



CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA E ANÁLISES MACROESTRUTURAL E MICROESTRUTURAL DA LIGA BINÁRIA Al-9%Si

Bruno Yuji G. Feio¹, Dyenne L. Lima¹, Evaldo C. Hoffmann¹, Leonardo C. Oliveira¹,
Marcus Murilo A. Silva¹ e Laércio G. Gomes¹.

1 - Departamento de Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará
(IFPA), Belém, PA.

laercio.gomes@ifpa.edu.br

RESUMO

As ligas de alumínio para fundição possuem propriedades de grande interesse industrial, como: baixa massa específica, boa resistência a corrosão, elevadas condutibilidades térmica e elétrica, boas combinações de propriedades mecânicas, boa trabalhabilidade em processos de usinagem e conformação mecânica. Um sistema teórico-experimental para a fundição da liga Al-9%Si foi desenvolvido com o objetivo de obter a caracterização térmica, macroestrutural e microestrutural. A metodologia utilizada para a obtenção dos resultados foi baseada no vazamento da liga proposta em cadinho de carvão de silício devidamente isolado, com termopar acoplado a um sistema FieldLogger para obtenção dos dados térmicos. Foram realizados os cortes específicos para análise metalográfica e microscópica óptica e eletrônica de varredura. A metalografia foi desempenhada dentro dos padrões da norma ABNT NBR 13284:1995. Os resultados mostram a temperatura de fusão (T_f) e solidificação (T_s) obtidas experimentalmente foram 629,88°C e 578,72°C, respectivamente, e concordam com os valores teóricos apresentados na literatura. Conclui-se que as temperaturas experimentais e teóricas são compatíveis com o diagrama de fases da liga proposta e com sua composição química. A caracterização da macro e microestrutural da liga Al-9%Si apresenta boa correlação com demais características térmicas da liga.

Palavras-chave: Liga Al-Si, Curva de resfriamento, Solidificação, Macroestrutura, Microestrutura.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa uma posição de destaque no que tange os aspectos da produção de alumínio, principalmente na área de fundição. Neste contexto as indústrias buscam por materiais com propriedades cada vez mais elevadas, por isso o conhecimento do controle da cinética do processo de solidificação de metais e ligas metálicas vem se consolidando como objeto de estudo de extrema importância para a obtenção de materiais com propriedades homogêneas e mais adequadas à sua utilização prática.⁽¹⁾

Claro que tal posição é devido tanto à abundância da matéria prima existente no país quanto à inegável cultura de reciclagem que coloca o Brasil no pódio da reciclagem mundial de alumínio a quase 20 anos consecutivos segundo a ABAL (Associação brasileira de alumínio).

Sendo o Brasil tão representativo no âmbito das tecnologias que envolvem o uso deste metal, nada mais usual que um estudo acerca das propriedades do sistema de ligas Al-Si com o propósito de caracterizar as propriedades físico químicas do material para melhorar os sistemas de aplicações de tais ligas em escala industrial.

As características da macroestrutura de um material têm implicações diretas no comportamento das características físicas do material, o que embasa ainda mais a necessidade deste estudo no panorama acadêmico e industrial⁽²⁻⁴⁾.

No presente trabalho estamos com interesse no desenvolvimento dos processos de formação da liga Al-9%Si, através do processo de fundição e posterior solidificação seguida da análise da curva de resfriamento da mesma e das características que a mesma apresenta com relação a sua macrografia exibida através do processo metalográfico.

E para atingirmos os objetivos propostos, foi realizada a fundição do Alumínio e em sequência foi inserido a sílica com intuito de desenvolver a liga Al-9%Si, prontamente após iniciou-se a mensuração das temperaturas para a formulação da curva de resfriamento seguindo os parâmetros de análise das linhas *liquidus* e *solidus* e por fim após a solidificação total os devidos cortes, lixamentos e ataques químicos foram realizados para obtermos a macrografia da liga.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Fundição

Inicialmente temos que o primeiro passo realizado foi a decisão de qual será a liga ser fundida que em nosso caso foi escolhida a liga Al-9%Si e com base nisto realizamos a estequiometria para determinar as quantidades proporcionais em peso, com base na quantidade de alumínio, depois de cortado e pesado (890g).

Logo temos que a quantidade em gramas de silício é 88,02g para a já dita proporção, tendo isso em vista, tivemos que fragmentar o silício mecanicamente e após, realizamos a pesagem do mesmo para separar a amostra que será usada.

Sequencialmente foram separados os EPIs necessários e o material de uso, ou seja, o cadinho onde a fundição ocorreu, e a aranha para transporte do cadinho.

O alumínio foi colocado dentro do cadinho que foi levado ao forno do tipo mufla brasimet (P=8kW) previamente aquecido a 800 graus celsius.

Em sequência a fusão do alumínio, com o auxílio da aranha retiramos o cadinho do forno e inserimos o silício e realizamos a emulsão do mesmo. Em seguida o cadinho foi retornado ao forno para a eventual fusão do silício e levou por volta de 30 min para a fusão total do silício. Em seguimento a fusão do silício retiramos o cadinho contendo a liga já totalmente fundida e emulsificada e inserimos o termopar na liga e cobrimos o cadinho com a manta térmica (figura

I) e foi iniciado a verificação e captação dos dados para a posterior elaboração da curva de resfriamento através do programa Fieldlogger.



Figura I - imersão do termopar na liga.

2.2 - Metalografia

Para efetuarmos a metalografia foi realizado o corte longitudinal na peça que foi solidificada dentro do cadinho e também foi realizado o corte de uma peça para a análise quantitativa via fluorescência de raios-X. Inicialmente foi feito em ambas as peças o lixamento, na peça principal com o corte longitudinal destinada ao ataque químico para revelação da macroestrutura o lixamento foi feito com as granulometrias 80, 100, 220, 320, 480 e 600 *mesh* de lixas em sequência foi realizado o ataque químico com o agente químico Keller, a peça foi atacada por um período de 2 minutos no total em dois ataques de 1 minuto cada para melhor ver a sua macroestrutura pois o reagente não conseguiu revelar sua macroestrutura com clareza em apenas um ataque, na outra peça destinada a análise quantitativa via fluorescência de raios-X foi realizado o lixamento com as granulometrias 80, 100 e 220 *mesh* de lixas.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Análise química quantitativa

A análise quantitativa via fluorescência de raios-X demonstrou as seguintes quantidades para os elementos (Tabela 1). A análise mostrou um percentual próximo ao esperado para as proporções utilizadas.

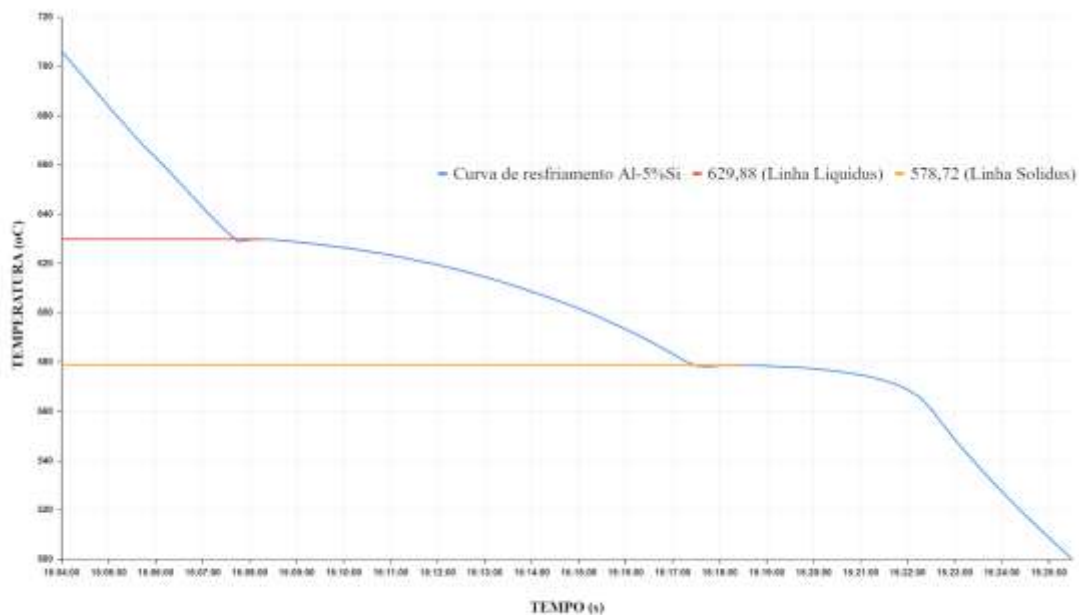
Tabela 1 - Resultados das proporções químicas encontrados na fluorescência.

Al-9%Si	
Mg	1,065%
Al	90,11%
Si	8,822%
Total	100,00%

3.2 - Curva de resfriamento

A análise do diagrama de fases da liga Al-Si mostrou o intervalo e os valores aproximados para as linhas líquidas e solidus os quais auxiliaram a termos um ponto de referência durante a solidificação da liga. Os dados obtidos durante o resfriamento da liga anteriormente citados, foram utilizados para a formulação da curva de resfriamento (Gráfico I).

Gráfico I - Curva de resfriamento.



3.3 - Análise macroestrutural e microestrutural

Após a metalografia, obtivemos a macrografia (Figura III) em seguida levamos a peça para o microscópio óptico e através do software moticImagens Plus 2.0 obtivemos algumas imagens da micrografia (Figura IV).



Figura III - Macrografia da peça após o ataque químico.

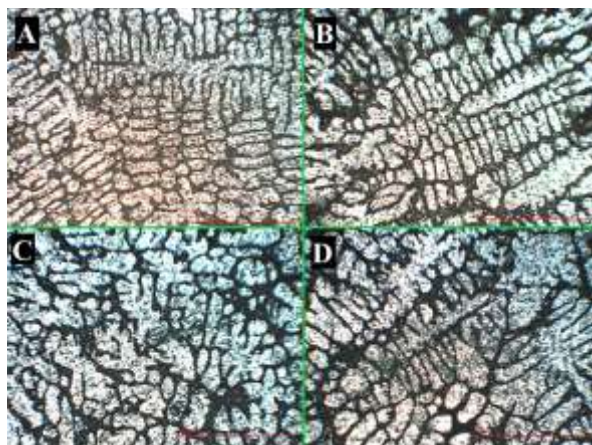


Figura IV - Micrografia da peça após o ataque químico.

IV. CONCLUSÕES

Inicialmente temos que observar a curva de resfriamento em comparação com o diagrama de fases pois a literatura se refletiu na realidade já que na literatura a temperatura da linha solidus é de aproximadamente 577°C e a encontrada durante a prática foi de $578,72^{\circ}\text{C}$ e para a linha liquidus a temperatura teórica é de aproximadamente 631°C e a encontrada durante a prática foi de $629,88^{\circ}\text{C}$.

Em relação à análise macroestrutural sobre uma visão limpa da peça, os membros da equipe tiveram visões diferentes podemos dizer que o crescimento das fases lembram o crescimento de cristais de água, um mapa urbano ou folhas e podemos observar 3 fases que se diferenciam pela tonalidade de cor e reflexo, pode se observar também os vazios/falhas ou buracos na face da peça que possivelmente são resultado da mudança na estrutura cristalina do silício que causa uma expansão durante a consolidação no processo de solidificação.

Em termos da análise das imagens do microscópio óptico na imagem IV-A e IV-B ambas tiradas da zona superior da peça, podemos ver padrões de alinhamentos e estes padrões são em zonas não periódicas da peça pelo que foi observado, algo como um grão que cresceu em uma direção diferente dos outros começa a criar uma outra zona com uma direção de crescimento distinta, na imagem IV-B podemos observar no topo o crescimento de grãos alinhados verticalmente enquanto mais abaixo os grãos estão alinhados horizontalmente e podemos ver claramente alguns grãos na “zona intermediária” que não estão alinhados verticalmente nem horizontalmente, e se observarmos no lado esquerdo da figura IV-B podemos ver outra zona de crescimento agora com um alinhamento mais angular.

Outra característica notada foi na mudança de formato dos grãos com base na altura da peça, os grãos formados no topo da peça tem um padrão de crescimento mais uniforme, claro que há grãos com crescimentos mais abrangentes disformes porém em menor número, entretanto, quando avançamos mais para o fundo do cadinho no meio da peça (Figura IV-D) notamos um maior alongamento no comprimento dos grãos e a formação de estruturas que lembram muito as dendritas e o aparecimento de mais vazios/falhas já citadas em parágrafos anteriores, e por fim quando chegamos na zona da base do cadinho (Figura IV-C) temos grãos maiores porém totalmente disformes sem alinhamento de crescimento. Concluimos se tratar do tempo de resfriamento que provavelmente foi menor no topo e meio da peça e maior no fundo o que gerou esse crescimento maior de grãos.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, Eugênio Carlos Campos de. Solidificação direcional horizontal de uma liga Al-Cu-Si: interrelação entre parâmetros térmicos, microestrutura e microdureza. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, ITEC-UFPA/PA, Belém.
2. GARCIA, Amauri. Influência das variáveis térmicas de solidificação na formação da macroestrutura e da microestrutura e correlação com propriedades decorrentes. *Projeções*, v. 23, p. 13-32, jan./dez. 2005.
3. GOMES, Laércio Gouvêa. Microestrutura dendrítica, macrossegregação e microporosidade na solidificação de ligas ternárias Al-Si-Cu. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP/SP, Campinas.
4. NASCIMENTO, Luiz Gabriel da Silva. Influência da adição de nanotubos de carbono nas propriedades mecânicas da liga Al-2%Ni solidificada direcionalmente. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC-UFPA/PA, Belém.
5. Infomet. Disponível em: <https://www.infomet.com.br/site/diagrama-de-fases-ver.php?cod=53>. Acesso em: 08 nov. 2021.

THERMAL CHARACTERIZATION AND MACRO AND MICRO STRUCTURAL ANALYSIS OF THE Al-9%Si ALLOY

ABSTRACT

Aluminum alloys for casting have properties that are of great industrial interest, such as low specific mass, good corrosion resistance, high thermal and electrical conductivity, good combinations of mechanical properties, and good workability in machining and mechanical forming processes. A theoretical and experimental system for the casting of Al-9%Si alloy was developed to obtain thermal, macrostructural, and microstructural characterization. The methodology used to obtain the results was based on casting the proposed alloy in a properly insulated silicon carbide crucible, with a thermocouple coupled to a FieldLogger system to obtain the thermal data. Specific sections of the specimen were made for metallographic, optical, and scanning electron microscopic analysis. Metallography was performed according to ABNT NBR 13284:1995 standards. The results show the melting temperature (T_f) and solidification temperature (T_s) obtained experimentally were 629.88°C and 578.72°C, respectively, and agree with the theoretical values presented in the literature. It is concluded that the experimental and theoretical temperatures are compatible with the phase diagram of the proposed alloy and its chemical composition. The macro and microstructural characterization of Al-9%Si alloy shows a good correlation with other thermal characteristics of the alloy.

Keywords: Al-Si Alloy, Cooling Curve, Solidification, Microstructure and Macrostructure.