

ESTUDO COMPARATIVO DA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DA LIGA Al-5%Si0,3%Mg ANTES E APÓS O TRATAMENTO TÉRMICO T6

JOSÉ COSTA DE MACEDO NETO^{1*}, RAIMUNDO NONATO ALVES DA SILVA², BRUNO MELLO DE FREITAS³, JOÃO EVANGELISTA NETO⁴, MARCOS DANTAS DOS SANTOS⁵

¹ *Dr. Professor em Engenharia de Materiais, UEA-EST, Manaus-AM. Fone: (92) 98265-3945,
jotacostaneto@gmail.com

² Msc. Professor em Engenharia de Materiais, UEA-EST, Manaus-AM. Fone: (92) 99251-5489,
raimundo.nonato.silva@gmail.com

³ Msc. Professor em Engenharia de Materiais, UEA-EST, Manaus-AM. Fone: (92) 99984-7630,
bruno_m_freitas@hotmail.com

⁴ Dr. Professor em Engenharia Mecânica, UEA-EST, Manaus-AM. Fone: (92) 99419-3544,
joao_evanjlista_netto@yahoo.com

⁵ Msc. Professor em Engenharia Mecânica, UEA-EST, Manaus-AM. Fone: (92) 98147-8343,
marcosdantas73@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: O processo de fundição por gravidade tem várias vantagens em relação a outros processos, uma delas é a de obter peças com geometria complexa e alta produtividade. Um tratamento térmico muito utilizado em ligas de alumínio fundidas por gravidade é o T6. Este trabalho teve como objetivo comparar a microestrutura e microdureza Vickers da liga Al-5%Si0,3%Mg fundida por gravidade antes e após o tratamento térmico T6. O resultado mostrou que após o tratamento térmico da liga houve mudanças na microestrutura o que resultou no aumento da microdureza.

PALAVRAS-CHAVE: Liga de alumínio, tratamento térmico, microestrutura, microdureza.

COMPARATIVE STUDY OF MICROSTRUCTURE AND HARDNESS LEAGUE Al-5%Si0,3%Mg BEFORE AND AFTER HEAT TREATMENT T6

ABSTRACT: The gravity casting process has several advantages over other processes, one is to obtain parts with complex geometry and high productivity. A thermal treatment commonly used on aluminum alloys by gravity casting is the T6. This study aimed to compare the microstructure and Vickers microhardness of the alloy Al-5% Si0,3% Mg melted by gravity before and after heat treatment T6. The result showed that after heat treatment, the alloy was no change in the microstructure resulting in increased hardness.

KEYWORDS: Aluminum alloy, heat treatment, microstructure, microhardness.

INTRODUÇÃO

O alumínio e suas ligas são caracterizados por uma densidade relativamente baixa (2,7 g/cm³, em comparação com uma densidade de 7,9 g/cm³ para o aço), condutividades elétrica e térmica elevadas, e uma resistência à corrosão em alguns ambientes comuns, incluindo a atmosfera ambiente. Devido a estas características o alumínio é empregado na indústria civil, automotiva, naval, aeroespacial (Lopes, 2008).

O desenvolvimento das ligas de alumínio com alta resistência térmica também é prioridade no direcionamento estratégico das atividades de pesquisa e desenvolvimento, para que os requisitos mencionados sejam atendidos no futuro. A matriz da microestrutura do material também é decisiva para o alcance das propriedades mecânicas. Desta forma, por exemplo, o processo de fundição tem um papel decisivo, já que ele determina o grau de finura e a homogeneidade da microestrutura, assim

como a porosidade. A microestrutura da liga de alumínio obtida por meio, por exemplo, de fundição por gravidade deve alcançar as propriedades desejadas adicionando elementos de liga e/ou por via tratamento térmico (Sjölander; Seifeddine *et al.*, 2010; Azevedo, 2014; Rometsch, *et al.*, 2003).

O objetivo deste trabalho foi comparar a microestrutura e microdureza Vickers da liga de alumínio Al-5%Si0,3%Mg, fundida por gravidade, antes e após o tratamento térmico de precipitação e envelhecimento artificial (T6).

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise química

Para a análise química da liga utilizou-se um espectrômetro de emissão óptica da marca Shimadzu, modelo OES 5500. Para realização desta análise a liga de alumínio líquida foi vazada em uma coquilha cônica até a sua solidificação. Em seguida a amostra foi cortada para a obtenção de uma superfície plana. Esta superfície foi posteriormente analisada. A amostra, já cortada, foi posta na câmara escura de queima do equipamento, aonde sofreu queima por uma corrente elétrica imposta por um eletrodo, que por sua vez gerou um espectro único para cada elemento da liga. Esse espectro foi dividido por um prisma de difração que encaminhou o espectro separado para os detectores, gerando as linhas de espectro e retornando com a leitura dos elementos químicos. A Tabela 1 mostra o resultado de análise química da liga utilizada no estudo.

Tabela 1. Composição química da liga utilizada.

Liga/Elementos	Si	Cu	Fe	Mg	Zn	Mn	Ti	Cr	Pb	Sr
Al-5Si0,3Mg	5,275	0,012	0,192	0,362	0,011	0,031	0,185	0,028	-	0,016

Processo de fundição

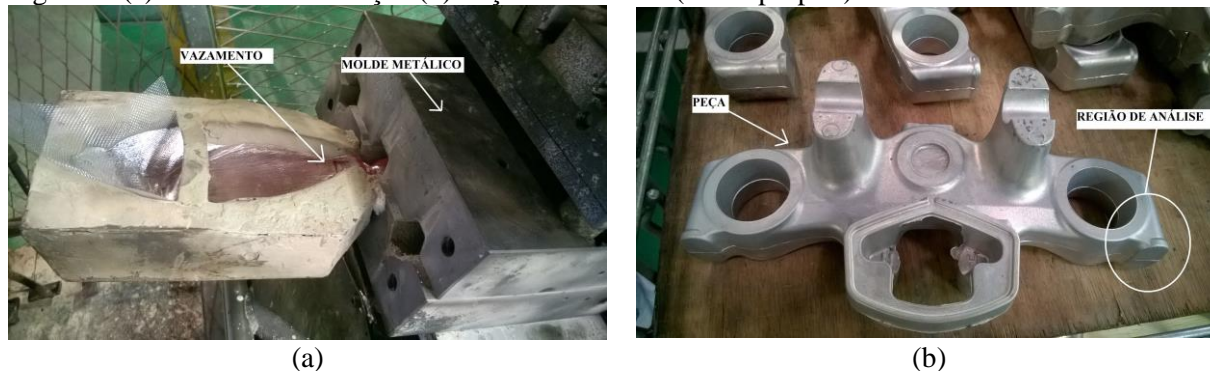
Processo de fundição utilizado foi por gravidade utilizando um molde permanente basculante da marca DJ-Fornos. Este estudo foi realizado em um ambiente industrial. A Tabela 1 mostra os parâmetros do processo.

Tabela 2. Parâmetros de processamento de fundição por gravidade.

Temperatura de vazamento	710-750°C
Temperatura do molde	390-420°C
Tempo de solidificação	115-120 segundos

As Figuras 1a e b mostram o processo de fundição utilizado no estudo e a peça obtida. A Figura 1a mostra o alumínio líquido sendo vazado por gravidade no molde metálico basculante. A Figura 1b mostra a peça já solidificada bem como a região em que foram retiradas as amostras para a análise da microestrutura e microdureza.

Figura 1. (a) Processo de fundição (b) Peça solidificada. (Fonte própria).



Tratamento térmico

Após a solidificação a peça foi resfriada (ao ar). Em seguida foi realizado o tratamento térmico T6 (precipitação e envelhecimento artificial) utilizando um forno para solubilização da marca

Brasimet e um forno estacionário para o tratamento de precipitação e envelhecimento artificial também da marca Brasimet. A Tabela 3 mostra os parâmetros do tratamento térmico.

Tabela 3. Parâmetros do tratamento térmico.

Parâmetros	Temperatura	Tempo	
	(°C)	(h)	(min.)
Tratamento de solubilização	525	6	10
Resfriamento	60		2
Tratamento de precipitação e envelhecimento artificial	150	8	10

Metalografia

Para a avaliação metalográfica, as amostras foram embutidas em resina fenólica e submetidas a preparação metalográfica realizado conforme ASTM E3 seguido de ataque químico. O ataque foi realizado com Ácido Alquil Benzil Sulfônico $C_6H_4(SO_3H)(CS_2)_{10}CS_3$, 70% de concentração. Em seguida as amostras foram analisadas utilizando um microscópio óptico da marca Olympus modelo CX3I com aumentos de 40X a 1000X, acoplado com câmara para captura de imagens da marca Moticam, modelo Moticam1000, 1.3MP Live Resolution e software analisador de imagens Motic Image Plus version 2.0.

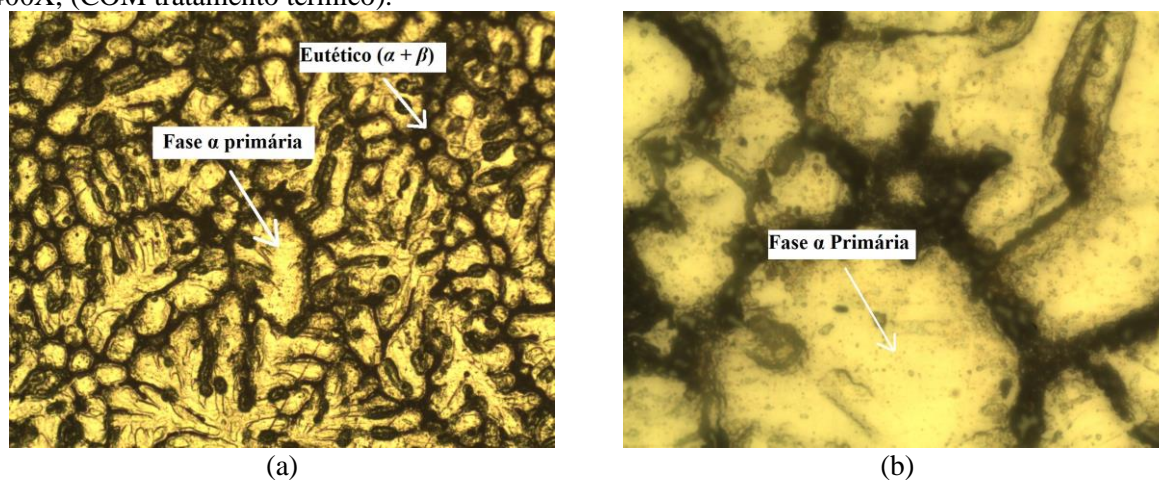
Microdureza Vickers

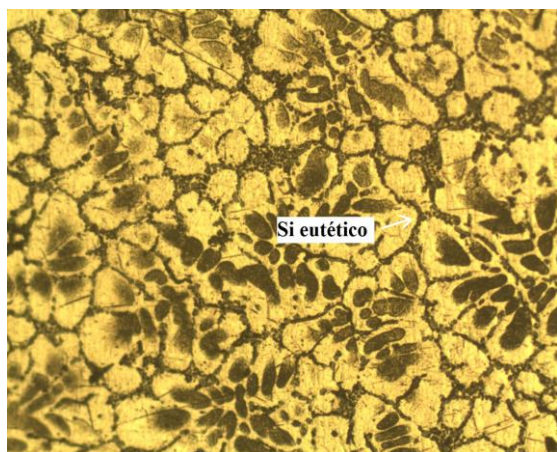
Para análise de microdureza utilizou-se um Microdurômetro Mitutoyo modelo HM-100 com carga 1,0kgf. O ensaio seguiu a norma ASTM E384 - 11. Calculou-se a média de 5 identações de uma amostra tratada e outra não tratada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

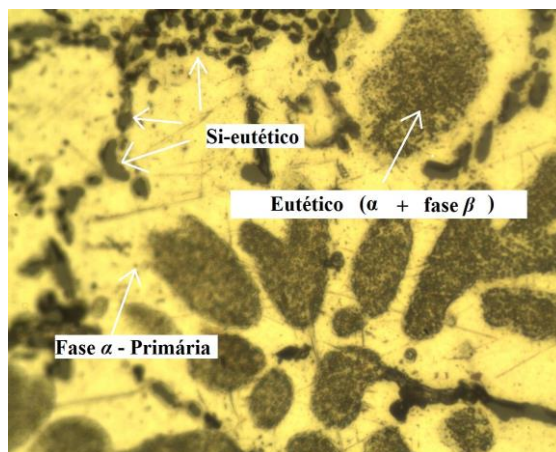
As Figuras 2(a, b, c, d) mostram as microestruturas da liga estudada sem e com tratamento térmico. As Figuras 2 (a-b) mostram as micrografias da liga sem tratamento térmico com aumentos de 100 e 400X, respectivamente. Pela Figura 2a observa-se a fase - α primária com morfologia dendrítica (clara) rica em alumínio (Al) e a estrutura eutética ($\alpha + \beta$), sendo a fase β rica em silício (Si) (Zeren *et al.*, 2006). Pela imagem observa-se que as dendritas e eutético encontram-se bem distribuídos. A Figura 2b mostra a fase - α primária homogênea. As Figuras 2(c-d) mostram as microestruturas da liga após o tratamento com aumentos de 100 e 400X, respectivamente. As Figuras 2(c-d) mostram a formação da estrutura eutética ($\alpha + \beta$) no interior da dendrita (fase - α primária). A Figura 2b mostra a imagem com aumento de 400X. Pela imagem observa-se o silício eutético com morfologia esferoidizada e interdendrítico (Dioni *et al.*, 2015; Shaha *et al.*, 2015).

Figura 2. Microestruturas da liga (a) 100X e (b) 400X, (SEM tratamento térmico). (c) 100X e (d) 400X, (COM tratamento térmico).





(c)



(d)

A Tabela 4 mostra a média das medidas das amostras com e sem tratamento térmico. Observa-se pela tabela que o valor da microdureza foi maior para a amostra tratada termicamente. O maior valor para amostra tratada foi devido ao silício eutético esferoidizado e ao surgimento da fase eutética ($\alpha + \beta$) no interior da dendrita (fase α - primária).

Tabela 4. Valores médios das medidas de microdurezas Vickers.

SEM Tratamento	COM Tratamento
49,70 (HV)	79,72 (HV)

CONCLUSÕES

Pelo processo de fundição por gravidade foi possível obter a peça em alumínio. Pela análise microestrutural observou-se que a amostra tratada termicamente apresentou o silício eutético com morfologia esferoidizada no contorno do grão dendrítico e que houve o surgimento do eutético no interior da dendrita. A microdureza foi maior para a liga tratada termicamente devido ao silício eutético esferoidizado e o surgimento do eutético no interior da dendrita.

REFERÊNCIAS

- Zeren, M.; Karakulak, E.; Gümü, S. Influence of Cu addition on microstructure and hardness of near-eutectic Al-Si-xCu-alloys. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, v.21, p.1698-1702, 2011.
- Dioni D.; Cecchel, S.; Cornacchia, G.; Faccoli, M.; Panvini A. Effects of artificial aging conditions on mechanical properties of gravity cast B356 aluminum alloy. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, v.25, 1035-1042, 2015.
- Shaha, S. K.; Czerwinski, F.; Kasprzak, W.; Friedman, J.; Chen, D. L. Effect of solidification rate and loading mode on deformation behavior of cast Al-Si-Cu-Mg alloy with additions of transition metals Materials Science & Engineering v.A636, 361-372, 2015.
- Azevedo, T. L. F. Modificação e tratamento térmico T6 na liga Al7Si0,3Mg. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto 2014. 98f. Tese (Doutorado em engenharia metalúrgica e materiais).
- Lopes, C. F. T. Estudo do tratamento de solubilização da liga de Al 354.0. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto 2008. 70f. Tese (Doutorado em engenharia metalúrgica e materiais).
- Rometsch, P. A.; Zhang Y.; Knight S. Influence of Cu and minor elements on solution treatment of Al-Si-Cu-Mg cast alloys. Materials Letters, v.57, 4083-4087, 2003.
- Sjölander, E.; Seifeddine, S. The heat treatment of Al-Si-Cu-Mg casting alloys. Journal of Materials Processing Technology, v.210, 1249-1259, 2010.