

Textura e relações de orientação em aço inoxidável dúplex

A difração de elétrons retroespalhados, EBSD, mostra que existem relações de orientação tipo Bain e K-S entre a austenita e a ferrita

Clara Herrera

Depto de Engenharia Metalúrgica e de Materiais—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo—EPUSP
cherrera@usp.br

Nelson Batista de Lima

Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares—IPEN—SP
Comissão Nacional de Energia Nuclear—CNEN

Angelo Fernando Padilha

Depto de Engenharia Metalúrgica e de Materiais—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo—EPUSP
padilha@usp.br

ABSTRACT *The textures of austenite and ferrite in a duplex stainless steel UNS 531803 were investigated by X-ray and electron (EBSD) diffraction. EBSD was also used to analyze the orientation relationship between austenite and ferrite in the as received condition and after solution annealing treatment.*

Os aços inoxidáveis dúplex (AID) são constituídos de duas fases, ferrita (α) e austenita (γ), em proporções aproximadamente iguais e são baseados no sistema Fe-Cr-Ni. Eles têm boa tenacidade, alto limite de escoamento, boa soldabilidade e excelentes resistências à corrosão intergranular, corrosão localizada e corrosão sob tensão^[1]. Os AIDs solidificam como ferrita primária e durante o resfriamento a austenita precipita no estado sólido. A laminação a quente dessa classe de aços é, em geral, realizada entre 1.000 e 1.200°C.

No final do processo, é efetuado um tratamento térmico de solubilização entre 1.000 e 1.150°C, seguido de um resfriamento rápido até a temperatura ambiente. Uma microestrutura recristalizada, composta de lamelas alternadas de ferrita e austenita e isenta de precipitados é frequentemente obtida. Os AIDs produzidos por laminação apresentam anisotropia nas propriedades mecânicas, sendo a direção transversal mais resistente do que a direção de laminação. Essa anisotropia aumenta com a quantidade de deformação aplicada e evidencia uma forte textura no material^[1]. Nos aços, a textura da fase matriz em altas temperaturas pode ser herdada pela fase produto, após a transformação.

A relação entre as texturas das fases matriz e produto pode ser examinada analisando a relação de orientação cristalográfica (RO) que descreve a transformação. Uma relação de orientação (RO) é descrita por um conjunto de planos, que são paralelos nas duas redes, e por um conjunto de direções dentro desses planos que são paralelos entre si^[2,3]. As relações de orientação são expressas como:

$$\{h_1k_1l_1\} \parallel \{h_2k_2l_2\}, \langle u_1v_1w_1 \rangle \parallel \langle u_2v_2w_2 \rangle$$

A relação de orientação entre duas fases é um importante parâmetro, que influi na relação microestrutura—propriedades.

A **tabela 1** apresenta as relações de orientação entre os reticulados da ferrita (CCC) e da austenita (CFC) reportadas na literatura.

Tabela 1
Relações de orientação entre α (CCC) e γ (CFC) encontradas nos aços^[2]

Relação de orientação	Relação de correspondência do reticulado	Número de alternativas	Número total de variantes
Bain [B]	$\{001\}_\gamma \parallel \{001\}_\alpha$	3	3
	$\langle 110 \rangle_\gamma \parallel \langle 100 \rangle_\alpha$	1	
Kurdjumov-Sachs (K-S)	$\{111\}_\gamma \parallel \{011\}_\alpha$	4	24
	$\langle 011 \rangle_\gamma \parallel \langle 111 \rangle_\alpha$	3	
	Variantes com relação de macla	2	
Nishiyama-Wasserman (N-W)	$\{111\}_\gamma \parallel \{011\}_\alpha$	4	12
	$\langle 112 \rangle_\gamma \parallel \langle 011 \rangle_\alpha$	3	
Greninger-Troiano (G-T)	$\{111\}_\gamma \sim 1^\circ \text{ de } \{110\}_\alpha$		
	$\langle 112 \rangle_\gamma \sim 2^\circ \text{ de } \langle 110 \rangle_\alpha$		
Pitsch	$\{001\}_\gamma \parallel \{101\}_\alpha$		
	$\{1\bar{1}0\}_\gamma \parallel \{\bar{1}11\}_\alpha, \{110\}_\gamma \parallel \{12\bar{1}\}_\alpha$		

Monlevede^[4] pesquisou as relações de orientações resultantes da precipitação de austenita em ferrita, em aços inoxidáveis dúplex, utilizando a técnica de EBSD. Ele conclui que a austenita formada nos contornos de grão pode possuir relações de orientação bastante próximas às de Kurdjumov-Sachs e de Nishiyama-Wassermann com os dois grãos ferríticos adjacentes, com desvios de ordem de 0,5° a 2° das relações exatas, ou relações de orientação com um dos lados e apenas paralelismo de planos compactos com o outro lado. Nas partículas intragranulares, as relações exatas apresentaram desvios maiores do que os encontrados nas partículas de contornos de grão. Neste trabalho são apresentados resultados de textura e relações de orientação, microtextura e mesotextura, entre a ferrita e a austenita de um aço inoxidável dúplex do tipo UNS S31803 [DIN W. Nr. 1.4462] no estado "como recebido" e após a solubilização a 1.100°C. O material de partida utilizado foi uma chapa laminada a quente, com espessura de 2,20 mm.

A composição química em porcentagem em peso é apresentada na **tabela 2**. As amostras de aço foram solubilizadas a 1.100°C, por uma hora, em uma atmosfera de argônio, com uma pressão de 1 atm e resfriadas em água.

Tabela 2
Composição
do aço
UNS S31803
(DIN W. Nr.
1.4462),
(em % em
peso)

C	0,025
Cr	22,04
Ni	5,49
N	0,14
Mo	2,91
W	0,03
S	0,01
Mn	1,72
Nb	0,013
Si	0,47
P	0,021
Ti	0,01
V	0,11

A macrotextura foi estudada utilizando um goniômetro automático de textura acoplado a um Difratômetro Rigaku, modelo DMAX-2000, existente no Ipen. A geometria utilizada foi a do método de Schultz, em modo reflexão. Foram determinadas as figuras de pólo incompletas nos planos {200}, {211}, {321} e {420} da ferrita e nos planos {220}, {200}, {311} e {531} da austenita, no estado inicial e após a solubilização. Com os dados gerados pelas figuras de pólo foram determinadas as funções de distribuição de orientação (FDO) para a ferrita e para a austenita, na chapa, utilizando o programa PAT, desenvolvido pelos pesquisadores Nelson Batista de Lima e Eguiberto Galego, do Ipen-CNEN/SP.

A microtextura e mesotextura no estado "como recebido", e depois do tratamento de solubilização a 1.100°C, foram analisadas pela técnica de difração de elétrons retroespalhados, EBSD.

As análises de EBSD foram realizadas com o sistema de aquisição e identificação de padrões desenvolvido pela TexSem Laboratories Inc. acoplado ao microscópio eletrônico de varredura Philips XL-30, existente no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP. A partir dos dados coletados e usando o programa OIM, desenvolvido pela empresa TSL, foi obtido o mapa das fases e as relações de orientação entre fases.

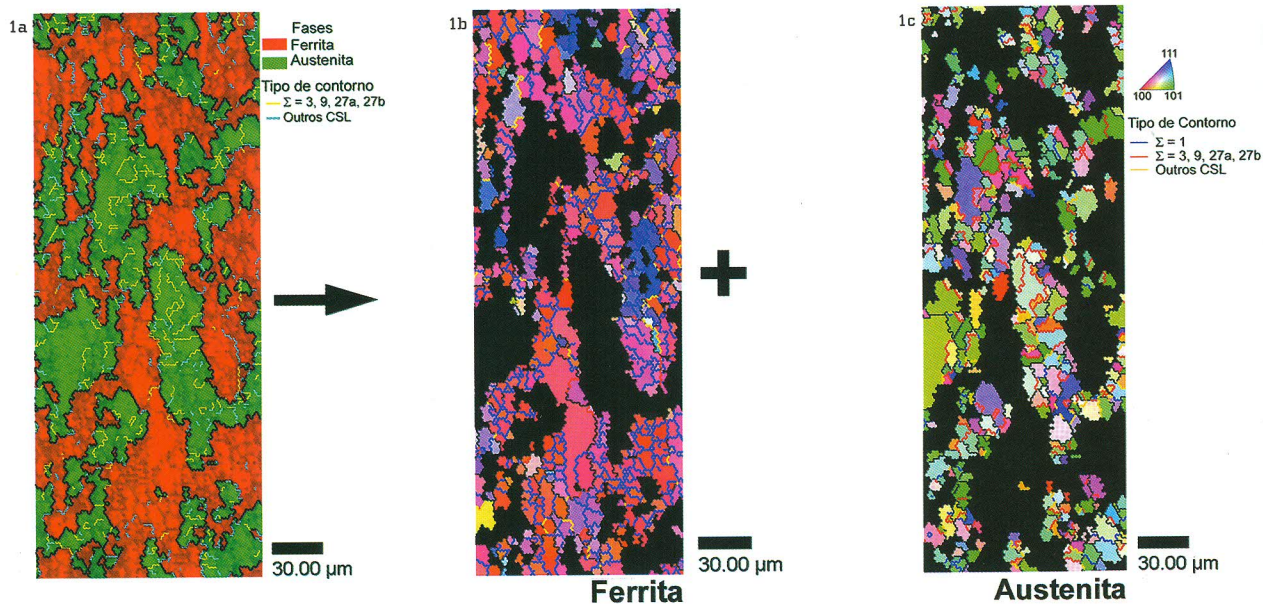
A preparação das amostras para EBSD consistiu em um polimento mecânico com pasta de diamante até 1 µm, seguido de polimento em sílica coloidal.

A **tabela 3** apresenta as texturas encontradas no aço inoxidável dúplex nas duas condições. As componentes de textura para ambas as fases são texturas de deformação típicas de materiais CFC e CCC. Esses resultados apresentam pequenas variações nos componentes, em comparação com os apresentados na literatura^[1], provavelmente devido às condições específicas do tratamento termomecânico (laminação e recozimento) a que foi submetido o material.

**Tabela 3—Texturas encontradas no
aço inoxidável dúplex em duas condições:**

Condição	Austenita, γ	Ferrita, α
"Como recebido"— Laminado a quente	Fibra α_{CFC} , $\langle 110 \rangle$ II DN Fibra parcial τ , $\langle 110 \rangle$ II DN	Textura forte: {100} direções $\langle 320 \rangle$ e $\langle 106 \rangle$ Goss {011} $\langle 100 \rangle$ Textura fraca: {332} [032] e {332} [113]
Solubilizado a 1100°C durante 1 hora	Fibra α_{CFC} , $\langle 110 \rangle$ II DN Fibra parcial τ , $\langle 110 \rangle$ II DT mais fortes	As mesmas texturas e aparição da fibra γ , $\langle 111 \rangle$ II DN

A **figura 1** apresenta os mapas de fases e o mapa de orientações com os contornos de grão especiais, do tipo CSL (Coincidence Site Lattice), assinalados para as duas fases da chapa no estado "como recebidos", determinados por EBSD. A ferrita tem uma distribuição da microtextura mais homogênea em relação à austenita, a qual apresenta uma maior variação do tipo de orientação em seus grãos. Os contornos da ferrita estão caracterizados por contornos de pequeno ângulo, $\Sigma = 1$, e contornos especiais, $\Sigma \neq 1$, 3, 9, 27a e 27b. Os contornos presentes na austenita são predominantemente contornos de macla, $\Sigma = 3$, 9, 27a e 27b, característicos de materiais CFC com baixa energia de defeito de empilhamento, os outros tipos de contornos estão em ...



[acima, da esquerda para a direita]

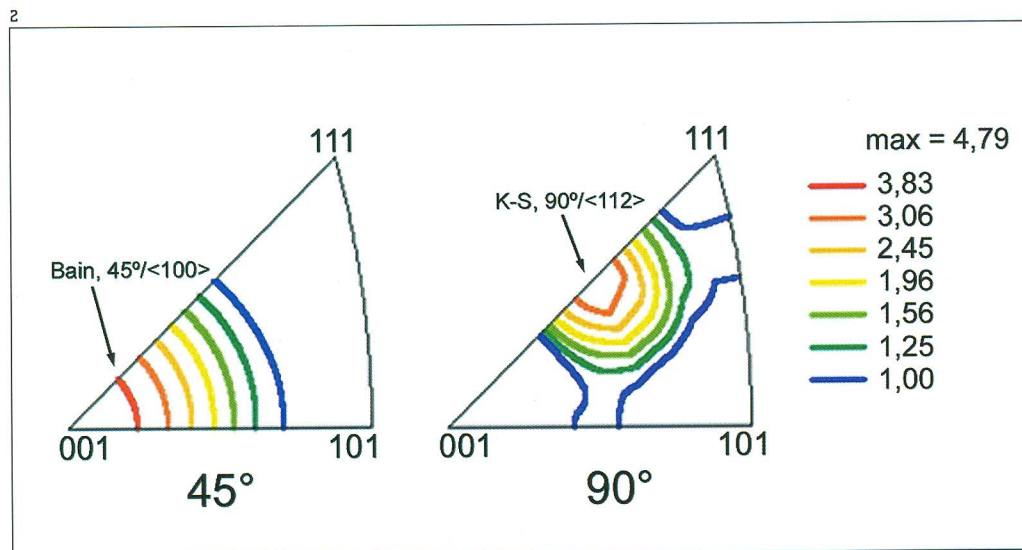
Figura 1

- (a) Mapa de fases
 - (b) mapa de orientações de α
 - (c) mapa de orientações de γ
- no AID 1.4462 no estado "como recebido", obtidas por EBSD

[à direita]

Figura 2

MDFs entre α e γ no espaço cilíndrico eixo/ângulo do AID 1.4462 no estado "como recebido", obtidas por EBSD

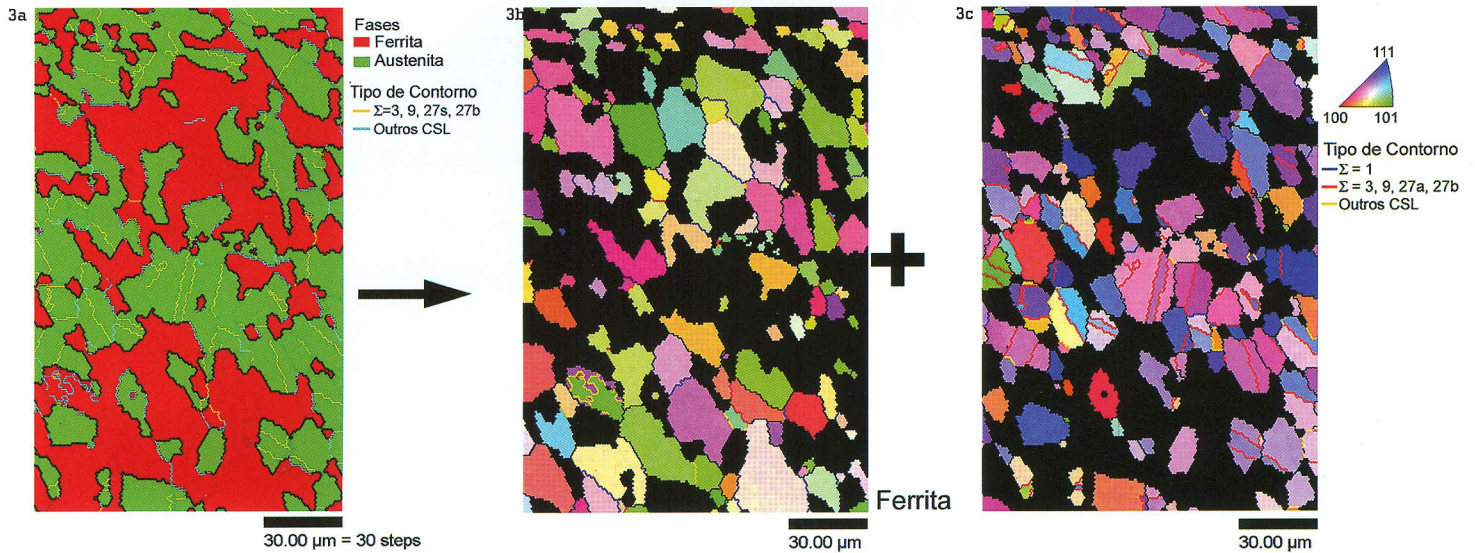


menor quantidade. As relações de orientação encontradas entre a ferrita e a austenita são bastante próximas às de Kurdjumov-Sachs e Bain, com desvios de 1º a 3º das relações exatas. A densidade da relação de orientação de Bain, 45º/⟨100⟩, é mais forte do que a relação de orientação K-S, 90º/⟨112⟩ [vide figura 2]. Nos AID, a austenita precipita no estado sólido a partir da ferrita, mas as RO entre elas são as mesmas RO encontradas na transformação $\gamma \rightarrow \alpha$. As relações de orientação encontradas concordam com as reportadas na literatura para essas duas fases [1-4]. A figura 3 apresenta o mapa de fases e o mapa de orientações com os contornos de grão

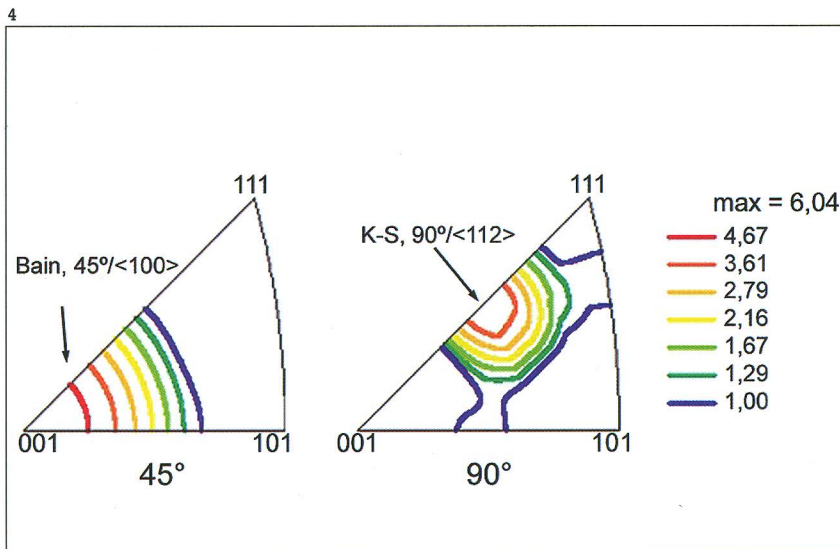
e CSL assinalados para as duas fases da chapa solubilizada a 1.100°C, por 1 hora, obtidos por EBSD. Com o tratamento de solubilização, os contornos de pequeno ângulo, $\Sigma = 1$, diminuíram nas duas fases, ou seja, os subgrãos cresceram e transformaram-se em contornos de alto ângulo. Os contornos de macla, $\Sigma = 3, 9, 27a$ e $27b$, aumentaram fortemente na austenita, devido ao aumento da quantidade de maclas de recozimento. Os contornos especiais, $\Sigma \neq 1, 3, 9, 27a$ e $27b$, não apresentam variações significativas nas duas fases, austenita e ferrita.

As relações de orientação encontradas entre a ferrita e a austenita,

3a
3
Ba
00
após
ao es
orien
aume
possí
para
AGF
Os au
Proje



[acima]
Figura 3
 (a) Mapa de fases
 (b) mapa de orientações de α
 (c) mapa de orientações de γ no AID 1.4462 solubilizado a 1.100°C, obtidas por EBSD



[à esquerda]
Figura 4
 MDFs entre α e γ no espaço cilíndrico eixo/ângulo do AID 1.4462 solubilizado a 1.100°C, obtidas por EBSD

após o tratamento de solubilização, não mudaram muito em relação ao estado "como recebido". Estavam presentes as relações de orientação de Bain e K-S (vide figura 4). O tratamento de solubilização aumentou a densidade da relação de orientação entre as duas fases, possivelmente devido ao rearranjo das interfaces entre as fases para diminuir a energia entre elas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Fapesp, recebido por meio do Projeto Temático N° 99-10796-8.

ERRATA

Na edição de março—Metalurgia & Materiais, nº 564, as figuras 4a e 4b, do artigo "Laminação de produtos não-planos sob temperatura controlada", de autoria de Luiz Roberto Moraes Júnior, saíram com legendas trocadas:

Figura 4a:
 onde está 1000°C, lê-se 890°C;

Figura 4b:
 onde está 890°C, lê-se 1000°C.

REFERÊNCIAS

[1] HERRERA, C.I.P. *Microestrutura e textura de fitas (tapes) de aço inoxidável dúplex, produzidas por solidificação ultra-rápida (melt-spinning)*. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003, 92p.

[2] RAY, R.K.; JONAS, J.J. *Transformation textures in steels*. International Materials Reviews, v.35,n.1, p. 1-36, 1990.

[3] VIANA, C. S. da C.; LOPES, A.M. *Texturas de transformação de fases*. In: Workshop sobre textura e relações de orientação: deformação plástica, recristalização, crescimento de grão, 2ª ed., Ed. by Tschiptschin, A.P.; Padilha, A.F.; Schön, C.G.; et al. São Paulo: EPUSP: IPEN, p. 195-210, 2003.

[4] MONLEVADE, E. *Relações de orientação resultantes da precipitação de austenita em ferrita em aços inoxidáveis dúplex*. 2002. 93p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.