



CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA DA LIGA AA8011 POR DISSOLUÇÃO DA MATRIZ DE ALUMÍNIO PRODUZIDA POR VAZAMENTO CONTÍNUO¹

Miguel Borodiak²

Francisco de Paula Pinheiro³

Marcelo Paes⁴

Resumo

Folhas de alumínio produzidas por chapas obtidas por vazamento contínuo (TRC), podem apresentar defeitos causados pela presença de partículas primárias que se formam nas chamadas linhas de segregação central em função de alguns parâmetros de vazamento. A caracterização destas partículas é imprescindível para entender seu mecanismo de formação, e controlar o processo. Neste trabalho, utilizamos a liga AA8011 (Al-Fe-Si) produzidas por "Twin Roll Casting (TRC)" em um equipamento Jumbo 3C da Novelis-PAE. As amostras foram cortadas com volume de 1cm³ e submetidas a um ataque à base de metanol que tem como objetivo corroer apenas a matriz de alumínio, deixando as fases intermetálicas intactas. Estas fases foram analisadas por MEV e a determinação de sua composição química por EDS. Foram identificadas as fases primárias β -FeSiAl₅, α -Fe₂SiAl₈ nas amostras brutas de fusão, que são nocivas ao produto, pois não se dissolvem durante o tratamento térmico de homogeneização. A permanência dessas fases na folha acabada pode gerar riscos, furos e porosidade elevada, isso porque, as partículas podem alcançar dimensões de até 60µm, sendo que a espessura das folhas muitas vezes é inferior a 20µm. A identificação dessas fases propiciou uma otimização dos parâmetros de processo de vazamento das chapas, eliminando esses problemas.

Palavras-chave: Liga Al-Fe-Si; Matriz de alumínio; Partículas intermetálicas.

METALLURGICAL CHARACTERIZATION OF AA8011 ALLOY BY MATRIX DISSOLUTION PRODUCED BY CONTINUOUS CASTING

Abstract

Aluminum foils produced by Twin Roll Casting Process (TRC), can show defects caused by primary particles that are formed along central segregation line due to casting process parameters. The characterization of these particles is important to understand its formation mechanism and process control. This work, it was used AA8011 alloy produced by TRC in Jumbo 3C from Novelis- PAE. Samples were cut with 1cm³ in volume and submitted to chemical solution based on methanol that corrodes only the aluminum matrix and the intermetallic phases keep intact, after, samples were analyzed by SEM and their chemical composition were determined by EDS. They were identified primary phases as β -FeSiAl₅ and α -Fe₂SiAl₈ on as-cast samples that are harmful to final product because they do not break during heat treatment. These phases on final foil can generate scratches, pinholes and high porosity, because particles can reach until 60µ of thickness and the foil thickness lower than 20µ. The identification of these phases provided an optimization of casting process parameters writing off this problem.

Keywords: Al-Fe-Si alloy; Aluminum matrix; Intermetallic particles.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Tecnólogo Químico, Desenvolvimento Produtos, Votorantim Metais-CBA

³ Mestrando, Consultor de Engenharia, Desenvolvimento Produtos, Votorantim Metais-CBA

⁴ Doutor, Consultor de Engenharia, Desenvolvimento Produtos, Votorantim Metais-CBA

1 INTRODUÇÃO

Folhas de alumínio com espessuras menor que 200 μ m tem vasta aplicabilidade na confecção de aletas de radiador, embalagens descartáveis, *peel-off*, tampas de bebidas e iogurtes, folhas de uso doméstico, folhas para conversão e outras. Nestas situações, utiliza-se o alumínio devido à sua alta resistência à corrosão e impermeabilidade à umidade e oxigênio, somando a isso, tem-se toda a facilidade de trabalho com o material como laminá-lo, dobrá-lo, cortá-lo, gerando grandes oportunidades pra a indústria de transformação.⁽¹⁾

A matéria-prima para produção destas folhas pode ser oriunda de processos via vazamento contínuo de placas (*DC casting*) ou por vazamento contínuo entre rolos (*Twin Roll Casting*) no qual o material fundido é produzido com espessuras que variam de 3 a 7 mm e que em escala mundial, produz ligas das séries AA1XXX, AA3XXX, AA5XXX, AA7XXX e AA8XXX.^(2,3)

O processo *Twin Roll Casting* (TRC) é o único que combina solidificação e laminação a quente numa única etapa. O metal líquido é alimentado através de um injetor cerâmico entre os cilindros de um laminador duo. Os cilindros são compostos por duas partes: uma alma, que contem canais por onde circula água de refrigeração, e uma camisa, montada sobre a alma, que é a parte que entra em contato com o alumínio líquido.

Em contrapartida às vantagens econômicas supracitadas, há também algumas desvantagens, dentre as quais, destacam-se a baixa produtividade e a macro-segregação, observada normalmente em ligas mais carregadas. Este tipo de segregação, também conhecida como linha central de segregação, apresenta-se sob a forma de um cordão localizado a meia-espessura da chapa e é diretamente proporcional à velocidade de vazamento. Seu mecanismo de formação está associado à ação de cisalhamento dos cilindros sobre as primeiras dendritas formadas durante a solidificação, espirrando líquido em direção ao centro da chapa, o qual se enriquece em soluto, e então solidifica.

A liga AA8011 é amplamente utilizada na produção de folhas finas para embalagens flexíveis. Quando fundidas pelo processo TRC, normalmente apresentam uma linha de segregação sendo formada por fases AlFeSi eutéticas com morfologia lamelar, como mostrado na Figura 1. Estas partículas intermetálicas são muito mais duras do que a matriz e, se não forem submetidas a um processamento termo-mecânico adequado, podem impactar negativamente nas propriedades finais da folha, como furos e porosidade, requisitos essenciais para folha fina.^(4,5)

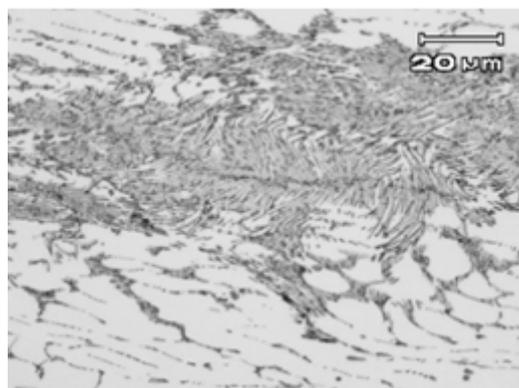


Figura 1. Fase eutética AlFeSi observada na segregação central.

No entanto, a caracterização desta fase em duas dimensões (microscopia ótica convencional) não é tão acurada, quanto uma análise em MEV (microscopia eletrônica de varredura), que por sua vez, necessita de uma amostra preparada para realizar tal medição. Para tanto, um ataque que dissolva apenas a matriz de alumínio e deixe intactas as partículas intermetálicas, se faz necessário. Alguns autores⁽⁶⁻⁸⁾ mostraram excelentes análises deste tipo realizadas e que permitem uma análise mais complexa dessas fases através de seus isolamento da matriz de alumínio.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método de ataque para dissolução da matriz de alumínio em ligas Al-Fe-Si produzidas por TRC a fim de promover uma melhoria na análise dos parâmetros do processo produtivo e conseqüentemente melhorar a qualidade do produto e a satisfação do cliente final.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, utilizou-se a liga AA8011 produzida por vazamento contínuo (TRC) com chapas de 7 mm de espessura e 2000 mm de largura de acordo com a composição química abaixo:

Tabela 1. Composição química da liga AA8011, conforme ASTM (% peso)

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AA8011	0,5-0,9	0,6-1,0	0,10	0,20	0,05	0,05	0,10	0,08

Para a caracterização macroestrutural (ex. Figura 2), amostras foram seccionadas no sentido longitudinal de vazamento e atacadas com solução fluobórica HBF_4 1,8%, por 3 min, apresentando a estrutura típica das chapas produzidas por esse método com grãos mais refinados nas superfícies inferior e superior conforme Figura 2. As análises das microestruturas foram realizadas em microscópio ótico Olympus com ataque de reagente de Keller (5ml HNO_3 , 5ml HCl e H_2O) por 10s (ex. Figura 3a).

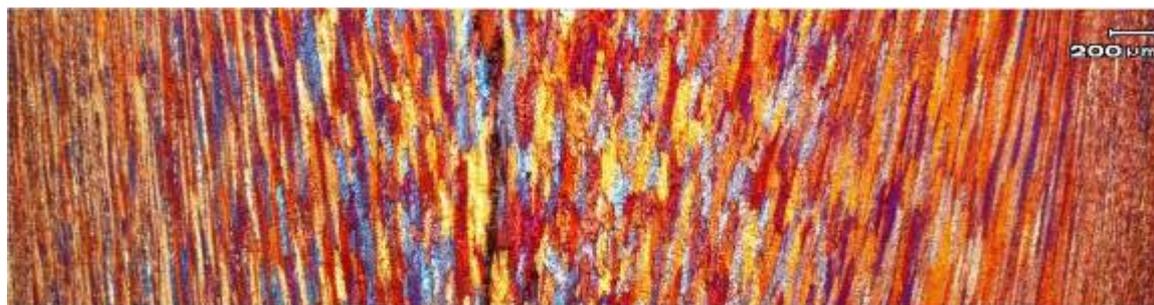


Figura 2. Macroestrutura da chapa caster AA8011 bruta de fusão com linha de segregação central (espessura chapa= 7 mm). Ataque (HBF_4 1,8%).

Amostras da chapa foram seccionadas com dimensão de 1cm^2 para realização do ataque de dissolução da matriz de alumínio. Os corpos de prova foram imersos em copo tipo Becker contendo uma solução de iodo sublimado + ácido acético (1:3) em meio ao metanol (10 ml) por 12 horas e em seguida analisadas por elétrons secundários em microscópio eletrônico de varredura (MEV) para visualização da morfologia das partículas. Na seqüência, foi realizada uma análise por EDS a fim de determinar as fases presentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta em (a) a micrografia em microscópio ótico e em (b) microscopia eletrônica, após o ataque parcial da dissolução da matriz. Em ambas vemos a fase lamelar eutética Al-Fe-Si e em (c) o resultado da análise de EDS realizada no ponto 1, como mostrado na Figura 3b. Este constituinte não apresenta efeito nocivo para a folha, pois o mesmo se dissolve durante o tratamento de homogeneização.

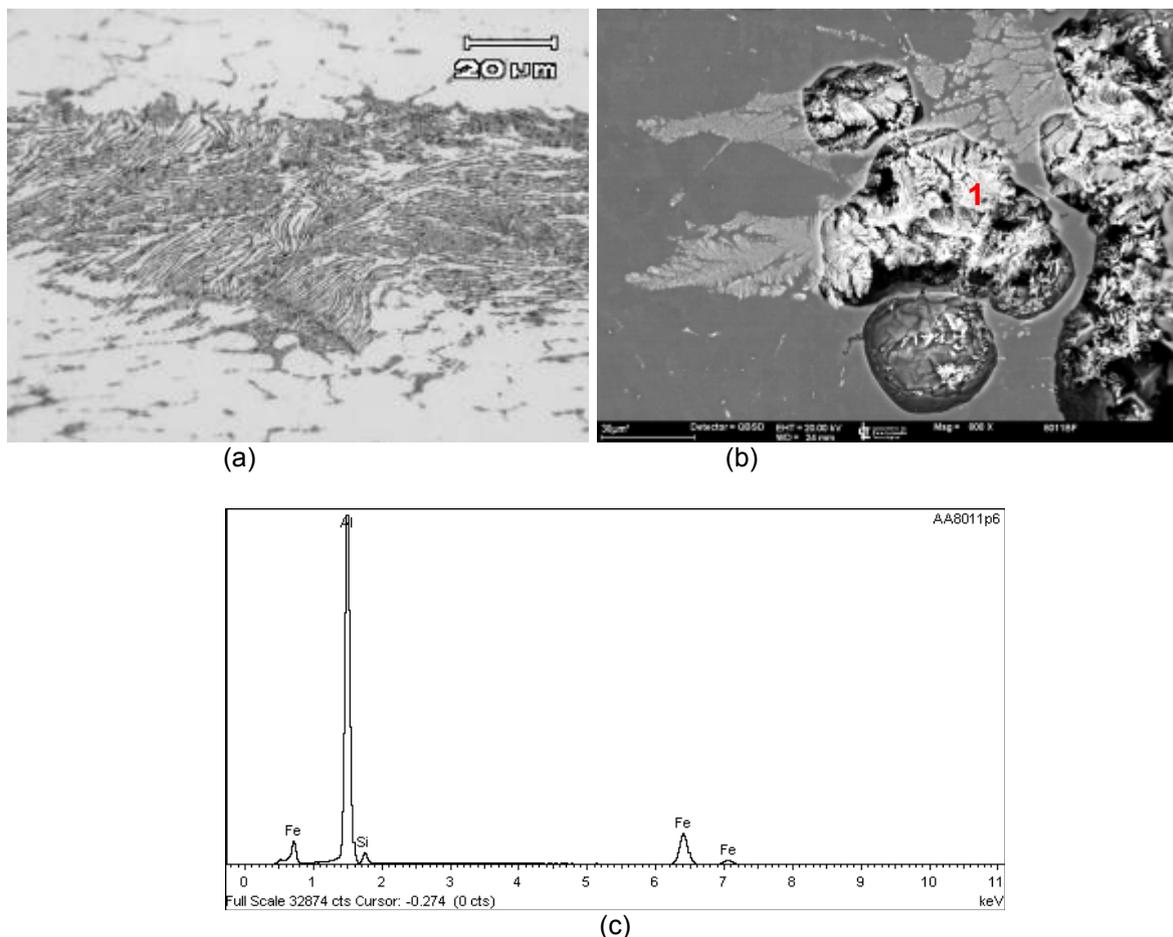


Figura 3. Imagens da liga AA8011 sob microscopia ótica (a) e microscopia eletrônica de varredura (b) e resultado da análise de EDS realizada no ponto 1 (c).

A Figura 4 apresenta imagens de outros constituintes analisadas em microscópio ótico (a), analisada em MEV (b), após o ataque parcial da dissolução da matriz e em (c) após a dissolução total da matriz, na qual, os constituintes foram isolados e analisados individualmente. Observamos a presença de partículas primárias ricas em Al-Fe-Si conforme observado no espectro de EDS na Figura 4(d). As Figuras 4 (a) e (b) ainda mostram a fase lamelar eutética envolvendo as partículas primárias propriamente ditas. Estas partículas promovem um efeito nocivo à folha de alumínio, pois não se dissolve durante o tratamento de homogeneização.

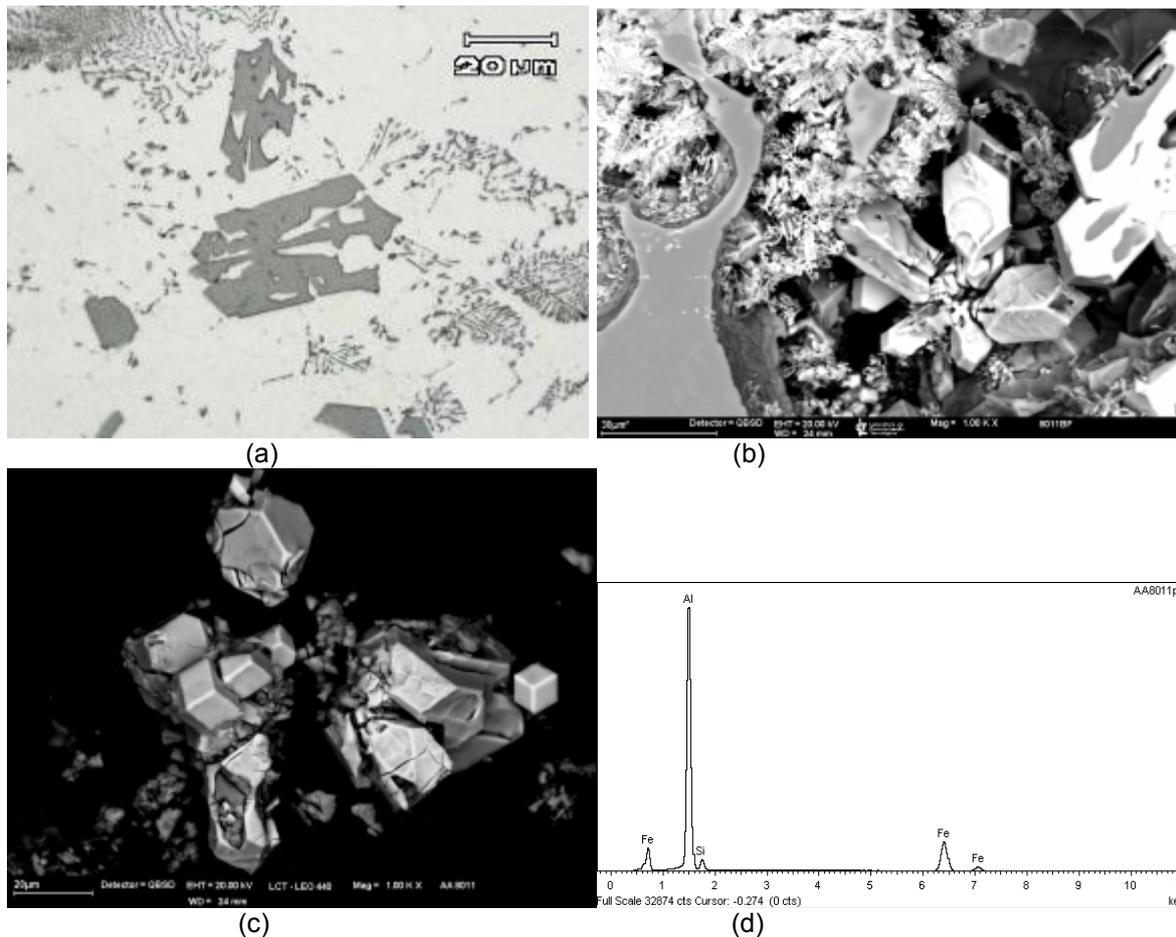


Figura 4. Imagens da liga AA8011 sob microscopia ótica (a) e microscopia eletrônica de varredura (b e c) e resultado da análise de EDS realizada na partícula (d).

As imagens da Figura 5 mostram o efeito deletério das partículas primárias ricas em AlFeSi nas folhas finas de alumínio. Em (a), observamos uma partícula em uma folha de $11\ \mu\text{m}$ de espessura e em (b), seu efeito após laminação e analisada em MEV, na qual um furo foi gerado.

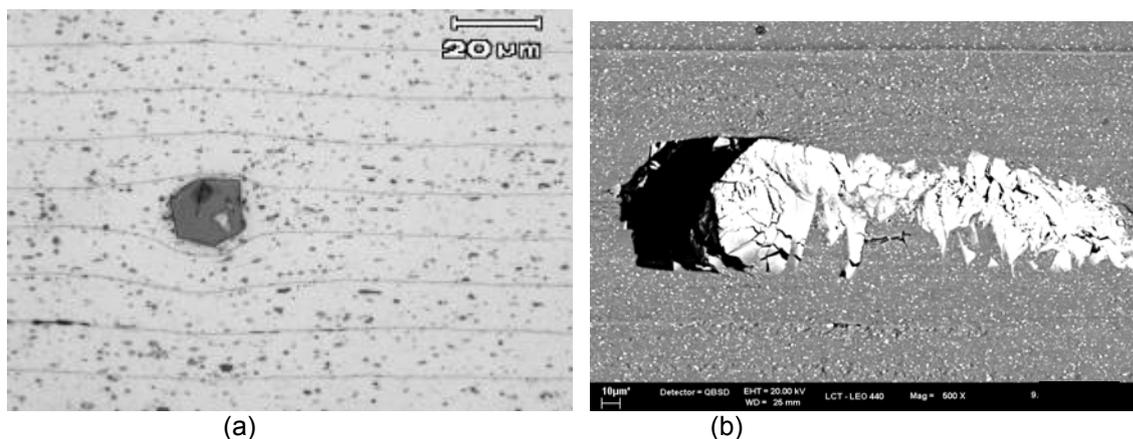


Figura 5. Imagens de uma partícula em uma folha de $11\ \mu\text{m}$ de espessura na liga AA8011 sob microscopia ótica (a) e seu efeito após laminação e analisada em um microscópio eletrônica de varredura (b).



4 CONCLUSÕES

Através de investigações com diferentes parâmetros do ataque químico para dissolver a matriz de alumínio e em conjunto com a análise por microscopia eletrônica, uma melhor caracterização da morfologia dos constituintes encontrados bem como do espectro de composição química na liga AA8011 produzida por TRC, pode ser desenvolvida.

Observamos também, que as fases lamelares eutética e as partículas primárias apresentam o mesmo espectro AlFeSi como característica, no entanto, sabemos que a composição em peso desses elementos é diferente para cada um dos casos e gera compostos diferentes, β -FeSiAl₅ e α -Fe₂SiAl₈. Este estudo continuará a ser realizado e será divulgado em trabalhos futuros.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Votorantim Metais – CBA pela oportunidade de realização deste desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- 1 KELES, O., DUNDAR, M., Aluminum Foil: Its typical quality problems and their causes, *Journal of Materials Processing Technology*, 186, PP. 125-137, 2007.
- 2 PAES, M., IARTELLI, A., Desenvolvimento de Ligas de Alumínio por *twin roll casting*: Potencialidades e aplicações, II Congresso Internacional do Alumínio, 2005, SP, Brasil.
- 3 KERTH, W., ET AL., Aluminum Foil Production, *International Metallurgical Reviews*, vol. 20, 1975.
- 4 PINHEIRO, F, P., MENEGUEÇO, I., Influência da microestrutura nas propriedades da folha fina AA8011, *47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos*, Belo Horizonte, MG, 2010.
- 5 MATSUI, K., Mechanism of Pinhole Formation in Aluminum Foil Rolling, *Kobelco, Technology Review*, v. 12, 1991.
- 6 GOULART, P. R., ET AL., Investigation of Intermetallics in Hypoeutectic Al-Fe alloys by Dissolution of the Al Matrix, *Intermetallics*, v. 17, pp.753-761, 2009.
- 7 NOWOTNIK, G. M., ET AL, Intermetallic Phase Particles in 6082 Aluminum Alloy, *Archives of Material Science and Engineering*, v. 28, pp. 69-76, 2007.
- 8 KUIJPERS, N. C. W., Intermetallic Phase Transformations during Homogenization of 6XXX Al Alloys, *Netherlands Institute for Metal Research*, 2000.