



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À FORMAÇÃO DO FENÔMENO DE ESTRIAMENTO PARA O AÇO INOXIDÁVEL AISI 430

CON-2016-0353

Resumo: O modo e as condições de processamento mecânico afetam as propriedades de diversos tipos de materiais, como por exemplo, os materiais metálicos. Considerando esse aspecto, este trabalho apresenta o estudo das respostas exibidas pelo aço inoxidável AISI 430 a partir da realização de ensaios mecânicos (tração) de modo a identificar a ocorrência da imperfeição superficial de estriamento, roping ou ridging, explicada em termos da observação visual da superfície das chapas processadas mecânica e termicamente. Os resultados indicaram a influência da direção de solicitação mecânica (0° e 90° da direção de laminação original das chapas) e do estado inicial (como recebido ou recozido) na formação e na intensidade de formação do fenômeno de estriamento.

Palavras-chave: Estriamento, Trajetória de Deformação e Aço Inoxidável

1. INTRODUÇÃO

Os produtos estampados apresentam diversos tipos de imperfeição superficial, dentre eles o roping ou ridging, os quais podem ser explicados em termos do aumento da rugosidade média superficial a partir da observação de um aspecto semelhante à formação de estrias ao longo da superfície das chapas.

Essas imperfeições estão relacionadas, dentre outros aspectos, com o processo de deformação plástica presente na laminação (a quantidade de deformação por passe de laminação), a orientação dos grãos (textura), a composição química, as condições de tratamento térmico e o caminho de deformação (modo de solicitação mecânica).

Uma avaliação da influência do processamento termomecânico foi estudado por Jung, et. al. (2010), revelando que a laminação em dois passes com recozimento intermediário ocasiona uma textura mais resistente à formação de estrias quando comparada com a condição de laminação em um único estagio e recozimento final.

Estudos conduzidos por Zhalehfar (2015) indicaram a influência da textura na falha (presença de trincas) e no limite de estampabilidade (quantidade limite de deformação até a trinca do material) e Wen, et. al. (2015) confirmaram a influência da trajetória de deformação no modo de deformação de uma liga AZ31 Mg laminada e recozida de modo que a tensão de escoamento foi significativamente alterada em função da direção de solicitação mecânica.

Considerando esse aspecto este trabalho avalia a influência da direção de solicitação mecânica e do estado inicial para o aço inoxidável AISI 430, tipos A e E (este ultimo estabilizado ao nióbio), a partir da realização de ensaios mecânicos (tração) de modo a servir de referencia para identificar a ocorrência de imperfeições superficiais nesse material.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com uso do aço inoxidável ferrítico AISI 430, tipos A e E, com espessura de 1,0mm e 1,2mm, respectivamente.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a composição química para o aço inoxidável AISI 430 (tipo A) e AISI 430 (tipo E) respectivamente.

Tabela 1. Composição química média do aço AISI 430, tipo A (% em peso).

Elemento	C	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Nb
% em peso	0,043	0,299	16,154	0,149	0,012	514ppm	0,003

Tabela 2. Composição química média do aço AISI 430, tipo E (% em peso).

Elemento	C	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Nb
% em peso	0,017	0,246	16,096	0,238	0,049	209ppm	0,342

2.1. Ensaaios mecânicos

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de ensaios universal Instron modelo 5582, com uso de um extensômetro mecânico (tipo agulha) com 25mm de abertura máxima, modelo 2630-100 e o sistema de aquisição dados *Blue Hill 2*, sendo adotado o valor de taxa de deformação inicial igual a 0,001/s.

As amostras forma solicitadas a tração a 0° e 90 ° da direção de laminação original das chapas em corpos de provas com dimensões de 200 mm x 20 mm x 1mm (para o 430 (tipo A)) e 200 mm x 20 mm x 1,2mm (para o 430 (tipo E)), em amostras no estado como recebido (laminado a frio) e recozido (em laboratório).

A dureza Vickers no estado inicial dos aços inoxidáveis AISI 430(tipo A e E) feito com uso de um microdurômetro Shimadzu modelo HMV, com carga de 0,3 kgf e tempo de indentação de 15 segundos.

2.2. Tratamento Térmicos

As amostras dos aços inoxidáveis AISI 430 (tipos A e E) foram recebidas na condição recozida, sendo posteriormente submetidas ao tratamento térmico de recozimento em laboratório com uso do forno Mufla Linn Elektro Therm modelo KK260 mediante aquecimento até a temperatura de 800°C, tempo de encharque de 10 minutos com posterior resfriamento no interior do próprio forno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização mecânica e microestrutural dos materiais

Para a avaliação da variação de comportamento mecânico dos materiais foram traçadas curvas tensão-deformação convencional como exibido na Fig. 1 que exhibe as curvas correspondentes aos aços AISI 430 (tipo A) e 430 (tipo E), respectivamente, no estado como recebido (recozidas) de amostras que foram retiradas a 0° da direção de laminação, DL.

Nota-se que o aço 430 (tipo A) apresentou resistência mecânica maior, sendo isso atribuído, dentre outros aspectos, ao fato de esse aço apresentar espessura e tamanho de grão menores que o aço AISI 430 (tipo E) e como consequência, nota-se que a ductilidade do aço 430 (tipo A) foi menor que a do aço AISI 430 (tipo E) como percebido pelo valor menor de alongamento uniforme do primeiro aço, conforme demonstrado pelo resumo das propriedades mecânicas (limite de escoamento (LE), limite de resistência à tração (LRT) e alongamento uniforme (AU) exibido na Tab.3.

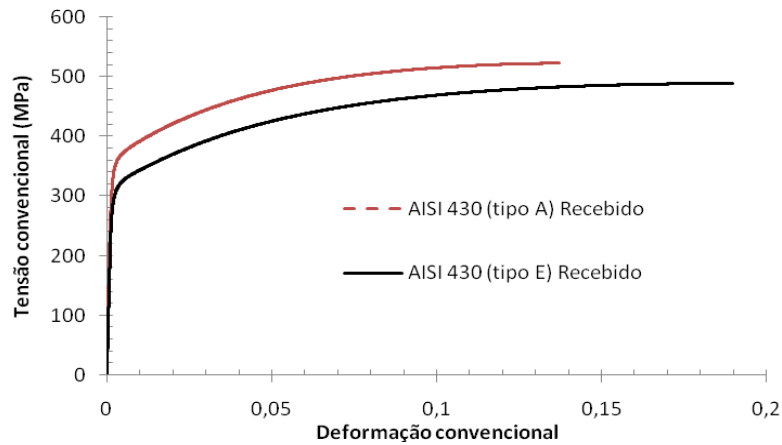


Figura 1 - Curvas tensão - deformação convencional para os aços AISI430, como recebido, a 0°DL.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço AISI 430 (tipo A e E) estado como recebido, 0°DL

Material	LE (MPa)	LRT (MPa)	AU (%)
AISI 430 (tipo A)	$359,3 \pm 1,1$	$524,1 \pm 1,3$	$15,1 \pm 2,3$
AISI 430 (tipo E)	$318,3 \pm 3,5$	$489,2 \pm 3,9$	$16,4 \pm 2,7$

De modo análogo, fez-se a caracterização mecânica dos aços AISI 430, (tipos A e E) no estado como recebido (recozidas), mas agora em amostras retiradas a 90° DL para o ensaio de tração. A Fig.2 exibe as respectivas curvas de tensão deformação convencional, enquanto que a Tab.4 apresenta o resumo das propriedades mecânicas para essa direção de sollicitação mecânica.

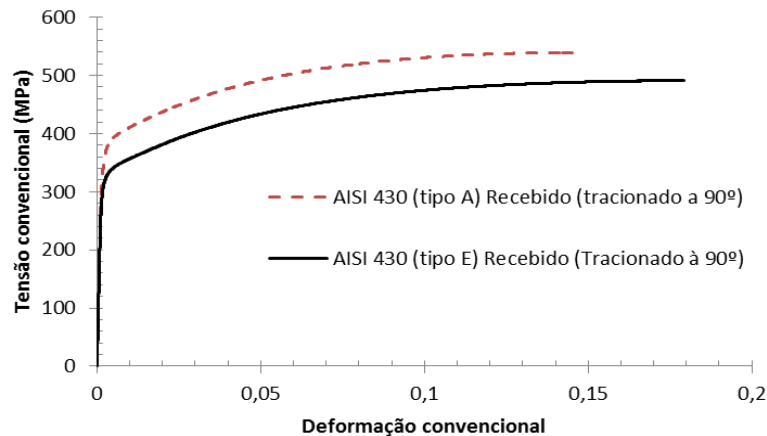


Figura 2– Curvas tensão - deformação convencional para os aços AISI430 (tipo A e E) no estado como recebido, a 90° DL.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas do aço AISI 430 (tipo A e E) estado como recebido, 90°DL.

Material	LE (MPa)	LRT (MPa)	AU(%)
AISI 430 (tipo A)	$381,0 \pm 1,4$	$539,2 \pm 1,3$	$13,5 \pm 1,2$
AISI 430 (tipo E)	$330,0 \pm 0,1$	$488,7 \pm 0,7$	$18,6 \pm 0,1$

A Figura 3 exibe as curvas tensão deformação dos aços AISI 430, (tipos A e E) obtidas a partir do ensaio de tração realizados após o tratamento térmico de recozimento conduzido em laboratório, em amostras retiradas a 0° DL, enquanto a Tab.5 apresenta o resumo das propriedades mecânicas desses aços para essa condição de tratamento térmico.

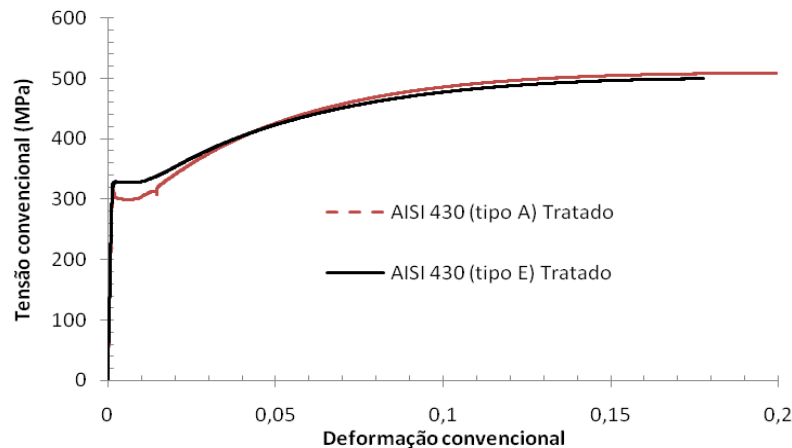


Figura 3 - Curvas tensão - deformação convencional para os aços AISI430 recozido, 0° DL.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas do aço AISI 430 (tipo A e E) estado como recebido, 90°DL.

Material	LE (MPa)	LRT (MPa)	AU (%)
AISI 430 (tipo A)	313,3 ± 2,8	521,7 ± 6,1	17,0 ± 0,5
AISI 430 (tipo E)	321,6 ± 7,6	494,5 ± 4,6	18,2 ± 1,4

De modo análogo, a Fig. 4 apresenta as curvas tensão - deformação convencional das amostras cortadas a 90° DL que foram tratadas (recozidas) e tracionadas.

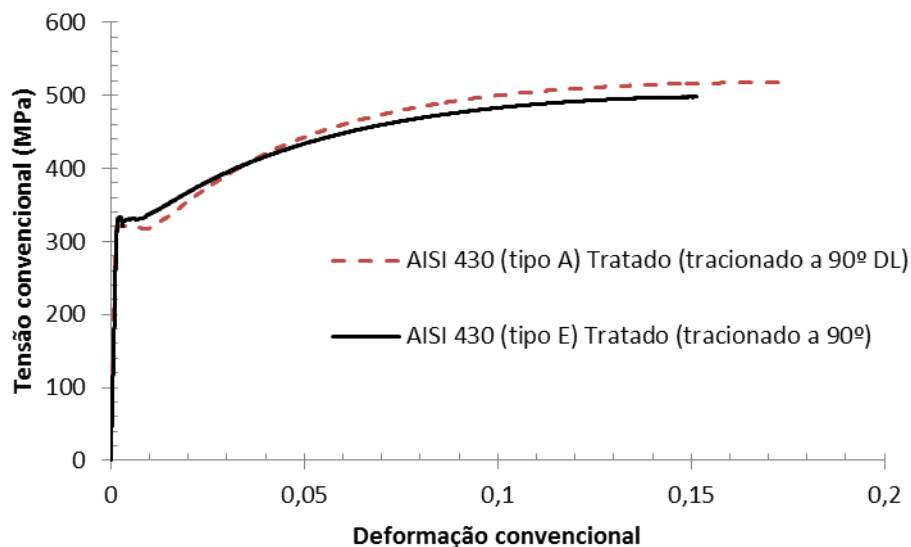


Figura 3 - Curvas tensão - deformação convencional para os aços AISI430 tratados, 90° DL.

Pela análise das **Error! Reference source not found.** 3 e 4 é possível observar que o tratamento térmico de recozimento reduziu de modo significativo a diferença de resistência mecânica entre os aços AISI 430, quando se compara essa condição com o estado como recebido desses materiais (**Error! Reference source not found.**). Pode-se afirmar que com a condução do tratamento térmico de recozimento a resistência mecânica, outrora maior para o aço AISI 430 (tipo A) foi reduzida, tornando os dois materiais mais semelhantes sob esse aspecto, reduzindo assim, a influência do encruamento prévio dos aços AISI 430 na formação da imperfeição superficial das chapas desse aço inoxidável.

Destaca-se ainda que com a condução do recozimento em laboratório, o fato de o aço AISI 430 (tipo E) ter maior quantidade de nióbio (em solução sólida e na forma de precipitados) o que restringe o crescimento de grão desse material após a condução do tratamento térmico de recozimento, Oliveira et al., 2013.

Por fim, a Tabela 6 exibe o valor de dureza Vickers no estado como recebido dos aços AISI 430

Tabela 6 - Dureza Vickers média obtidas para os aços AISI 430 (tipo A) e AISI 430 (tipo E)

Aço	Valores de microdureza (HV)
AISI 430 (tipo A)	190,4 ($\pm$ 4,7)
AISI 430 (tipo E)	182,7 ($\pm$ 2,6)

3.2. Fenômeno de estriamento para o estado como recebido

Por se tratar de imperfeições superficiais macro, o grau (intensidade), das estrias foi avaliado a vista desarmada com uso de máquina fotográfica, para cada estado considerado. As Fig. 5 e 6 revelam o aspecto das amostras dos aços inoxidáveis AISI 430 (tipos A e E) no estado como recebido que foram tracionadas até o ponto de limite de resistência à tração em amostras retiradas a 0° DL e 90° DL, respectivamente.

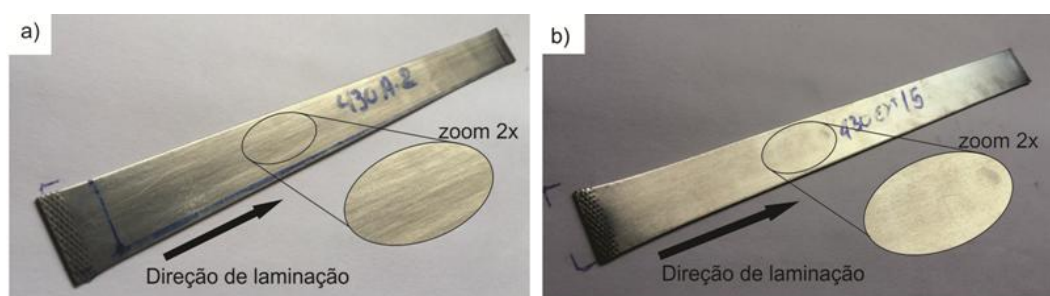


Figura 4 - Aspecto superficial dos corpos de prova no estado como recebido e tracionado a 0° DL: .a) aço inoxidável AISI 430 (tipo A) e b) aço inoxidável AISI 430 (tipo E).

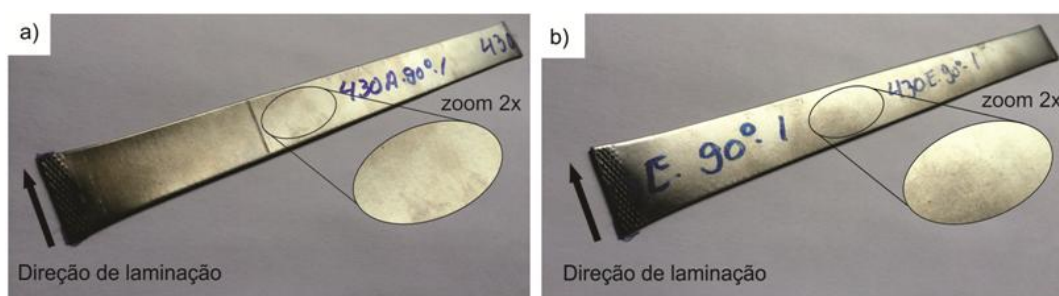


Figura 5- Aspecto superficial dos corpos de prova no estado como recebido e tracionado a 90° DL: aço inoxidável AISI 430 (tipo A) e b) aço inoxidável AISI 430 (tipo E).

Par a condição do aço no estado como recebido notou-se a ocorrência do fenômeno de estriamento apenas para o aço AISI 430 (tipo A). Diante do exposto, é possível dizer que, para o aço AISI 430 (tipo A), nas condições de esforços mecânicos avaliados neste trabalho, a susceptibilidade de ocorrência de estrias é maior quando comparado ao outro material AISI 430 (tipo E).

3.3. Fenômeno de estriamento para o estado recozido

Para avaliar a possível influência do tratamento térmico de recozimento à formação das estrias para os aços AISI 430, os corpos de prova desse material foram recozidos e posteriormente tracionados. Verificou-se de modo análogo ao

observado para as chapas no estado como recebido que as estrias ocorreram apenas para o aço AISI 430(tipo A) e para a condição de solicitação mecânica a 0°DL conforme revelado pelas Fig. 7 e 8.

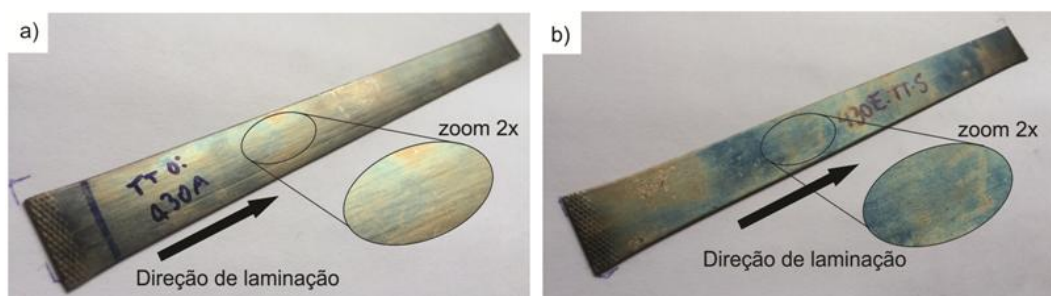


Figura 6 - Aspecto superficial dos corpos de prova recozidos e tracionados a 0° DL: a) aço inoxidável AISI 430 (tipo A) e b) aço inoxidável AISI 430 (tipo E).

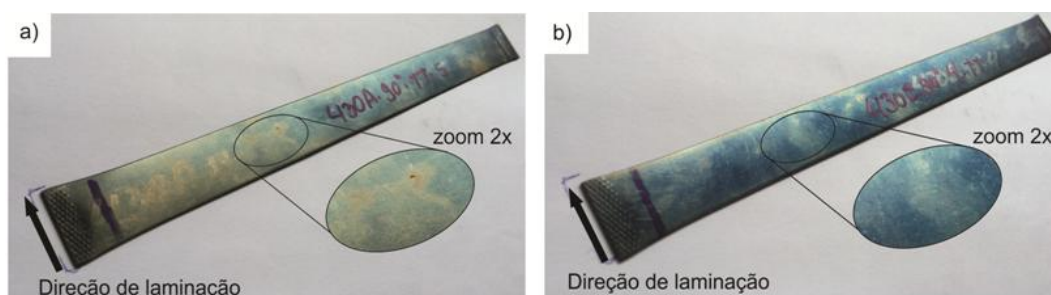


Figura 7 - Aspecto superficial dos corpos de prova recozidos e tracionados a 90° DL: a) aço inoxidável AISI 430 (tipo A) e b) aço inoxidável AISI 430 (tipo E).

Nota-se pela análise das Fig. 5 e 7 nota-se que a intensidade das estrias (grau) foi semelhante tanto para as amostras no estado recebido quanto para o estado recozido. Esse resultado permite concluir que a condução do tratamento térmico de recozimento nas condições de processamento termomecânico aplicadas neste trabalho para os aços AISI 430 não influenciaram no aparecimento das estrias, embora o comportamento mecânico tenha sido modificado, como atestado pela redução da diferença de resistência mecânica entre os mesmos.

Estudos feitos por Siyasiya et. al. (2015) revelaram que a presença do nióbio e do titânio no aço inoxidável AISI 441 contribui para a formação de uma textura favorável à formação de estrias quando submetido ao trabalho a frio seguido de tratamento térmico de recozimento. Embora não tenha sido avaliada a textura para os aços AISI 430 deste trabalho verificou-se que o tratamento térmico não afetou significativamente a susceptibilidade à formação de estrias para nenhum dos aços AISI 430, embora isso não indique que a textura não influencie a ocorrência dessa imperfeição.

4. CONCLUSÃO

Os aços inoxidáveis AISI 430, tipos (A) e (E) no estado como recebido (recozido) e recozido em laboratório (aquecimento feito a 800°C durante 10 minutos com posterior resfriamento no interior do forno) foram testados em tração para investigar a evolução do comportamento mecânico e da susceptibilidade à formação da imperfeição superficial de estriamento em amostras retiradas a 0° e a 90° da direção de laminação original desses aços. Os resultados indicaram:

- a) a resistência mecânica mecânica maior para o aço AISI 430, tipo A, e ductilidade menor, quando comparado com o aço AISI 430, tipo E, para o estado de recebimento desses aços;
- b) a tendência maior de formação do fenômeno de estriamento para o aço AISI 430, tipo A, para todas as condições de solicitação termomecânica avaliadas neste trabalho;
- c) a tendência maior de formação do fenômeno de estriamento para a direção original de laminação das chapas para o aço AISI 430, indicando a provável influência da textura na ocorrência desse tipo de imperfeição superficial;
- d) verificou-se que o estado inicial do material (recozido e recozido duplamente) influenciou apenas no comportamento mecânico dos materiais (amaciamento após a condução do recozimento), não sendo uma das variáveis para a detecção das estrias para as condições investigadas neste trabalho.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pela realização desse trabalho.

6. REFERENCIAS

- Jung, I., Mola, J., Chae, D., Cooman, B.C., 2010, "Influence of the Cold Rolling and Annealing Sequence on the Ridging Behaviour of Ti-Stabilized 18% Cr Ferritic Stainless Steel", Steel Research International, v. 81, n. 12, p. 1089-1096.
- Oliveira, T.R., Silva, R.C.R., Alcântara, C.M., Lopes, R.G., Ferreira, J.S., Arthuso, E.M., Coimbra, D.L., Machado, V.C., Guida, R.B., Martins, S.R., 2013, "Aço inoxidável ferrítico tipo ASTM 430 para estampagem profunda, com alto brilho e isento de estriamento, Anais do 69º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, ABM 2013, p. 1 – 11.
- Siyasiya, C. W.; Maruma, M. G.; Stumpf, W. E., 2015, "Influence of chemical composition on the evolution of texture in 441 ferritic stainless steels", In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. p. 1-4.
- Wen, W., Borodachenkova, M., Tomé, C.N., Vincze, G., Rauch, E.F., Barlat, F., Grácio, J.J., 2015, "Mechanical behavior of Mg subjected to strain path changes: experiments and modeling", International Journal of Plasticity, v. 73, p. 171-183.
- Zhalehfard, F.; Hashemi, R.; Hosseini, S. J., 2015, "Experimental and theoretical investigation of strain path change effect on forming limit diagram of AA5083", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 76, p. 1343-1352.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

STUDY OF THE ROPING FOR THE AISI 430 STEEL

CON-2016-0353

Abstract: *The mode and the mechanical conditions affect the properties of the materials, such as the metallic materials. Considering this aspect this work presents the study of the mechanical properties and the occurrence of the roping on the AISI 430 steel as received and annealing from tensile tests and visual observation of the steel sheets. The results indicated the influence of the direction of the mechanical effort (0° and 90° from rolling direction, RD) and the initial state (as received and annealing) on the occurrence and intensity of the roping phenomenon.*

Key words: *Roping, Strain Path and Stainless Steel.*