



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Martins, Juliana de Paula; Padilha, Angelo Fernando

Caracterização da liga comercial de alumínio 3003 produzida por fundição contínua de chapas ("twin roll caster") - textura cristalográfica

Rem: Revista Escola de Minas, vol. 60, núm. 3, julio-septiembre, 2007, pp. 565-569

Escola de Minas

Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416458019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Caracterização da liga comercial de alumínio 3003 produzida por fundição contínua de chapas (“*twin roll caster*”) - textura cristalográfica

(Microstructural characterization of a commercial 3003 aluminum alloy produced by twin roll caster - crystallographic texture)

Juliana de Paula Martins

Dra. - Pós-graduada pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP  
E-mail: jpaula@usp.br

Angelo Fernando Padilha

Dr. - Professor Titular - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP  
E-mail: padilha@usp.br

### Resumo

Nesse trabalho, são apresentados os resultados da determinação de textura cristalográfica da liga comercial de alumínio 3003, produzida em escala industrial pelo processo de fundição contínua de chapas. As diferentes etapas de processamento dos materiais metálicos, tais como solidificação, deformação plástica e recristalização, por exemplo, conduzem à formação de uma distribuição de orientação preferencial, onde predominam determinados eixos cristalográficos. Portanto a distribuição de orientação em um policristal é resultado do processo de fabricação e, com isso, a textura contém informações sobre o histórico de produção do material. A textura apresenta forte efeito nas propriedades do metal e revela a relação entre parâmetros de processamento do material e seu desempenho. A caracterização da textura, ao longo da espessura, foi feita utilizando-se difração de elétrons retroespalhados (EBSD). Foi possível observar diferenças ao longo da espessura.

**Palavras-chave:** Liga de alumínio 3003, fundição contínua de chapas, textura cristalográfica.

### Abstract

*The present work characterized the crystallographic texture of a commercial 3003 aluminum alloy produced by the twin roll caster process. The different stages of metal processing: solidification, plastic deformation and recrystallization, have different crystallographic textures. The crystallographic texture at the end of the manufacturing process contains information about the process itself. The texture characterization was carried out by electron back scatter diffraction (EBSD). Results showed that there was a significant difference between the specimen's texture at the surface and that of its center.*

**Keywords:** 3003 aluminum alloy, twin roll caster, crystallographic textures.

## 1. Introdução

A difração de elétrons retroespalhados, EBSD, é amplamente utilizada na determinação da microtextura e mesotextura, permitindo o estudo de subdivisão de grão e da natureza dos contornos e subcontornos formados durante a deformação plástica.

Mas também é possível utilizar essa técnica para determinar macrotextura, ou, simplesmente, textura. Para isso é necessário realizar uma medida quantitativa para um número mínimo de medidas de orientações individuais, que serão necessárias para representar adequadamente a textura de uma amostra [Randle, 2000].

Os elétrons retroespalhados provenientes da interação do feixe incidente de elétrons com a superfície da amostra formam figuras de difração (linhas de Kikuchi). As linhas de Kikuchi são projeções dos planos cristalinos. A figura de difração é constituída por conjuntos de pares de linhas paralelas sobre um fundo difuso. A distância entre cada par de linhas é inversamente proporcional ao espaçamento interplanar da respectiva família de planos. Em alguns pontos, vários pares de linhas se interceptam. Esses pontos de intersecção estão associados com os respectivos eixos das zonas de planos. Indexar a figura de difração significa identificar os planos (pares de linhas) presentes e os eixos das zonas. A imagem capturada é processada e tem, inicialmente, seu contraste melhorado por meio da subtração do background e é, em seguida, digitalizada e indexada automaticamente com auxílio de um software adequado. A identificação via computador das linhas de Kikuchi e a indexação da figura de difração exigem o conhecimento prévio da estrutura cristalina que está sendo analisada. O microcomputador comanda o movimento do feixe de elétrons, processa as imagens, realiza a indexação das figuras de difração e calcula os índices e parâmetros desejados [Dingley, 1997; Humphreys, 1999].

O objetivo principal do presente trabalho é apresentar os resultados da caracterização de textura cristalográfica (macrotextura, microtextura e mesotextu-

ra) da liga comercial de alumínio 3003, produzida pelo processo de fundição contínua de chapas.

## 2. Materiais e métodos

Chapas foram retiradas de bobinas vazadas com espessura de 7,0 mm e largura de 1360 mm. A liga 3003 foi produzida pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA). A chapa foi analisada em três posições ao longo da espessura: superfície, centro ( $\frac{1}{2}$  de espessura) e  $\frac{1}{4}$  da espessura da chapa.

Para análise por EBSD, as amostras foram polidas eletroliticamente, com solução contendo: 700 mL de álcool etílico; 120 mL de água destilada; 100 mL de butil glicol e 68 mL de ácido perclórico. O polimento eletrolítico foi feito em um aparelho Pollectrol da Struers, com 40 V por 10 segundos. As medidas de textura foram feitas por microscopia eletrônica de varredura, elétrons retroespalhados, com auxílio do software OIM 3.3 da TSL, em aparelho modelo XL-30 da Philips, instalado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP.

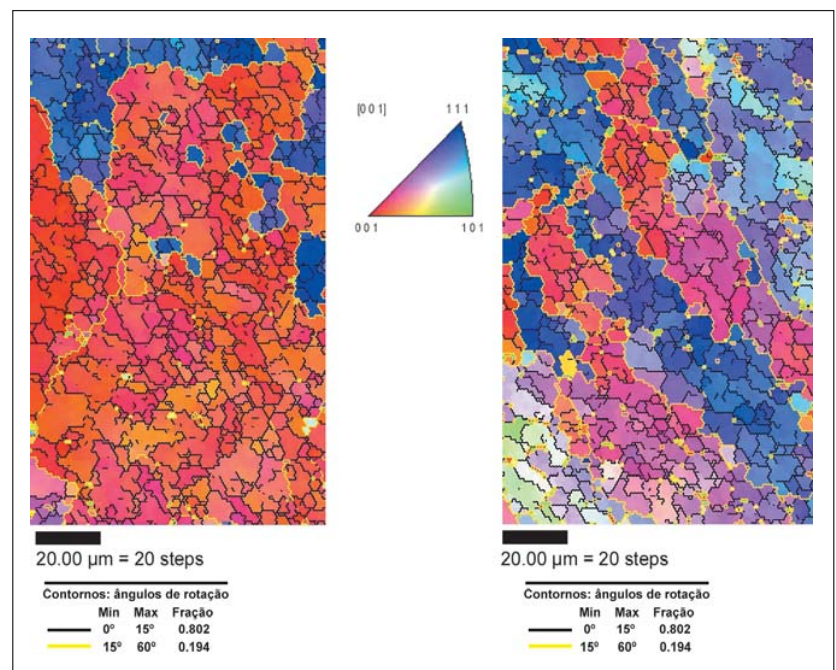
## 3. Resultados e discussão

Na Figura 1 são apresentadas medidas de mesotextura indicando a natureza dos contornos. Os contornos marcados em amarelo indicam contornos de alto ângulo ( $\psi > 15^\circ$ ), enquanto os contornos marcados em preto indicam contornos de baixo ângulo ( $\psi < 15^\circ$ ). Nota-se que há uma alta fração de contornos de baixo ângulo na região fortemente texturizada.

Nas amostras analisadas, foram feitas dez varreduras em diferentes regiões e cada varredura foi feita com o mesmo número de pontos. As informações dessas dez regiões foram somadas para se poder ter uma medida mais próxima da macrotextura.

A análise da figura de pólo discreta permite avaliar a simetria e o espalhamento em torno das componentes principais, como pode ser observado na Figura 2.

A representação em curvas de níveis é possível utilizando o algoritmo de



**Figura 1** - Mapeamento de orientações da superfície do caster (EBSD), direção de laminação paralela à direção vertical.

cálculo disponível no programa computacional, porém é necessário definir uma simetria para a amostra. Teoricamente independente da imposição da simetria triclinica ou ortorrômbica, os resultados serão semelhantes, desde que a amostra apresente simetria. Para amostras que apresentam intensidade de textura relativamente alta, a imposição da simetria triclinica ou ortorrômbica não acarreta diferenças significativas [Martins, 2005].

Uma descrição completa e quantitativa da textura pode ser obtida com o auxílio da função distribuição de orientação dos grãos (FDO ou ODF - Orientation Distribution Function). Essas funções especificam a frequência de ocorrência de determinadas orientações em um espaço tridimensional. Esse espaço é definido por três ângulos de Euler:  $\phi_1$ ,  $\Phi$ ,  $\phi_2$ . Existem dois sistemas de notação para os ângulos de Euler. Um foi propo-

to por Bunge e outro por Roe, sendo o mais utilizado o proposto por Bunge [Bunge, 1982].

A Figura 3 mostra a localização no espaço de Euler das componentes de textura mais importantes da laminação de metais CFC. Essas componentes compreendem a fibra  $\alpha$  entre "Goss"  $\{011\}\langle 100 \rangle$  e latão ("Brass")  $\{110\}\langle 1\bar{1}2 \rangle$  e a fibra  $\beta$  entre latão e co-

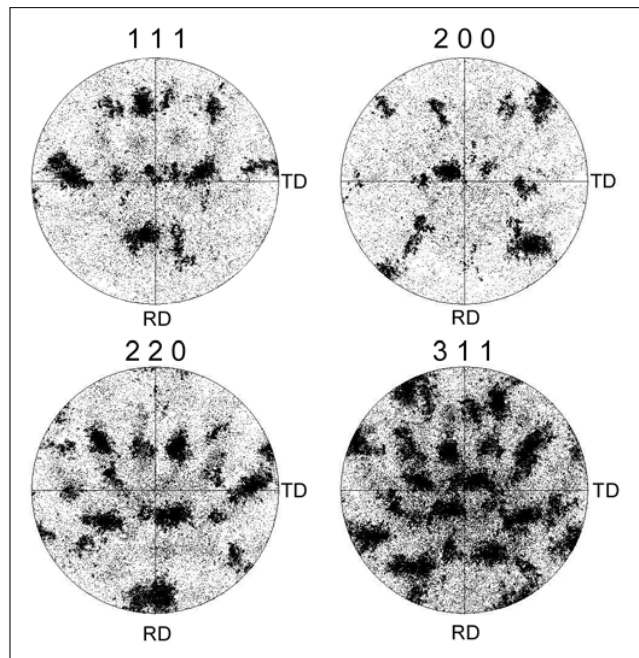


Figura 2 - Figuras de pólo discretas da superfície da chapa (EBSD).

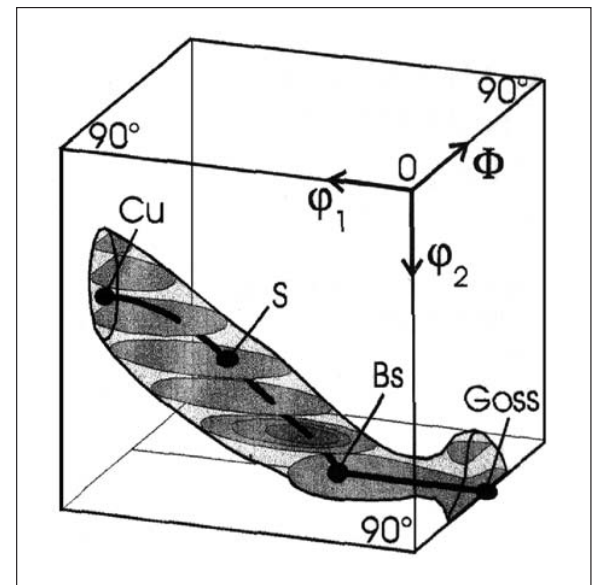


Figura 3 - Componentes de textura de laminação de metais CFC no espaço de Euler em 3D: a fibra  $\beta$  entre a componente cobre e latão ("Brass") e a fibra  $\alpha$  entre a componente do tipo latão e Goss [Maurice, 1997].

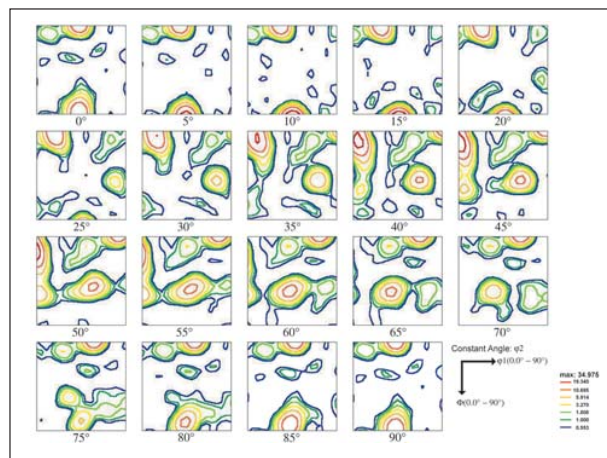


Figura 4 - FDO (EBSD) da superfície do caster com simetria triclinica.

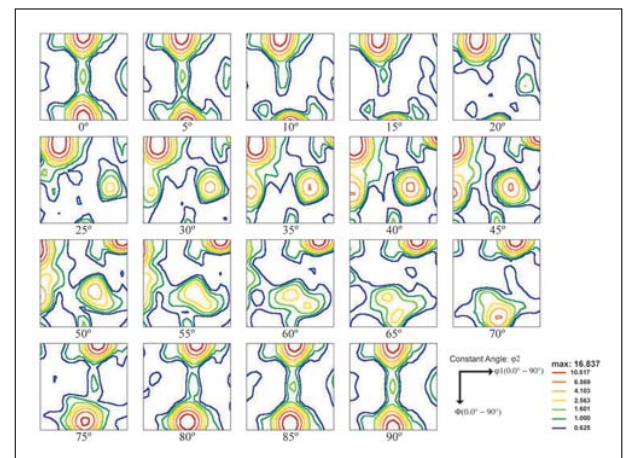
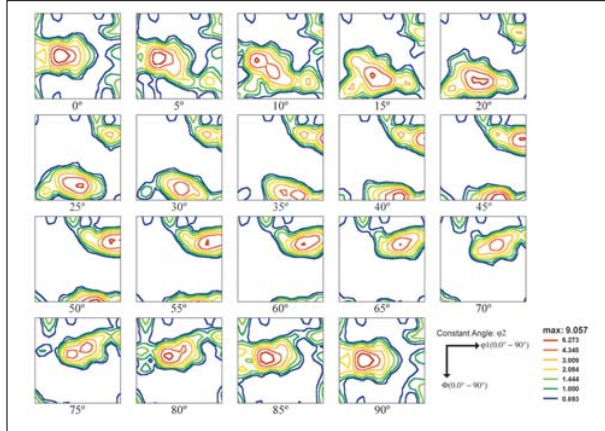
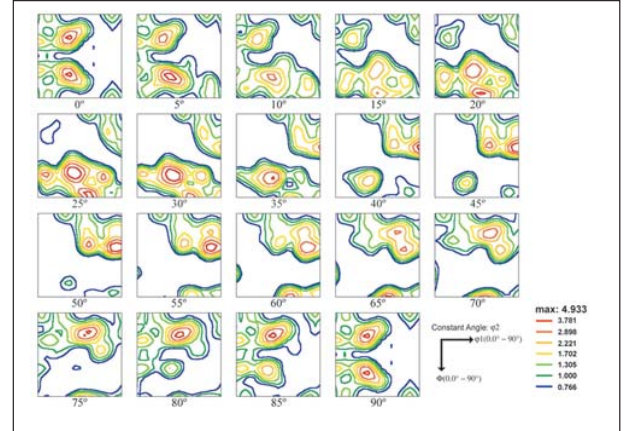


Figura 5 - FDO (EBSD) da superfície da chapa com simetria ortorrômbica.





**Figura 6** - FDO (EBSD) da chapa na posição 1/2 de espessura com simetria ortorrômbica.



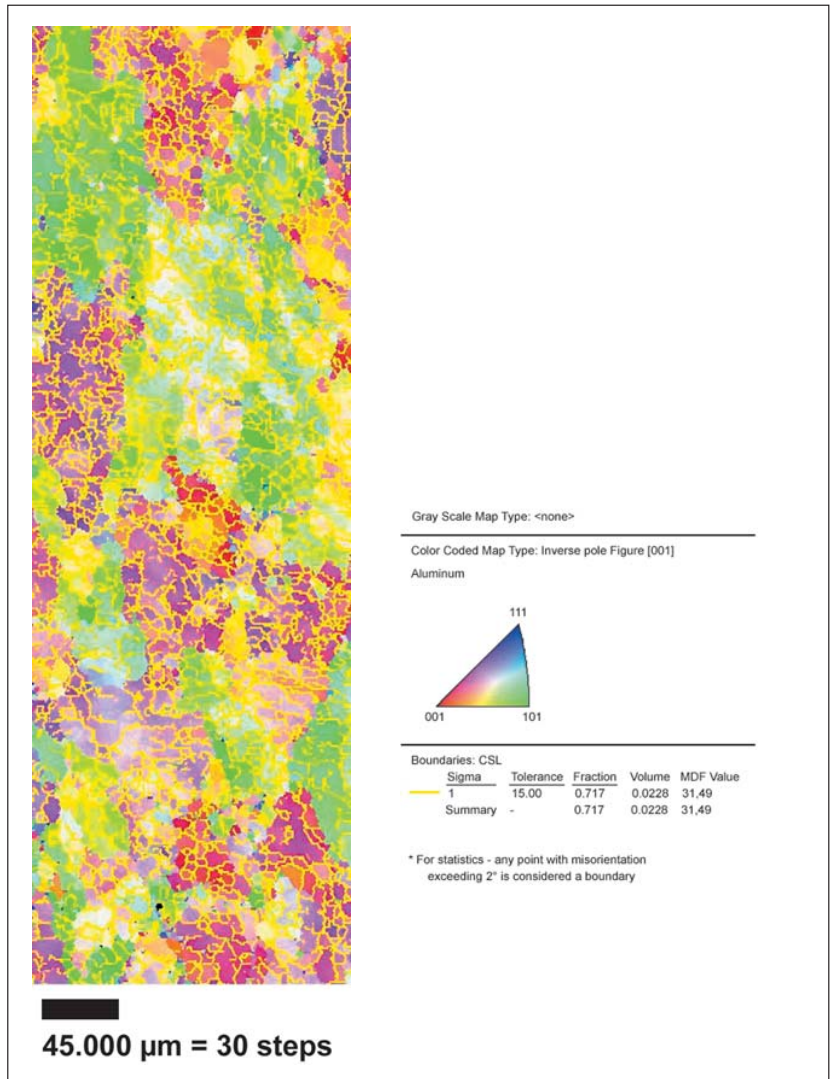
**Figura 7** - FDO (EBSD) da chapa na posição 1/4 de espessura com simetria ortorrômbica.

bre  $\{112\}\langle 11\bar{1}\rangle$ , passando pela componente do tipo S  $\{123\}\langle 63\bar{4}\rangle$ .

Com o intuito de avaliar o efeito da imposição da simetria na FDO, gerou-se FDO, impondo-se simetrias triclinica e ortorrômbica. A imposição da simetria ortorrômbica, de um modo geral, causou um alargamento nos picos das principais orientações para FDO, como mostram as Figuras 4 e 5.

Analisando-se as Figuras 5 e 6, observa-se que, na região da superfície da chapa, há a presença da componente  $\{001\}\langle 110\rangle$  ( $\varphi_1 = 45^\circ$ ,  $\Phi = 0^\circ$ ,  $\varphi_2 = 0^\circ$ ), conhecida como cubo rodado. Na região central (1/2 de espessura), foi verificada a presença de três componentes: tipo latão ( $\varphi_1 = 35^\circ$ ,  $\Phi = 45^\circ$ ,  $\varphi_2 = 0^\circ$ ), de maior intensidade, tipo S ( $\varphi_1 = 59^\circ$ ,  $\Phi = 34^\circ$ ,  $\varphi_2 = 65^\circ$ ) e a tipo cobre ( $\varphi_1 = 90^\circ$ ,  $\Phi = 30^\circ$ ,  $\varphi_2 = 45^\circ$ ). Sabe-se que, durante a laminação, a textura cubo rodado se transforma em textura tipo latão, cobre e S [Zhang et al., 2002]. A FDO da amostra caster 1/4 de espessura, mostrada na Figura 7, revela a transição entre as componentes encontradas na superfície e a 1/2 de espessura.

Existem algumas orientações cujos contornos têm mobilidade especialmente alta. Esses contornos são conhecidos como contornos especiais. Esse efeito está associado à mesotextura e à pre-



**Figura 8** - Mapeamento de contornos CSL da amostra caster 1/2 de espessura, direção de laminação paralela à direção vertical.

sença de impurezas em solução sólida, pois, em metais com elevada pureza não se observam mobilidades altas dependentes da orientação [Padilha, 2003]. Esses contornos especiais desempenham um papel importante na recristalização secundária, ou seja, em situações em que o potencial termodinâmico para a migração de contornos é muito menor [Kronberg, 1949]. Para identificar a presença, na amostra, de contornos de alta coincidência, pode-se utilizar a técnica EBSD. Foi feita essa análise ao longo da espessura da amostra caster e, na Figura 8, encontra-se a análise em  $\frac{1}{2}$  de espessura. Todos os resultados não revelam a presença de contornos especiais, notando-se, apenas, a predominância de  $\sigma = 1$ .

#### 4. Conclusões

Para amostras que apresentam intensidade de textura relativamente alta, a imposição da simetria triclinica ou ortorrômbica não causa diferenças significativas. Com a imposição da simetria ortorrômbica, ocorreu um alargamento nos picos das principais orientações para FDO.

As chapas provenientes do processo caster exibem forte gradiente de tex-

tura ao longo da espessura. A textura predominante, ao longo da espessura, é a do tipo latão  $\{011\} \langle 211 \rangle$ . Outra componente importante é a cubo rodado  $\{001\} \langle 110 \rangle$ , que predominou na superfície. E, na região  $\frac{1}{2}$  de espessura, foram encontradas as componentes do tipo S, a tipo cobre e latão. Na análise de mesotextura não foram encontrados contornos especiais.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia Brasileira de Alumínio, pela cessão dos materiais utilizados no presente trabalho, e à FAPESP, pelo apoio financeiro dado pelo processo nº. 02/03252-6 (bolsa de doutorado de Juliana de Paula Martins).

#### 6. Referências bibliográficas

- BUNGE H. J. *Texture analysis in materials science mathematical methods*. Butterworths, 1982.
- DINGLEY, D. J., FIELD, D. P. Electron backscattered diffraction and orientation imaging microscopy, *Materials Science and Technology*, v.13, p. 69-73, 1997.
- HUMPHREYS, F. J. Quantitative metallography by electron backscattered diffraction. *Journal of Microscopy*, v.195, p. 170-185, 1999.
- KRONBERG M. L., WILSON F. H. Secondary recrystallization in copper. *Transactions AIME*, v. 185, p. 501-514, 1949.
- MARTINS J. P. *Evolução da microestrutura e da textura durante o processamento de chapas da liga Al-Mn-Fe-Si (3003) produzidas por lingotamento contínuo: um estudo comparativo com o processo semicontínuo*. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005. 171p.(Tese de Doutorado).
- MAURICE, C.I., DRIVER, J.H. Hot rolling textures of FCC metals - Part I experimental results on Al single and polycrystals. *Acta Materialia*. v.45, p. 4627-4638, 1997.
- PADILHA A. F., SICILIANO Jr. F. Crescimento de regiões recristalizadas. In: TSCHIPTSCHINT, A. P. et al. (2. ed.). *Textura e relações de orientação*. São Paulo: EPUSP, 2003. p. 72-84. (ISBN 85-86686-16-6).
- RANDLE, V., ENGLER, O. Introduction to texture analysis. Macrotexture, microtexture and orientation mapping. Singapore: Gordon and Breach Science Publishers, 2000, 388p.

Artigo recebido em 30/03/2006 e aprovado em 10/02/2007.

