

INFLUÊNCIA DO TEOR DE SILÍCIO NO ASPECTO FRATURAL DA LIGA Al-Mg-Si SOLIDIFICADA UNIDIRECIONALMENTE⁽¹⁾

Kleber Agustín Sabat da Cruz⁽²⁾

Raimunda Figueredo Maia⁽³⁾

Darci Moreira⁽⁴⁾

Fernando Antônio de Sá⁽⁵⁾

José Maria do Vale Quaresma⁽⁶⁾

Resumo

Este estudo é sobre ligas da série 6XXX solidificadas unidirecionalmente, as quais tiveram seu comportamento fratural analisado através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV). As ligas de série 6XXX têm como elementos principais o Mg e o Si e são vastamente usadas na indústria, especialmente na fabricação de cabos elétricos. Neste estudo, cinco ligas (Al-0,6Mg-0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 % Si) foram sujeitas ao teste de tração e analisadas no MEV para caracterizar a superfície fratural. As ligas foram produzidas em lingotes através da solidificação unidirecional e as amostras foram retiradas de pontos mais próximos da interface metal / molde. A rugosidade da superfície foi relacionada com a composição química das ligas e notou-se que a superfície da fratura se tornou mais irregular quando a quantidade de silício foi aumentada, além disto, detectou-se uma camada branca por sobre os grãos da matriz. Na microanálise com raios-X (EDS), constatou-se que esta camada é rica em silício, a qual se espalha por sobre os grãos da matriz. Provavelmente esta camada favoreceu para o surgimento de protuberâncias mais salientes sobre a superfície da fratura

Palavras-chave: Fractografia; Solidificação unidirecional; Ligas Al-Mg-Si.

(1) Trabalho submetido ao 60º Congresso Anual da ABM, a ser realizado nos dias 25 a 28 de julho de 2005, em Belo Horizonte – MG;

(2) Eng.º Mec. Msc – CMEM-UFPA

(3) Estudante da pós – graduação em engenharia mecânica – CMEM-UFPA

(4) Estudante da pós – graduação em engenharia mecânica – CMEM-UFPA

(5) Prof. Dr. do departamento de engenharia mecânica – CT-DEM-UFPA

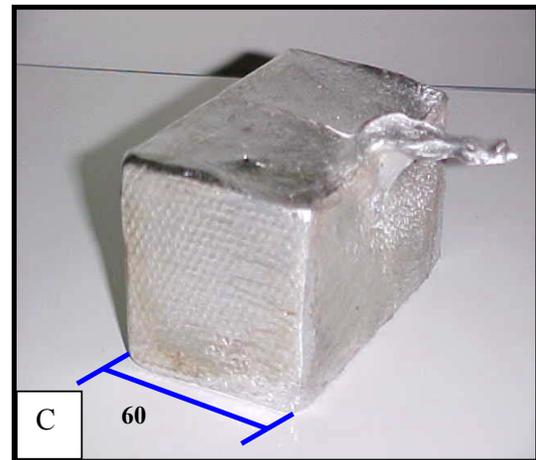
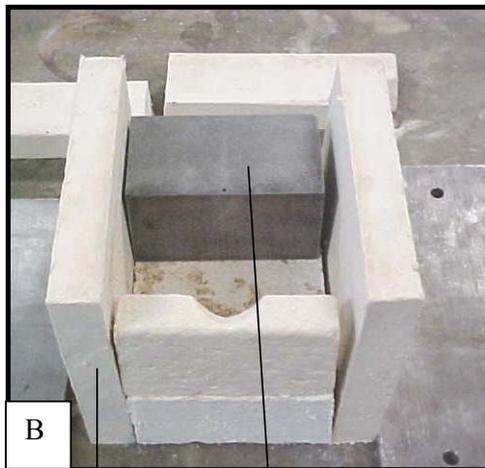
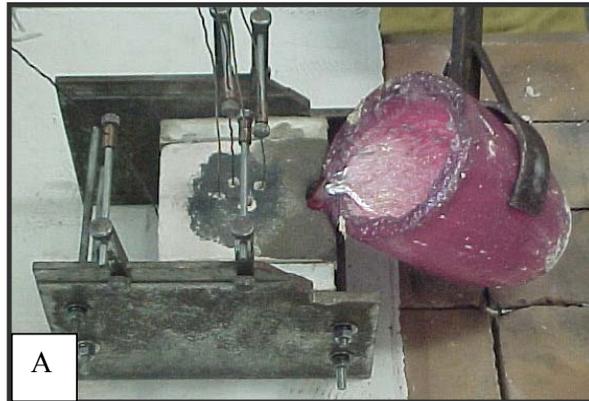
(6) Prof. Dr. do departamento de engenharia mecânica – CT-DEM-UFPA

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a modificação que o aspecto da fratura mostra quando ocorre uma mudança no teor de silício no sistema ternário Al-Mg-Si na faixa das ligas 6101/6201 no estado como fundido. As fraturas foram obtidas através de corpos de prova submetidos à teste trativos, onde o aspecto fratural pôde revelar a manifestação de algumas propriedades mecânicas como ductilidade e resistência. A análise da fratura foi feita através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A grande importância que esses microscópios apresentam na caracterização dos materiais é indiscutível, não somente por permitirem observar estruturas que estavam inacessíveis ao microscópio óptico, mas pela grande vantagem de que o choque dos elétrons de alta energia contra os átomos da amostra resulta na geração de uma série de sinais ionizantes. Entre esses sinais, temos os raios-X, que saem com comprimentos de onda característicos para cada espécie atômica, possibilitando a microanálise química simultaneamente à geração das imagens. Outros trabalhos já estudaram a influência da composição química na caracterização fratural. Estes trabalhos verificaram que não só a composição química, mas também a submissão do material a um tratamento térmico, influencia no aspecto fratural das ligas 6101 (Al-Mg-Si). Nestes trabalhos, pôde-se fazer uma associação do aspecto fratural tanto com a composição química quanto com o tratamento térmico de solubilização e envelhecimento [FERNANDES, 2000; SENA, 2000]. Visando a importância da caracterização fratural, este trabalho objetiva relacionar a topografia da fratura com a composição química de ligas 6101/6201 variando o teor de silício, onde, com base nas fractografias, descreve-se as propriedades mecânicas em vigor nas ligas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de avaliar a influência da variação do silício no comportamento térmico e físico do ternário Al-Mg-Si, em teores de silício dentro dos limites admissíveis dos sistemas 6101/6201, adotou-se um critério de variação, onde se fixou o percentual de Mg presente em 0,6%, e o do Si foi variado de 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2 %. A matéria-prima utilizada neste trabalho foi fornecida pela empresa ALUBAR, a fusão dos metais foi feita em um forno tipo MUFLA, cuja temperatura de trabalho ajustada foi de 810°C, antes do vazamento, fez-se a injeção de gás inerte (argônio) na vazão de 0,2 l/s [SOARES, 2001]. A injeção de argônio foi feita com o metal no cadinho, no qual um termopar foi utilizado para verificar a temperatura do metal, até que se atingisse o valor de 700°C, a qual foi a temperatura de vazamento. Após isto, fez-se o vazamento na câmara.



*Placa de
cerâmica*

*Bloco de Aço 1010
utilizado como fonte
extratora de calor*

Figura 1. (A) Vazamento na Câmara; (B) Câmara de Vazamento sem a parte superior; (C) Lingote obtido da solidificação unidirecional.

A câmara de vazamento pode ser descrita como uma espécie de caixa onde, das seis faces, cinco são formadas por um material isolante térmico à base de sílica, e uma é constituída por um bloco metálico (aço 1010), o qual serve de fonte extratora de calor [OSÓRIO, 2000]. Este aparato serve para produzir um sistema de fluxo de calor unidirecional e está mostrado na Figura 1 A e B. O orifício localizado na parte superior da câmara é o canal de vazamento. É através deste canal que o metal é vazado, até que a câmara seja preenchida. A capacidade volumétrica da câmara é de aproximadamente 0,4 l. A composição química das ligas utilizadas neste trabalho foi determinada em um espectrômetro de massa (Figura 2) e é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química das ligas ternárias utilizadas neste trabalho.

LIGAS	IDENTIFICAÇÃO	Si	Fe	Mg	Ti	OUTROS	Al
Al-0,6Mg-0,4Si	AMS-0,4	0,382	0.170	0.617	0.008	0.043	98,78
Al-0,6Mg-0,6Si	AMS-0,6	0,593	0.155	0,605	0,009	0,059	98,58
Al-0,6Mg-0,8Si	AMS-0,8	0,813	0,154	0,612	0,0096	0,021	98,39
Al-0,6Mg-1,0Si	AMS-1,0	1,021	0,158	0,620	0,007	0,024	98,17
Al-0,6Mg-1,2Si	AMS-1,2	1,22	0,159	0,628	0,005	0,098	97,86



Figura 2. Espectrômetro de massa usado para a análise química das ligas, equipamento pertencente a ALUBAR METAIS S/A.

Após a obtenção de cinco lingotes (um para cada liga) semelhante ao da Figura 01C, retiraram-se corpos de prova para o ensaio trativo. Na Figura 3A, apresenta-se uma ilustração esquemática da maneira como foi feita a retirada dos corpos de prova de cada lingote. Primeiramente, removeu-se a parte superior do lingote, e a parte inferior foi dividida em uma malha de duas linhas e quatro colunas, buscando retirar corpos de prova de quatro posições diferentes (A, B, C, D) a partir da interface metal/molde. Após a marcação da malha, cortaram-se os blocos de secção retangular (15X20 mm), os quais foram posteriormente usinados, com intuito de se atingir a configuração do corpo de prova para o ensaio de tração, obedecendo as dimensões que estão de acordo com a norma *ASTM E 8M – 95*. Foram retirados oito (8) corpos de prova de cada liga (dois para cada posição) para tração O corpo de prova é mostrado na Figura 3B.

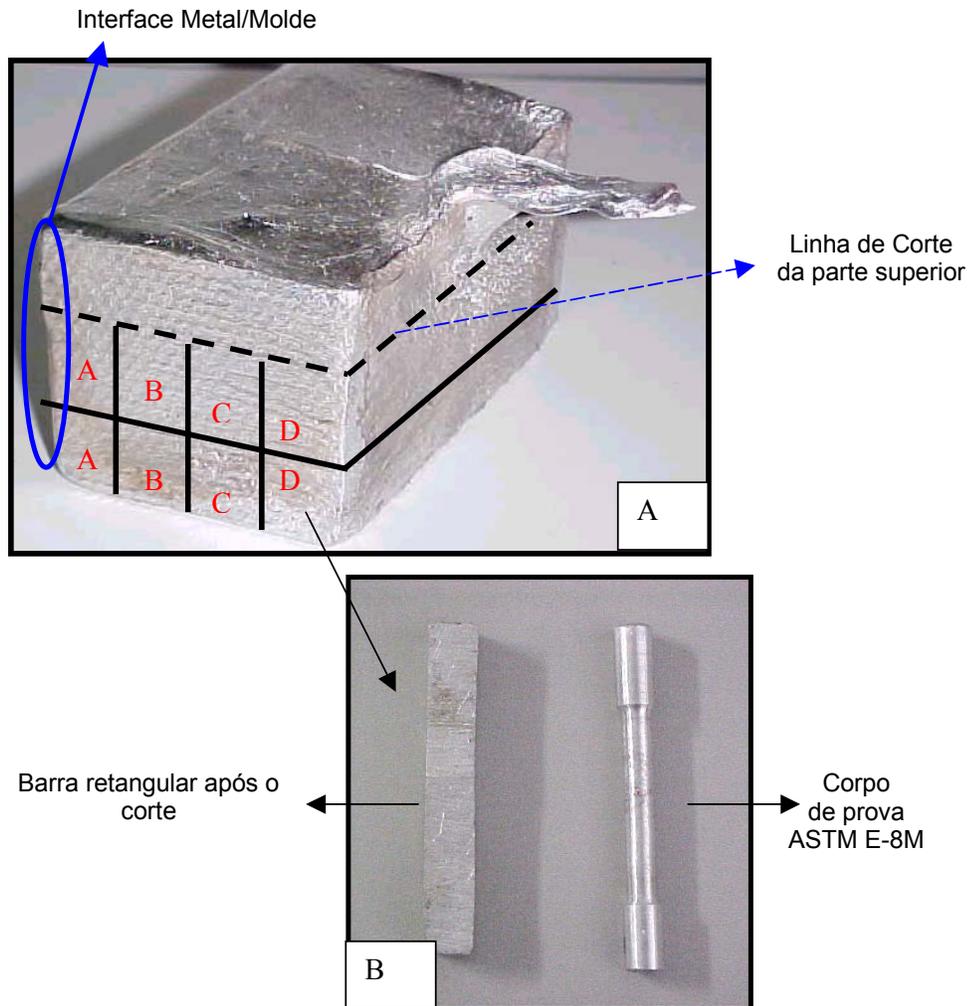


Figura 3. (A) Metodologia utilizada para obtenção dos corpos de prova para o ensaio de tração; (B) Corpo de Prova para o ensaio trativo.

Os ensaios de tração foram executados no laboratório de propriedades mecânicas da UNICAMP/FEM, que é possuidor da máquina servohidráulica para ensaio de tração MTS test star II, capacidade para 10 ton ou 100 KN mostrada na Figura 04A. Para conhecimento das deformações, utilizou-se um extensômetro de 10 mm de comprimento, aferido previamente (Figura 4B) e a velocidade do ensaio foi de 0,05mm/s. Toda a variação da carga e da deformação durante o deslocamento da célula de carga foi registrado, em tempo real, por um software, o qual construiu o gráfico referente a carga X deformação. Estes gráficos foram posteriormente relacionados aos aspectos fraturais obtidos através da microscopia eletrônica de varredura.

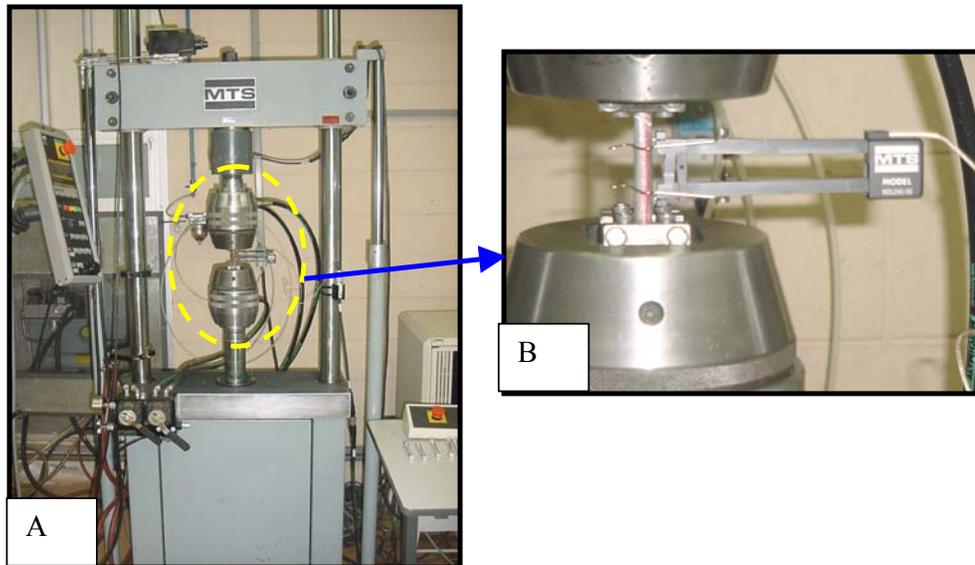


Figura 4. (A) Máquina de ensaio de tração MTS Test Star II, utilizada para os ensaios trativos (B)Extensômetro MTS utilizado para medir a variação no alongamento.

Após a execução dos ensaios trativos fez-se a caracterização da fratura nos corpos de prova. Estas análises foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) instalado no Museu Emílio Goeldi, buscando analisar a topografia da superfície fratura. A preparação das amostras teve como ação inicial o corte da região da fratura dos corpos de prova e posterior remoção de gordura e outras substâncias em um aparelho de ultrassom. As amostras foram mantidas no ultrassom durante cinco (5) minutos, onde as mesmas foram imersas em uma solução de água e álcool etílico (50% em vol.). Após terem sido submetidas a limpeza no ultrassom, as amostras foram colocadas em placas de cobre (porta-amostras) semelhantes à da Figura 5, em posições pré-estabelecidas, para facilitar a identificação das mesmas no momento da visualização. No total, foram preparadas duas amostras de cada liga (as duas da posição A – Figura 3A), resultando num total de dez (10). As únicas amostras analisadas foram da posição A devido à constatação da presença excessiva de porosidades nas amostras das outras posições (B, C, D). A metalização foi feita com ouro (Au) pelo método sputering e os sinais utilizados foram os provenientes dos elétrons secundários e retroespalhados



Figura 5. Placa de cobre onde as amostras para o MEV foram posicionadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar de as superfícies de fraturas, obtidas nos corpos de prova de cada liga estudada, serem semelhantes, a topografia da superfície fratura apresenta um número maior de protuberâncias à medida que o teor de silício aumenta, ou seja, na

fratura da liga com 1,2 % de silício nota-se uma irregularidade maior, comparada à superfície da liga com 0,4% Si. A fratura sai de uma configuração rasa e plana para uma mais irregular, tendendo a apresentar uma fratura dúctil, ou seja, deduz-se que aumentando o teor de silício nas ligas estudadas neste trabalho, a fratura tende a atingir a configuração dúctil.

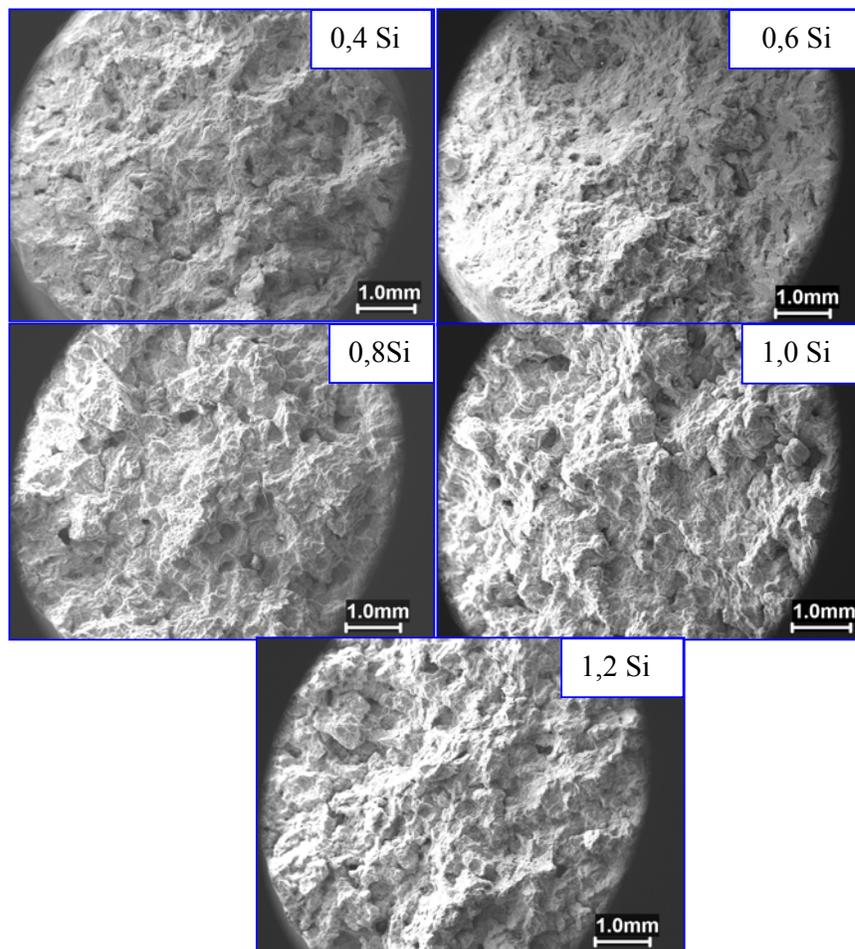


Figura 6. Aspecto da superfície da fratura para os teores de silício estudados. Fractografias retiradas do corpo de prova da posição 01 (7,5 mm da interface – posição A1 -Aumento de 20X).

A Figura 7 apresenta a relação entre os gráficos tensão X deformação e as fractografias via MEV para as ligas com 0,4, 0,8 e 1,2% de silício provenientes de corpos de prova retirados de posições mais próximas da interface metal/molde (posição A na Figura 3 A). Esta relação serve para evidenciar que a percolação da matriz pelo soluto ocorre de modo gradual, melhorando à medida que ocorre um aumento da fluidez da liga com o teor de Si. Nesta relação, observa-se uma evolução tanto no valor do alongamento percentual como no valor do LRT, a medida que há uma intensificação da irregularidade superficial da fratura, ou seja, a superfície é mais irregular para a liga com 1,2% Si. Visualmente, nota-se nas fractografias com aumento de 200X, que há a presença de uma espécie de “névoa branca” por sobre os grãos da matriz. Através da microanálise química constatou-se que esta névoa é rica em silício e que se distribui por sobre a matriz, atuando como “agente colante” dos grãos da matriz, comportamento que gradualmente vai

provocando, na fratura, o aspecto dúctil e, conseqüentemente, modifica de modo gradual o comportamento mecânico do material em estudo.

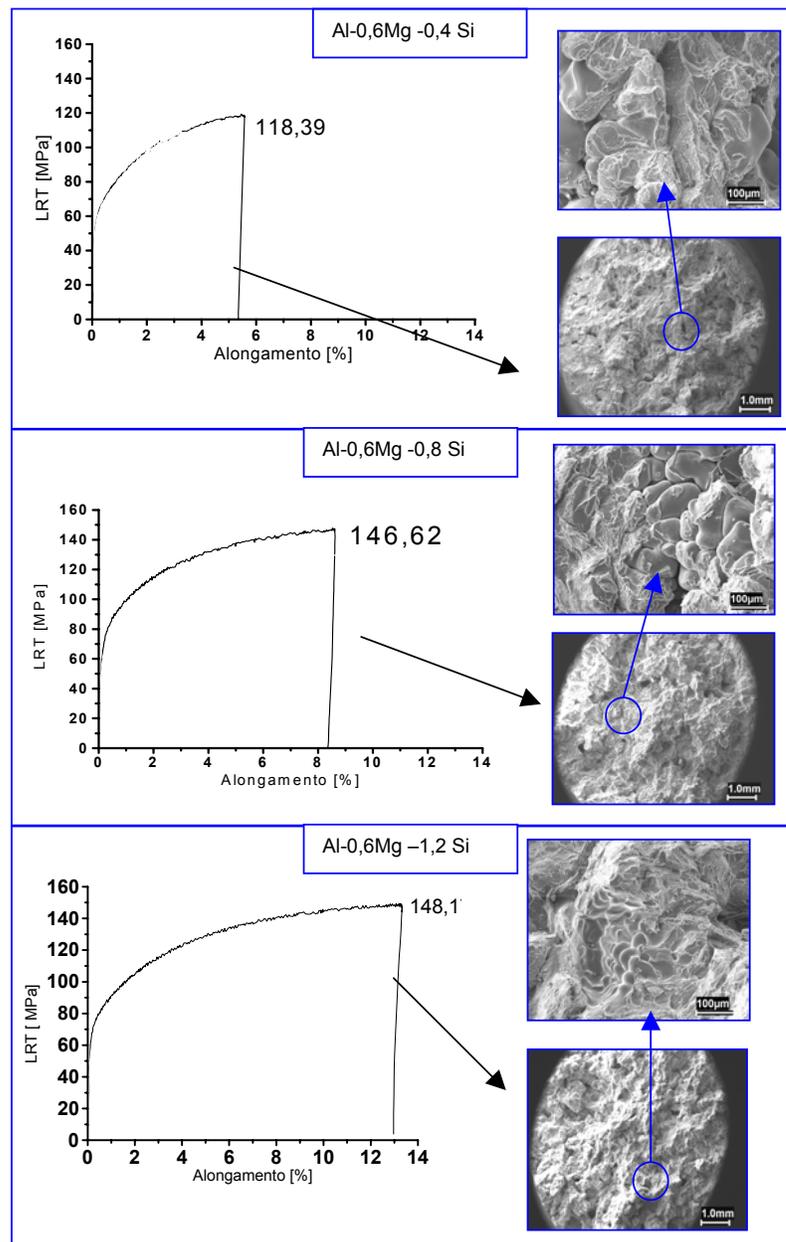


Figura 7. Relação entre comportamento mecânico e Aspecto fratural das ligas Al-0,6 Mg-(0,4; 0,8; 1,2) %Si

CONCLUSÕES

As fraturas dos corpos de prova da liga com 1,2 % Si demonstraram um aspecto mais irregular. Isto provavelmente deveu-se ao fato do aumento do teor de silício provocar uma elevação na magnitude da estrição no momento da tração, em decorrência de uma melhor percolação da matriz pelo soluto (Si), uma vez que o silício eleva a fluidez da liga. Com base nestes resultados, deduz-se que o

comportamento mais percolante do silício, à medida que seu teor cresce na liga, deixa claro sua tendência de “agente colante” dos grãos da matriz, comportamento este que gradualmente vai provocando, na fratura, o aspecto dúctil e, conseqüentemente, modifica, de modo gradual, o comportamento mecânico do material em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 FERNANDES, D, Análise do comportamento da liga 6101 em função da variação do teor de silício (Si) a partir de solidificação unidirecional. – **TCC** – UFPA-CT-DEM, Belém (PA), 2000.
- 2 SENA, H. C., Análise da variação da composição química de Mg na liga Al-Mg-Si (6101) para a produção de fios e cabos utilizados no transporte de energia elétrica
3 . – **TCC** – UFPA-CT-DEM, Belém (PA), 2000.
- 4 OSÓRIO, W. R. R. Correlação entre condições de solidificação, microestrutura e propriedades mecânicas de ligas Zn-Al – Dissertação de Mestrado – UNICAMP-FEM-DEMA
- 5 SOARES, E. J – Influência do superaquecimento e da vazão de um gás inerte na formação da macroestrutura de solidificação do Sn e do Sn-38,1%Pb – Dissertação de Mestrado – UFPA-CT-CEMEM Belém-Pa, 2001

INFLUENCE OF SILICON CONTENT ON THE FRACTURAL CONFIGURATION OF Al-Mg-Si ALLOYS UNIDIRECTIONALLY SOLIDIFIED ⁽¹⁾

*Kleber Agustín Sabat da Cruz⁽²⁾
Raimunda Figueredo Maia⁽³⁾
Darci Moreira⁽⁴⁾
Fernando Antônio de Sá⁽⁵⁾
José Maria do Vale Quaresma⁽⁶⁾*

Abstract

This study is about 6XXX series alloys unidirectionally solidified, which had its fracture behaviour examined by scanning electron microscope (SEM). The 6XXX alloys have Mg and Si as main alloying elements and they are widely used in the industry, especially in the electric cables making. In this study, five alloys (Al-0,6Mg-0,4; 0,6; 0,8; 1,0 and 1,2 % Si) were subjected to tensile tests and they were analyzed in the SEM to characterize the fracture surface. The alloys were produced in ingots by unidirectional solidification and the samples were taken from positions that are closer to the metal/mold interface. The roughness of the surface was related to the chemical composition of the alloys and it was noted that the fracture surface became more irregular when the silicon content increases and it can be seen a white film covering the grains of the matrix. In the microanalysis with X-rays (EDS), it was detected that this white film is a silicon rich substance, which is spread over the grains in the matrix. This white film acts as “clingy agent” and it makes more prominent humps arise on the surface of the fracture.

Key-words: Fractography; Unidirectional solidification; Al-Mg-Si alloys.

(1) Full paper subjected to 60th ABM annual congress , which will take place in july from 25th to 28th in Belo Horizonte - MG

(2) Eng. Msc – post-Graduate department - UFPA

(3) Post-Graduate student – post-graduate department –CMEM-UFPA

(4) Post-Graduate student – post-graduate department –CMEM-UFPA

(5) Prof. Dr. from post-graduate department –CMEM-UFPA

(6) Prof. Dr. from post-graduate department –CMEM-UFPA