

FORMAÇÃO DA TEXTURA DE RECRISTALIZAÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS AISI 430A E 430E¹

Alberto Luiz Nascimento Costa²
Carlos Sérgio da Costa Viana³
Sheyla Santana de Carvalho²
Hamilton Ferreira Gomes de Abreu⁴

Resumo

O presente estudo apresenta os resultados obtidos da textura e microtextura de dois aços inoxidáveis ferríticos, AISI 430A e 430E, submetidos a laminação a frio e recozimento, com o intuito de acompanhar a formação da textura de recristalização de ambos os materiais. Os materiais foram fornecidos como chapas na condição de laminadas a quente, com 4mm de espessura, pela ACESITA S.A. e, em seguida, foram laminados 80% a frio e recozidos em banho de sal, por 30 s em temperaturas várias. Após estes tratamentos, as amostras foram analisadas através de medição da textura cristalográfica pela técnica de EBSD (“Electron Backscatter Diffraction”) e MIO (Microscopia de Imagens Orientadas). Os resultados experimentais mostraram que as texturas observadas nos dois aços foram semelhantes. Os mapas de orientações e suas correspondentes figuras de pólo inversas mostraram que as principais orientações presentes nos dois materiais foram $\{111\}\langle 101 \rangle$, $\{100\}\langle 011 \rangle$ e $\{100\}\langle 001 \rangle$. Também foi visto que os grãos $\{111\}\langle uvw \rangle$ recristalizam primeiro em colônias de grãos alinhados, enquanto grãos próximos $\{001\}\langle uvw \rangle$ permanecem recuperados.

Palavras-chave: Aço inoxidável ferrítico; Textura de recristalização; EBSD; MIO.

DEVELOPMENT OF RECRYSTALLIZATION TEXTURES IN AISI 430A AND AISI 430E FERRITIC STAINLESS STEELS

Abstract

The present is a study of the texture and microtexture of two ferritic stainless steels, AISI 430A and AISI 430E, subject to thermomechanical treatments aiming at a better understanding of the formation of the recrystallisation texture in these materials. The materials were supplied as 4mm thick hot rolled sheets by ACESITA S.A., being 80% cold rolled and annealed in a salt bath, for 30 s, at various temperatures. Samples were analysed for texture and microtexture by EBSD and OIM techniques. The analysis of the orientation maps and corresponding inverse pole figures showed that the main components present in the treated materials were $\{111\}\langle 10\bar{1} \rangle$, $\{001\}\langle 100 \rangle$ and $\{001\}\langle 110 \rangle$. It was also observed that the $\{111\}\langle uvw \rangle$ grains recrystallise firstly and in elongated colonies while grains whose orientations are near to $\{001\}\langle uvw \rangle$ remain recovered.

Key words: Ferritic stainless steel; Recrystallization textures; EBSD; OIM.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Mestre em Ciência dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia - IME - RJ.*

³ *PhD em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia - IME - RJ.*

⁴ *Doutor em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Fortaleza - CE, Brasil.*

INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos tipo AISI 430 são muito usados na indústria de Linha Branca e Civil, as quais necessitam de operações de embutimento e estiramento. Nestas aplicações de conformação, alguns problemas podem ser gerados, sendo que um defeito observado com certa frequência é o fenômeno de “ridging” ou “roping”, também conhecido como estriamento.⁽¹⁾

Ao longo dos anos, muitos pesquisadores têm se dedicado a tal problema e sugeridos diferentes mecanismos para explicar este fenômeno, porém não existe ainda um consenso definitivo.

O Grupo de Textura Cristalográfica (GTC) do Instituto Militar de Engenharia tem voltado atenções para a busca de um melhor entendimento de como esse defeito deve surgir e essa investigação começou a gerar resultados interessantes a partir do ano de 2003, através do estudo realizado por Cândido.⁽²⁾ Cândido analisou a microestrutura, microtextura, textura e perfilometria de três aços inoxidáveis ferríticos no estado recozido com diferentes níveis de estriamento.

Após análises através de metalografia quantitativa, medição da textura cristalográfica utilizando a técnica de EBSD (*Electron Backscatter Diffraction*) e MIO (Microscopia de Imagens Orientadas) e do grau de severidade do estriamento, medido através de um rugosímetro a laser, Cândido tirou conclusões interessantes, entre as quais verificou que: quando a textura apresentada pelas chapas, é formada por colônias de grãos com orientações $\{111\}\langle 112\rangle$ e $\{001\}\langle 110\rangle$ ou próximas a estas e caso as mesmas se encontram distribuídas aleatoriamente no material, não ocorreria o estriamento observado.

Este trabalho tem como objetivo investigar como ocorre a formação da textura de recristalização, através do acompanhamento da cinética de recristalização em dois aços inoxidáveis ferríticos do tipo AISI 430A (16%Cr) e 430E (16%Cr, 0,36%Nb e 0,10%Ti).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesse estudo foram dois aços inoxidáveis ferríticos, onde um é do tipo AISI 430A (16% Cr) e o outro é do tipo AISI 430E (16%Cr, 0,36% Nb, 0,10%Ti), gentilmente cedidos pela ACESITA em forma de bobina quente decapada, com espessura inicial de 4 mm. A composição química desses materiais é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química, em % peso, dos aços estudados.

	C	Mn	Si	Cr	P	S	Ti	Nb	N	Ni
430A	0,052	0,425	0,460	16,1	0,026	0,001	0,009	0,023	0,055	0,269
430E	0,018	0,206	0,326	16,2	0,032	0,001	0,104	0,363	0,021	0,289

Esses materiais foram deformadas 80% a frio, em um laminador piloto com cilindros de 100mm de diâmetro e recozidos em banho de sal por 30 s. As temperaturas utilizadas nos tratamentos térmicos foram determinadas de acordo com a faixa de temperatura de recristalização de cada aço. Para o aço 430A utilizaram-se as seguintes temperaturas: 750°C, 800°C e 850°C. Para o aço 430E as temperaturas de tratamento térmico foram: 825°C, 850°C e 875°C para o 430E.

Após a deformação a frio e recozimento as amostras foram embutidas em baquelite de modo que a seção a ser observada fosse sempre a direção de laminação. Foi feito lixamento em uma politriz com lixas d'água de 220, 320, 400,

600 e 1200 mesh. Logo após, foi feito um polimento mecânico usando pasta de diamante 6, 3 e 1 microns. Em seguida as amostras foram atacadas quimicamente com reagente Villela (95 ml de álcool etílico, 1 grama de ácido pícrico e 5 ml de HC), através de imersão durante 50 s, aproximadamente. Posteriormente as amostras foram submetidas a polimento em sílica coloidal por 60 minutos, aproximadamente.

As varreduras foram feitas na Universidade Federal do Ceará e utilizou-se um EBSD da OXFORD, instalado num MEV da PHILIPS, modelo XL – 30 SERIES, com filamento LaB6. Todas as análises foram feitas com tensão de 20kV, corrente do filamento de 70 μ A, *spot size* de 6, WD (distância de trabalho) entre 10 e 15mm, inclinação do porta amostra de 70° e aumento de 400X. A seção onde as varreduras foram realizadas foi exatamente a mesma observada na microscopia óptica, porém a seção a ser mostrada nesse trabalho será a seção correspondente ao plano da chapa, uma vez que o software do EBSD utilizado permite projetar a superfície do plano da chapa (DN).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Microestrutura

As microestruturas apresentadas para os aços tratados termicamente são referentes aos mapas de qualidade da imagem (IQ) construídos através de microscopia por orientação de imagem (MIO) e nos permite observar nitidamente as regiões de grãos recuperados e recristalizados. O aço 430A tratado a 750°C apresenta uma microestrutura parcialmente recristalizada com novos grãos surgindo a partir da matriz recuperada. Esse aço quando tratado a 800 e 850°C apresenta microestrutura completamente recristalizada com tamanho de grão da ordem de 17 e 21 μ m, respectivamente. As microestruturas do aço 430A tratado termicamente são mostradas nas Figuras 1, 2 e 3. Em todas as figuras a direção de laminação é vertical.

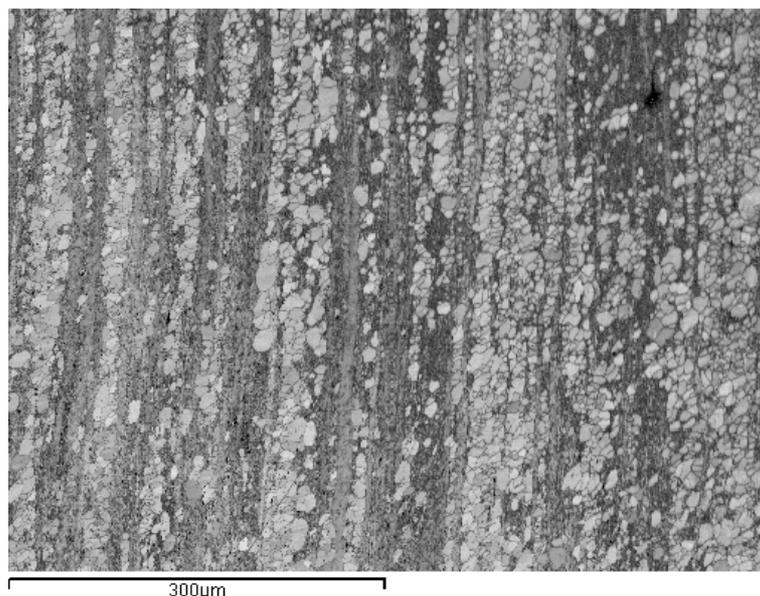


Figura 1. Microestrutura do aço 430A tratado a 750°C.

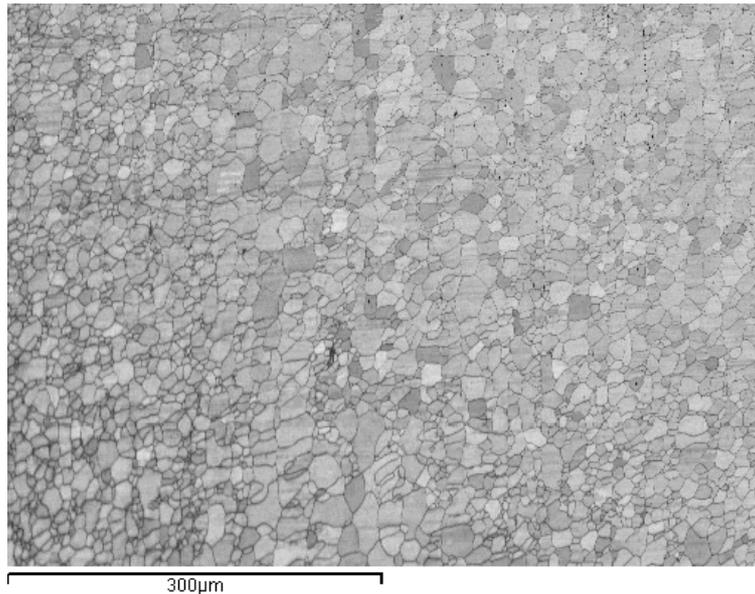


Figura 2. Microestrutura do aço 430A tratado a 800^oC.

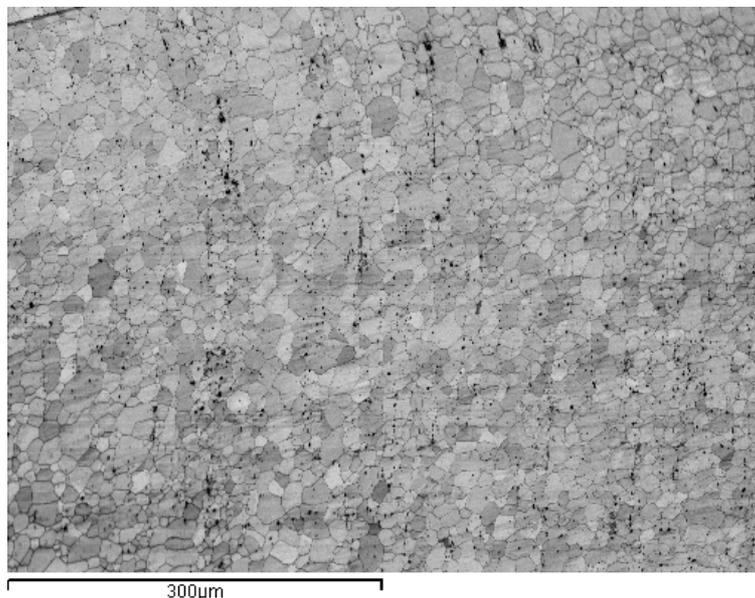


Figura 3. Microestrutura do aço 430A tratado a 850^oC.

O aço 430E tratado a 825 e 850^oC apresentaram microestrutura parcialmente recristalizada, com frações de recristalização – medidas pela técnica de limiarização⁽³⁾ - conversão de imagens em tons de cinza para imagens binárias - de 48 e 62%, respectivamente. Nesses aços também se observou que os novos grãos surgem a partir da matriz de grãos recuperados. Quando tratado a 875^oC esse aço apresentou microestrutura completamente recristalizada com tamanho de grão da ordem de 21μm. As Figuras 4, 5 e 6 mostram as microestruturas do aço 430E tratado termicamente.

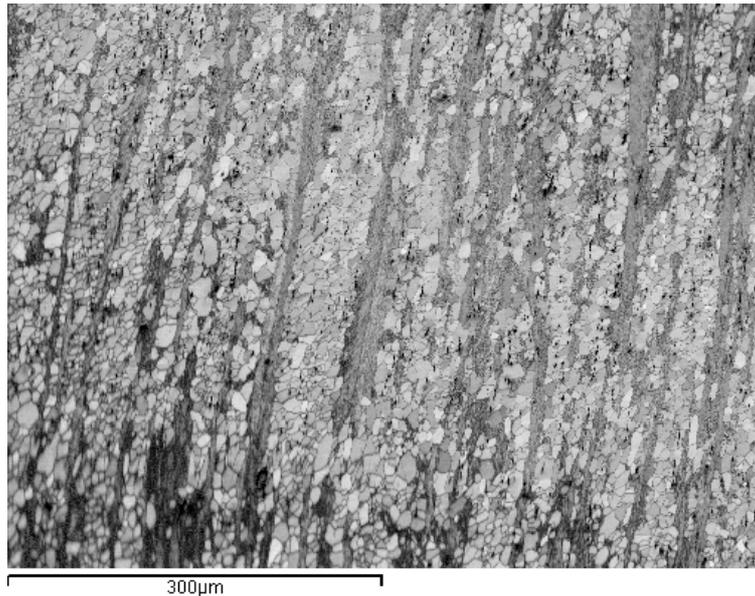


Figura 4. Microestrutura do aço 430E tratado a 825^oC.

Diante dessas microestruturas observa-se que os dois materiais quando parcialmente recristalizados, apresentam grãos recuperados (regiões escuras) e grãos recristalizados (grãos claros) arrumados, com freqüência, em colônias alongadas.

EBSD e MIO

A técnica de EBSD utilizada tem como principal objetivo determinar as orientações presentes nos aços à medida que o processo de recristalização evolui e os resultados obtidos, através dessa técnica, são inéditos. Aqui serão apresentados e discutidos os mapas de orientação e figuras de pólo inversas das seções que representam o plano da chapa (DN) e o plano da direção de laminação (DT). A Figura 7 apresenta o triângulo estereográfico de referência, utilizado para identificar as principais orientações presentes nos aços em estudo.

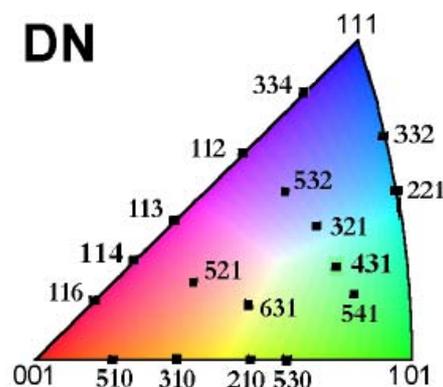


Figura 7. Triângulo estereográfico de referência para auxílio da interpretação dos mapas de orientação.

As Figuras 8, 9 e 10 nos permitem observar que as principais orientações presentes no aço 430A tratado a 750^oC, 800^oC e 850^oC são: {100}<uvw>, grãos vermelhos, {111}<uvw>, grãos azuis e, em menor quantidade, {101}<uvw>.

As Figuras 11, 12 e 13, referentes ao aço 430E tratado a 825, 850 e 875^oC, respectivamente também mostram que as principais orientações presentes são: {100}<uvw>, grãos vermelhos, {111}<uvw>, grãos azuis e, em menor quantidade, {101}<uvw>.

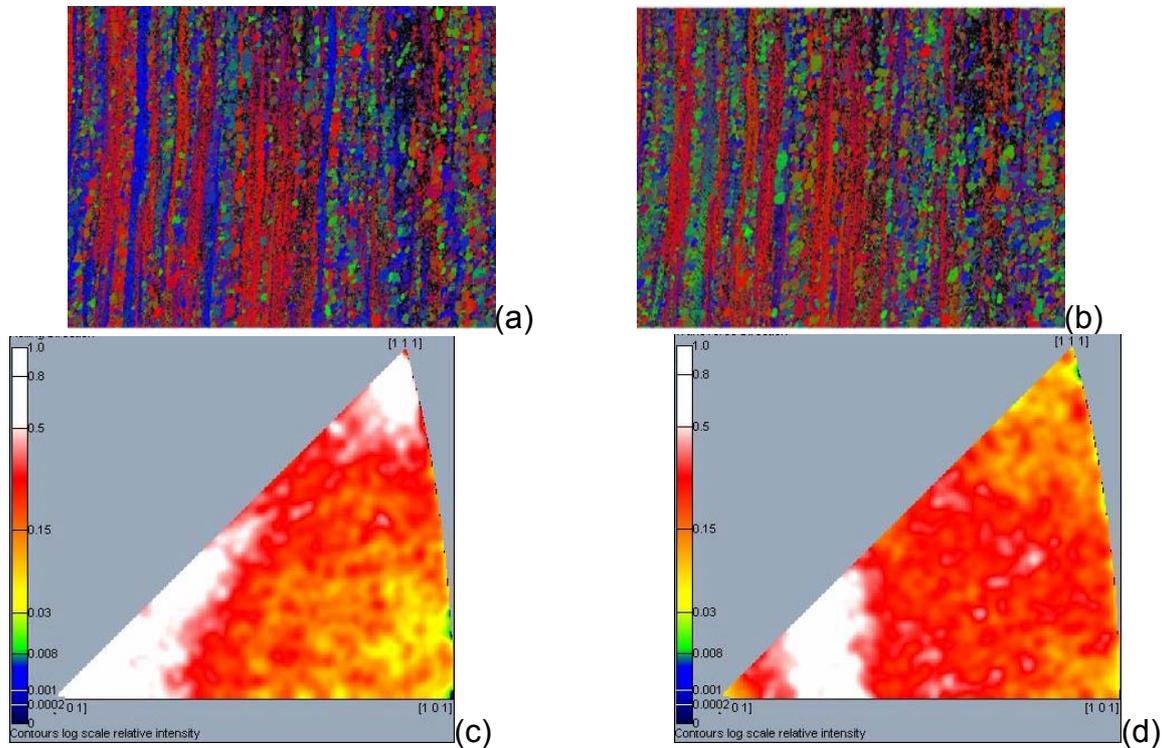


Figura 8. Mapas de orientação da superfície da chapa - DN - (a), da direção de laminação - DT - (b) e respectivas figuras de pólo inversas (c) e (d). Material 430A tratado a 750^oC. DL é vertical.

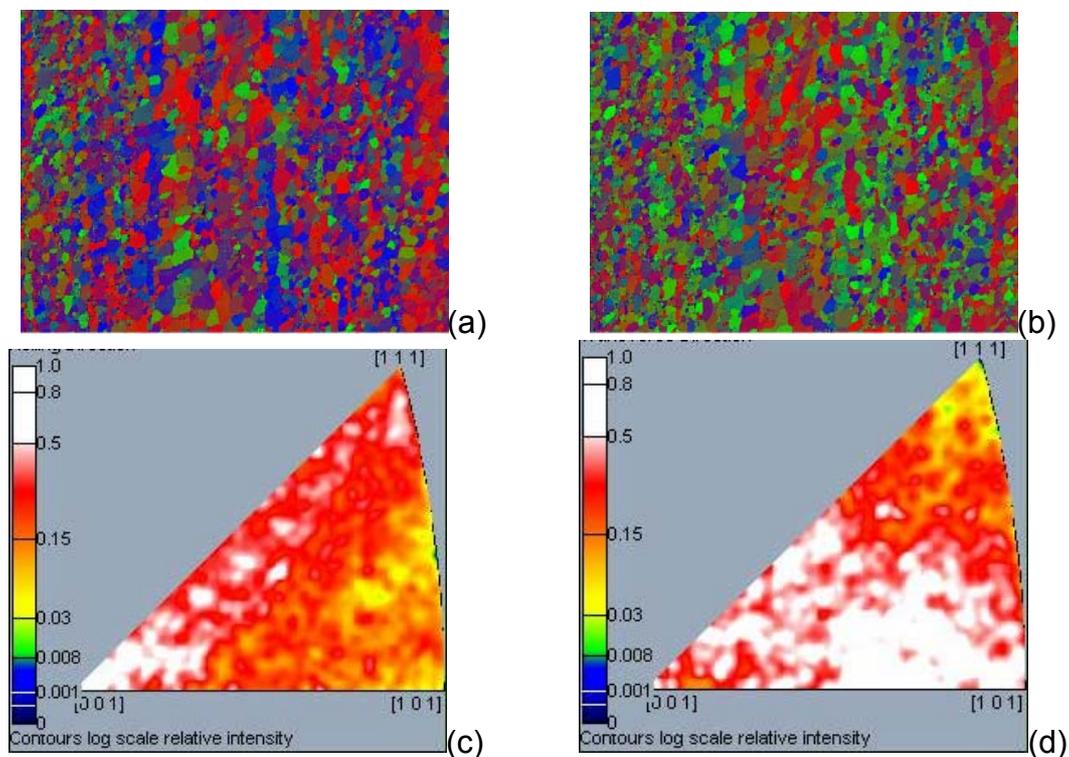


Figura 9. Mapas de orientação da superfície da chapa - DN - (a), da direção de laminação - DT - (b) e respectivas figuras de pólo inversas (c) e (d). Material 430A tratado a 800^oC. DL é vertical.

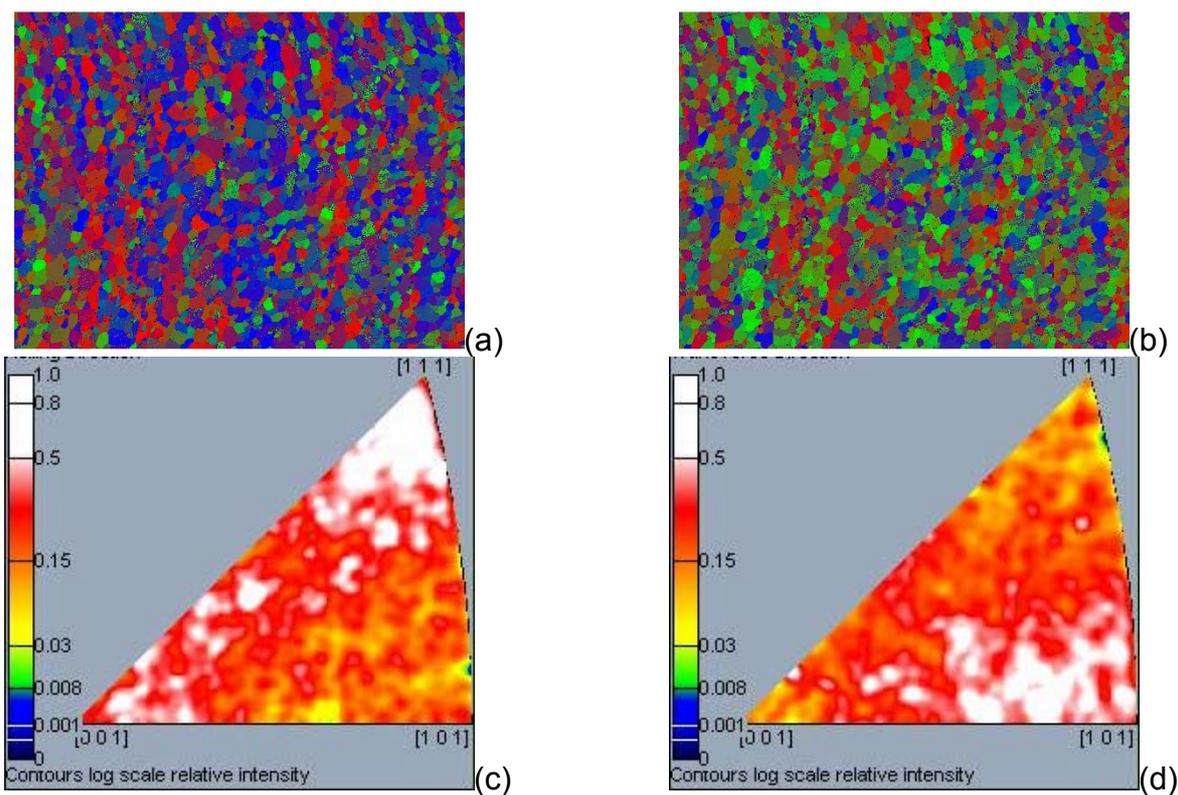


Figura 10. Mapas de orientação da superfície da chapa - DN - (a), da direção de laminação - DT - (b) e respectivas figuras de pólo inversas (c) e (d). Material 430A tratado a 850 °C. DL é vertical.

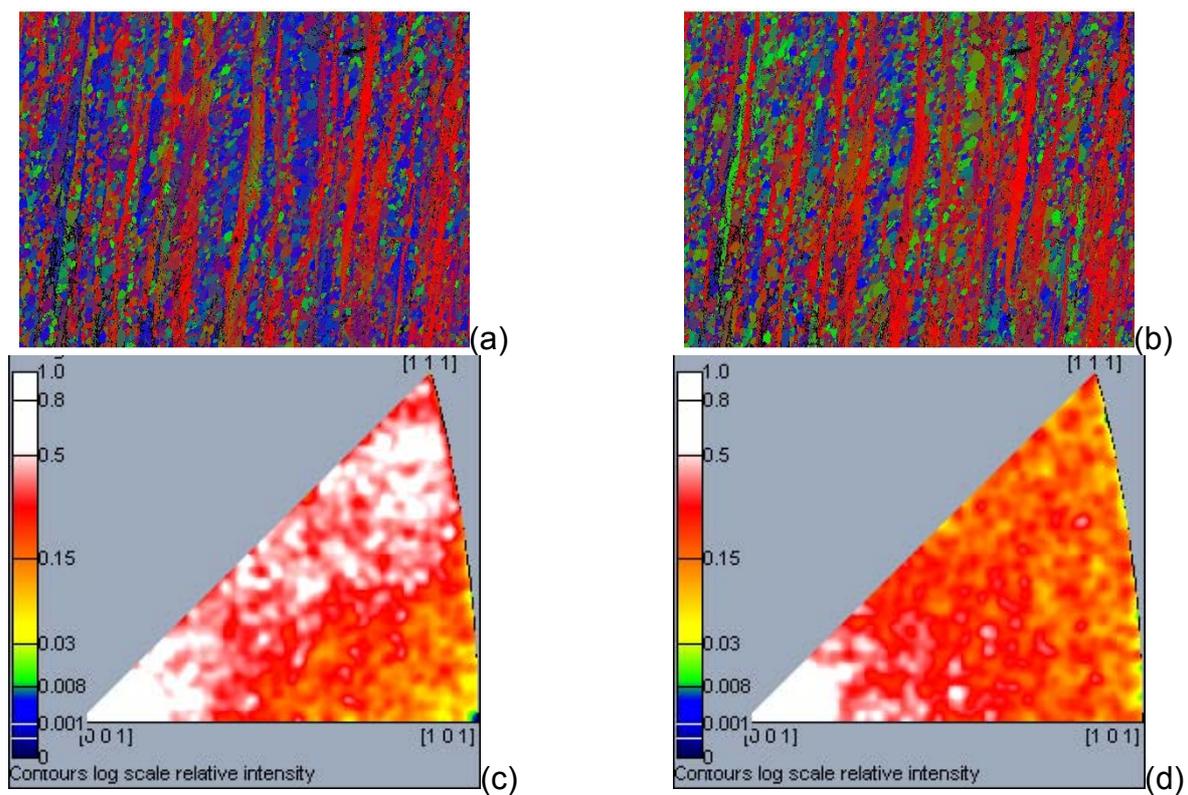


Figura 11. Mapas de orientação da superfície da chapa - DN - (a), da direção de laminação - DT - (b) e respectivas figuras de pólo inversas (c) e (d). Material 430E tratado a 825 °C. DL é vertical.

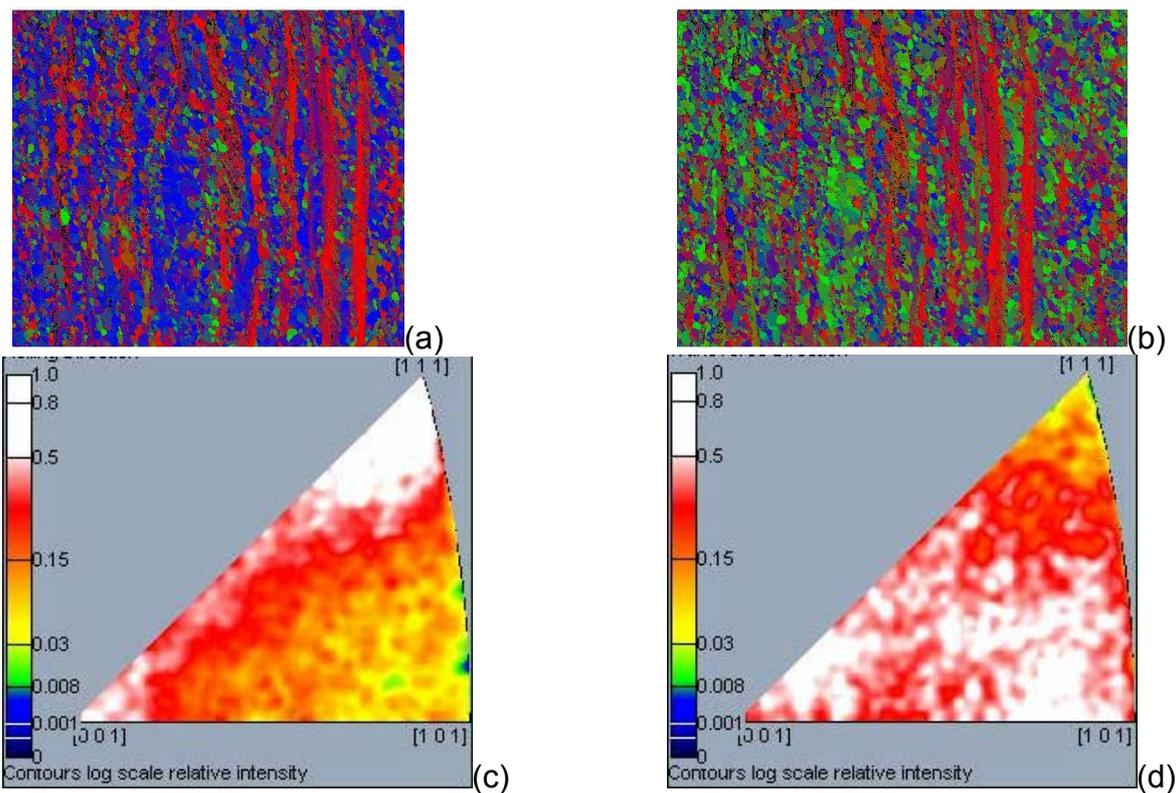


Figura 12. Mapas de orientação da superfície da chapa - DN - (a), da direção de laminação - DT - (b) e respectivas figuras de pólo inversas (c) e (d). Material 430E tratado a 850 °C. DL é vertical.

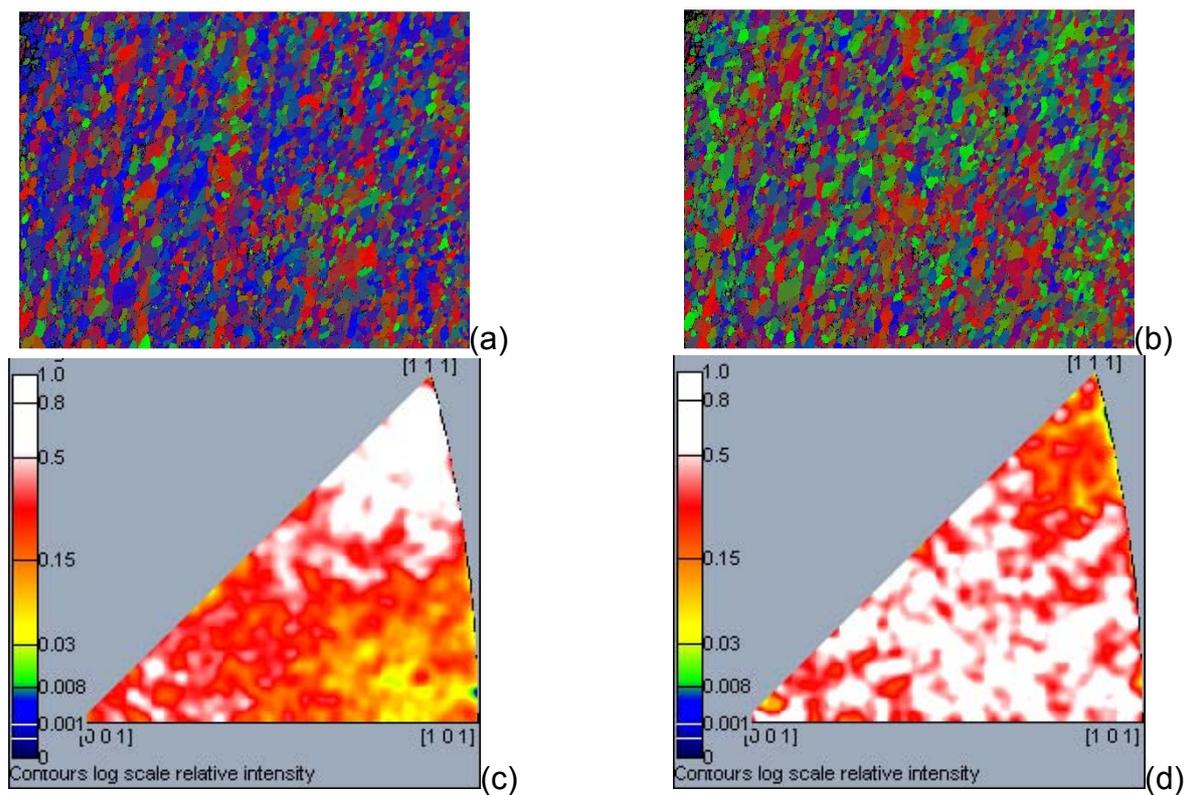


Figura 13. Mapas de orientação da superfície da chapa - DN - (a), da direção de laminação - DT - (b) e respectivas figuras de pólo inversas (c) e (d). Material 430E tratado a 875 °C. DL é vertical.

Essas figuras mostram que à medida que a temperatura de tratamento aumenta, a porcentagem de grãos azuis $\{111\}\langle uvw \rangle$ também sofre um aumento, enquanto a fração de grãos vermelhos $\{100\}\langle uvw \rangle$ diminui.⁽⁵⁾ Essas figuras nos dão uma idéia qualitativa das orientações presentes nos dois materiais, porém seria necessário quantificar essas componentes.

As figuras de pólo inversas referentes ao plano da chapa (DN) nos permitem observar os planos presentes após cada tratamento térmico, enquanto as figuras de pólo inversas referentes à direção de laminação (DT) se referem às direções presentes nos materiais. Através da combinação entre essas figuras de pólo inversas pode-se encontrar as componentes presentes nesses materiais. Logo se percebe que as principais orientações presentes nesses materiais são: $\{001\}\langle 110 \rangle$, $\{111\}\langle 1\ 0\ \bar{1} \rangle$ e $\{001\}\langle 100 \rangle$.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e discutidos foi possível observar que as principais orientações presentes são: $\{100\}\langle 001 \rangle$, $\{111\}\langle 1\ 0\ \bar{1} \rangle$ e $\{100\}\langle 011 \rangle$. Os resultados também permitem observar que, de um modo geral, à medida que a temperatura do tratamento térmico aumenta, a fração de grãos azuis $\{111\}$ sofre um aumento, enquanto os grãos vermelhos $\{100\}\langle uvw \rangle$ diminui. Isso permite concluir que nos dois aços a componente $\{111\}\langle uvw \rangle$ recristaliza primeiro, formando colônias de grãos alongados na direção de laminação e as regiões recuperadas estão associadas a orientações $\{100\}\langle uvw \rangle$.

Agradecimentos

Os autores agradecem a ACESITA por ter fornecido o material e a CAPES por ter colaborado diretamente na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SHIN, H. J., AN, J. K., PARK, S. H., LEE, D. N. The Effect of Texture on Ridging of Ferritic Stainless Steel. *Acta Materialia*, Vol. 51, p. 4693-4706, 2003.
- 2 CÂNDIDO, F., S. **Origens do Estriamento de Estampagem dos Aços Inoxidáveis Ferríticos Tipo AISI 430**. 2003. Tese (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia, IME-RJ, Rio de Janeiro.
- 3 PINTO, A. L., LOPES, A, M. A Utilização da técnica de EBSD em Estudos de Microtextura e Mesotextura. II Workshop sobre Textura e Relações de Orientação: Deformação Plástica, Recristalização e Crescimento de Grão, IPEN-SP, São Paulo, p. 440-448, 2003.
- 4 RAABE, D., LUCKE, K. Annealing textures of BCC Metals. *Scripta Metallurgica et Materialia*, Aachen, Germany, Vol. 27, p. 1533-1538, 1992.