

EFEITO DA TAXA DE AQUECIMENTO NA TEXTURA, MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO ESTABILIZADO AO NIÓBIO¹

Resumo

Daniella Gomes Rodrigues² Tarcísio Reis de Oliveira³ Berenice Mendonça Gonzalez⁴

As variáveis dos processos termomecânicos envolvidos na produção dos aços inoxidáveis ferríticos afetam o desenvolvimento da textura cristalográfica e da microestrutura. A textura cristalográfica que favorece o processo de estampagem dos aços inoxidáveis ferríticos são os planos {111}//PC, denominada fibra y. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da taxa de aquecimento do recozimento final na textura cristalográfica e na microestrutura em um aco dessa classe. As amostras com 85% de redução a frio foram recozidas com taxas de aquecimento de 0,10°C/s, 23,5°C/s e 41,5°C/s. Interrompeu-se o ciclo de recozimento em 780°C, 830°C e 880°C para acompanhar a evolução da textura cristalográfica e da microestrutura. A temperatura nominal de recozimento foi de 880°C e o tempo de encharque de 24s. Os resultados mostraram que o aumento da taxa de aquecimento diminuiu a intensidade da fibra y, e aumentou levemente a intensidade da fibra Teta. O efeito na microestrutura foi de redução do tamanho de grão com o aumento da taxa de aquecimento, que por consequência aumentou o limite de escoamento. O melhor coeficiente de anisotropia normal médio, \bar{R} , obtido para a taxa de aquecimento de 0,10°C/s, foi igual a 1,99.

Palavras-chave: Aço inoxidável ferrítico; Coeficiente de anisotropia; Fibra γ; Recozimento.

EFFECT OF ANNEALING HEATING RATE ON NB FERRITIC STAINLESS STEEL MICROSTRUCTURE, TEXTURE AND MECHANICAL PROPERTIES

Abstract

The variables of thermomechanical processes involved in the manufacturing of ferritic stainless steel affect the development of the microstructure and crystallographic texture. The crystallographic texture that favors the drawability of the ferritic grades are plans {111} parallel to the sheet normal plane, called γ -fiber. The aim of this study was to evaluate the effect of heating rate on the texture and microstructure in a steel of this class. The samples with 85% cold reduction were annealed with heating rates of 0.10°C/s, 23.5°C/s and 41.5°C/s. The annealing was interrupted at 780°C, 830°C, and 880°C to monitor the progress of the microstructure and texture. The nominal annealing temperature was 880°C and the soaking time of 24 s. The results show that increasing the heating rate decreased fiber strength γ , and slightly increased intensity Theta fiber. The effect on the microstructure was reduced grain size with increasing heating rate, which consequently increased the yield strength. The highest \mathbf{R} -value, \mathbf{R} =1.99, was obtained for the heating rate of 0.10°C/s. **Key words:** Ferritic stainless steel; γ -fiber; Anisotropy coefficient; Annealing.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheira de materiais. Mestre em metalurgia física. Coronel Fabriciano, MG, Brasil.

³ Engenheiro mecânico industrial. Dr. Pesquisador. Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

⁴ Física. Dra. Professora. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

o^vcongress 68th abm international annual congress

> Os acos inoxidáveis ferríticos são materiais de grande interesse em diversas áreas devido à excelente combinação da resistência à corrosão e propriedades mecânicas Estes aços são utilizados em aquecedores, tanques para água quente, equipamentos para ácido nítrico, sistema de exaustão de automóveis e utensílios domésticos.⁽¹⁾

> O controle da microestrutura e da textura cristalográfica é essencial para melhorar as propriedades mecânicas e a conformabilidade dos aços inoxidáveis ferríticos. A textura que favorece a estampagem dos metais com estrutura cúbica de corpo centrado (CCC), com a maximização do coeficiente de anisotropia normal médio, \bar{R} , é a fibra γ ({111}<uvw>//PC). Já os planos {100} <uvw> paralelos ao plano da chapa, levam a resultados de \bar{R} muitos baixos, sendo desfavorável para a estampagem.⁽²⁾

> Métodos de controle da textura de recristalização {111}<uvw> nos acos inoxidáveis ferríticos, incluem o decréscimo do teor de carbono e nitrogênio em solução sólida, adicões de elementos estabilizantes como Nb e/ou Ti, aumento da proporção dos grãos equiaxiais na solidificação, refinamento da microestrutura e aumento da fibra y na bobina laminada a quente e bobina laminada a quente e recozida, controle do tamanho de grão nas chapas laminadas a frio e recozidas, e otimização da taxa de redução a frio.⁽³⁾

> Relatos da literatura indicam que a taxa de aquecimento do recozimento final influencia o tamanho de grão final recristalizado e a textura cristalográfica dos aços elétricos de grão não orientado⁽⁴⁾ e dos aços carbono.^(5,6) O aumento da taxa de aquecimento do recozimento final produz uma redução no tamanho de grão final recristalizado em ambos os aços. Em aços elétricos de grão não orientado o aumento da taxa de aquecimento reduziu a fração volumétrica da fibra y e aumentou a fração volumétrica da componente Goss. Entretanto, o efeito da taxa de aquecimento no desenvolvimento da textura de recristalização dos aços atualmente não está completamente entendido e explicado.

> Com a ampla utilização em diversificados segmentos e o baixo custo de produção dos aços inoxidáveis ferríticos, faz-se necessário a realização de pesquisas em busca da melhoria dos produtos produzidos a partir dos aços AISI 430. Consequentemente existe a necessidade de avaliar a influência das variáveis do processo de produção nas propriedades finais e nas condições de acabamento após a conformação do produto final.

> O objetivo deste trabalho é estudar a influência da taxa de aquecimento do tratamento térmico final na evolução da microestrutura e textura de recristalização, e correlacionar essa evolução com as propriedades mecânicas do um aço inoxidável ferrítico AISI 430 estabilizado ao nióbio.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O aço inoxidável ferrítico AISI 430 estabilizado ao nióbio foi processado industrialmente até a etapa de laminação a frio, com redução de 85% na espessura. O aço em guestão foi fornecido pela empresa Aperam South America e a composição química é apresentada na Tabela 2.

	omposição	quimica do	açu Aloi 4.	SU estabiliza		(% епт п	lassa)	
С	Mn	Si	Р	S	Cr	N_2	Ni	Nb
0,017	0,172	0,340	0,031	0,002	16,5	0,022	0,233	0,314

Tabela 1. Composição química do aco AISI 430 estabilizado ao nióbio (% em massa)



^{68th} abm in O recozimento final foi realizado em laboratório com taxas de aquecimento de 0,10, 23,5 e 41,5°C/s em um forno estacionário e sem controle da atmosfera. No ciclo de recozimento a temperatura nominal de encharque foi de 880°C e o tempo de 24s. Durante o recozimento interrompeu-se o ciclo nas temperaturas de 780, 830, 880°C para acompanhar a evolução da microestrutura e textura. As amostras retiradas em 780, 830 e 880° após imediata remoção do forno foram resfriadas em água com temperatura em torno de 10°C com o objetivo de congelar a microestrutura e as amostras retiradas após o ciclo completo (rampa de aquecimento e encharque) foram resfriadas ao ar.

A caracterização microestrutura foi realizada em todas as amostras via microscopia ótica. As amostras foram lixadas, polidas e atacadas com reativo Vilela com o tempo de imersão de 50 segundos. O tamanho de grão recristalizado foi medido pelo método de intercepto linear nas amostras com ciclo de recozimento completo na direção longitudinal via *Electron Backscatter Diffraction* (EBSD).

A determinação da macrotextura da bobina laminada a frio foi feita no equipamento difratômetro X'Pert PRO MPD da marca Philips, equipado com um goniômetro Theta-Theta de alta performance e berço de textura ATC-3 Prefix. A Função de Distribuição de Orientações Cristalinas (FDOC) foi calculada a partir das figuras de pólo incompletas dos planos (110), (200) e (211) usando o método de series de expansão de Bunge (Imax_22). A textura foi avaliada em três regiões, na superfície, 20% abaixo da superfície e centro. A coleta de dados foi realizada no plano normal - DN por meio do difratômetro de Raios-X, porém as FDOCs foram plotadas no Software OIM Analysis.

A obtenção da microtextura nas amostras recozidas com ciclo de recozimento completo foi feita via equipamento EBSD, acoplado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) com filamento de LaB6, marca PHILIPS, modelo XL-30. Os dados foram coletados na seção longitudinal ao longo da espessura para todas as amostras com aceleração do feixe de 20KV e o *passo* 4µm. Os dados obtidos pela técnica de EBSD foram analisados no software OIM Analysis.

As propriedades mecânicas foram determinadas via ensaio de tração nas amostras recozidas com ciclo de recozimento completo. As amostras foram retiradas em três direções, paralela a direção de laminação, perpendicular a direção de laminação e com ângulo de 45° em relação à direção de laminação. Para a determinação do coeficiente de anisotropia normal médio, \bar{R} , as amostras foram deformadas até 15%. O ensaio de dureza também foi realizado em todas as amostras.

3 RESULTADOS

3.1 Microestrutura

O material após a laminação a frio apresentou uma microestrutura constituída de grãos deformados e alongados na direção de laminação, condizente com processo de deformação a frio.

As amostras após o ciclo de recozimento completo apresentaram uma microestrutura constituída de grãos recristalizados. A Figura 1 apresenta as micrografias para as amostras recozidas com as diferentes taxas de aquecimento. Dentre os recozimentos realizados no laboratório (Figuras 1a, 1b e 1c), observa-se uma distribuição mais uniforme do tamanho de grão na amostra recozida com taxa de 41,5°C/s. Em contrapartida nota-se uma distribuição mais heterogênea para o recozimento com a taxa de 0,10°C/s.



8th abm international ann



Figura 1. Microestrutura da amostra recozida com taxa de aquecimento de: a) 0,10°C/s; b) 23,5°C/s; c) 41,5°C/s; d) 23,5°C/s (industrial).

O aumento da taxa de aquecimento provocou a redução do tamanho de grão recristalizado, conforme as micrografias e a Figura 2. A maior redução do tamanho de grão (Δ d) ocorreu no intervalo entre a taxa de 23,5°C/s para 41,5°C/s sendo este de 3µm. Comparando o resultado industrial com o resultado de laboratório observase que a diferença no tamanho de grão foi pequena.

A dureza assim como o limite de escoamento e o limite de resistência, é uma propriedade que pode ser utilizada para avaliar o grau de recristalização de um material. A influência da taxa de aquecimento na recristalizada é apresentada na Figura 3. A partir deste diagrama, observa-se que menos energia armazenada na deformação foi liberada para uma mesma temperatura de interrupção com o aumento da taxa de aquecimento. Nota-se também, que o aumento da taxa de aquecimento a temperatura de inicio da recristalização e que a dureza diminui à medida que aumenta a temperatura de interrupção. Observa-se que a maior queda da dureza foi no intervalo entre 830°C e 880°C da amostra recozida com taxa de aquecimento de 41,5°C.



Figura 2. Relação do tamanho de grão e da taxa de aquecimento.





Figura 3. Influência da taxa de aquecimento na dureza de todas as amostras.

3.2 Textura

A bobina laminada a frio apresentou nas três regiões analisadas (superfície, 20% abaixo da superfície e centro) alta intensidade da fibra α com alta intensidade nas componentes (001)[1¹]0], (112)[1¹]0] e (114)[1¹]0]. A fibra γ foi fracamente desenvolvida em todas as regiões analisadas, em comparação com a fibra α . A Figura 4 apresenta as FDOCs.



Figura 4. Textura da bobina laminada a frio com 85% de redução na espessura: a) superfície; b) 20% abaixo da superfície e c) região central da amostra.

A taxa de aquecimento afetou o desenvolvimento da textura do material recozido com ciclo de recozimento completo (Figura 5). Observa-se uma tendência de redução na fibra γ e fibra α e um leve aumento da fibra Teta com o aumento da taxa de aquecimento. Comparando o resultado de laboratório com o resultado industrial, nota-se que a fração volumétrica foi superior para a fibra α e γ , exceto a fibra Teta.





Figura 5. Efeito da taxa de aquecimento na fração volumétrica das fibras. Resultados do recozimento industrial na cor vermelha.

A partir do diagrama da fibra γ (Figura 6), pode-se observar o efeito da taxa de aquecimento nas componentes da fibra. O recozimento com a menor taxa de aquecimento, 0,10°C/s, favoreceu o desenvolvimento de todas as componentes da fibra γ , com intensidade máxima na componente {111}<121>. Entretanto, o recozimento com alta taxa de aquecimento enfraqueceu a intensidade da fibra γ . Comparando o resultado de laboratório com o industrial, o recozimento industrial foi melhor para o desenvolvimento de algumas componentes da fibra.



Figura 6. Influência da taxa de aquecimento na intensidade das componentes da fibra y.

3.3 Propriedades Mecânicas e no Coeficiente de Anisotropia Normal Médio e Planar

O limite de escoamento será utilizado para avaliar o efeito da taxa de aquecimento nas propriedades mecânicas medidas pelo ensaio de tração. A Figura 7 apresenta o efeito da taxa de aquecimento no limite de escoamento das amostras processadas com ciclo completo de recozimento. Neste gráfico, os pontos na cor vermelha são referentes ao material processado industrialmente com taxa de aquecimento de 23°C/s.





Figura 7. Relação do limite de escoamento com a taxa de aquecimento.

Nota-se neste gráfico, que o limite de escoamento aumentou com o aumento da taxa de aquecimento nas três direções ensaiadas. O menor limite de escoamento foi obtido para a taxa de 0,10°C/s na direção de 45° e o maior valor do limite de escoamento foi obtido para a taxa de 41,5°C/s também na direção de 45°. O maior valor de $\Delta\sigma_e$ (aumento do limite de escoamento) ocorreu no intervalo entre 23,5 e 41,5°C/s para a direção de 45° e o menor no intervalo de 0,10 para 23,5°C/s na direção longitudinal, sendo estes de 21,34MPa e 3,07MPa respectivamente. Comparando os resultados de laboratório com o resultado da planta industrial, observa-se que em todas as direções o limite de escoamento da planta industrial foi inferior ao do laboratório, com a maior diferença na direção de longitudinal.

Para uma boa formabilidade, o valor de \overline{R} dever ser alto enquanto o Δr deve-ser baixo. A influência da taxa de aquecimento no \overline{R} e Δr é apresentada na Tabela 2. Nota-se que o aumento da taxa de aquecimento proporcionou uma tendência de redução do coeficiente de anisotropia normal médio. O melhor resultado foi obtido para a taxa de 0,10°C/s e em contrapartida o pior para o recozimento realizado com taxa de 41,5°C/s. Comparando o resultado obtido na planta industrial com o resultado de laboratório, observa-se que o resultado industrial foi melhor que o do laboratório, sendo a diferença de 10%. De forma geral, o aumento da taxa de aquecimento reduziu o valor de \overline{R} .

Nota-se que a menor valor de Δr foi obtido para o recozimento realizado com taxa de 41,5°C/s. Entretanto o recozimento com taxa de 0,10°C/s também apresentou valor muito baixo, bem próximo do menor valor. Comparando o resultado na planta industrial e o obtido em laboratório, nota-se que o da planta industrial foi inferior. Além disso, observa-se que todos os valores dos coeficientes de anisotropia planar são positivos o que indica uma maior facilidade para deformação na direção de laminação e à 90° da direção de laminação. Ressalta-se que menores valores de Δr , acarretam uma menor tendência a formação de orelhas em operação de estampagem.



Tabela 2. Efeito da taxa de aquecimento no coeficiente de anisotropia normal médio e no coeficiente de anisotropia planar

Taxa de aquecimento [°C/s]	r ₀	r ₄₅	r ₉₀	R	Δr
0,10	1,72	1,77	2,68	1,99	0,43
23,5	1,64	1,04	1,63	1,34	0,59
41,5	1,45	1,07	1,54	1,28	0,42
23,5	1,52	1,27	1,82	1,47	0,40

Relatos na literatura indicam que um aumento na fibra γ implica em um aumento no coeficiente de anisotropia normal médio. Em contrapartida, os planos {001} paralelos ao plano da chapa são desfavoráveis para a formabilidade.⁽⁷⁾ A relação do coeficiente de anisotropia normal médio e a razão entre a fibra γ e a fibra Teta é apresentada na Figura 8. Observa-se que, o alto coeficiente (\bar{R} =1,99) foi obtido para maior razão entre a fibra γ e a fibra Teta.



Figura 8. Relação da razão da fibra Gama e a fibra Teta com o coeficiente de anisotropia normal médio.

4 DISCUSSÃO

4.1 Microestrutura e recristalização

Conforme Park e colaboradores,⁽⁴⁾ o tamanho de grão recristalizado é determinado pela taxa de nucleação e pela taxa de crescimento. Durante o processo de recozimento com alta taxa de aquecimento, menos recuperação ocorre quando comparado com o recozimento com baixa taxa de aquecimento, então mais energia é preservada na amostra até o inicio da recristalização. Alta energia armazenada aumenta mais a taxa de nucleação que a taxa de crescimento, resultando em uma redução do tamanho de grão. Essa mesma tendência de redução do tamanho de grão foi observada por Lebrun, Maeder e Parniere⁽⁵⁾ e Muljono, Ferry e Dunne⁽⁸⁾ para aços carbonos.

O efeito do tempo de recozimento na recristalização é previsto nas leis da recristalização, onde é estabelecido que: *"a temperatura em que a recristalização ocorre é tanto menor quanto maior o tempo de recozimento".*⁽⁹⁾ O processo de nucleação é um processo termicamente ativado e um longo tempo de recozimento aumenta o numero de núcleos preferencialmente nas regiões com alta energia armazenada. O aumento na temperatura de inicio de recristalização com o aumento



68" abm interativos foi relatado por Lebrun, Maeder e Parniere⁽⁵⁾ e Muljono, Ferry e Dunne⁽⁸⁾ para aços carbonos, e por Park, Szpunar e Cha⁽⁴⁾ para os aços elétricos de grão não orientado.

4.2 Textura

Park, Szpunar e Cha⁽⁴⁾ relataram o mesmo efeito da taxa de aquecimento na fibra γ para aços elétricos de grão não orientado, a redução com o aumento da taxa de aquecimento. Segundo os autores a componente {111}<1 $\overline{2}$ 1> é mais forte durante todo o processo de recristalização que qualquer outra componente. Contudo, desde que baixa taxa de aquecimento é associada com mais recuperação que alta taxa de aquecimento, a diferença na energia residual em varias componentes de textura pode ser reduzida antes da recristalização começar. Então os núcleos de orientação {111}<12> são mais dominantes no estágio inicial da recristalização, estes crescem consumindo a matriz deformada.

Os grão com orientação pertecente a fibra γ armazenam muita energia durante a etapa de deformação e na etapa de recristalização apresentam alta taxa de nucleação. Como o recozimento em baixa taixa de aquecimento favorece a etapa de recuperação, então a probabilidade de formar nucleos em regiões de alta energia é maior que do que em regiãoes de baixa energia armazenada, o que favorece o desenvolvimento da fibra γ .

Vitkin e colaboradores⁽⁶⁾ também citaram que o recozimento realizado com a baixa taxa de aquecimento favorece o desenvolvimento da componente {111}<112>, para aços carbono. Em contrapartida, e Muljono, Ferry e Dunne⁽⁸⁾ relataram que o aumento da taxa de aquecimento até 200°C/s aumenta a intensidade da fibra γ , tornando a intensidade constante a partir desta taxa. Neste estudo o aço utilizado era baixo carbono (0,02 e 0,05%C) e ultra baixo carbono (0,003%C), com 70% de redução a frio. Além disso, Park, Szpunar e Cha⁽⁴⁾ relataram que o efeito da taxa de aquecimento na textura de recristalização dos aços atualmente não está completamente entendido e explicado.

4.3 Propriedades Mecânicas e no Coeficiente de Anisotropia Normal Médio e Planar

O aumento no limite de escoamento com o aumento da taxa de aquecimento é um reflexo da redução do tamanho de grão recristalizado com o aumento da taxa de aquecimento. Essa tendência já é prevista na equação de Hall-Petch.⁽¹⁰⁾

Conforme Huh e Angler⁽⁷⁾ a anisotropia plástica de chapas de aços é governada pela textura cristalográfica e um aumento na fração da fibra γ implica em um aumento no coeficiente de anisotropia normal médio e por consequência uma melhora na formabilidade. Wei et al.,⁽³⁾ relatam que os planos {001} paralelos ao plano da chapa são desfavoráveis para a formabilidade e que a fibra γ tem alto coeficiente de anisotropia normal médio. Hutchinson⁽¹¹⁾ citou a relação da razão entre a fibra γ e a fibra Teta com o valor de \bar{R} , onde um aumento da razão entre as fibras provoca um aumento no valor de \bar{R} . Nota-se que os resultados deste trabalho apresentaram uma excelente concordância com o que foi citado por Hutchinson.⁽¹¹⁾ Comparando o resultado de laboratório com o da planta industrial, nota-se que o resultado industrial foi mais favorável para o coeficiente de anisotropia normal, pois apresentou uma fração maior da fibra γ e menor da fibra Teta, consequentemente maior razão Gama/Teta.



⁶⁸ abm int A variação dos valores de r nas diferentes direções, pode ter sido ocasionada por uma distribuição heterogênea de grãos pertencentes à fibra γ e a fibra Teta no plano da chapa. Conforme Murari⁽²⁾ um baixo valor de Δr está associado à uma alta isotropia planar obtida quando os planos que são favoráveis à estampabilidade se distribuem aleatoriamente no plano da chapa.

5 CONCLUSÕES

- A variação da taxa de aquecimento do recozimento final afetou o desenvolvimento da microestrutura do aço inoxidável ferrítico. O aumento da taxa de aquecimento reduziu o tamanho de grão recristalizado final, com uma maior redução no intervalo entre as taxas de 23,5°C/s e 41,5°C/s;
- o processo de recristalização do aço inoxidável ferrítico foi afetado diretamente pela variação da taxa de aquecimento do recozimento final. Com o aumento da taxa de aquecimento, ocorreu a redução da fração recristalizada para as amostras retiradas na mesma temperatura de interrupção, o que significa um aumento na temperatura de inicio da recristalização. Ocorreu o aumento da fração recristalizada com o aumento da temperatura de interrupção para a mesma taxa de aquecimento;
- as propriedades mecânicas também foram afetadas pelo aumento da taxa de aquecimento do recozimento final. O aumento da taxa de aquecimento proporcionou um aumento do limite de escoamento devido à redução do tamanho de grão;
- o coeficiente de anisotropia normal médio foi afetado diretamente pelo aumento da taxa de aquecimento, sendo este relacionado com a fibra γ. O aumento da taxa de aquecimento resultou na redução do coeficiente de anisotropia normal médio. O coeficiente de anisotropia normal médio mais alto foi obtido para a maior relação Gama/Teta, sendo este de 1,99.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Aperam South America pelo seu apoio na parte experimental e pela doação das amostras e à FAPEMIG, CAPES e CNPQ.

REFERÊNCIAS

- 1 SIQUEIRA, R. P.; SANDIM, H. R. Z.; OLIVEIRA, T. R. Texture evolution in Nbcontaining ferritic stainless steels during secondary recrystallization. **Materials Science and Engineering A**, v. 497, p. 216-223, 2008.
- 2 MURARI, F. D. Influência do processamento na laminação a frio no coeficiente de anisotropia normal de aços inoxidáveis ferríticos AISI 430. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2000. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- 3 WEI, D.; LAI-ZHU, J.; QUAN-SHE, S.; ZHEN-YU, L.; XIN, Z. Microstructure, Texture, and Formability of Nb+Ti Stabilized High Purity Ferritic Stainless Steel. Journal of Iron and Steel Research, International, v. 17, n. 6, p. 47-52, 2010.
- 4 PARK, J. T.; SZPUNAR, J. A.; CHA, S. Y. Effect of heating rate on the development of annealing texture in nonoriented electrical steels. **ISIJ International**, v. 43, n. 10, p. 1611-1614, 2003.



- ^{68th} abm int5^{rna} LEBRUN, J. L.; MAEDER, G.; PARNIERE, P. Analysis of the influence of the heating rate on the recrystallization of Low Carbon Steel Sheets. **6th International Conference on Textures of Materials (ICOTOM)**, p. 787-796, 1981.
 - 6 VITKIN, A. I.; GUSEVA, S. S.; SOKOLOVA, Z. I. V. G. M. Effect of heating rate on the recrystallization texture of low-carbon steel 08 kp. Dnepropetrovsh Metallurgical Institute, n. 4, p. 63-67, abril 1972.
 - 7 HUH, M. Y.; ENGLER, O. Effect of intermediate annealing on texture, formability andridging of 17%Cr ferritic stainless steel sheet. **Materials Science and Engineering** A308, p. 74–87, 2001.
 - 8 MULJONO, D.; FERRY, M.; DUNNE, D. P. Influence of heating rate on anisothermal recrystallization in low and ultra-low carbon steels. **Materials Science and Engineering**, p. 90-91, 2001.
 - 9 HUMPHREYS, F.F.; HATHERLY, M. Recrystallization and related annealing phenomena. 2.ed. ed. Kidlington: Elsevier, 2004. 574 p.
 - 10 DIETER, G. E. Mechanical metallurgy, London, 1986, 751p.
 - 11 HUTCHINSON, W. B. Development and control of anneling textures in low-carbon steels. International Metals Reviews, v. 29, p. 25-41, 1984.