

# EVOLUÇÃO DA TEXTURA CRISTALOGRÁFICA DE CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO DO TIPO AISI 430 DURANTE LAMINAÇÃO A FRIO, RECOZIMENTO E ESTAMPAGEM<sup>1</sup>

*Antenor Ferreira Filho<sup>2</sup>  
Clara Herrera<sup>3</sup>  
Nelson Batista de Lima<sup>4</sup>  
Ronald Lesley Plaut<sup>5</sup>  
Angelo Fernando Padilha<sup>6</sup>*

## Resumo

Neste trabalho foi estudado a evolução da textura cristalográfica de chapas de aço inoxidável ferrítico, desde o estado como recebido da usina siderúrgica, passando pelo estado laminado a frio, recozido e finalmente após estampagem. Foram utilizadas duas corridas de chapas com espessuras nominais de 3,0 e 0,7 mm de aço inoxidável ferrítico AISI 430, estabilizadas ao nióbio. A mais espessa foi submetida a reduções a frio de 40 e 73% em espessura, e recozida a 750 e 850°C por 1 hora. A menos espessa, de composição química semelhante à primeira, foi laminada a 77 % em espessura e recozida a 870°C na usina siderúrgica, e posteriormente submetida a estampagem profunda para avaliação da textura e estampabilidade. A textura dos aços foi estudada por DRX nos estados como recebido, laminado a frio, recozido e depois da estampagem. A estampabilidade foi avaliada com ensaios de tração e por meio da curva CLC. O aço inoxidável AISI 430 na condição como recebido apresentou textura {100} forte nas direções <110> e <120> além da fibra gama. Após a deformação, o material apresentou um reforço na textura da fibra gama e uma fibra alfa fraca. Os recozimentos das amostras laminadas causaram o desaparecimento da fibra alfa e o fortalecimento da fibra gama, que é uma textura adequada para a estampagem. Embora o aço AISI 430 de espessura 0,7 mm, tivesse apresentado uma forte textura de fibra gama, as demais propriedades de estampagem do aço não foram boas e o material trincou durante a conformação. Resultados de trabalhos anteriores, utilizando aços de baixo teor de carbono (AISI 1006 e IF), para confecção da mesma peça também foram apresentados e discutidos.

**Palavras-chave:** Aço inoxidável ferrítico; Textura cristalográfica; Laminação a frio; Recozimento; Estampagem.

---

<sup>1</sup> Trabalho submetido ao 42º Seminário de Laminação - Processos e produtos laminados e revestidos. 25-28 de Outubro de 2005. Santos, SP.

<sup>2</sup> Aluno de Doutorado no PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>3</sup> Aluna de Doutorado no PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>4</sup> Professor, Pesquisador do IPEN-CNEN/SP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>5</sup> Professor do PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>6</sup> Professor do PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

# 1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam valores típicos de 11 a 17% de cromo, baixo níquel e carbono em sua composição química. Sua boa resistência à corrosão e oxidação está relacionada com o teor de cromo. Estes aços apresentam baixa tenacidade e uma temperatura de transição dúctil-frágil na temperatura ambiente ou acima.<sup>(1)</sup>

Os aços inoxidáveis ferríticos são freqüentemente conformados a frio em suas aplicações finais e diferem dos aços inoxidáveis austeníticos por apresentarem maiores valores de limite de escoamento e baixo coeficiente de encruamento ( $n$ ). Essas diferenças fazem com que eles sejam materiais muito menos adequados que os austeníticos, para aplicações envolvendo deformação por estiramento, embora possam ser conformados por estampagem profunda.<sup>(2-4)</sup> Os maiores valores de limite de escoamento e a baixa ductilidade dos aços inoxidáveis ferríticos geram menores níveis de conformabilidade em relação aos aços inoxidáveis austeníticos, proporcionando graus de estampagem menos severos.

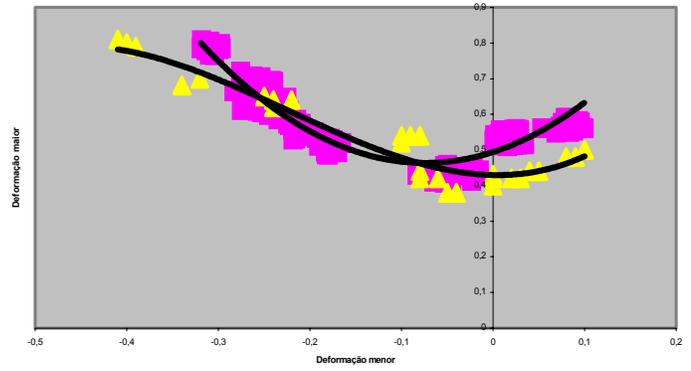
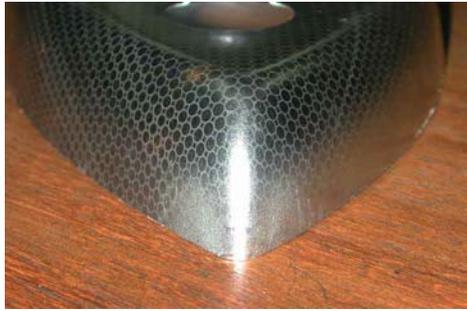
Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma forte textura típica de laminação a frio ao final da laminação a quente devido à estabilidade da ferrita durante a laminação a quente. Ela é caracterizada por uma forte fibra  $\alpha$  e fibras  $\gamma$ ,  $\zeta$  e  $\varepsilon$  mais fracas.<sup>(5)</sup>

A laminação a frio conduz a uma forte textura de fibra  $\alpha$  e uma fibra  $\gamma$  mais fraca, com um máximo na componente  $\{111\}\langle 112 \rangle$ . A intensidade da textura aumenta com o incremento da deformação. A textura de recozimento depende da textura inicial de laminação a frio e da microestrutura.<sup>(6)</sup>

Em trabalhos anteriores,<sup>(7,8)</sup> foi discutido o conjunto de informações relativas à evolução da textura e características de estampagem de chapas de aço de baixo carbono e aços Interstitial Free (IF) destinadas a estampagem profunda, procurando relacioná-las com as variáveis de processamento. A evolução da textura nos seus diferentes estágios de fabricação, desde o laminado a quente, passando pelo laminado a frio, pelo recozimento e concluindo, no produto estampado, em uma peça-exemplo, foi descrita através do método de FDO (função distribuição de orientação dos grãos).

As Figuras 1 e 2 resumem os dados obtidos nos trabalhos anteriores, referentes as CLC's (Curva Limite de Conformação), e a evolução das texturas através das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$ <sup>(9)</sup> relativas as diversas condições estudadas, para o aço de baixo teor de carbono, laminado a frio (redução de 75%) e recozido em caixa a 700°C por 3 h e o aço IF laminado a frio (redução de 78%) e recozido em caixa a 700°C por 6 h.

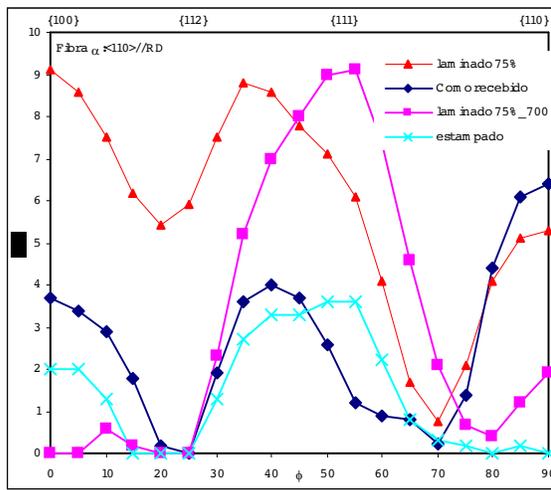
O presente trabalho é uma seqüência dos estudos anteriores, e enfoca a evolução da textura, para a mesma peça-exemplo, empregando chapas de aço inoxidável ferrítico do tipo AISI 430, estabilizado ao nióbio. Procura-se efetuar a comparação destes aços estampados, em termos da evolução da textura nos mesmos estágios de fabricação, ou seja, desde o estado como recebido da usina siderúrgica, passando pelo estado laminado a frio, pelo estado recozido e finalmente nas regiões críticas da peça estampada.



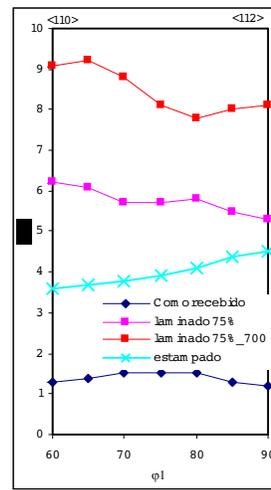
(a)

(b)

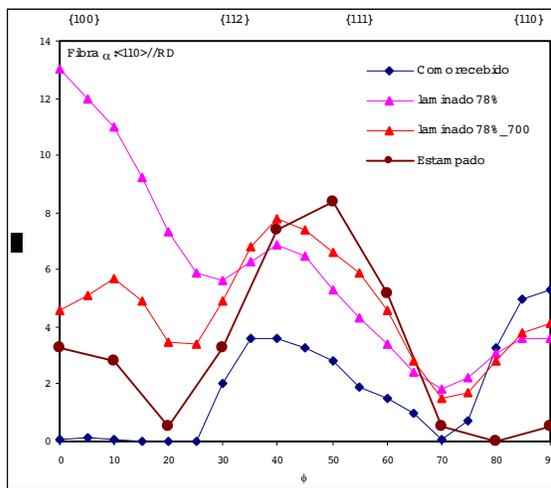
**Figura 1.** (a) Região crítica da peça-exemplo e (b) CLC's dos aços de baixo teor de carbono (na cor rosa) e IF (na cor amarelo) dos trabalhos anteriores.



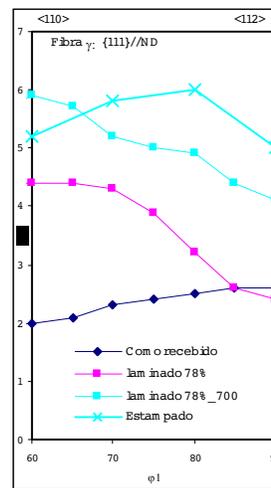
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 2.** Evolução das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  dos aços estudados (a) e (b) do SAE 1006 e (c) e (d) do IF.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas duas corridas de chapas de aço inoxidável ferrítico AISI 430, estabilizadas ao nióbio, com espessuras de 3,0 (denominada de AISI 430-E1) e 0,7 mm (denominada de AISI 430-E2). A Tabela 1 apresenta as composições químicas dos materiais estudados. Ambos os materiais foram produzidos no país pela Acesita.

**Tabela 1.** Composição química (% em peso) dos aços estudados.

AÇO	C	Cr	Ni	Mo	S	Mn	Si	P	Al	Ti	Nb	V	N
430-E1 e=3mm	0,020	16,22	0,23	0,019	0,007	0,19	0,28	0,019	0,006	0,002	0,370	0,046	0,025
430-E2 e=0,7mm	0,018	16,06	0,21	0,040	0,002	0,12	0,31	0,025	0,006	0,012	0,392	0,047	0,019

O aço AISI 430-E1 de 3,0 mm de espessura sofreu redução em espessura na usina siderúrgica de aproximadamente 50% e foi em seguida recozido (recozimento contínuo) em temperatura superior a 830°C. Durante o trabalho este aço foi submetido a reduções a frio de 40 e 73% em espessura. A laminação foi feita a seco (sem lubrificação) em um laminador industrial da marca Guttman, tipo duo, não reversível, com cilindros de diâmetro 300 mm na empresa Brasmetal Waelzholz.

Após a laminação foram realizados tratamentos térmicos de recristalização a 650, 700, 750 e 850 °C, por 1 hora. Utilizou-se um forno de laboratório do tipo poço, com aquecimento resistivo. As amostras foram resfriadas ao ar.

O aço AISI 430-E2 de 0,7mm de espessura, foi adquirido da usina na condição de laminado a frio, com histórico termomecânico semelhante à condição mais extrema imposta no aço AISI 430-E1, ou seja, redução de espessura de 77% e recozido a temperatura superior a 830°C em forno contínuo. O AISI 430-E2 foi somente submetido a estampagem profunda para avaliação da textura e estampabilidade. O equipamento utilizado na conformação da peça foi uma prensa de 150 toneladas, de simples ação, da marca Mahnke, que trabalha em um regime de 30 golpes/minuto, com um prensa chapas de quatro estágios, exercendo uma pressão 75 a 80 kgf/cm<sup>2</sup>.

A textura nos diferentes estados foi estudada usando a técnica de difração de raios-X. As análises foram realizadas em um goniômetro de textura horizontal da marca Rigaku, instalado no IPEN/CNEN-SP, com radiação de Mo K $\alpha$ 1 ( $\lambda = 0,7093$  Å). Para a obtenção das FDO (função de distribuição de orientações) foi empregado um programa desenvolvido por pesquisadores do laboratório de difração de raios-X do IPEN. As análises foram realizadas na superfície de laminação das chapas nas condições como recebido, laminado e recozido. No caso da amostra estampada a avaliação foi feita na região vizinha à trinca. As amostras foram lixadas até a grana 1000 e polidas com pasta de diamante de 6, 3 e 1  $\mu$ m.

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de tração universal da marca Zwick modelo-1475, equipada com garras hidráulicas e extensômetro. Os corpos de prova para o ensaio foram preparados por estampagem em uma prensa automática, em seguida suas bordas foram lixadas em dispositivo próprio, para eliminar o encruamento gerado durante o processo de estampagem. As dimensões dos corpos de prova utilizados estão de acordo com norma ABNT NBR 6673 -1980.

A partir do ensaio de tração foram determinados os valores de: limite de escoamento, limite de resistência, alongamento total, coeficiente de encruamento (n) índice de anisotropia plástica normal (r) e índice de anisotropia plástica planar ( $\Delta$ r). A

determinação dos valores de  $n$  e  $r$  do trabalho foram realizados para deformações entre 10% e 20%, em intervalos de 2% de deformação.

Os ensaios de embutimento Erichsen foram conduzidos conforme a norma ABNT NBR 5902-1980, em amostras de largura 80 mm.

Para o levantamento da CLC e da FMD para o aço AISI 430-E2, foram empregados os mesmos equipamentos e respectivas técnicas, descritas no trabalho anterior.<sup>(7)</sup>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Aço AISI 430-E1

Os resultados de propriedades mecânicas do aço AISI 430-E1 de 3mm de espessura, no estado como recebido são apresentados na Tabela 2.

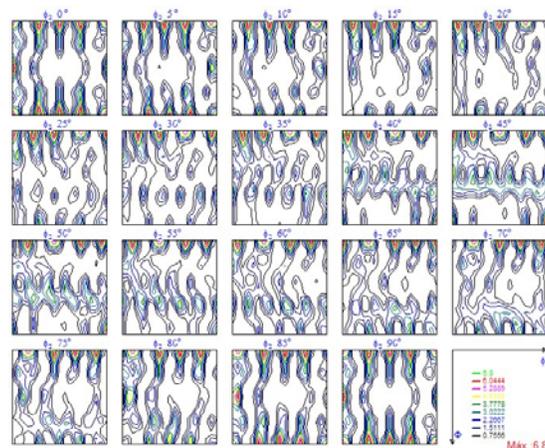
**Tabela 2.** Propriedades mecânicas do aço AISI 430-E1 no estado como recebido da usina siderúrgica.

LE (N/mm <sup>2</sup> )	LR (N/mm <sup>2</sup> )	AI (80) (%)	$n$	$r_m$	$\Delta r$	Dureza (HV1)	I.E. (mm)
306	450	34,0	0,17	0,91	0,14	161	17,2

LE = Limite de escoamento; LR = Limite de resistência; AI (80) = Alongamento total em 80 mm;  $n$  = Coeficiente de encruamento; I.E. = Índice de embutimento no ensaio Erichsen;  $r_m$  = Índice de anisotropia normal;  $\Delta r$  = Índice de anisotropia planar.

Os valores de LE, LR e AI foram obtidos em corpos de prova ensaiados no sentido longitudinal da tira, enquanto que os valores de  $n$ ,  $r_m$  e  $\Delta r$  são valores obtidos em corpos de prova ensaiados nos sentidos longitudinal, transversal e diagonal da tira.

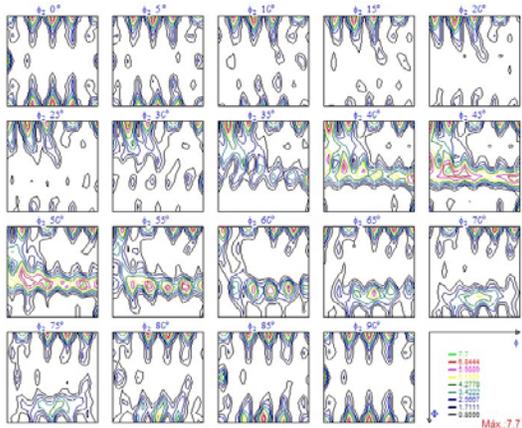
A função de distribuição de orientações da figura 3 calculada a partir de figuras de pólo obtidas por difração de raios-x, mostra que o aço AISI 430-E1 no estado como recebido apresenta uma componente de orientação preferencial do tipo {100} com componentes fortes nas direções <110> e <120> e a componente do tipo Goss, {110}<001>, muito comum na superfície dos aços inoxidáveis ferríticos laminados a quente.<sup>(6)</sup> Observa-se também uma textura fraca do tipo (112) ( $\bar{1}\bar{1}0$ ) e uma fibra  $\gamma$ , {111>//DN, devido à baixa redução na espessura (50%) durante a laminação a frio realizada na usina siderúrgica.



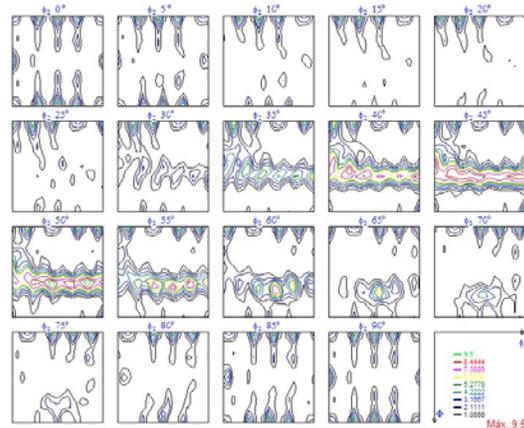
**Figura 3.** FDO's para o aço 430-E1 no estado como recebido.

A textura do aço AISI 430-E1 laminado a 40% em espessura apresentou uma de fibra  $\gamma$ , com componentes fortes nas direções  $\langle 112 \rangle$  e  $\langle 231 \rangle$ , com TR=7,7, uma componente  $\{001\}$  orientada nas direções  $\langle 110 \rangle$  e  $\langle 120 \rangle$ , e a fibra parcial  $\alpha$ ,  $\langle 011 \rangle // DL$ , com máximos nas componentes  $(001)(110)$  e  $(112)(\bar{1}\bar{1}0)$ , mais fraca (figura 4).

Para a laminação de 73 % em espessura, a textura apresentou um incremento da fibra  $\gamma$ , com máximos nas direções  $\langle 121 \rangle$ ,  $\langle 231 \rangle$  e  $\langle 110 \rangle$ , com TR=9,5 e da fibra parcial  $\alpha$ , com componentes fortes em  $(112)(\bar{1}\bar{1}0)$  e  $(223)(\bar{1}\bar{1}0)$ . Observou-se também componentes fracas em  $\{001\}$  nas direções  $\langle 110 \rangle$  e  $\langle 120 \rangle$  (Figura 5).

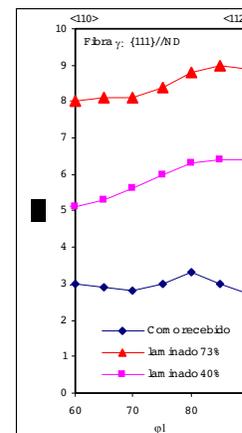
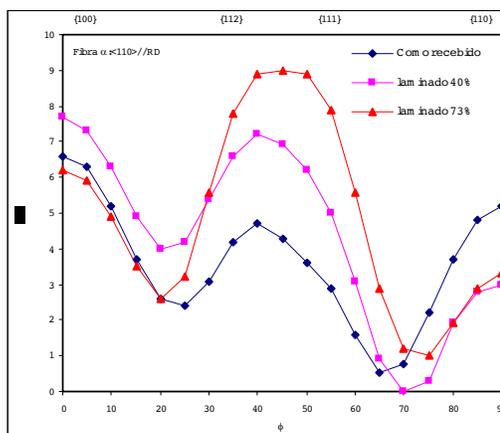


**Figura 4.** FDO's para o aço 430-E1 laminado a 40% em espessura.



**Figura 5.** FDO's para o aço 430-E1 laminado a 73% em espessura.

A Figura 6 apresenta a evolução das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  com a deformação. As fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  apresentaram um comportamento semelhante, a intensidade delas aumenta com o grau de deformação. A fibra  $\gamma$  não apresentou componentes fortes ao longo de  $\phi_1$ , enquanto, a fibra  $\alpha$  apresentou componentes fortes em  $(112)(\bar{1}\bar{1}0)$  e  $(223)(\bar{1}\bar{1}0)$ . A textura de laminação a frio encontrada no material são semelhantes aos reportados na literatura.<sup>(6)</sup>



**Figura 6.** Evolução da intensidade das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  do aço 430-E1 nos estados como recebido e após a laminação.

A textura de recozimento para as duas amostras laminadas, 40% e 73%, e recozidas nas diferentes temperaturas é muito semelhante, diferindo somente no incremento da intensidade (vide Figuras 7 e 8). Elas se caracterizam pelo fortalecimento da fibra  $\gamma$ , enquanto que a fibra  $\alpha$  após o recozimento desapareceu. A maior intensidade da fibra  $\gamma$  (TR = 12,3) foi obtida na amostra laminada a 73% em espessura e recozida a 850°C por 1h.

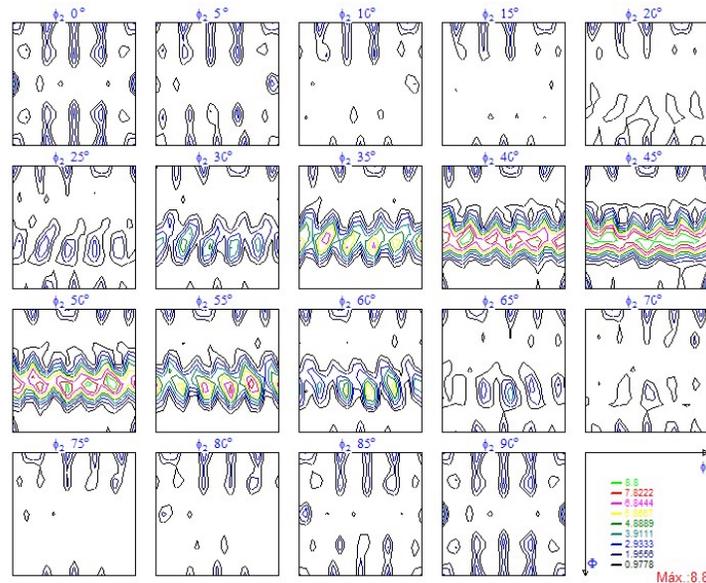


Figura 7. FDO's para o aço 430-E1 laminado a 40% em espessura e recozido a 750°C por 1h.

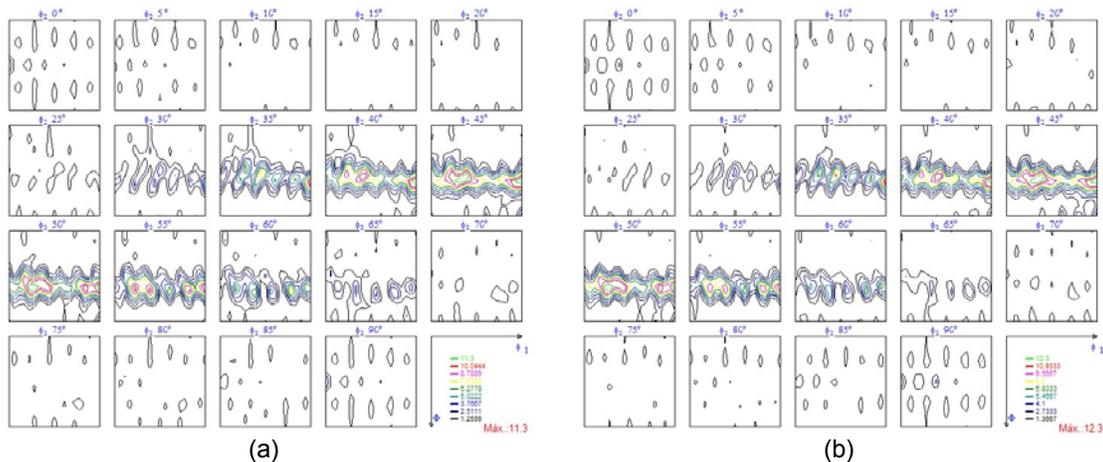


Figura 8. FDO's para o aço 430-E1 laminado a 73% em espessura e recozido a 750°C (a) e 850°C (b) por 1h.

A Figura 9 apresenta a evolução de intensidade das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  para todas as condições estudadas no aço. A fibra  $\gamma$  apresentou a menor intensidade na condição como recebido. Com o processo de laminação, a fibra  $\gamma$  fortaleceu-se, para deformações maiores a densidade de orientação aumenta e a intensidade permanece homogênea ao longo dela. Após o recozimento, a fibra  $\gamma$  fortaleceu-se ainda mais. A condição de laminado a 40% em espessura e recozido a 750°C por 1h apresentou uma intensidade menor da fibra  $\gamma$ , mas homogênea ao longo dela, em relação às condições de laminado a 73% em espessura e recozidos a 750 e 850°C.

Estas duas últimas condições apresentaram um máximo na direção <112>, sendo mais forte para a temperatura de recozimento mais alta de 850°C.

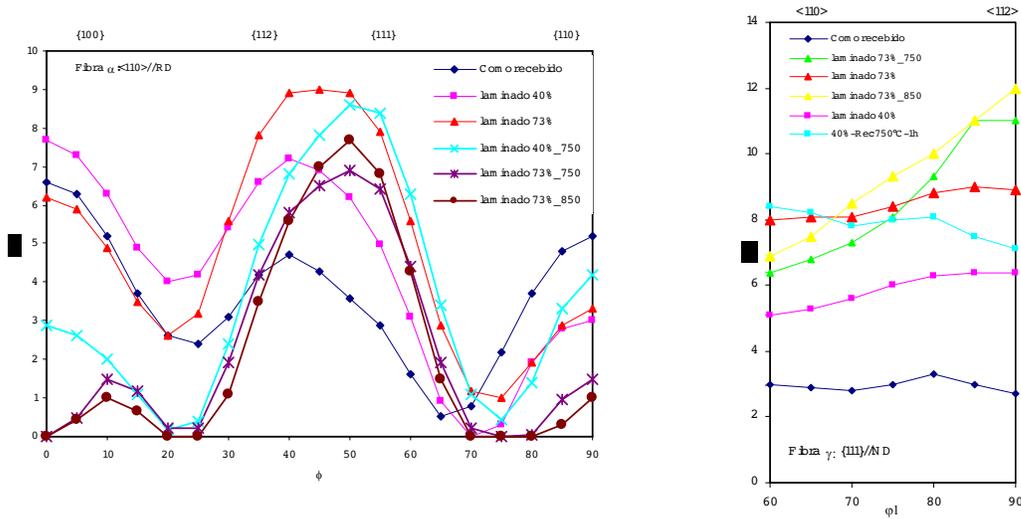


Figura 9. Evolução da intensidade das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  para as diferentes condições estudadas.

### 3.2. Aço AISI 430-E2

Os resultados de propriedades mecânicas do aço AISI 430-E2 de 0,7mm de espessura, no estado como recebido são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades mecânicas do aço AISI 430-E2 no estado como recebido da usina siderúrgica.

LE (N/mm <sup>2</sup> )	LR (N/mm <sup>2</sup> )	AI (80) (%)	n	r <sub>m</sub>	$\Delta r$	Dureza (HV1)	I.E. (mm)
328,0	470,0	38,2	0,17	1,31	0,12	110	10,0

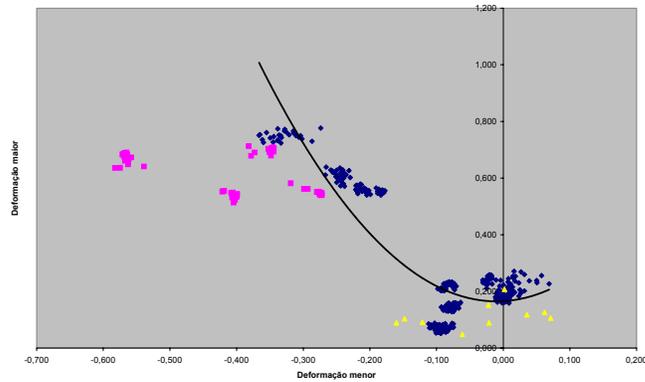
LE = Limite de escoamento; LR = Limite de resistência; AI (80) = Alongamento total em 80 mm; n = Coeficiente de encruamento; I.E. = Índice de embutimento no ensaio Erichsen; r<sub>m</sub> = Índice de anisotropia normal;  $\Delta r$  = Índice de anisotropia planar.

A CLC do aço AISI 430-E2 foi determinada para a espessura de 0,70 mm, pois este é o dimensional utilizado para conformação da peça escolhida. Para o levantamento da CLC (Curva Limite de Conformação) foram empregados os mesmos equipamentos e respectivas técnicas, descritas em trabalho anterior. <sup>(7)</sup>

Se unirmos a CLC com as informações relativas às deformações mais críticas da peça estampada (FMD), podemos observar que na parte frontal da peça, encontram-se os pontos de maior criticidade na estampagem profunda (Figura 10).

Na CLC, os pontos na cor rosa correspondem às regiões posteriores da peça e se encontram muito próximos do limite da curva CLC, enquanto que os amarelos referem-se a parte frontal da peça. As medições de deformação da parte frontal foram tomadas junto à região fraturada.

As deformações críticas relativas aos pontos de maior deformação por estampagem excederam o limite da CLC e levaram a peça a fratura. A peça fraturada após estampagem pode ser observada na Figura 11.

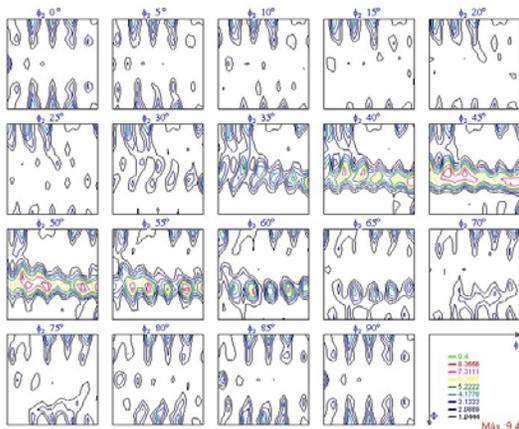


**Figura 10.** CLC e FMD do aço AISI 430-E2 para espessura de 0,70 mm.

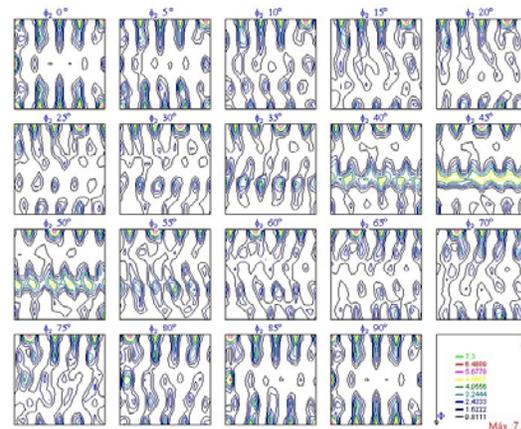


**Figura 11.** Peça exemplo estampada com aço inoxidável AISI 430-E2.

O aço AISI 430-E2 de 0,7mm de espessura, no estado como recebido, apresentou textura de fibra  $\gamma$ , com componentes fortes nas direções  $\langle 231 \rangle$  e  $\langle 121 \rangle$ , e TR = 9,4 (Figura 12). Após a estampagem, o aço apresentou um enfraquecimento da fibra  $\gamma$ , com um TR próximo de 4,5 e o surgimento de uma forte textura  $\{001\}$  nas direções  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 310 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$ , TR = 7,3 (Figura 13).

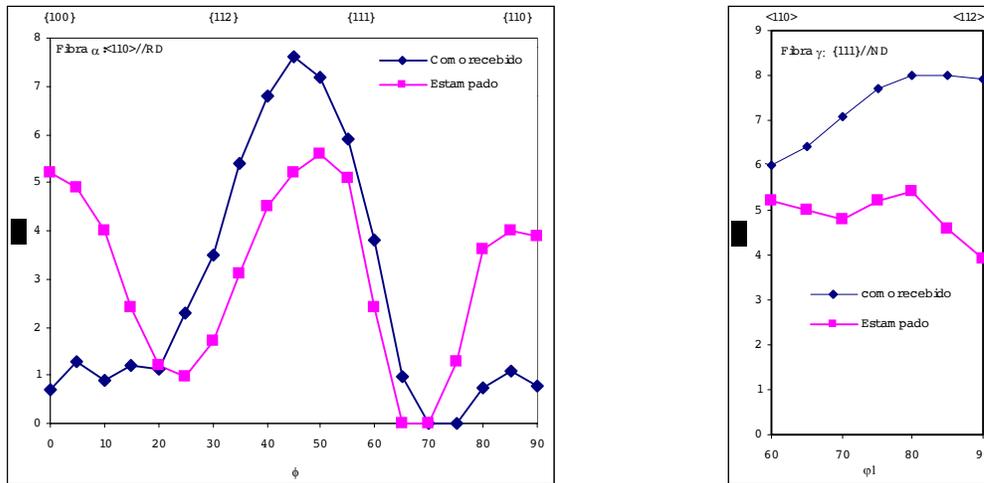


**Figura 12.** FDO's para o aço 430-E2 de 0,7mm de espessura no estado como recebido.



**Figura 13.** FDO's para o aço 430-E2 de 0,7mm de espessura após a estampagem.

A Figura 14 resume a evolução da densidade de orientação das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$  obtidas no aço AISI 430-E2 para as condições de laminado a frio e recozido (condição inicial de recebimento) e estampado (posição frontal da peça).



**Figura 14.** Evolução das densidades de orientação ao longo das fibras  $\alpha$  e  $\gamma$ .

O reaparecimento (elevada intensidade) do componente  $\{100\}$  nas direções  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 310 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$ , desfavorável à estampagem e o enfraquecimento da fibra  $\gamma$  após a estampagem profunda somado ao reduzido valor do coeficiente de encruamento ( $n=0,17$ ) e a baixa posição da curva CLC (ponto  $CLC_0$ ) são os principais responsáveis pela fratura da peça na estampagem.

#### 4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos, no aço inoxidável ferrítico AISI 430-E1 estabilizado ao nióbio, com espessura inicial de 3,0 mm, nos diferentes estados: como recebido, laminado, recozido e estampado, conduz às seguintes conclusões:

- O aço no estado como recebido apresentou uma textura pouco homogênea, com a presença das componentes  $\{001\}$  nas direções  $\langle 100 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$  e  $\langle 120 \rangle$ , a componente Goss,  $\{110\}\langle 001 \rangle$ , e a fibra  $\gamma$ .
- A laminação a frio conduz ao fortalecimento da fibra  $\gamma$  e o surgimento da fibra  $\alpha$ . Além, da manutenção do componente  $\{001\}$  nas direções  $\langle 110 \rangle$  e  $\langle 120 \rangle$ , porém com um decréscimo da intensidade. A densidade de orientação da fibra  $\gamma$  aumentou com o grau de deformação. O comportamento da fibra  $\gamma$  nas amostras laminadas a 40% em espessura foi homogênea porém, de baixa intensidade, já nas amostras laminadas a 73% em espessura foi mais intensa porém heterogênea.
- O recozimento fortaleceu a intensidade da fibra  $\gamma$ , enquanto a fibra  $\alpha$  desapareceu totalmente. A fibra  $\gamma$  após recozimento apresentou para a condição de maior deformação, nas duas temperaturas, um máximo na componente  $\{111\}\langle 112 \rangle$ .

A análise dos resultados do aço inoxidável ferrítico AISI 430-E2 estabilizado ao nióbio, com espessura de 0,7mm, conduz às seguintes conclusões:

- A textura no estado como recebido foi caracterizada por uma fibra  $\gamma$ , com componentes fortes nas direções  $\langle 231 \rangle$  e  $\langle 121 \rangle$ , semelhante a apresentada pelo aço AISI 430-E1 nas condições de deformado a 40% e 73 % em espessura e recozimento a 750°C e 850°C por 1 hora embora, tenha apresentado uma intensidade na fibra  $\gamma$  inferior.

- Após a estampagem, a textura teve algumas mudanças. A fibra  $\gamma$  enfraqueceu e surgiu a textura  $\{001\}$  nas direções  $\langle 001 \rangle$ ,  $\langle 310 \rangle$ ,  $\langle 110 \rangle$ , com uma intensidade superior que a da fibra  $\gamma$ .

A análise dos resultados obtidos, nos aços inoxidáveis ferríticos AISI 430-E1; AISI 430-E2 estabilizados ao nióbio, bem como nos aços SAE 1006 e IF estudados nos trabalhos anteriores (7,8), conduz às seguintes conclusões:

- Os aços de baixo teor de carbono SAE 1006 e IF apresentaram curvas CLC's próximas entre si, e com características de estampagem muito superior a apresentada pelo aço inoxidável AISI 430-E2. Quando analisados os valores de coeficiente de anisotropia plástica normal e coeficiente de encruamento, os aços de baixo teor de carbono apresentaram resultados muito superiores aos do aço inoxidável.

- A provável causa do insucesso na estampagem da peça com o aço inoxidável AISI 430-E2 apesar da boa textura cristalográfica apresentada, pode ser atribuída principalmente ao baixo valor do coeficiente de encruamento ( $n=0,17$ ) apresentado por este aço, fazendo com que sua curva CLC se posicionasse bem abaixo ( $CLC_0$ ) dos aços de baixo teor de carbono. Este efeito se traduz em uma baixa capacidade deste aço distribuir as deformações de maneira uniforme, na presença de um gradiente de tensões.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Brasmetal Waelzholz pelo seu apoio na parte experimental e produção das amostras e à FAPESP pelo apoio financeiro dados pelos projetos 99/10796-8 e 03/02429-2.

### REFERÊNCIAS

- 1 LULA, R.A. Stainless steel. Metals Park, Ohio, ASM, 1989. 173p.
- 2 BAROUX, B.: The 17%Cr ferritic stainless steels (Chapter 14). In: *Stainless Steels*. P. Lacombe, B. Baroux and G. Beranger (Eds.), pp. 507-534, les éditions de physique, France, 1993.
- 3 PIMENTA, F.C.Jr.: Transformações de fase no estado sólido do aço inoxidável superferrítico 28%Cr-4%Ni-2%Mo-Nb (DIN W. Nr. 1.4575). *Tese de Doutorado*, EPUSP, São Paulo, 2001.
- 4 LEWIS, D.B. & PICKERING, F.B.: Development of recrystallization textures in ferritic stainless steels and their relationship to formability. *Metals Technology*, vol.10, pp. 264-273, 1983.
- 5 RAABE, D. Overview on basic types of hot rolling textures of steels. *Steel Research International*, vol. 74, n. 5, pp. 327-337, 2003.
- 6 RAABE, D.; & LÜCKE, K. Textures of ferritic stainless steel. *Materials Science and Technology*, vol. 9, pp. 302-312, 1993.
- 7 PLAUT, R.L.; FERREIRA, A.F.; LOPES, A.S.; LIMA, N.B & SERNA, M.M.: Estudo da evolução da textura em chapas laminadas a frio e estampadas, Anais do 39º Seminário de Laminação, ABM, Ouro Preto-MG, 2002.
- 8 PLAUT, R.L.; FERREIRA, A.F.; LOPES, A.S.; LIMA, N.B & SERNA, M.M.: Evolução da textura em chapas de aço IF laminadas a frio e estampadas, Anais do 40º Seminário de Laminação, ABM, Vitória -ES, 2003.
- 9 SCHLIPPENBACH, U.; EMREN, F. & LUCKE, K.- *Acta Met.*, v.34, n.11, 1986, pp.1289-1301.

# TEXTURE EVOLUTION OF FERRITIC (AISI 430) STAINLESS STEEL STRIPS DURING COLD ROLLING, ANNEALING AND DRAWING <sup>1</sup>

*Antenor Ferreira Filho<sup>2</sup>  
Clara Herrera<sup>3</sup>  
Nelson Batista de Lima<sup>4</sup>  
Ronald Lesley Plau<sup>5</sup>  
Angelo Fernando Padilha<sup>6</sup>*

## **Abstract**

The evolution of the crystallographic texture of ferritic stainless steels, starting from the as received (hot rolled) condition from the steel mill, going through cold rolling, annealing and final stamping is analyzed in this paper. Two ferritic stainless steels (Nb stabilized) having a thickness of 3.0 and 0,7mm, have been employed. The thicker one has been cold rolled to 40 and 73% thickness reduction, annealed at 750 and 850°C for 1 hour. The thinner one, with a similar composition, has been 77% cold rolled and annealed at 870°C at the steel plant and subsequently submitted to deep drawing in order to evaluate texture and drawability. Texture has been evaluated using DRX in the as received, cold rolled, annealed and after drawing conditions. Drawability has been evaluated using tensile testing in order to obtain the FLC curves. AISI 430 stainless steel, in the as received condition presented a strong {100} texture in the <110> and <120> directions and the gama fiber. After cold rolling, the material presented stronger gama and weaker alfa fibers. Annealing of the cold rolled samples conduced to the vanishing of the alpha and strengthening of the gama fiber, adequate for deep drawing operations. In spite of the AISI 430 of 0,7mm having presented a strong gama fiber, other deep drawing properties were not adequate and the material cracked during stamping. Previous results, using low carbon steels (AISI 1006 and IF), employed for the drawing of the same product have also been presented and discussed.

**Key words:** Ferritic stainless steels; Crystallographic texture; Cold rolling; Annealing; Drawing

<sup>1</sup> Paper presented at the 42º Seminário de Laminação - Processos e produtos laminados e revestidos. 25-28 October 2005. Santos, SP, Brazil .

<sup>2</sup> Ph.D. student - PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>3</sup> Ph.D. student- PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>4</sup> Professor - IPEN-CNEN / SP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>5</sup> Professor - PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.

<sup>6</sup> Professor - PMT-EPUSP, CEP 05508-900, São Paulo, SP.