

CARACTERIZAÇÃO DA MESOTEXTURA DE UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO UNS 30409 LAMINADO A QUENTE UTILIZANDO A DIFRAÇÃO DE ELÉTRONS RETROESPALHADOS (EBSD)

R. P. de Siqueira¹, J. F. C. Lins¹, C. C. D. Silva¹.
Avenida dos Trabalhadores, n.º. 420, CEP: 27255-125. Volta Redonda - RJ
rodriggo81@gmail.com
1 – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica – PPGEM/UFF

RESUMO

As maclas de recozimento podem ser caracterizadas em metais com estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC) com média ou baixa energia de defeito de empilhamento (EDE). Os contornos de macla de recozimento, denominados $\Sigma 3$, são bastante relevantes, pois pode afetar várias propriedades dos metais tais como resistência à corrosão e à fadiga. Neste trabalho, a mesotextura do aço UNS 30409 foi caracterizada usando o EBSD. O aço foi investigado na condição laminado a quente. A distribuição de contornos CSL (coincidence site lattices) e a fração de contornos de maclas de recozimento também foram investigadas. As amostras foram preparadas metalograficamente e caracterizadas utilizando-se a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados foram obtidos e analisados utilizando-se os programas da DAX-TSL. Estes revelaram uma microestrutura recristalizada dinamicamente com alta fração de contornos de alto ângulo, em especial, alta fração de contornos de macla do tipo CSL $\Sigma 3$.

Palavras-chave: UNS 30409, contornos de macla, microtextura, mesotextura, EBSD.

INTRODUÇÃO

Os contornos de macla são defeitos bidimensionais que delimitam regiões intragranulares que sofreram um deslocamento devido ao movimento coordenado de átomos (1,2). Esta região de macla possui uma nova orientação cristalográfica. As maclas podem ocorrer durante o recozimento dos metais e suas ligas e também durante a deformação plástica (3,4). As maclas mecânicas ocorrem frequentemente em metais com estrutura hexagonal compacta (HC) como um modo alternativo de deformação plástica (5) devido ao número reduzido de sistemas de deslizamento independentes neste tipo de estrutura cristalina. As maclas de recozimento são comumente observadas para metais e ligas CFC com média ou baixa energia de defeito de empilhamento (EDE) (6). As primeiras observações foram feitas durante a

década de 1920 por Carpenter e Tamura (7). Em um estudo mais recente, Gertsman e colaboradores observaram que a distribuição de contornos poderia evoluir como resultado das maclas de recozimento (8). Portanto, as maclas de recozimento podem influenciar na textura de recristalização de metais e ligas CFC. Como as propriedades dos metais são influenciadas pela textura, a caracterização deste tipo de defeito bidimensional formado durante o recozimento é bastante relevante.

Do ponto de vista cristalográfico, as maclas de deformação e de recozimento são idênticas. Elas consistem de falhas de empilhamento nos adjacentes planos compactos {111}. Essas falhas são produzidas durante o deslizamento das parciais de Shockley (9). Para metais CFC, os contornos de macla de recozimento são obtidos a partir do grão original girando-se cerca de 60° em torno de $\langle 111 \rangle$ (6). Estes contornos são denominados contornos especiais (CSL). Apesar dos esforços para a explicação da formação das maclas de recozimento, o seu entendimento pleno ainda foi alcançado atualmente (10-14). Neste artigo, a distribuição de contornos (mesotextura) presente no aço UNS 30409 na condição laminado a quente foi investigada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste artigo foi o aço inoxidável UNS 30409, cedido pela empresa Aperam South America LTDA. As amostras foram enviadas na forma de chapas com 10 mm de espessura na condição laminado a quente. A laminação a quente ocorreu em múltiplos passes na faixa de temperatura entre 1100°C e 950°C em um laminador do tipo Steckel. A chapa sofreu uma redução de aproximadamente 10 mm em sua espessura. As amostras para caracterização microestrutural foram primeiramente cortadas em uma cortadeira de precisão de baixa velocidade ISOMET 1000. A seção longitudinal de 10 mm por 10 mm foi escolhida para a investigação microestrutural. Em seguida, as amostras foram lixadas usando a seguinte sequência de lixas – 600, 800, 1200 e 2400. Após o lixamento, as amostras foram polidas com pasta de diamante de 3 µm. O polimento final foi feito utilizando-se uma solução de sílica coloidal (OP-S). A caracterização microestrutural foi realizada utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura EVO MA10 da marca Zeiss com filamento de hexaboreto de lantânio (LaB₆) instalado no Laboratório de Microscopia da UFF. A tensão de aceleração do feixe de elétrons foi de 15 kV e a distância de trabalho - *work distance* (WD) foi de 12 mm. As medidas de

microtextura foram feitas com o auxílio da difração de elétrons retroespalhados (EBSD). Estas medidas de EBSD foram coletadas a cada deslocamento de 1 μm percorrido pelo feixe de elétrons - *step size*. A coleta e a análise dos resultados foram realizadas com o auxílio do pacote de programas da EDAX-TSL.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mapeamentos de EBSD de três regiões distintas obtidas a partir da seção longitudinal da chapa laminada a quente podem ser observados na Figura 1. A direção de laminação (DL) está paralela à horizontal. Nestes mapeamentos, o formato dos grãos são predominantemente equiaxiais. O tamanho de grão foi medido para as três áreas conjuntamente. A medida do tamanho de grão considerando também os contornos de macla durante a medição foi de $14 \pm 5 \mu\text{m}$. A presença de maclas de recozimento é bastante frequente na microestrutura obtida. Os contornos de grãos presentes na microestrutura são basicamente formados por contornos de alto ângulo. Estes resultados indicam que a microestrutura sofreu recristalização dinâmica durante o processo de laminação a quente. Note também que a presença de contornos de baixo ângulo em regiões intragranulares é pouco frequente na Figura 1. Os mapeamentos de contornos das três regiões investigadas podem ser observados na Figura 2a. Os contornos de alto ângulo são predominantes na microestrutura, com uma fração de 97,8%. Apenas uma fração de 2,2% dos contornos presentes na microestrutura é de baixo ângulo, como mostrado na Figura 2b. Dentre os contornos de alto ângulo, os contornos de macla indicados por linhas azuis são do tipo CSL $\Sigma 3$ enquanto que os contornos de macla indicados em vermelho são do tipo CSL $\Sigma 9$. Os resultados da Figura 2b mostram que a fração de contornos de macla é de aproximadamente 52% dos contornos de alto ângulo presente na microestrutura, sendo que estes são predominantemente contornos do tipo CSL $\Sigma 3$. O controle deste tipo de contorno na microestrutura de metais CFC é muito importante, pois eles podem afetar várias propriedades tais como resistência à corrosão e à fadiga (2). Jin e colaboradores recoziram a 1000°C amostras de um aço AISI 304L após torção a quente (4). Os resultados mostram que a maioria das maclas surgiu durante a recristalização dinâmica. Durante o crescimento de grão, a evolução das maclas de recozimento ocorre por interação das maclas existentes na microestrutura, sendo que a eliminação de maclas é bastante frequente.

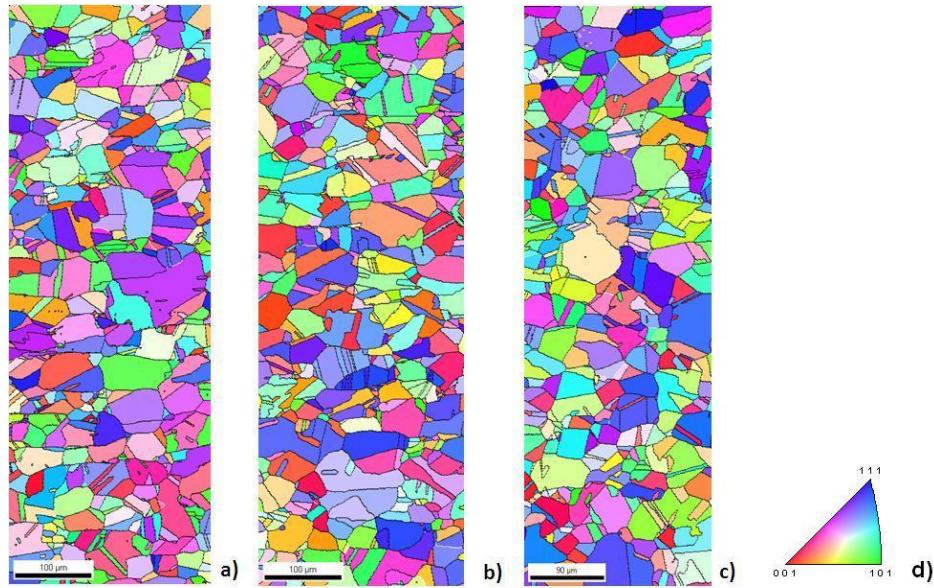


Figura 1 – Mapeamentos de orientação (a-c) para as amostras do aço inoxidável UNS 30409 na condição laminado a quente, d) Código de cores. As linhas pretas indicam os contornos de alto ângulo (acima de 15°), enquanto que os contornos de baixo ângulo são indicados por linhas brancas.

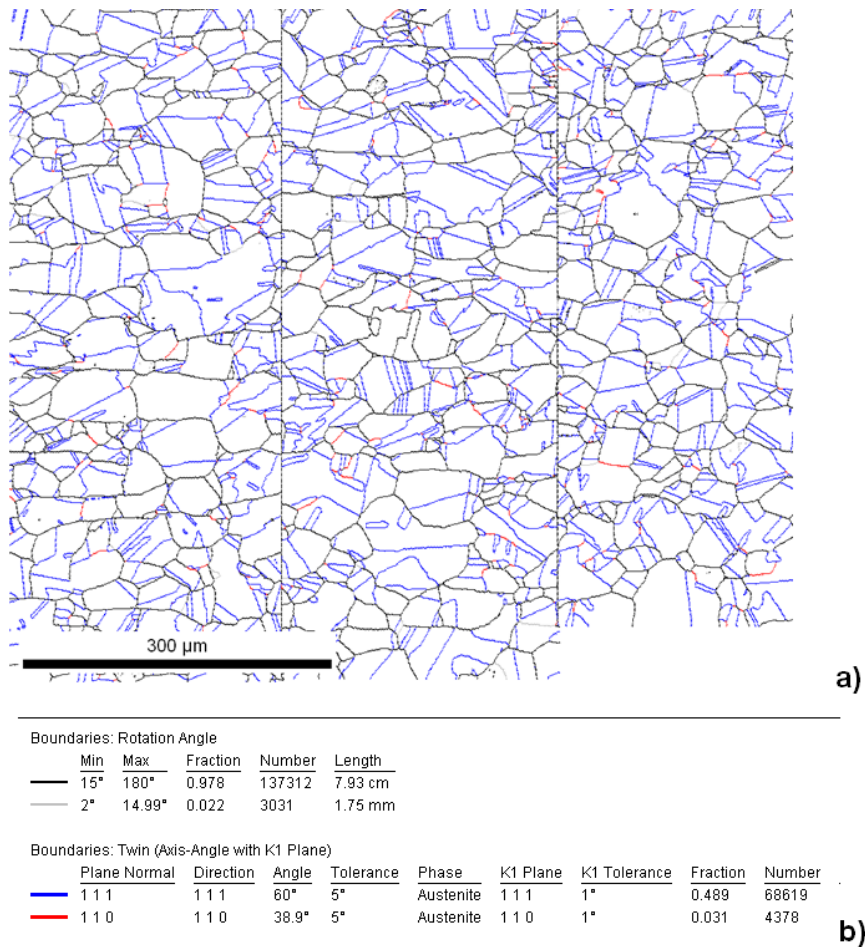


Figura 2 – Mapeamentos de contornos para as amostras do aço inoxidável UNS 30409 na condição laminado a quente.

Os gráficos da Figura 3 mostram a predominância dos contornos de macla na microestrutura. A Figura 3a mostra a distribuição dos contornos especiais do tipo CSL na microestrutura. Note que o contorno do tipo CSL $\Sigma 3$, macla de recozimento, é predominante com uma fração próxima de 50%. Note também que a soma das frações de todos os outros contornos do tipo CSL não atingem 10%. A Figura 4b mostra a distribuição dos contornos de grão na microestrutura. A desorientação próxima de 60° é bastante elevada, pois indica a diferença de orientação entre regiões intragranulares que sofreram maclação durante a recristalização dinâmica. Os contornos de macla de recozimento são obtidos a partir do grão original girando-se cerca de 60° em torno de $\langle 111 \rangle$ (6,11).

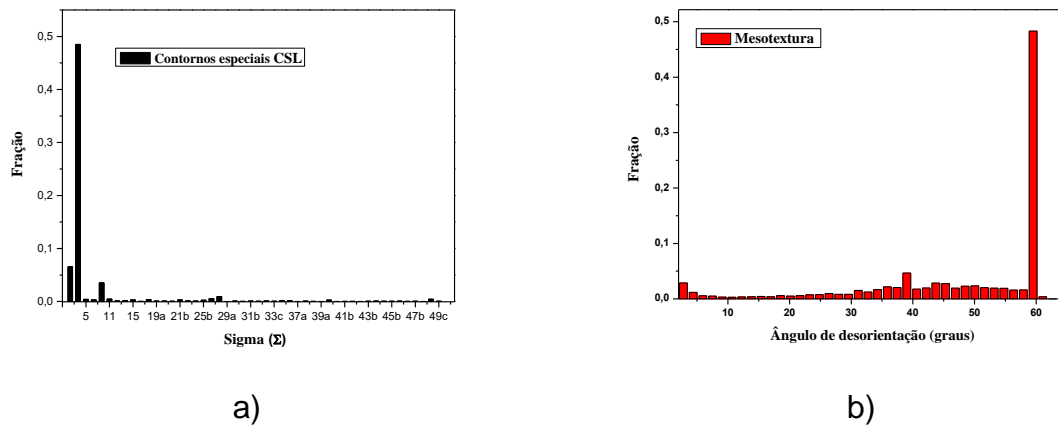


Figura 3 – Distribuição dos contornos de grão na microestrutura do aço UNS 30409 na condição laminado a quente – a) contornos especiais CSL e b) mesotextura.

CONCLUSÃO

O presente artigo investigou a microestrutura e a mesotextura do aço UNS 30409 laminado a quente. Os resultados mostraram que a microestrutura é predominantemente formada por grão equiaxiais recristalizados dinamicamente. A presença de contornos de maclas é dominante na microestrutura e responde por aproximadamente 50% dos contornos de alto ângulo.

REFERÊNCIAS

- (1) MEYERS, M. A.; VHRINGER, O.; LUBARDA, V.A. The onset of twinning in metals: a constitutive description. *Acta Materialia*, v.49, p.4025–4039, 2001.
- (2) YAN, F. K.; LIU, G. Z.; TAO, ; LU, K. Strength and ductility of 316L austenitic stainless steel strengthened by nano-scale twin bundles. *Acta Materialia*, v.60, p.1059–1071, 2012.

- (3) CALMUNGER, M. High-temperature behaviour of austenitic alloys. 2013, 85p. Tese (Doutorado em Tecnologia). Linköping University. Suécia.
- (4) JIN, Y. Annealing twin formation mechanism. 2015, 208p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais). MINES ParisTech. França.
- (5) CHRISTIAN, J. W.; MAHAJAN. S. Deformation twinning. Progress in Materials Science, v.39, p.1–157, 1995.
- (6) HUMPHREYS, F.J.; HATHERLY, M. Recrystallization and Related Annealing Phenomena. London: Elsevier, 2005.
- (7) CARPENTER, H.C.H.; TAMURA, S. Proceedings of the Royal Society A. v.113, p.28-43, 1926.
- (8) GERTSMAN, V.Y.; TANGRI, K.; VALIEV, R.Z. Acta Metall. Mater. v.42, p.1785-1804, 1994.
- (9) CHRISTIAN, J.W.; MAHAJAN, S. Prog. Mater. Sci., v.39, p.1-157, 1995.
- (10) MEYERS, M.A.; MURR, L. A model for the formation of annealing twins in f.c.c. metals and alloys. Acta Metallurgica. v.26, p.951-962. 1978.
- (11) Rath, B.B.; Imam, M.A.; Pande, C.S. Nucleation and grain growth of twin interfaces in fcc metals and alloys. Mater. Phys. Mech. v.1, p.61-66, 2000.
- (12) MAHAJAN, S.; PANDE, C.S.; IMAM, M.A.; RATH, B.B. Formation of annealing twin in f.c.c. crystals. Acta Materialia. v.45, p.2633–2638, 1997.
- (13) PANDE, C.S.; IMAM, M.A.; RATH, B.B. Study of annealing twins in FCC metals and alloys. Metallurgical transactions. A, Physical metallurgy and materials science. v.21, p.2891-2896, 1990.
- (14) GLEITER, H. The formation of annealing twins. v.17, p1421-1428, 1969.

MICROTEXTURAL CHARACTERIZATION OF THE HOT ROLLED AUSTENITIC STAINLESS STEEL UNS 30409 USING ELECTRON BACKSCATTER DIFFRACTION MEASUREMENTS (EBSD)

Abstract

The annealing twins can be observed in metal with face-centered cubic crystal structure (FCC) with medium or low stacking fault energy (SFE). The annealing twin boundary, $\Sigma 3$ type, it is quite relevant and can affect various properties of metals such as corrosion and fatigue resistance. In this work, samples were metallographically prepared using grinding e polishing. The sample characterization using the scanning electron microscopy (SEM) was carried out. The mesotexture of the UNS 30409 steel was characterized using electron backscatter diffraction measurements (EBSD) after hot-rolling deformation. The results were both collected and analyzed using the EDAX-TSL softwares. The distribution of the CSL boundaries and the fraction of annealing twin boundaries were investigated. The results have showed that dynamic recrystallization took place. High fraction of high angle boundaries, particularly, high fraction of annealing twin, $\Sigma 3$ type, was observed in the microstructure.

Key-words: UNS 30409, annealing twins, microtexture, mesotexture, EBSD.