

INFLUÊNCIA DA TEXTURA CRISTALOGRÁFICA NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS ESTABILIZADO E NÃO ESTABILIZADO AO Nb

Miguel Angel Narvaez Ardila, miguelnpb@hotmail.com

Wilian da Silva Labiapari, wilian.labiapari@aperam.com

José Daniel Biasoli de Mello, ltm-demello@ufu.br

Resumo. O objetivo deste trabalho é estudar a influência da textura cristalográfica e resistência à corrosão de aços inoxidáveis ferríticos estabilizados e não estabilizados ao nióbio. Usou-se para o estudo os aços inoxidáveis ferríticos ASTM S43000 com e sem estabilização ao Nb. Neles realizou-se uma caracterização cristalográfica (EBSD) por meio de figura de polos inversa (IPF) e da função de distribuição de orientação cristalina (FCOD). As amostras foram submetidas a ensaios de polarização potenciodinâmica anódica (desaeração por gás argônio de alta pureza) para soluções de 3,56% NaCl e 1N de H_2SO_4 e depois dos ensaios examinadas na superfície por microscopia MEV. A análise dos resultados mostrou claramente que a textura cristalográfica influencia a resistência à corrosão. O nióbio diminui a presença de orientações preferenciais, e, por consequência, a influência da textura na resistência à corrosão, no entanto aumenta a resistência à corrosão nos aços inoxidáveis pela formação de carbonetos de nióbio.

Palavras chave: Polarização potenciodinâmica, corrosão, textura cristalográfica, elementos estabilizadores, aços inoxidáveis ferríticos, Nióbio.

1. INTRODUÇÃO

É de singular importância ampliar o conhecimento e entendimento do fenômeno corrosivo e sua interação (sinergia) com outros fenômenos, por exemplo, os fenômenos tribológicos. De acordo com isso, alguns avanços no estudo de aços inoxidáveis podem ser interessantes para continuar pesquisando em base a esses resultados.

Estudos anteriores comprovaram que aços inoxidáveis laminados a quente apresentam texturas cristalográficas preferentes com orientações $\{001\}\langle 110 \rangle$, $\{111\}\langle 110 \rangle$ e $\{112\}\langle 110 \rangle$ (Coelho, 2000). Um estudo anterior mostrou que aços ferríticos, com e sem estabilização de Nb ou Ti, possuem uma gradiente de textura ao longo da espessura das amostras estudadas. Foi observado que a textura de cisalhamento de Goss varia sua intensidade com a posição na espessura. Para a posição correspondente ao centro da amostra, observaram que a textura da fibra α na orientação $\{100\}\langle 110 \rangle$ era predominante (Raabe e Lucke, 1992). Um estudo mais recente observou que, para aços ferríticos AISI 430, a textura cristalográfica varia ao longo da espessura após o processo de laminação a quente (Schwarten, 2007). Relacionando essas texturas com a principal característica dos aços inoxidáveis, a corrosão, se afirma que a alta densidade de empacotamento dos planos e orientações cristalinas oferece uma melhor resistência ao ataque químico e de passivação, com melhores características de repassivação (Chouthai e Elayaperumal, 1976). Mais recentemente, afirmaram que as orientações $\langle 111 \rangle$ e $\langle 100 \rangle$ possuem uma maior resistência ao pite por sua densidade atômica, e espera-se que orientações com menor densidade atômica possuam uma menor resistência ao pite (Shahryari; Szpunar; Omanovic, 2009).

Procurando novas opções para aços inoxidáveis, em que os aços inoxidáveis ferríticos são uma opção mais econômica que os aços austeníticos e duplex, este trabalho tem como objetivo estudar a influência da textura cristalográfica e resistência à corrosão de aços inoxidáveis ferríticos estabilizados e não estabilizados ao nióbio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram os aços ferríticos ASTM S43000 com e sem estabilização ao nióbio (P430A sem Nb e P430E com Nb). Esses aços são laminados a quente e apresentam uma gradiente de textura através da sua superfície como foi indicado na Introdução.

As dimensões das amostras foram de 25x25 mm. Utilizou-se três tipos de espessura de amostra para cada aço (espessura original da chapa é 4 mm), para obter texturas cristalográficas preferenciais diferentes na superfície das amostras. Estas espessuras foram: a) 100% da espessura original (4 mm); b) 50% da espessura original, centro (2mm); e c) 80% do centro à superfície da espessura original da chapa (3,6 mm). Para chegar às espessuras de 80% e 50% utilizou-se usinagem convencional. Com objetivo de ter um maior entendimento apresenta-se uma representação gráfica na Fig. 1. A preparação superficial das amostras realizou-se etapa de lixamento com lixas de grana de P120, P220, P320 e P600.



Figura 1. Posições de elaboração das amostras de acordo com a espessura original da chapa.

Para a análise de textura cristalográfica utilizou-se um “*Electron Back Scattered Diffraction*” (EBSD) convencional, acoplado MEV com filamento de LaB6, marca PHILIPS, modelo XL-30. Os dados obtidos pela técnica EBSD foram analisados no software “OIM Analysis[®]”. Para uma descrição qualitativa das orientações cristalográficas usou-se a figura de polos inversa (IPF), e para uma descrição quantitativa usou-se a função de distribuição de orientações cristalográficas (FDOC).

Para os ensaios de polarização potenciodinâmica usou-se um potenciostato do fabricante BioLogic, modelo SP150. Os “softwares” de aquisição e processamento de dados usados foram *EC Lab[®]V10.18* e *EC Lab Express[®] V5.4*, respectivamente, fornecidos pelo fabricante. Os ensaios foram efetuados numa célula eletroquímica plana do fabricante BioLogic modelo EL-FLAT 3. Como contra eletrodo foi usada uma gaze de Platina de 80 mesh e para o eletrodo de referência escolheu-se o eletrodo saturado de Calomelano. Usaram-se dois meios eletrolíticos: solução de água destilada com 3,56% de NaCl em peso e solução 1 N de H₂SO₄ em água destilada.

Após os ensaios de polarização potenciodinâmica as amostras foram examinadas por meio de microscopia MEV especificado anteriormente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização da textura cristalográfica

As figuras de polo inversa dos resultados da análise de textura por EBSD são apresentadas na Fig. 2. Para uma descrição quantitativa das orientações cristalográficas usou-se a função de distribuição de orientações cristalográficas (FDOC). Os gráficos, quantificando as texturas preferenciais, são apresentados na Fig. 3, para o aço P430E, e na Fig. 4, para o aço P430A.

O aço P430E tem texturas preferenciais de tipo fibra α $\{100\} \langle 110 \rangle$ na região central da chapa, e a textura de cisalhamento Goss $\{011\} \langle 100 \rangle$ na posição correspondente a 70% da semiespessura a partir do centro. As texturas preferenciais de fibra α $\{100\} \langle 110 \rangle$ e de cisalhamento Goss $\{011\} \langle 100 \rangle$ são texturas que ocorreram tanto no aço P430A quanto no P430E. A intensidade da fibra α é maior na região central do aço P430A. A textura Goss também apresenta maior prevalência no aço P430A, mas seu pico de intensidade está a 75% da espessura (55% do centro à superfície), embora para 90% da espessura seu valor também seja significativo, concordando com estudos anteriormente realizados (Raabe e Lucke, 1922). A diferença de intensidade ao longo da espessura pode ser causada pela estabilização ao Nióbio e influencia do tamanho de grão.

3.2. Influência da textura cristalográfica na resistência à corrosão

Os resultados característicos da polarização potenciodinâmica anódica ao longo da espessura em meio 3,56% NaCl, para os aços P430A e P430E, mostram que a maior resistência está na posição de 3,6 mm, seguido pela posição correspondente a 4 mm (Fig. 5). Para maior clareza, os potenciais de pite foram avaliados e estão apresentados na Fig. 8. O potencial de pite aumenta quando a posição chega a 3,6 mm e diminui até chegar ao centro da amostra (2 mm), ou seja, a resistência à corrosão diminui no centro das amostras. A Fig. 6 mostra que existe influência da textura cristalográfica no potencial de pite, demonstrando que o fenômeno de pite possui um comportamento anisotrópico (Shahryari; Szpunar; Omanovic, 2009).

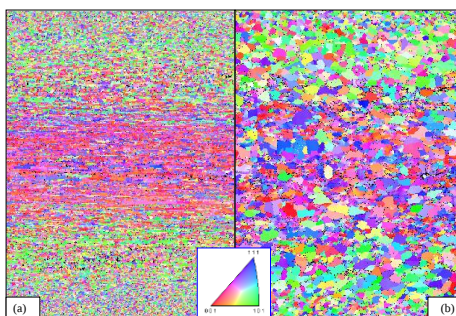


Figura 2. Figuras de polos inversa para os aços: (a) P430A e (b) P430E.

Observando a análise de textura feita via EBSD (Fig. 2, 3 e 4), percebe-se que a orientação das fibras <110> é predominante para os aços P430A e P430E ao longo da espessura, mas a orientação <100> da textura de cisalhamento de Goss aparece para a posição de 3,6 mm. É razoável supor que a presença da orientação <100> na textura de cisalhamento proporciona um aumento da resistência ao pite nos aços ferríticos.

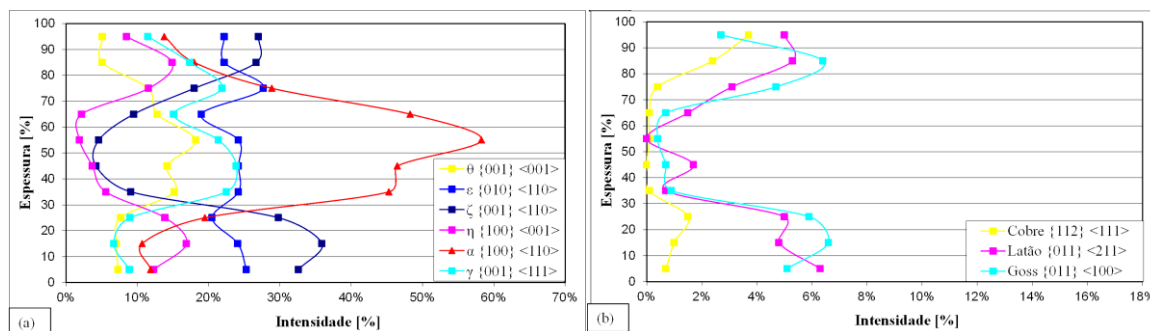


Figura 3. Intensidade de texturas ao longo da espessura para o aço P430E. (a) Fibras e (b) Cisalhamento.

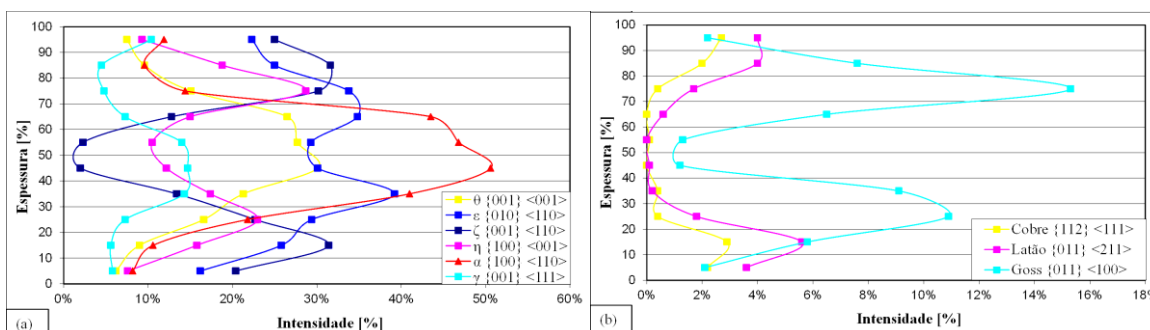


Figura 4. Intensidade de texturas ao longo da espessura para o aço P430A. (a) Fibras e (b) Cisalhamento.

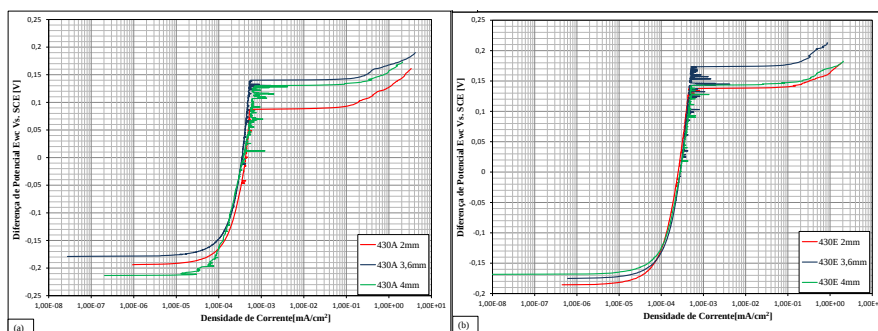


Figura 5. Curva de polarização anódica característica ao longo da espessura em 3.56% NaCl. (a) P430A e (b) P430E.

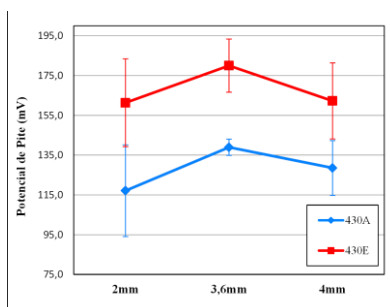


Figura 6. Potencial de pite médio, ao longo da espessura, para os aços P430A e P430E.

Os resultados característicos da polarização potenciodinâmica anódica, ao longo da espessura em meio 1N H₂SO₄ para os aços P430A e P430E, são apresentados na Fig. 7. Os ensaios no meio 1N H₂SO₄ apresentam de melhor forma o comportamento da passivação dos aços estudados quando comparados com os testes em NaCl, já que neste ambiente os

Miguel Angel Narvaez Ardila, Wilian da Silva Labiapari e José Daniel Biasoli de Mello
Influência Da Textura Cristalográfica Na Resistência À Corrosão De Aços Inoxidáveis Ferríticos Estabilizado E Não Estabilizado Ao Nb
aços tem um comportamento ativo-passivo comparando com o comportamento em 3,56% de NaCl, no qual os aços foram totalmente passivos, e desta forma obter informações complementares e validar os resultados obtidos no meio de 3,56% NaCl.

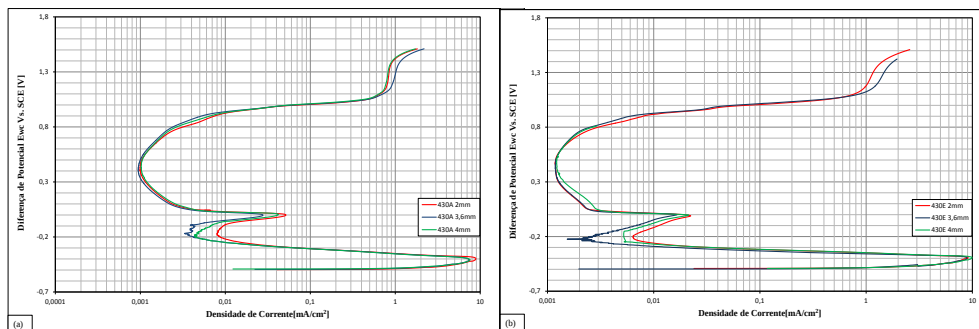


Figura 7. Curvas de polarização potenciodinâmica anódica ao longo da espessura em meio de 1N H₂SO₄. (a) P430A e (b) P430E.

A Tabela 1 apresenta a síntese da textura ao longo da espessura e seu comportamento na corrosão para os aços P430A e P430E, comparando as texturas presentes com maior intensidade ao longo da espessura com o potencial de pite e a corrente crítica de primeira passivação (i_{cfp}).

Tabela 1. Variação da textura ao longo da espessura, para os aços P430A e P430E, e seu comportamento à corrosão por pite e passivação.

Material	i_{min} [mA/cm ²]		i_{cpp} [mA/cm ²]		E_{cpp} [V]		i_{csp} [mA/cm ²]		E_{csp} [V]	
	Media (E-3)	DP (E-5)	Media (E-1)	DP (E-2)	Media (E-1)	DP (E-2)	Media (E-1)	DP (E-2)	Media	DP (E-2)
304 6mm	0,824	5,69	0,021	0,07	-2,547	1,68	104,137	395,57	1,410	0,06
409 6mm	1,770	5,11	271,197	478,94	-2,917	0,42	3,360	8,84	1,137	4,48
410 6mm	1,344	1,16	177,093	248,59	-3,253	0,57	2,233	0,91	1,131	3,40
430A 4mm	1,011	1,00	80,693	42,51	-4,070	0,26	7,837	5,36	1,142	0,60
430E 4mm	1,163	5,04	99,023	17,23	-3,943	0,25	9,690	2,02	1,146	0,73

Realizando micrografias MEV dos aços após os ensaios de polarização potenciodinâmica anódica ao longo da espessura em meio 1N H₂SO₄ (Fig. 13). É evidente que no aço P430E há um ataque que permite a visualização com clareza dos precipitados de carboneto de nióbio e, no aço P430A, os fenômenos corrosivos intergranulares prevalecem.

4. CONCLUSÕES

O fenômeno de corrosão localizada (pite) aparenta ter um comportamento anisotrópico nos aços inoxidáveis ferríticos, e se evidenciou pela influência da textura cristalográfica, principalmente em relação ao potencial de pite. Esse comportamento anisotrópico mostrou que a presença da textura de cisalhamento de Goss (orientação <100>) possui uma influência positiva na resistência à corrosão, e a fibra α {100} <110> influencia negativamente ao potencial de pite. O potencial de pite ao longo da espessura mostrou uma tendência influenciada na região de maior intensidade de textura Goss (orientação <100>), sendo pior no centro da espessura.

A estabilização ao nióbio nos aços inoxidáveis ajudam na proteção da corrosão intergranular, por induzir contornos de grãos menos reativos. Isto fica particularmente evidente ao comparar os aços P430A e P430E, sendo este segundo mais imune ao efeito de corrosão intergranular, por ser estabilizado ao nióbio. Este diminui a presença de orientações preferenciais, portanto, a influência da textura na resistência à corrosão. No entanto, aumenta a resistência à corrosão nos aços inoxidáveis pela formação de carbonetos de nióbio.

4. AGRADECIMENTOS

Equipe do Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM-FEMEC-UFU). Ao Centro de Pesquisa da Aperam South America por sua colaboração no treinamento e fornecimento de material para o desenvolvimento do trabalho. Aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) pelo apoio financeiro.

5. REFERENCIAS

- ABDALLAH, M. Corrosion behavior of 304 stainless steel in sulphuric acid solutions and its inhibition by some substituted pyrazolones. *Materials Chemistry and Physics*. V. 82, p. 786-792, jul. 2003.
- AHMAD, Z. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. 1 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006, 672p.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM G5-94, Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, ASTM, 2004.
- AZUMA, S. *et al.* Effect of Nickel Alloying on Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels. *Corrosion Science*. V. 46, p. 2265-2280, feb. 2004.
- BUNGE, H. J. Theoretical Methods of Texture Analysis. *Crystal Research and Technology*. Oberursel, v. 23, n. 12, p. 1448, dec. 1988.
- CHIN, G. Y. Electrochemical Methods of Corrosion Testing. *Metals Handbook*, v. 13: Corrosion, 9 ed., American Society for Metals, 1985.
- COELHO, E. N. Avaliação da anisotropia em chapas de aços ABNT 430 e ABNT 430 estabilizado ao nióbio e nióbio-titânio. Escola de Engenharia da UFMG, 2000.
- Da SILVA M., L. Estudo da Corrosão Localizada dos Aços Inoxidáveis em Sistemas de Resfriamento Industrial. 2011. 61p. Projeto de Graduação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- ENGLER, O.; RANDLE, V. *Introduction to Texture Analysis - Macrotexture, Microtexture, and Orientation Mapping*. 2 ed. Boca Raton, Florida: CRR Press LLC, 2010, 456p.
- GENTIL, V. *Corrosão*. 2 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1996, 345p.
- LANDOLT, D.; STEMP, M.; MISCHLER, S. Electrochemical methods in tribocorrosion – a critical appraisal. *Electrochim. Acta*. V. 46, p 3913-3929, 2001.
- LOMBARDI, C. COSTA M. Estudo da Influência da Fase Ferrítica Sobre o Comportamento de Corrosão de Aços Inoxidáveis Austeníticos. 1993, 129 p. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Aautarquia Associada a Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PINTO, A. L.; LOPES, A. M. A Utilização da Técnica de EBSD em Estudos de Microtrecitura e Mesotextura. Instituto Militar de Engenharia, 2001.
- RAABE, D.; LÜCKE, K. Influence of Particles on Recrystallization Textures of Ferritic Stainless Steels. *Steel Research*. Great Britain, v. 63, n. 10, p. 457-464, abr. 1992.
- RAABE, D.; LÜCKE, K. Textures of Ferritic Stainless Steels. *Material Science and Technology*. Great Britain, v. 10, p. 302-312, abr. 1993.
- SEO, M. *et al.* The Influence of Minor Alloying Elements (Nb, Ti and Cu) on the Corrosion Resistivity of Ferritic Stainless Steel in Sulfuric Acid Solution. *Corrosion Science*. Great Britain, v. 26, n. 11, p. 949-960, 1986.
- SHAHRYARI, A; SZPUNAR, J. A.; OMANOVIC, S. The Influence of Crystallographic Orientation Distribution on 316LVM Stainless Steel Pitting Behavior. *Corrosion Science*. V. 51, p. 677-682, dec. 2009.
- UHLIG, H. H. *Uhlig's Corrosion Handbook*. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2000, 1391p.