

CARACTERIZAÇÃO DE FOLHAS DA LIGA AA3103 PARA PRODUÇÃO DE ALETAS¹

Marcelo Paes²
Augusto Douglas Coelho³
Roberto Scarpa Netto⁴
Fernando Cesar Aguiar⁴

Resumo

Ligas da série AA3XXX têm sido amplamente utilizadas na fabricação de aletas de refrigeração para indústria automobilística. Estas aletas passam por processos de estampagem inicialmente, antes da formação do condensador onde podem ser utilizados processos como brasagem. Estas ligas podem apresentar grande variação em sua estrutura granular devido às taxas de resfriamento utilizadas após a homogeneização, em virtude principalmente, do mecanismo de difusão do manganês de solução sólida. Com o objetivo de otimizar o processo de fabricação desta folha, foram analisadas amostras brutas de fusão, simulando 3 temperaturas de homogeneização e 3 diferentes taxas de resfriamento. Na sequência, as amostras foram laminadas até a espessura final de 200 µm. Em todas as etapas, foram realizados análises metalográficas a fim de caracterizar a microestrutura. Os resultados de condutividade elétrica mostraram que nas temperaturas mais baixas e nas menores taxas de resfriamento, foram obtidos os melhores resultados devido à difusão do manganês de solução sólida para a condição de precipitado, fato que favorece a recristalização.

Palavras-chave: Folha de alumínio; Recristalização; Liga AA3103.

CHARACTERIZATION OF AA3103 ALUMINUM FOIL TO THINSTOCK PRODUCTION

Abstract

AA3XXX alloys have been widely used to produce automotive thins. First, these thins are drawn, before the condenser production in which it can be used processes as brazing. These alloys can show a large variability of macrostructure due to different cooling rates used after homogenizing whose diffusion mechanism of manganese in solid solution is prevailing. This work, they were analyzed as-cast samples involving 3 homogenizing temperatures and 3 different cooling rates. After, samples were rolled until thickness of 200µm. Macro and microstructure analysis was performed as well as electric conductivity. This last showed that the higher treatment temperature and cooling rate are the lower the electric conductivity is. Manganese diffusion from solid solution to precipitated, favors the recrystallization.

Key words: Aluminum foil; Recrystallization; AA3103 alloy.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Doutor, Consultor de Engenharia, Desenvolvimento Produtos, Votorantim Metais-CBA, Brasil.

³ Eng., Consultor de Engenharia, Fundação, Votorantim Metais-CBA, Brasil.

⁴ Técnico Processos, Desenvolvimento Produtos, Votorantim Metais-CBA, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio da série AA3XXX são consideradas não-endurecíveis por precipitação e são muito utilizadas em produtos que exigem boa conformabilidade. Aliado a isto, temos a tecnologia de produção de chapas de alumínio via “Twin Roll Casting” que consiste de um vazamento do metal líquido entre cilindros para formar chapas de até 2,5 mm de espessura e cujas taxas de resfriamento são altíssimas, causando uma grande dissolução de elementos de liga em solução sólida que afetam diretamente a recristalização, recuperação e crescimento de grão.⁽¹⁾ As ligas de alumínio da série AA3XXX são baseadas no sistema Al-Mn cujo efeito dos elementos de liga aumenta a resistência mecânica e reduz a susceptibilidade à corrosão intergranular e sob tensão.⁽²⁾ No sistema Al-Mn, a solubilidade máxima de Mn ocorre na temperatura eutética e na porcentagem de 1,82. Durante resfriamento lento, ocorre precipitação e diminuição do teor de Mn em solução sólida, gerando mudanças nas propriedades mecânicas. Na liga AA3103 utilizada neste trabalho, a composição química leva a um sistema quaternário do tipo Al-Fe-Mn-Si formando as fases $(Fe\ Mn)Al_6$, $(Fe\ Mn)_3Si_2Al_{15}$ e Mg_2Si .⁽³⁾

O tratamento térmico de homogeneização é essencial em chapas brutas de fusão provenientes de processo *Twin Roll Casting* no qual a quantidade de manganês retida em solução sólida é muito alta devido à taxa de resfriamento. Portanto, a homogeneização é necessária para promover a precipitação do excesso de Mn em solução sólida e assim, reduzir o risco de formação de grãos grosseiros.

A medição de condutividade elétrica é a melhor maneira de se avaliar os efeitos do tratamento de homogeneização na estrutura metálica. Li e Arnberg^(4,5) mostram que quando esta liga é aquecida, a partir de 350°C, a condutividade elétrica começa a aumentar com o aumento da temperatura, evidenciando a decomposição da solução sólida supersaturada. A condutividade elétrica alcança um máximo entre 500°C e 530°C e começa a diminuir devido à dissolução de dispersóides ricos em Mn que retornam para solução sólida.

O objetivo deste trabalho é estudar o efeito da temperatura de homogeneização e da taxa de resfriamento na macro e microestrutura da liga AA3103 obtida de matéria-prima produzida por TRC e assim, conseguir uma estrutura final mais homogênea para produção de aletas automotivas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Rolos da liga AA3103 foram vazados por TRC (Twin Roll Casting) modelo PAE® com espessura de 7 mm com a composição química abaixo:

Tabela 1. Composição química da liga AA3103

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
AA3103	0,5	0,7	0,1	0,9-1,5	0,3	0,1	0,2

O rolo foi dividido em duas partes, sendo que uma parte do rolo sofreu um tratamento de homogeneização química bruto de fusão e a outra parte sofreu homogeneização após passes de laminação e medida a condutividade elétrica.

A simulação da homogeneização em laboratório envolveu 3 temperaturas, 480, 500 e 520°C com tempo de banho de 12 h com 3 diferentes taxas de resfriamento, 10, 20 e 60°C/h.

Na sequência, as amostras foram laminadas até 200 µm de espessura.

Após os tratamentos finais, foi realizada análise metalográfica com HBF₄ e reagente de Kellers para caracterização da macro e microestrutura, realizada através de microscópio Olympus BX51M ensaio de tração e medida a condutividade elétrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as macro e microestruturas da liga AA3103 bruta de fusão. A micro apresenta a região da segregação central rica em (Fe Mn)₃Si₂Al₁₅ parte mais escuras, Mg₂Si como escrita chinesa e (Fe Mn)Al₆ como lamelas alternadas. A macro apresenta a estrutura típica de material proveniente do processo TRC com grãos refinados nas superfícies e grosseiros na região central e alongados. A condutividade elétrica nesta condição foi de 30,2%IACS.

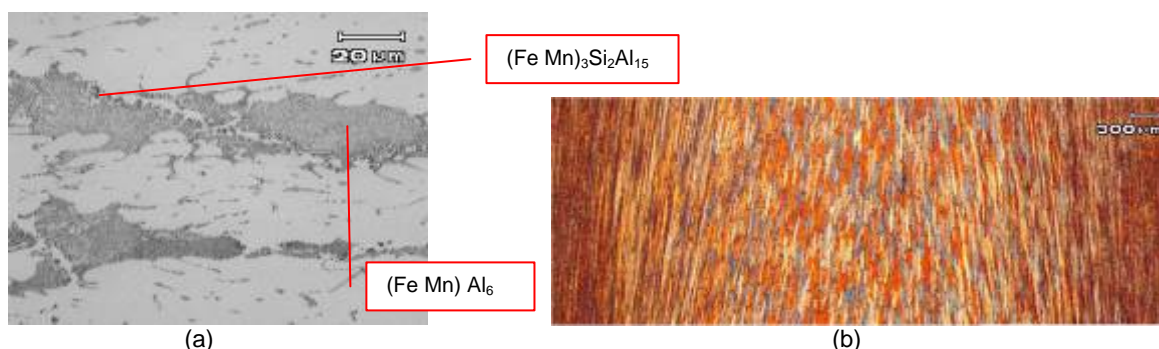


Figura 1. Microestrutura (a) e macroestrutura (b) da liga AA3103 bruta de fusão.

A figura 2 apresenta as macroestruturas do material com 7mm de espessura após a homogeneização. Independente da taxa de resfriamento é possível observar nas extremidades o coalescimento dos grãos, outrora refinados. Nenhuma alteração significativa da macroestrutura foi observada.

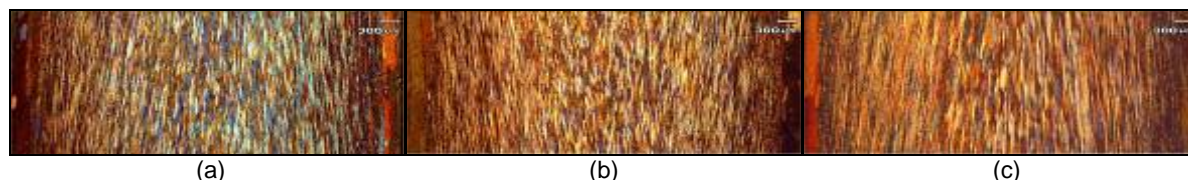
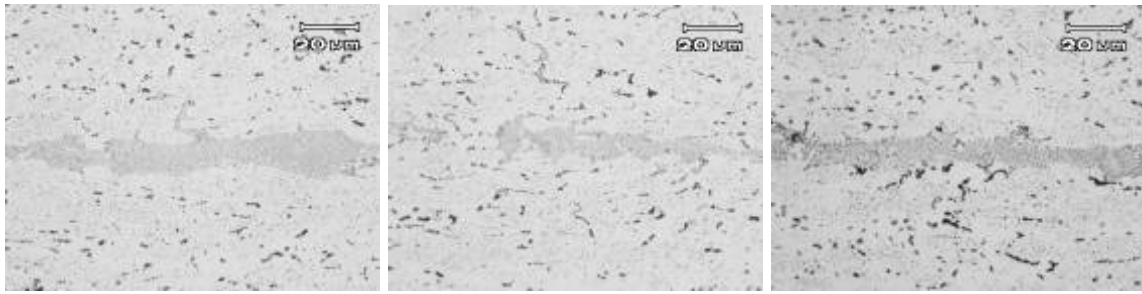
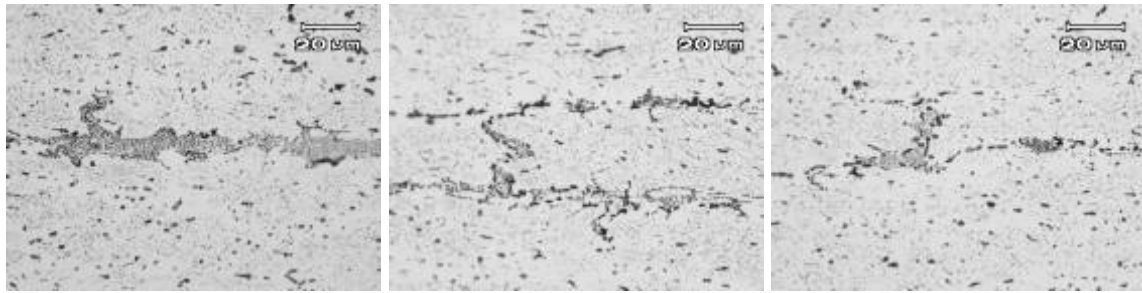


Figura 2. Temperatura de Ho 480°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h

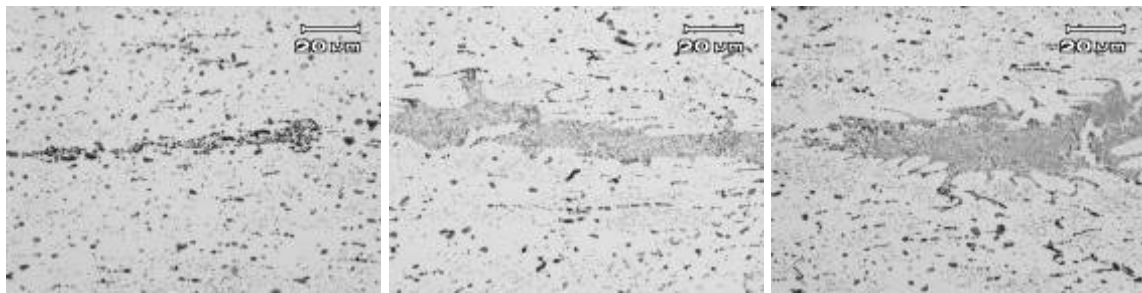
Nas Figuras 3, 4 e 5 observam-se as microestruturas das amostras homogeneizadas com 7 mm de espessura. Observa-se que com o aumento da temperatura, aumenta-se a quantidade de uma fase mais escura nos limites da segregação central e ao longo dos braços dendríticos. Trata-se da precipitação de Mn na forma de (Fe Mn)₃Si₂Al₁₅ que coalesce e globulariza. A segregação central, rica em (Fe Mn)Al₆, se dissolve parcialmente e o Mg₂Si precipita na matriz de alumínio de forma refinada.



(a) (b) (c)
Figura 3. Temperatura de Ho 480°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(d) (e) (f)
Figura 4. Temperatura de Ho 500°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(g) (h) (i)
Figura 5. Temperatura de Ho 520°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.

Nota-se que acima de 500°C a matriz de alumínio fica mais clara. Este fato sugere a dissolução de dispersóides ricos em Mn e Mg o que implica em queda na condutividade elétrica.

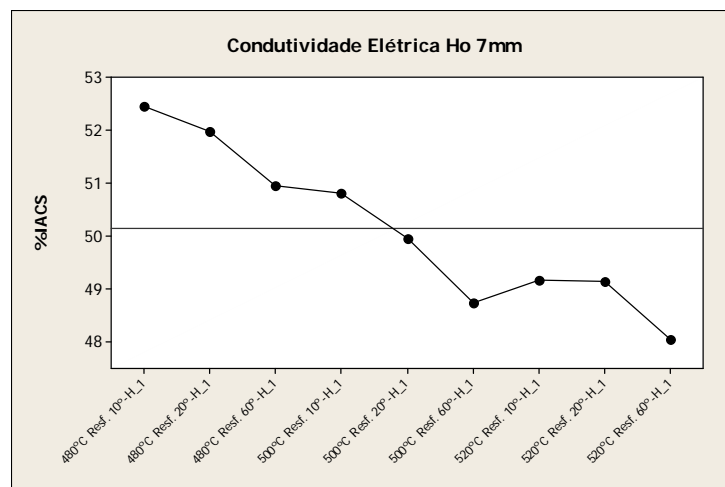


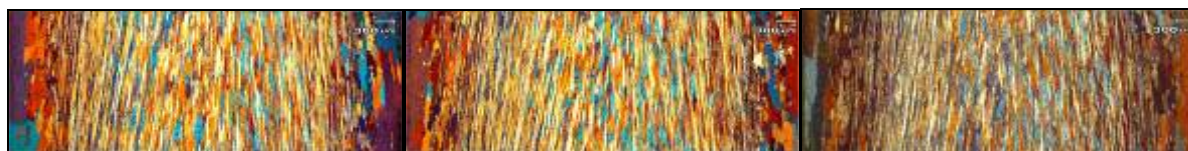
Figura 6. Condutividade elétrica da liga AA3103 homogeneizada com 7 mm.

Com relação à taxa de resfriamento durante a homogeneização, observa-se que à medida que esta aumenta a condutividade elétrica também diminui. Isto se deve ao fato de que não há tempo suficiente para precipitação de Mn que fica retido em solução sólida.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam as macroestruturas da liga AA3103 homogeneizadas. Nas temperaturas de 480 e 500°C observa-se um engrossamento dos grãos refinados das superfícies inferior e superior da chapa. Na temperatura de 520°C, há uma tendência de coalescimento mesmo no centro da chapa. Neste caso, a temperatura gera energia suficiente para ocorrer tal fenômeno. Não foi observada uma influência significativa da taxa de resfriamento na macroestrutura homogeneizada.



(a) (b) (c)
Figura 7. Temperatura de Ho 480°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(a) (b) (c)
Figura 8. Temperatura de Ho 500°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.

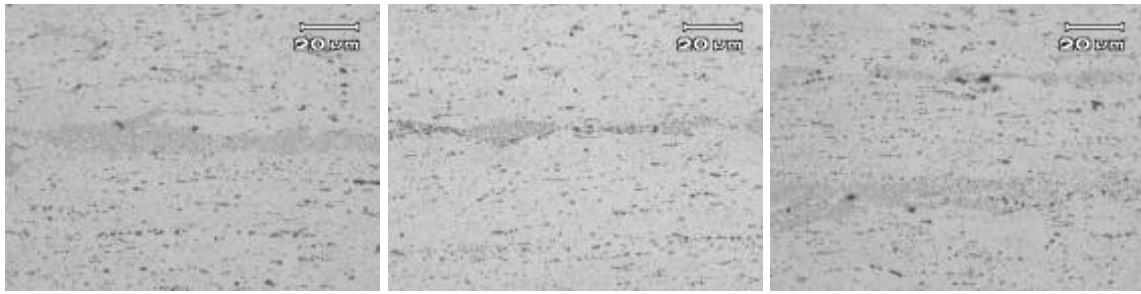


(a) (b) (c)
Figura 9. Temperatura de Ho 520°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.

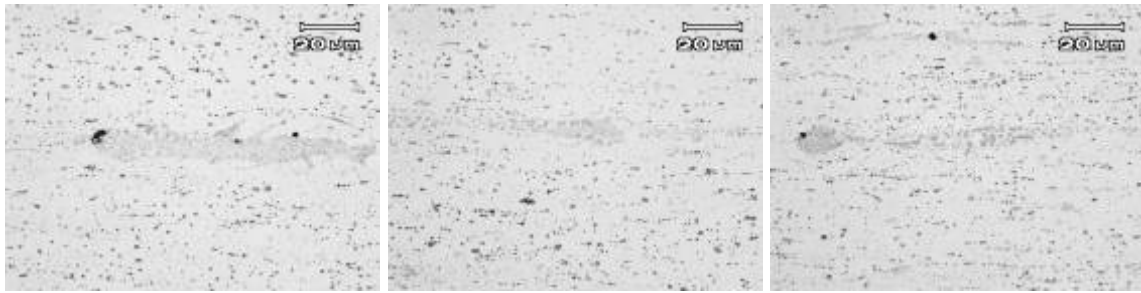
As Figuras 10, 11 e 12, apresentam as micrografias da liga AA3103 homogeneizadas após laminação. Neste caso, o encruamento imposto no material antes da homogeneização, gera um acumulo grande de energia devido à formação de discordâncias, e facilita os fenômenos de precipitação de elementos críticos como o manganês e facilitar a recristalização.

Nas Figuras 10 a 16, nota-se com o aumento de temperatura, um aumento da dissolução de dispersóides, como notado nas amostras homogeneizadas brutas de fusão. É novamente, não é possível notar nenhuma alteração em função da taxa de resfriamento, embora seja possível verificar uma queda na condutividade elétrica conforme Figura 13, por motivos já mencionados.

Nas Figuras 14, 15 e 16, são apresentadas as macroestruturas da liga AA3103 homogeneizada após encruamento parcial. Observa-se uma diferença grande com as macrografias do material homogeneizado bruto de fusão, Figuras 7, 8 e 9. Grãos recristalizados são observados nas 3 temperaturas analisadas. No entanto, observa-se que o tamanho de grão aumenta com o aumento da temperatura de homogeneização devido principalmente ao fenômeno de dissolução de compostos ricos em Mn.



(a) (b) (c)
Figura 10. Temperatura de Ho 480°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(a) (b) (c)
Figura 11. Temperatura de Ho 500°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(a) (b) (c)
Figura 12. Temperatura de Ho 520°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.

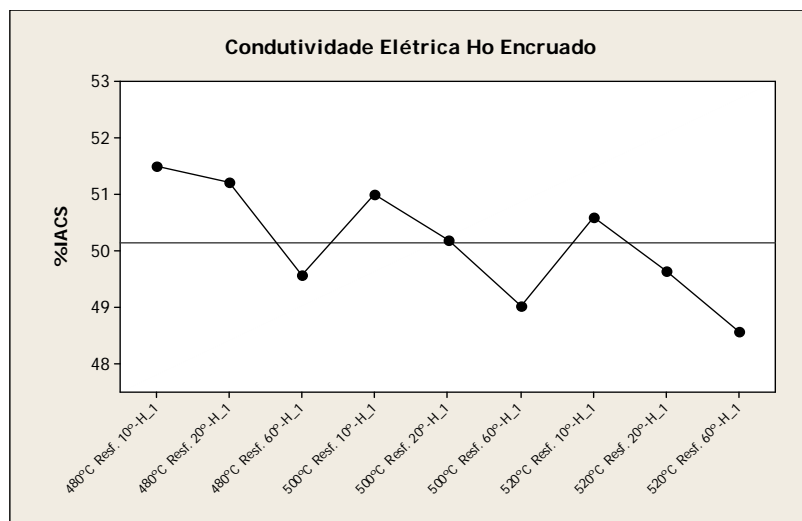
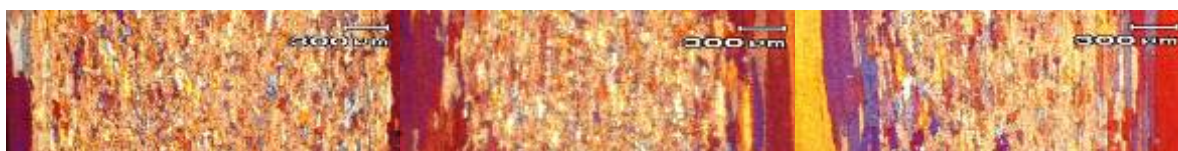


Figura 13. Condutividade elétrica da liga AA3103 homogeneizada encruada.



(a) (b) (c)
Figura 14. Temperatura de Ho 480°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(a) (b) (c)
Figura 15. Temperatura de Ho 500°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.



(a) (b) (c)
Figura 16. Temperatura de Ho 520°C. (a) 10°C/h (b) 20°C/h e (c) 60°C/h.

A Figura 17 mostra o comparativo de condutividade elétrica do material homogeneizado bruto de fusão e encruado. Embora se comparando os valores médios de condutividade verifica-se que não existiria uma diferença significativa, comparando-se a variância, vemos que no material homogeneizado após encruamento ela é menor. Este fato é importantíssimo para garantir uma matéria-prima mais homogênea e que gera um produto final com menor variabilidade de granulação e conseqüentes propriedades físicas e mecânicas.

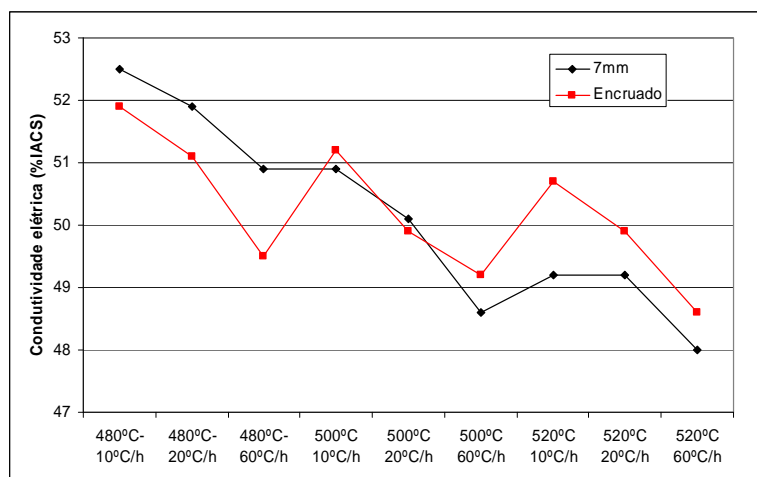


Figura 17. Condutividade elétrica da liga AA3103 homogeneizada.

A Figura 18 apresenta as macrografias da liga AA3103 com espessura de 200µm após simulação de tratamento térmico final de recozimento. As Figuras 18a, 18b, e 18c mostram a variabilidade da granulação quando o material é homogeneizado bruto de fusão. A Figura 18d mostra a granulação do material homogeneizado após encruamento. Não há variação na granulação e ela se apresenta de maneira mais fina.

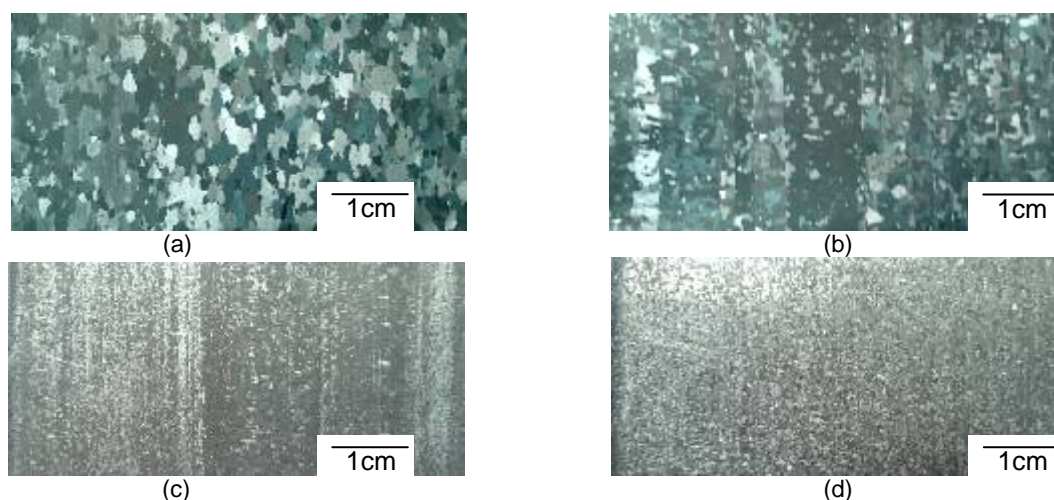


Figura 18. Macroestruturas da liga AA3103.

4 CONCLUSÕES

Verificou-se que a dissolução de dispersóides é mais evidente acima de 500°C na temperatura de homogeneização. Fato que se relaciona diretamente no comportamento de recristalização durante a homogeneização, pois o Mn em solução sólida dificulta a ocorrência deste fenômeno. Neste trabalho verificamos que a realização do tratamento de homogeneização no material encruado, gera uma menor variação na microestrutura final, comparando-se com a outra rota na qual o material bruto de fusão é homogeneizado. Tal fato se deve principalmente à energia acumulada durante o encruamento que facilita a precipitação de fases ricas em Mn durante o aquecimento. Como trabalho futuro, o conhecimento das curvas de recristalização para encontrar os parâmetros ideais de tratamento térmico final se faz necessário e será publicado.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Votorantim Metais-CBA pela oportunidade de realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 - Fernandes, R. C., Efeito dos Teores de Manganês e de Ferro na Evolução Microestrutural de Duas Ligas do Sistema Al-Fe-Mn-Si Obtidas Por Lingotamento Contínuo, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.
- 2 Hatch, J. E., Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, Metals Park Ohio, ASM, 1984.
- 3 Mondolfo, L.F.; Manganese in aluminium alloys. Norwich. The Manganese Center, Page Bros , Mile Croos Lane, 1977, p.118.
- 4 Li, Y., Arnberg, L., Precipitation of dispersoids in DC-Cast AA3103 Alloy during Heat Treatment, Light Metals, p. 991-997, 2003.
- 5 Li, Y., Arnberg, L., Quantitative study on the precipitation behavior of dispersoids in DC-cast AA3003 alloy during heating and homogenization, Acta Materialia, v.51, 2003.