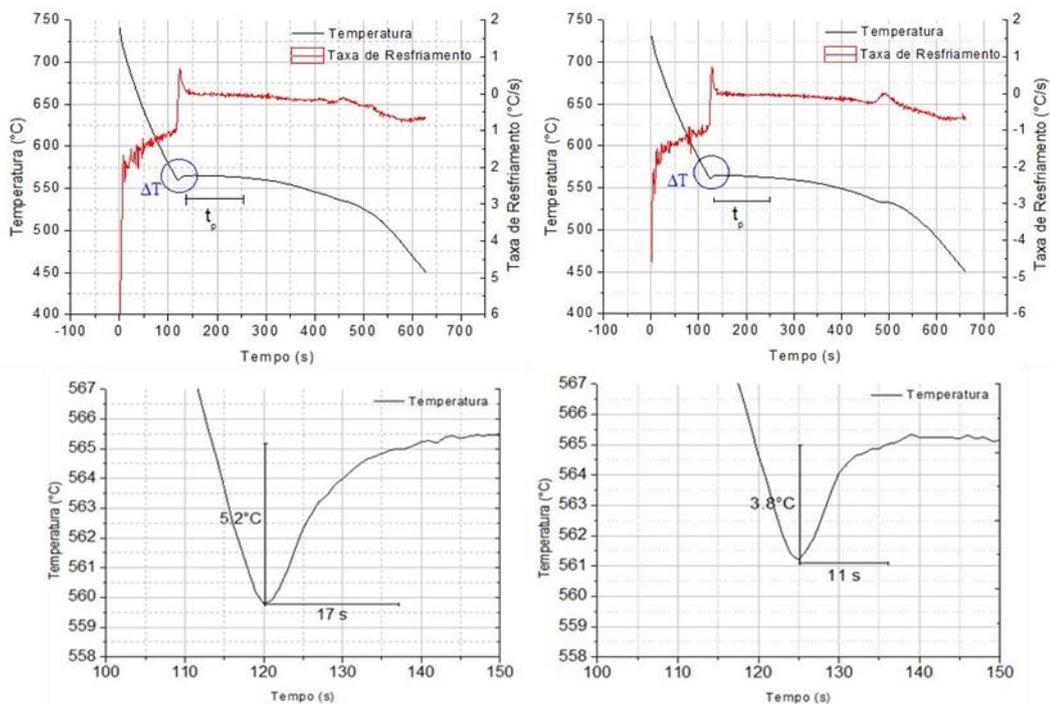


Figura 3: Curvas de resfriamento e taxa de resfriamento para liga A269 sem e com inoculante. *Fonte: Elaborada pelos autores*

Uma das mudanças mais significativas resultantes do refino de grão foi a diminuição do tempo no patamar (t_p) da temperatura eutética: enquanto que sem a adição do inoculante o tempo em que a liga permanece na temperatura eutética é de aproximadamente 50 segundos, com a adição este cai para aproximadamente 37 segundos.

Além dessa característica, o super-resfriamento para a liga sem e com a adição de inoculante também sofre alterações: sem a adição de inoculante $\Delta T_{sem} = 565 - 559,8 = 5,2^{\circ}\text{C}$ e com adição de inoculante $\Delta T_{com} = 565 - 561,2 = 3,8^{\circ}\text{C}$, resultando na diferença entre os $\Delta T_{sem} - \Delta T_{com} = 1,4^{\circ}\text{C}$.

O período do super-resfriamento (17s para a liga sem adição e e 11s com adição de inoculante) também apresentou diminuição. Este é um indício de que ocorreu o refino de grão pois, segundo Arango e Martorano (2011) essas alterações estão diretamente relacionadas às modificações na quantidade de grãos que nuclearam e cresceram, liberando calor latente diferentemente.

A Figura 4 apresenta a comparação entre a microestrutura com matriz de alumínio e silício primário para uma região próxima a parede do molde sem e com a adição do inoculante respectivamente.

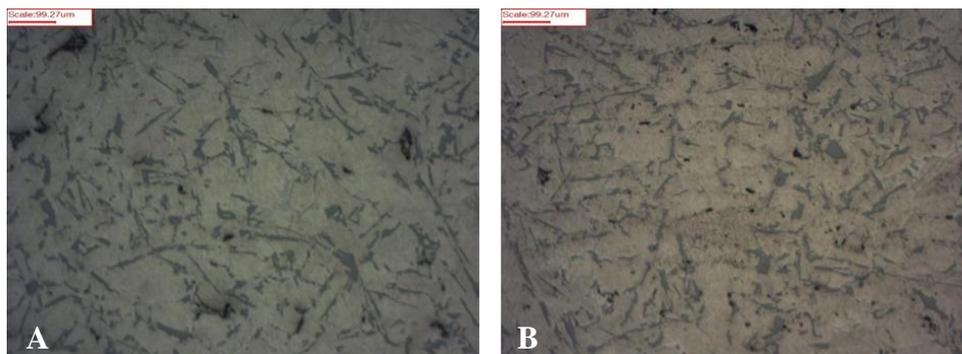


Figura 4: Comparação entre as microestruturas da liga próxima a parede do molde sem adição do inoculante (A) e com a adição de inoculante (B). Fonte: Elaborada pelos autores

Foi possível observar uma região equiaxial mais fina e distribuída das agulhas de silício primário em comparação com a microestrutura da liga sem o inoculante. Além disso a estrutura dendrítica encontra-se refinada, reduzindo o tamanho do silício primário, indicando o aumento na quantidade de grãos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A utilização do refinador de grão do tipo Al-Ti-B na refusão da liga A269 resultando em um teor total de 0,05%Ti ocasionou uma diminuição no tamanho do silício



primário e conseqüentemente diminuiu o tamanho de grão.

- A realização do refino de grão alterou sutilmente as características das curvas de resfriamento, sendo possível observar uma redução do tempo de nucleação da fase α -Al, e do eutético, observados na extensão dos patamares, no eixo da abscissa na curva de resfriamento;
- Houve uma diminuição do superesfriamento - observado através da temperatura mínima alcançada: sem adição do inoculante era de 559°C e com a adição esta foi de 561°C, que conforme descrito anteriormente é resultado do processo de refino de grão;

REFERÊNCIAS

ARANGO, Juan Marcelo Rojas; MARTORANO, Marcelo Aquino. Estudo de refino de grão das ligas Al-Si através de inoculantes do sistema Al-Ti-B. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 66., 2011, São Paulo. Anal. São Paulo: Abm, 2011. p. 520 - 532. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/academic/martoran/Publicacoes/MarceloABM.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

LIMA, Alex Darllan Alves de. Análise da curva de resfriamento e refino de grão da liga de alumínio AA356. 2011. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guarantiguetá, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119619/lima_ada_tcc_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 ago. 2017.

SILVA, Cásia Cavalcanti da. Utilização da curva de resfriamento na análise do refino de grão da liga AA 356. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guarantiguetá, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94396/silva_cc_me_guara.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 mar. 2017.