

# DESENVOLVIMENTO DE LAMINADOS DE ALUMÍNIO PARA ESTAMPAGEM DA LIGA AA 3104 PRODUZIDA ATRAVÉS DO PROCESSO 3C<sup>1</sup>

Marcelo Paes<sup>2</sup>  
Fábio Teodoro da Silva<sup>3</sup>  
Fabrício Spalutto<sup>4</sup>  
Alexandre Iartelli<sup>5</sup>  
Pedro B. Gabriotti<sup>6</sup>

Tendo em vista a crescente utilização das embalagens de alumínio, procuramos neste trabalho desenvolver a liga 3104 proveniente de Caster para esta aplicação em substituição ao material produzido proveniente de processo DC (Direct Chill). Foram produzidos rolos de chapa de alumínio, com composição da liga AA 3104, via Continuous Casting between Cylinders. A espessura de vazamento da chapa foi inferior a 10mm. Esse material passou por duas rotas. Na rota 1, o rolo bruto de fusão foi homogeneizado e laminado a frio até a espessura de 45 $\mu$ m. Na rota 2, o rolo foi homogeneizado, sofreu o processo de deformação a frio na sua forma bruta de fusão e após alguns passes, sofreu um recozimento intermediário. Em seguida, retomou-se o trabalho a frio até a espessura final. Por fim, em ambas rotas, o material sofreu um tratamento térmico de recozimento. Nas condições brutas de fusão e em algumas após processamento termo-mecânico, foram retiradas amostras do material para caracterização macro e microestrutural e ensaio de tração.

O material bruto de fusão apresentou macro e microestrutura característica do processo 3C, com grãos alongados no sentido de vazamento, cujos tamanhos aumentam da superfície para o centro. A espessura da segregação central também mostrou resultados dentro dos esperados para esses materiais. Durante a laminação, o material homogeneizado apresentou dificuldades de processamento, evidenciando o encruamento elevado, que pode estar associado aos elementos em solução sólida que se mantêm na estrutura como Mn e Mg. As propriedades mecânicas obtidas do ensaio de tração mostraram que deve existir uma isotropia desde o material bruto de fusão até o material final que é muito importante para o processo de estampagem. O material homogeneizado e com recozimento intermediário, teve características mecânicas, macro e microestruturais mais indicadas para aplicações de estampagem.

*Palavras-chave: liga AA3104, estampagem, embalagem descartável, laminação.*

<sup>1</sup>Trabalho a ser apresentado no 41<sup>o</sup> Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos – Joinville – SC.

<sup>2</sup>Dr. Engenheiro de desenvolvimento – Departamento de Tecnologia – CBA.

<sup>3,4,6</sup>Engenheiros de processo – Departamento de Laminação – CBA.

<sup>5</sup>Engenheiro de processo – Departamento de Fundição – CBA

## I. Introdução

O processo 3C<sup>®</sup> (Continuous Casting between Cylinders) tem sido utilizado amplamente na indústria do alumínio visando a redução de etapas de processos de laminação posteriores e devido a seu baixo custo de instalação [1,2]. No entanto, existem restrições quanto ao aumento da produtividade que estão relacionadas à espessura e velocidade de vazamento, influenciando diretamente a qualidade da chapa [3,4,5]. A gama de ligas aptas a serem produzidas via 3C ainda é pequena e atualmente não substitui por completo o processo D.C.(Direct Chill), evidenciando assim, a necessidade de desenvolver novos materiais e ligas através de 3C.

A produção de chapas finas e folhas de alumínio através do processo 3C tem suas restrições principalmente devido à alta taxa de resfriamento deste método e que gera algumas fases intermetálicas indesejáveis do tipo (Fe, Mn) Al<sub>6</sub> e  $\alpha$ -Al (Fe, Mn) Si no caso da liga AA3104, que podem causar furos no produto laminado. Estudos como de Alexander [6] e Li [7], mostraram a transformação de fases que ocorre durante a homogeneização desta liga no qual intermetálicos do tipo (Fe, Mn) Al<sub>6</sub> recebem difusão de silício tornando-se Al(Fe, Mn)Si cuja morfologia ideal, seria arredondada, pequena e distribuída uniformemente ao longo da matriz. Wang [8] mostrou a importância da limpeza do metal para aplicações nobres como folhas.. Destaque para partículas cerâmicas do material refratário usado nos processos de fundição.

Este trabalho tem como objetivo viabilizar a produção de matéria-prima para embalagens descartáveis (figura 1.1) da liga AA3104 via 3C e surge da necessidade de atender o mercado na confecção de tais produtos que até então, são produzidos via D.C. (Direct Chill). O grande obstáculo está em produzir este material via 3C, visto o elevado teor de magnésio desta liga que dificulta o processo de vazamento, além disso, trata-se de uma liga de resistência considerável e que certamente necessita de cuidados especiais durante a homogeneização e a laminação a frio.



Figura 1.1. Embalagens descartáveis de alumínio.

## II. Metodologia

Os testes foram realizados em duas rotas. Na rota I, foram produzidos rolos da liga AA3104 via 3C no equipamento Jumbo 3CM da Pechiney, com espessura da chapa inferior a 10 mm. O rolo bruto de fusão foi homogeneizado e laminado a frio até a espessura de 45 $\mu$ m. Por fim, o material sofreu um tratamento térmico de recozimento. Na rota II, foram produzidos rolos de 8,5 toneladas da liga AA3104 que sofreram homogeneização, laminação a frio, recozimento intermediário, laminação a frio e recozimento final (figura 2.1). Nas condições bruta de fusão e laminada, foram retiradas amostras do material para caracterização macro e microestrutural através de microscopia ótica no laboratório de metalografia da CBA. Foram realizados

ensaios de tração e dureza nas condições brutas de fusão, homogeneizada e laminada. O material recebeu um revestimento com verniz na Polytype e seguiu para a estampagem nos clientes.

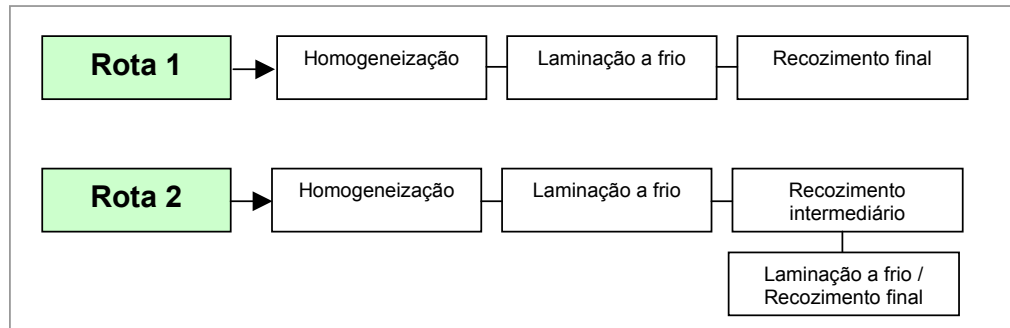


Figura 2.1. Rotas testadas na produção de laminados da liga AA3104.

### III. Resultados e Discussões

#### 3.1. Chapas caster

As amostras de caster foram caracterizadas macro e microestruturalmente onde avaliou-se a distribuição da fase secundária e de grãos, além da segregação central. A figura 3.1 apresenta as micrografias da liga em questão.

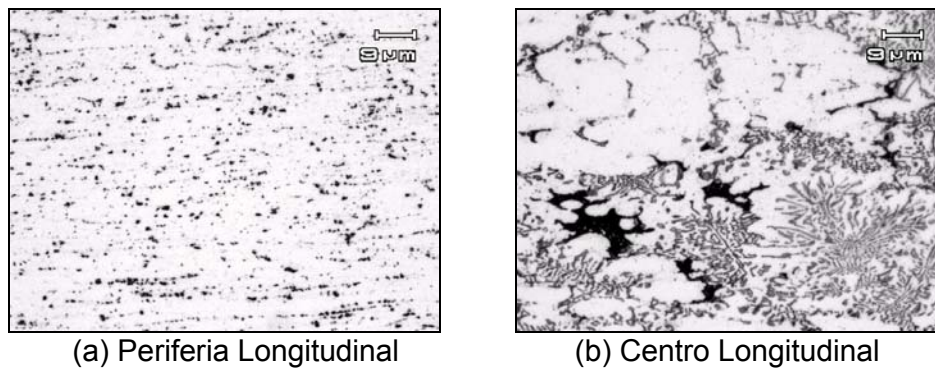


Figura 3.1. Micrografias da liga AA3104 brutas de fusão

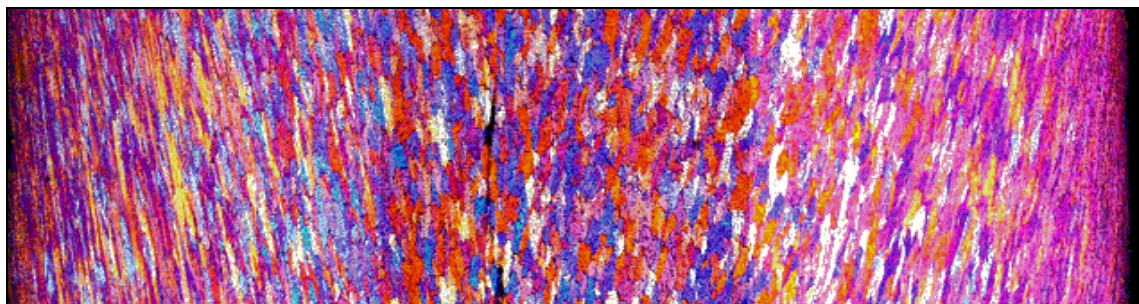


Figura 3.2. Macrografia da liga AA3104 bruta de fusão.

As microestruturas mostraram boa distribuição da fase secundária de forma arredondada e de pequena dimensão. Foi possível observar também uma segregação central rica em  $Mg_2Si$  e  $(Fe, Mn)Al_6$ . Esta segregação se estendeu por até 2,8 mm de comprimento e 0,1 mm de espessura. Na figura 3.2, uma distribuição de grãos homogênea em comparação com outras ligas estudadas em caster foi observada, com grãos aumentando de tamanho da extremidade ao centro (característico do processo caster). Observou-se um valor médio de dureza de 62,5HB e condutividade elétrica de 31,5% IACS para a amostra bruta de fusão.

A tabela 3.1 apresenta os resultados do ensaio de tração. Observa-se que trata-se de um material homogêneo e com propriedades pouco distintas nas solicitações mecânicas testadas.

Tabela 3.1. Resultados de ensaio de tração. Material bruto de fusão.

Solicitação do ensaio	$\sigma_t$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	Alongamento (%)
Longitudinal	18,0	11,4	20,9
Transversal	19,5	12,9	20,6

A figura 3.3 apresenta as micrografias da liga AA3104 homogeneizada. É possível observar a dissolução da segregação central e a distribuição de segunda fase ( $Mg_2Si$  e  $Fe_3SiAl_{12}$ ) de forma homogênea nas periferias, além da presença de  $(Fe, Mn) Al_6$ .

A figura 3.4 apresenta a estrutura de grãos do material homogeneizado. Destaque para a homogeneidade granular em comparação com outras ligas. É possível observar alguns pontos de recristalização, além disso, é provável a ocorrência de processos de recuperação com aniquilação de contornos de grão. Trata-se portanto, de um material com estrutura muito homogênea.

Foi possível observar nas microestruturas uma segregação central que se estendeu por até 2,2 mm de comprimento e 0,1 mm de espessura. Observou-se um valor médio de dureza de 43,2HB e condutividade elétrica de 43,3% IACS para a amostra homogeneizada. Como pode ser observado, a queda na dureza e o aumento da condutividade são frutos da remoção de Mn que estava em solução sólida para se precipitar na forma de fases intermetálicas, principalmente do tipo  $\alpha$ -Al(Fe, Mn) Si formada através da incorporação do Si no  $(Fe, Mn) Al_6$  durante a homogeneização. A tabela 3.2 apresenta os resultados do ensaio de tração. Observa-se que trata-se de um material homogêneo e com propriedades pouco distintas nas solicitações mecânicas testadas mesmo após o tratamento térmico.

Tabela 3.2. Resultados de ensaio de tração. Material homogeneizado.

Solicitação do ensaio	$\sigma_t$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	Alongamento (%)
Longitudinal	17,0	11,5	26,6
Transversal	17,1	9,0	23,6

A figura 3.5 apresenta as micrografias da liga AA3104 laminada com espessura de 0,8 mm. Observa-se uma homogeneidade microestrutural analisando-se a distribuição da fase secundária com relação à sua dimensão e distribuição.

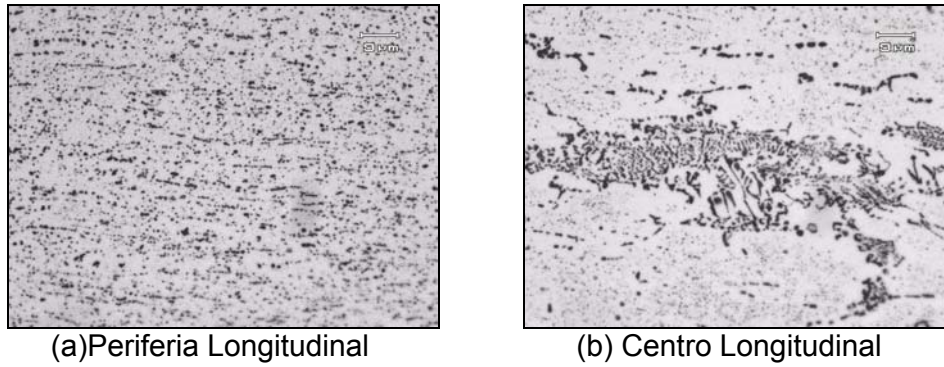


Figura 3.3. Micrografias da liga AA3104 homogeneizada.

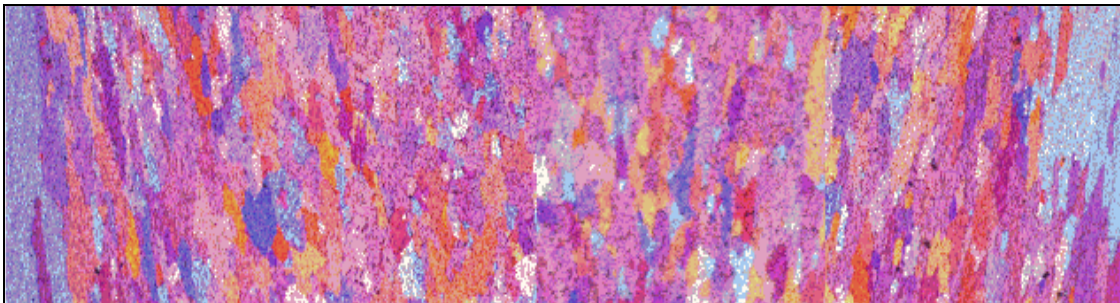


Figura 3.4. Macrografias da liga AA3104 homogeneizada.

Com relação à macrografia (figura 3.6), observaram-se grãos alongados característicos do processo de laminação a frio, porém, foi observado um aumento do tamanho de grão na direção das periferias ao centro da chapa.

Foi observada uma segregação central de comprimento de 100 $\mu$ m e espessura de 5 $\mu$ m.

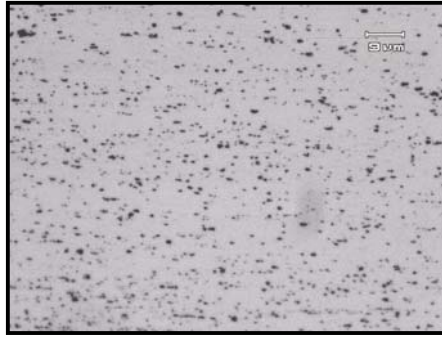
A dureza do material nesta dimensão ficou na média de 91,9 HB e condutividade elétrica de 30,8 %IACS.

A tabela 3.3 apresenta os resultados do ensaio de tração no material laminado. Observou-se uma pequena variação nas propriedades mecânicas avaliadas o que pode ser fruto do início do fenômeno de texturização que não foi praticamente observado até a etapa de homogeneização.

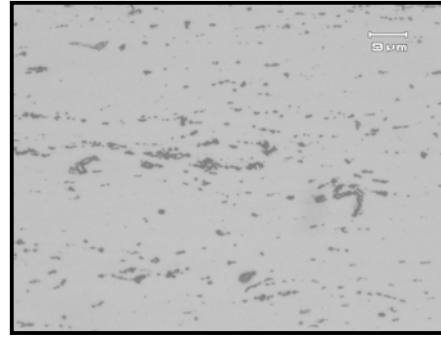
Tabela 3.3. Resultados de ensaio de tração. Material laminado.

Solicitação do ensaio	$\sigma_t$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	Alongamento (%)
Longitudinal	33,5	30,2	3,4
Transversal	35,2	31,4	3,7

A figura 3.7 apresenta a macro e micrografia da liga AA3104 na espessura final. Uma boa distribuição de segunda fase homogênea e arredondada foi observada assim como uma homogênea distribuição de grãos.



(a) Periferia Longitudinal



(b) Centro Longitudinal

Figura 3.5. Micrografias da liga AA3104 laminada.

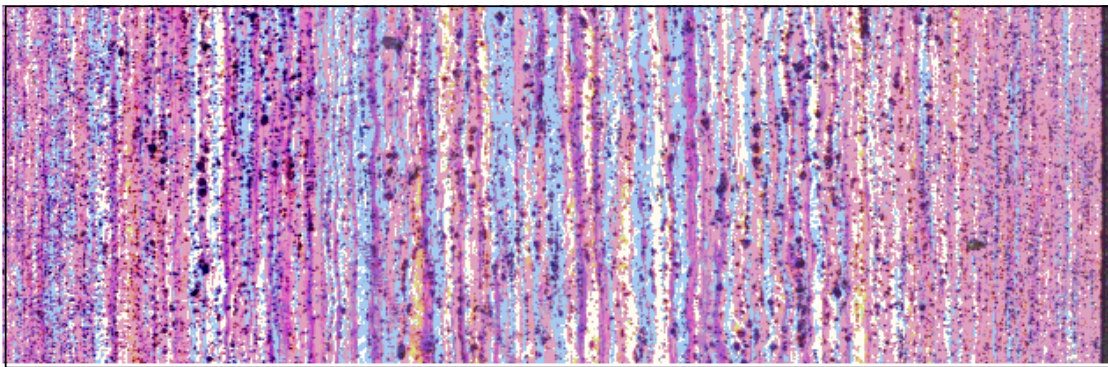
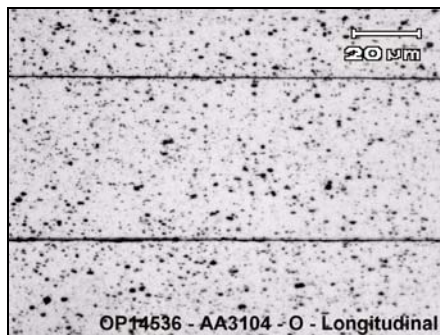
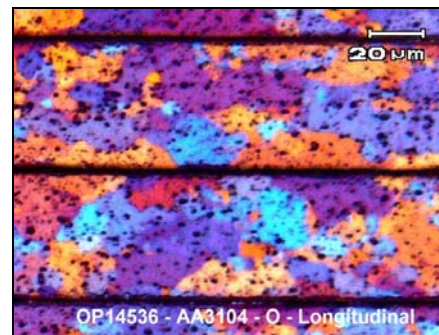


Figura 3.6. Macrografia da liga AA3104 laminada.



(a)

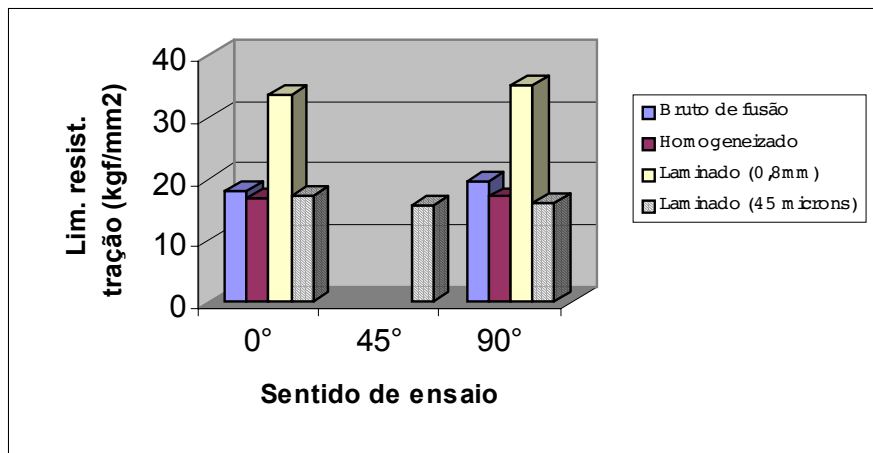


(b)

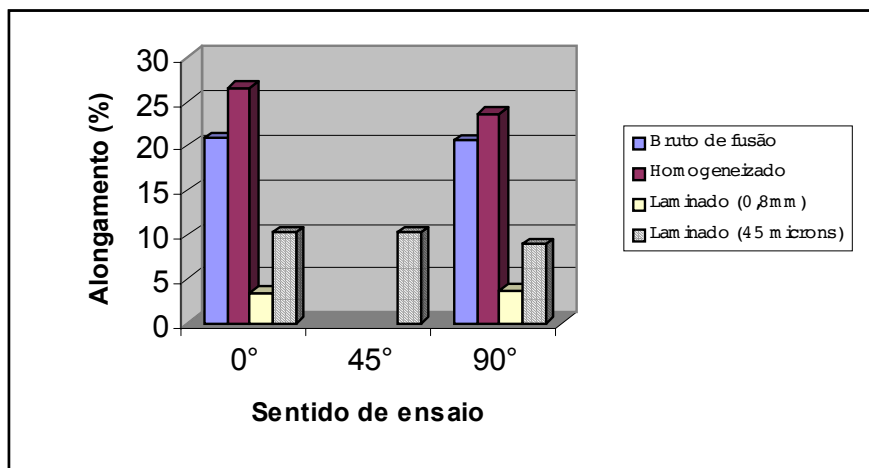
Figura 3.7. (a) Microestrutura e (b) macroestrutura da liga AA3104 na espessura final.

Na solicitação de estampagem, a isotropia deve ser um requisito fundamental para uma boa qualidade do produto. Embora ainda não tenhamos resultados sobre um estudo detalhado de anisotropia e texturização, a figura 3.8 apresenta os resultados do ensaio de tração em diferentes sentidos no material desde a condição bruta de fusão até a folha final. É possível observar que as propriedades básicas obtidas em tração apresentam pouca discrepância e que desde a produção da

chapa (estado bruto de fusão) as propriedades são bem semelhantes nos sentidos do ensaio. Na folha final, as propriedades mostram-se pouco diferenciadas levando a crer se tratar de um material adequado ao processo de estampagem.



(a)



(b)

Figura 3.8. Propriedades mecânicas da liga AA3104 em diversas etapas do processo.

O material foi estampado em uma das maiores empresas de embalagens nacional e os resultados obtidos foram excelentes, sendo que o material que passou pela rota 2 apresentou melhores resultados.

#### IV) Conclusões

A produção de chapas de ligas com altos teores de Mn e Mg é viável pelo processo 3C, sob total controle de parâmetros como velocidade de vazamento e arco de contato. A grande quantidade de óxido gerada pode ser nociva se não

houver um bom controle de temperatura e outras variáveis de processo. A macro e microestrutura se apresenta uniforme em todas as etapas de processamento e as propriedades mecânicas são homogêneas nos sentidos ensaiados.

A obtenção de estampados da liga AA3104 produzida via 3C é um processo viável e pode ser utilizado em substituição ao processo D.C. (direct chill) convencional pois apresenta propriedades finais semelhantes.

### **Agradecimentos**

Os autores são gratos à Companhia Brasileira de Alumínio - CBA pela oportunidade e apoio ao desenvolvimento.

### **Referências bibliográficas**

- [1] YUN, M., Lokyer, S., Hunt, J.D., *Twin Roll Casting of Aluminium Alloys*, Materials Science and Engineering A, A280, 2000, p.116-123.
- [2] COOK, R., et al., *Development of the Twin Roll Casting Process*, Journal of Materials Processing Technology, 55, 1995, p.76-84.
- [3] DAALAND, O., et al., *Thin Gauge Twin Roll Casting, Process Capabilities and Product Quality*, Light Metals, 1997, p. 745-752.
- [4] PAES, M., et al, *Caracterização Metalúrgica de Folhas de Alumínio Produzidas a partir de Chapas 3 mm por Continuous Casting between Cylinders*, 40º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 2003.
- [5] PATRA, S. K., Singh, P. K., *Caster Roll Lubrication and its Impact on Quality of Continuously Cast Aluminium Strip*, Second International Conference ALCASTEK 2004.
- [6] ALEXANDER, D. T. L., et al., *Investigating the Alpha Transformation - A solid State Phase Change of Dispersed Intermetallic Particles from Al<sub>6</sub>(Fe, Mn) Phase to na  $\alpha$ -Al-(Fe, Mn)-Si Phase*, Light Metals, 2002, p. 771-776.
- [7] LI, Y., Arnberg, L., *Precipitation of Dispersoids DC-Cast AA3103 Alloy During Heat Treatment*, Light Metals, 2003.
- [8] WANG, X., *Morphological Aspects of Inclusions in AA3104 D&I Can Stock Alloy*, Light Metals, 1997.



# DEVELOPMENT OF ALUMINUM ROLLED FOR AA3104 ALLOY DRAWING PRODUCED BY 3C<sup>®</sup> PROCESS

Marcelo Paes<sup>2</sup>  
Fábio Teodoro da Silva<sup>3</sup>  
Fabrício Spalutto<sup>4</sup>  
Alexandre Iartelli<sup>5</sup>  
Pedro B. Gabriotti<sup>6</sup>

In order to attend the tendencies of aluminum container applications, this work carried out a study of manufacturing these products using AA3104 alloy produced by 3C substituting D.C. conventional process. It was produced aluminum sheets of AA3104 alloy via Continuous Casting between Cylinders with thickness lower than 10mm. This material was produced by two routes. Route 1, the as-cast material was homogenized and cold rolled up to 45 $\mu$ m. Route 2, the material was homogenized, cold rolled and intermediate annealed. After that, cold rolling was performed up to the final thickness. In the end, in both routes, the material was entirely annealed. In as-cast and cold worked conditions, some samples were taken out in order to the macro and microstructural characterization and tensile test.

The as-cast material showed macro and microstructure as usual obtained by 3C, with elongated grains in the rolling direction, whose size increases from the surface to the center. The central segregation thickness also shows an expected result. During the cold rolling, the homogenized material showed difficulties due to the mechanical hardening that is associated to the high Mg and Mn in solid solution. Mechanical properties obtained from the tensile tests, showed that there is a isotropy since the as-cast material until the final product. It is very important to drawing applications. The homogenized material and with intermediate annealing showed the best properties to be used as container and attending the drawing requirements.

*Key-words: AA3104 alloy, drawing, container, cold rolling.*

---

<sup>1</sup>Paper to be presented on the 41<sup>o</sup> Rolling Seminar – Processes, Rolled and Coated Products – Joinville – SC.

<sup>2</sup>PhD. Engineer at Technology Department – CBA.

<sup>3,4,6</sup>Process Engineer at Rolling Department – CBA.

<sup>5</sup>Process Engineer – Casthouse Department – CBA