

AVALIAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA NO AISI 321 DEFORMADO A FRIO POR TÉCNICAS NÃO-DESTRUTIVAS

Rodrigo de Souza Brito Lira Fernandes

Hugo Ribeiro da Igreja

Juan Manuel Pardal

Sergio Souto Maior Tavares

Andréia de Souza Martins Cardoso

Rodrigo Chales

Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, sala 108-C bloco E, CEP 24210-240

rodrigolira@id.uff.br

hugoigreja@id.uff.br

juanpardal@id.uff.br

ssmtavares@id.uff.br

asmcardoso@id.uff.br

rodrigochales@id.uff.br

Ricardo Carneval

Gabriela Ribeiro Pereira

Vitor Manoel Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais

rocarneval@gmail.com

gpereira@metalmat.ufrj.br

vmsilva@poli.ufrj.br

Resumo. Os processos de conformação a frio são normalmente empregados nos aços inoxidáveis austeníticos (AIA) em estágios finais da fabricação de fios, barras, placas e tubos de modo atingir um ajuste preciso das dimensões da peça fabricada visando ainda uma melhora nos valores das propriedades mecânicas. Neste processo pode ocorrer a transformação da fase austenita para martensita em função da composição química do aço inoxidável. Em trabalhos recentes, a influência do teor de carbono na transformação martensítica de aços inoxidáveis estabilizados ao titânio foi investigada por ensaios destrutivos mediante uso de um Magnetômetro de Amostra Vibrante (Vibrating Sample Magnetometer - VSM). Com base nessas informações, ensaios não destrutivos de correntes parasitas, ferritoscopia e resistividade por meio do uso de sonda de quatro pontos se mostraram promissores na determinação da quantidade de martensita, de forma não intrusiva, que pode influenciar nas propriedades mecânicas e na resistência à corrosão do material. Dessa maneira, é possível realizar o estudo e análise desse fenômeno em estágios finais de fabricação de componentes desse material, assim como poder avaliar o grau de transformação martensítica durante a vida em serviço desses componentes em decorrência de possíveis deformações locais.

Palavras chave: AISI 321, Laminação à frio, Transformação Martensítica, Ensaios não-Destrutivos

1. INTRODUÇÃO

Os processos de deformação plástica a frio em aços inoxidáveis austeníticos (AIA) são muito empregados nas etapas finais de fabricação como consequência de sua grande ductilidade, assim como do elevado coeficiente de encruamento (n) que conduz ao endurecimento por este mecanismo podendo-se obter ganhos expressivos na resistência mecânica desta família de aços inoxidáveis (AI), sem levar ainda em consideração que os eles comumente não endurecem por tratamento térmico. Um exemplo de processo de endurecimento por encruamento é a trefilação de tubos e arames, os quais se ajustam às dimensões finais dos componentes assim trabalhados (Wright, R.N., 2011; Ishimaru *et al.*, 2015). No entanto, outras aplicações onde são requeridas deformações plásticas, são observadas em AIA, como na fixação por deformação de tubos em acessórios, em conexões especiais e flanges. A união por mandrilagem de feixes tubulares a espelhos de trocadores de calor convencionais de casco e tubo é outro exemplo de fixação por interferência muito empregada na indústria (Corte *et al.*, 2015). Além disso, o processo de hidroestiramento de vasos de pressão é uma metodologia adotada pela ASME para beneficiar as propriedades mecânicas de determinadas designações de AIA, tornando a construção e economia de peso do vaso competitiva com outros tipos de materiais para serviços de criogenia (ASME VIII; Lu & Hui, 2015). Por outro lado, determinados componentes de processo construídos em AIA que operam em serviços cíclicos, tais como

autoclaves e outros vasos de pressão, podem experimentar deformações plásticas locais alterando as propriedades mecânicas e resistência à corrosão nas referidas regiões.

Nos exemplos de processamento e operação supracitados pode ocorrer uma transformação da austenita em martensita que dependerá da composição química da liga, do nível de deformação verdadeira imposta, além da temperatura de arrefecimento do material, dentre outros fatores (Teixeira Tavares, 2015; Pardal *et al.*, 2013). Portanto, nesta família de aços inoxidáveis diversas pesquisas tiveram como intuito o estudo do efeito da transformação martensítica por deformação plástica a frio, fundamentalmente nos aços AISI 201, 301 e 304 (Tavares *et al.*, 2009; Hedayati *et al.*, 2010). Entretanto, nos AIA estabilizados ao Ti foi recentemente noticiada a significativa influência do teor de carbono na transformação martensítica, onde baixos teores deste elemento de liga aceleram consideravelmente esta transformação aumentando a sua temperatura de transformação (M_s) próxima à do ambiente (Teixeira Tavares, 2015; Pardal *et al.*, 2013).

Assim, considera-se necessária a utilização de técnicas de caracterização não destrutivas, de modo avaliar a transformação martensítica em aços inoxidáveis austeníticos visando tanto o controle de qualidade de peças conformadas a frio assim como o monitoramento na inspeção de componentes em serviço, que possam promover mudanças indesejáveis nas propriedades mecânicas e na resistência à corrosão. Deste modo, ensaios não-destrutivos surgem como alternativas viáveis, pois são simples e rápidos de serem executados no local, através de uma calibração prévia e a posterior obtenção dos valores dos parâmetros. Por fim esse artigo permite realizar um comparativo das técnicas de correntes parasitas, ferritoscopia e resistividade, comparando valores assim obtidos com medidas de dureza.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material de estudo é o aço inoxidável austenítico (AIA) AISI 321, estabilizado ao Ti e contendo baixo teor de carbono (BC), foram retiradas na direção longitudinal de tubos como recebidos. A composição química deste material é detalhada na Tab. 1.

Tabela 1. Composição química do AIA AISI 321 estudado.

Id	Porcentagem em Peso do elemento (%)									
	Cr	Ni	Mn	Si	Ti	C	S	P	Mo	N
BC	17,1100	9,2200	0,8530	0,5220	0,1000	0,0148	0,0024	0,0320	0,0620	0,0140

De maneira prévia, o material usinado foi solubilizado à temperatura de 1100°C durante 40 minutos em um forno tubular em atmosfera controlada contendo argônio como gás inerte. Logo após, as amostras foram laminadas a frio na direção longitudinal, obtendo-se deste modo diferentes valores de deformação verdadeira (ε_v) mediante uso da Eq. (1), onde t_f é a espessura final da amostra e t_i é o valor de sua espessura inicial.

$$\varepsilon_v = \ln \left(\frac{t_f}{t_i} \right) \quad (1)$$

Ressalta-se ainda que as deformações verdadeiras impostas são semelhantes às consideradas em trabalhos recentes os mesmos materiais, onde a fração volumétrica de austenita transformada em martensita (α') foi determinada pelo uso de um magnetômetro de amostra vibrante (*VSM*).

2.1. Ajuste dos resultados de *VSM*

Como técnica de referência para quantificação da austenita transformada escolheu-se o *VSM*, por sua robustez e análise do volume completo da amostra. Os resultados obtidos por Tavares (2014) foram levados em consideração para aplicação do ajuste proposto pela teoria de Olson – Cohen (Olson & Cohen, 1975). Esta teoria modela a cinética da nucleação martensítica através do aumento, em taxa constante, da quantidade de interseções de bandas de cisalhamento da austenita. A Eq. (2) relaciona a formação das bandas de cisalhamento da austenita com a deformação aplicada, sendo a uma constante independente da deformação aplicada e dependente da energia de falha de empilhamento (EFE) e da taxa de deformação aplicada.

$$f^{sb} = 1 - e^{-a\varepsilon} \quad (2)$$

A Equação (3) constitui o cálculo da quantidade martensita transformada, onde o termo n é uma constante fixa e o termo β é um parâmetro proporcional à probabilidade de uma interseção formar um embrião de martensita e é dependente da temperatura e da composição química (Olson & Cohen, 1975).

$$f^{\alpha'} = 1 - e^{-\beta(1-e^{-a\varepsilon})^n} \quad (3)$$

A Figura 1 mostra os valores das quantificações de austenita transformada em martensita (α') calculada por Tavares (2014) através das propriedades magnéticas obtidas pelo ensaio *VSM* e o ajuste da função proposta pela teoria de Olson – Cohen. Os dados ajustados suportam satisfatoriamente a teoria com $a = 4,644$, $\beta = 3,505$ e $n = 3,074$, obtendo o coeficiente de correlação $R^2 = 0,99$.

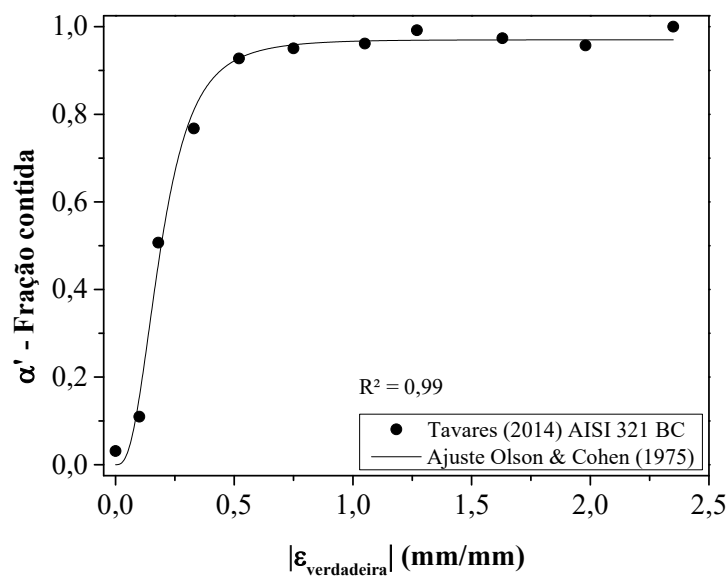


Figura 1. Ajuste da função de Olson & Cohen (1975) para as medições de martensita transformada pela técnica de *VSM*, denotando o comportamento sigmoide da transformação martensítica no AIA AISI 321 BC

2.2. Medições por correntes parasitas (EC)

As medições por correntes parasitas ou *Eddy Current* (EC) foram realizadas em um equipamento da marca Olympus, modelo Nortec 500D, empregando-se uma sonda tipo superficial pontual de marca Nortec, modelo 9222164, de 2,0 mm de diâmetro. Os parâmetros de ajuste no equipamento foram Probe drive de 1,0 volt; Frequência de 500 kHz; Rotação de 15° e Ganhos Horizontal e Vertical de 47,0 e 59,1 dB, respectivamente.

Os resultados de ângulo de fase (φ) obtidos foram convertidos para radianos e normalizados em relação à amostra sem deformação ($\varphi_{\varepsilon=0}$) – através da Eq. (4) – a fim de facilitar sua correlação com o percentual de austenita transformada em martensita.

$$\varphi_{\text{relativo}} = 1 - \frac{\varphi_{\varepsilon=0}}{\varphi} \quad (4)$$

2.3. Medições por leitura do ferritoscópio (LF)

A martensita α' contida nas amostras foi medida baseada na alteração da permeabilidade magnética do material. Para tal, foi utilizado um equipamento da marca (Helmut Fischer GmbH, modelo FMP30). O dispositivo foi calibrado com blocos padrões de ferrita, fornecidos pelo fabricante, contendo teores de: 0,52%, 3,05%, 10,20%, 30,10%, 55,40% e

100%. Foram realizadas vinte e quatro medições em cada amostra, doze em cada face, em locais arbitrários de sua superfície.

2.4. Medições por resistividade elétrica (ρ)

As medições de resistividade elétrica de todas as amostras foram realizadas segundo a norma ASTM F43-99, utilizando o método de sonda de quatro pontas em linha, equidistantes – $s = 2,14 \text{ mm}$. As duas pontas de prova externas fornecem corrente constante de 1,0 A – injetada por uma fonte de corrente contínua. Um multímetro digital (Keysight® 34401A de 6 ½ dígitos) foi conectado em série à fonte de corrente contínua para medição precisa dos valores de corrente. Por outro lado, as duas pontas de prova internas medem a diferença de potencial elétrico através de um segundo multímetro digital (Keysight® 34461A de 6 ½ dígitos). De posse dos valores de corrente (i) e diferença de potencial (V) medidos, utilizou-se a Eq. (5) para calcular a resistividade elétrica (ρ).

$$\rho = \frac{V}{i} w F_3 F_4 \quad (5)$$

Onde w , a e d representam a espessura da amostra, seu comprimento e sua largura, respectivamente. Os fatores geométricos de correção F_3 e F_4 são calculados através das eq. (6) e (7), respectivamente, considerando as amostras isotrópicas e com geometria prismática finita (Miccoli et al., 2015, Girotto & Santos, 2002).

$$F_3 = \frac{\pi}{\left(\pi \frac{s}{d}\right) + \ln\left(1 - e^{-\frac{4\pi}{d}}\right) - \ln\left(1 - e^{-\frac{2\pi s}{d}}\right) + \left[e^{-2\pi\left(\frac{a}{s}-2\right)\frac{s}{d}} \left(\frac{\left(1 - e^{-\frac{6\pi s}{d}}\right)\left(1 - e^{-\frac{2\pi s}{d}}\right)}{\left(1 + e^{-\frac{2\pi a}{d}}\right)}\right)\right]} \quad (6)$$

$$F_4 = \frac{2s \ln 2}{\left\{w + 4s \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s}{w}\right)^2 + (2n)^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{2s}{w}\right)^2 + (2n)^2}}\right)\right]\right\}} \quad (7)$$

Assim como nas medições de correntes parasitas, os resultados foram normalizados em relação à amostra sem deformação ($\varphi_{\varepsilon=0}$) – através da Eq. (8) – a fim de facilitar sua correlação com o percentual de austenita transformada em martensita.

$$\rho_{\text{relativo}} = \frac{\rho}{\rho_{\varepsilon=0}} - 1 \quad (8)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Trabalhos como os de Narutani & Takamura (1991), Kocer *et al.* (1991) e Khodabakhshi & Kazeminezhad (2011) demonstraram que a técnica de mensuração da resistividade elétrica é sensivelmente influenciada pela deformação plástica e o aumento da densidade de discordâncias. Desta maneira, foi proposto neste estudo que as técnicas não destrutivas são indicadores proporcionais do aumento da fração de bandas de cisalhamento de acordo com a deformação plástica imposta. Portanto, adicionando-se um termo linear proporcional (F) à Eq. (9), faz-se possível estimar a fração de bandas de cisalhamento utilizando as técnicas mencionadas nos itens 2.2, 2.3 e 2.4.

$$Q = F (1 - e^{-a\varepsilon}) \quad (9)$$

Onde na Eq. (9), Q representa o resultado medido na técnica não destrutiva e F seu respectivo fator de proporcionalidade com a quantidade de bandas de cisalhamento esperada para aquela condição. O valor de α considerado foi o mesmo obtido no ajuste dos resultados de Tavares (2014) pela equação de Olson - Cohen.

A Figura 2 ilustra os resultados medidos em cada técnica não destrutiva para todas as condições de deformação plástica imposta. Técnicas como as de corrente parasitas e resistividade elétrica sofreram normalização. O ajuste foi feito seguindo a Eq. (9) e os resultados obtidos são apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados obtidos no ajuste da Eq. (9) para os dados experimentais de cada técnica de medição

Técnica não- destrutiva	F	Coefficiente de Correlação (R^2)	α
EC – Correntes parasitas (a)	0,541	0,95	4,644
Ferritoscopia (b)	0,683	0,98	4,644
Resistividade elétrica (c)	0,749	0,99	4,644

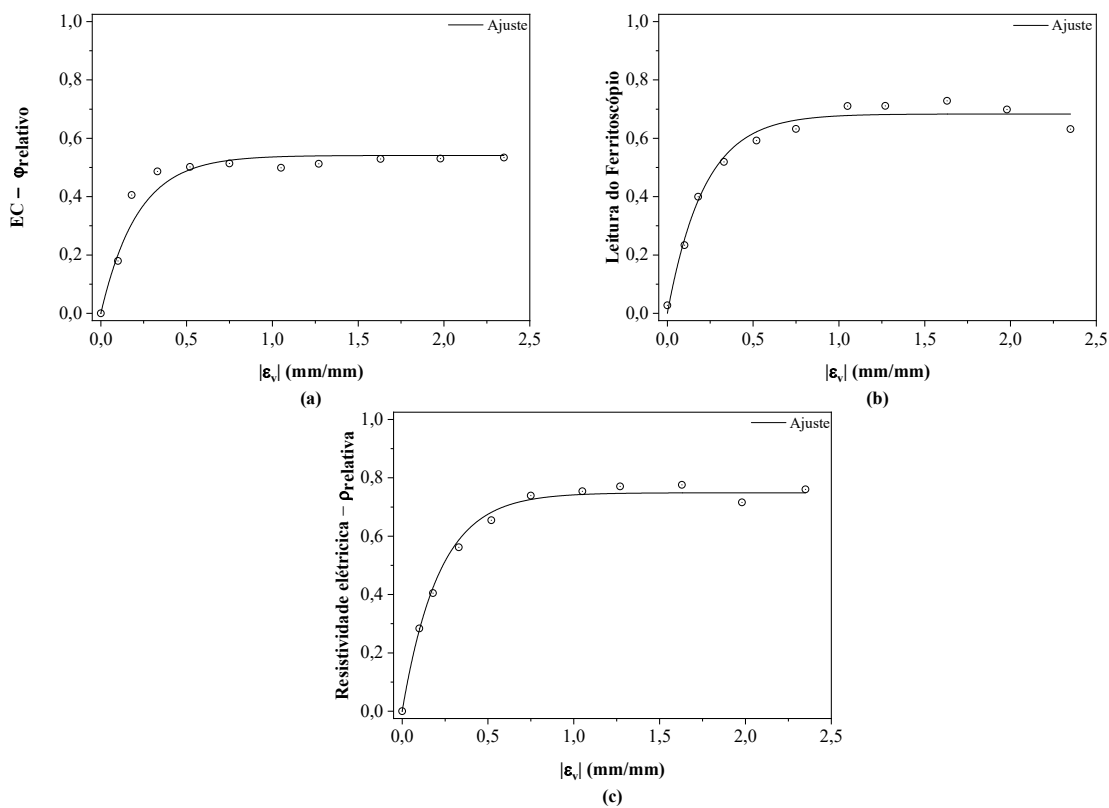


Figura 2. Resultados normalizados das medições das amostras deformadas pela técnica de: (a) Correntes parasitas, (b) Ferritoscopia e (c) Resistividade elétrica

Com os valores das constantes de proporcionalidade de cada técnica e os parâmetros ajustados com os resultados de Tavares (2014) pela função de Olson – Cohen, foi possível escrever as Eq. (10), (11) e (12) que relacionam as medições de cada técnica não destrutiva diretamente com o percentual de austenita transformada em martensita para o aço estudado.

$$\text{Correntes parasitas - EC} \quad f^{\alpha'} = 1 - e^{-3,505(1,848 \text{ EC})^{3,074}} \quad (10)$$

$$\text{Leitura do Ferritoscópio - LF} \quad f^{\alpha'} = 1 - e^{-3,505(1,464 \text{ LF})^{3,074}} \quad (11)$$

$$\text{Resistividade elétrica relativa - } \rho_{\text{relativa}} \quad f^{\alpha'} = 1 - e^{-3,505(1,335 \rho_{\text{relativa}})^{3,074}} \quad (12)$$

O gráfico da Fig. 3 ilustra um comparativo entre as quantificações obtidas por cada técnica e aplicando as respectivas equações de conversão, ressaltando a referência da técnica *VSM*, que apesar de ser destrutiva é a técnica com maior

precisão na quantificação de martensita transformada. Observa-se que existe pouca variação entre os métodos nas quantificações em baixa deformação verdadeira. A exceção encontra-se em valores próximos a $\varepsilon = 0,3$ onde a técnica de correntes parasitas destoa em relação às outras, fato que se observa até a faixa de $\varepsilon = 0,4$. Acima deste valor de deformação verdadeira, não há diferença significativa entre as técnicas de quantificação apresentadas.

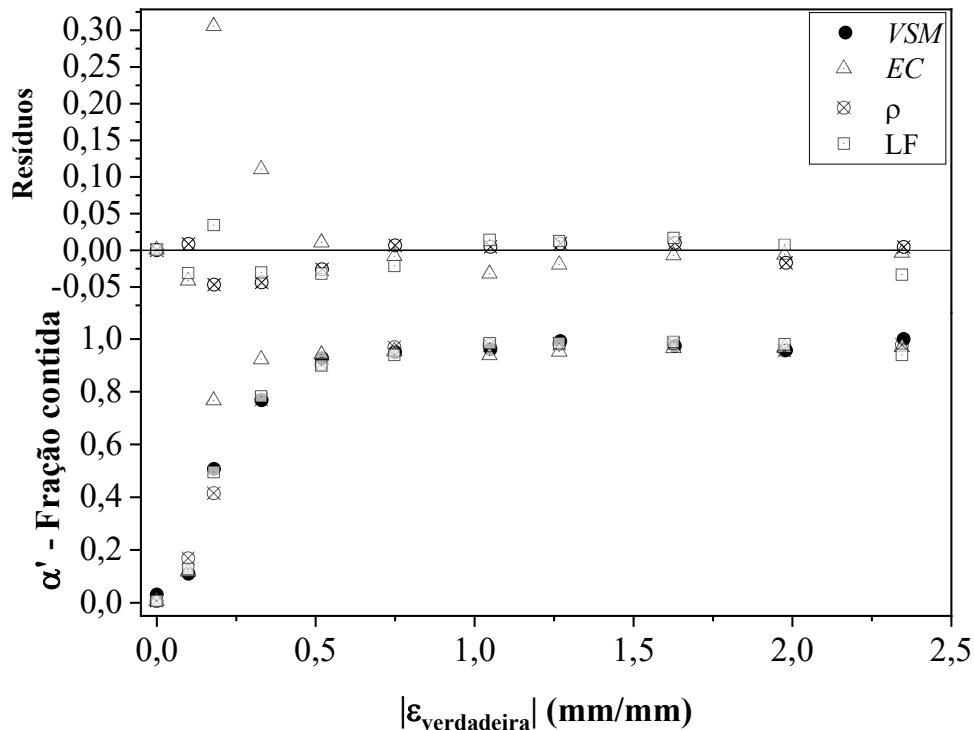


Figura 3. Gráfico comparativo das quantificações de martensita transformada determinadas por cada técnica e seus respectivos resíduos

A Fig. 4 mostra os resultados de microdureza medidos em todas as amostradas deformadas. Assim como nos casos das técnicas anteriores, a tendência é um crescimento proporcional à deformação imposta. Entretanto, a curva não aparenta apresentar comportamento exponencial assintótico assim como as demais.

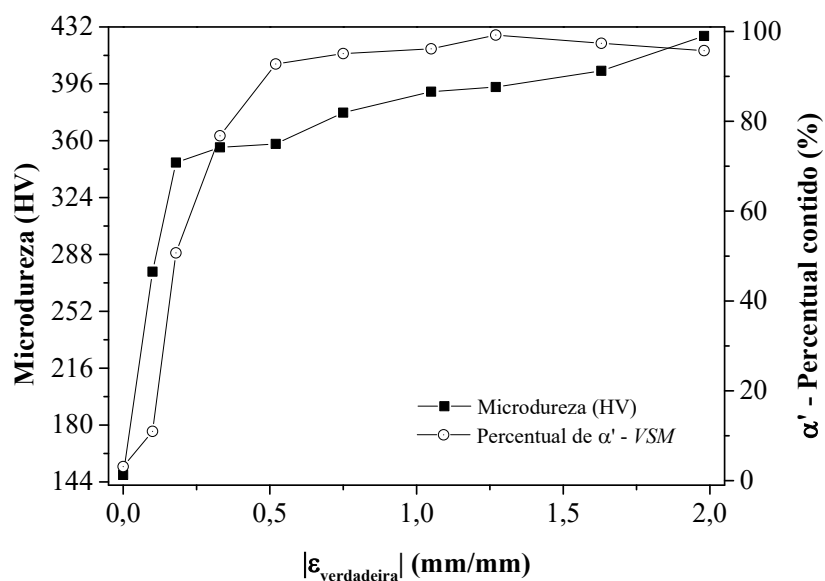


Figura 4. Resultado da microdureza Vickers no AISI 321 BC em função da deformação plástica imposta comparado com a evolução na quantidade de martensita

4. CONCLUSÕES

Percebe-se que o método de quantificação proposta para correntes parasitas apresenta dificuldades nas previsões de martensita transformada na faixa de $\varepsilon = 0,3$ a $\varepsilon = 0,4$. Nas demais faixas o resíduo encontra-se na faixa de 5%. Este fato não se observou nas outras técnicas (resistividade e ferritoscopia), estando os resíduos constantemente próximos da faixa de 5%.

Se por um lado a técnica de *VSM* parece ser a mais vantajosa em termos de fidelidade a quantificação real, por outro as demais técnicas oferecem amplos benefícios em relação a realização das quantificações *in situ*. De posse de um fator de conversão adequado, como os calculados no presente trabalho, as técnicas não destrutivas fornecem boa precisão de resultados para amostras deformadas plasticamente a frio. Evidentemente, para aços diferentes a avaliação dos fatores de conversão faz-se necessária, assim como os parâmetros adicionais da função de Olson - Cohen.

Em relação ao comparativo entre as técnicas não destrutivas, o uso do ferritoscópio oferece vantagem entre as demais pois é o mais portátil e não perde em sensibilidade em deformações plásticas baixas, como é o caso da corrente parasita. Alternativamente, o presente estudo também encontrou funções de ajuste direto das medições das técnicas não destrutivas com a técnica de *VSM*. Tais ajustes também apresentaram satisfatório coeficiente de determinação R^2 , conforme Tab. 2. Pode-se notar que a técnica de resistividade também apresentou ajuste elevado nesta metodologia, levando a crer que tal técnica é promissora na avaliação do fenômeno da transformação martensítica por deformação a frio.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de pesquisa brasileiras (CAPES 001, FAPERJ e CNPq) pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM F43-99. Standard Test Methods for Resistivity of Semiconductor Materials (Withdrawn 2003). ASTM, West Conshohocken, 2003, USA.
- ASME VIII div 1, 2013. "Rules for Construction of Pressure Vessels". The American Society of Mechanical Engineers, USA. Mandatory Appendix 44, p. 562-564.
- Corte, J.S.; Rebello, J.M.A.; Areiza, M.C.L.; Tavares, S.S.M.; Araujo, M.D. "Failure analysis of AISI 321 tubes of heat exchanger" Engineering Failure Analysis. Volume 56, October 2015, p. 170–176.
- Giroto, E.M.; Santos, I.A. Medidas de resistividade elétrica DC em sólidos: como efetuá-las corretamente. Química Nova. Vol. 25, No 4, pp. 639-647, 2002.
- Hedayati, A.; Najafizadeh, A.; Kermanpur, A.; Forouzan, F. The effect of cold rolling refine on microstructure and mechanical properties of AISI 304L stainless steel. Journal of Materials Processing Technology. 2010; 210: 1017-1022.
- Ishimaru, E, Hamasaki, H., Yoshida F., 2015. "Deformation-induced martensitic transformation behavior of type 304 stainless steel sheet in draw-bending process" J. Mater Process Tech. 223, 34-38.
- F. Khodabakhshi, M. Kazeminezhad. The effect of constrained groove pressing on grain size, dislocation density and electrical resistivity of low carbon steel. Materials & Design, Volume 32, Issue 6, 2011, Pages 3280-3286, ISSN 0261-3069, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.02.032>.
- Kocer, M.; Sachslehner, F.; Muller, M.; Schafner, E.; Zehetbauer, M. Grain-size strengthening in terms of dislocation density measured by resistivity. Acta metall mater. Vol 39, No 8, pp. 2037 - 2049, 1991.
- Liu, K., Zhao, Z., Zhang Z. "Characterization of Early Fatigue Microstructure in AISI 321 Steel Using Eddy Current Non-destructive Methodology" Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. Dec.2013 1201.
- Lu, Y.Q., Hui, H., 2015. "Investigation on Mechanical Behaviors of Cold Stretched and Cryogenic Stretched Austenitic Stainless Steel Pressure Vessels" Procedia Eng. 130, 628-637.
- Miccoli, I.; Edler, F.; Pfnur, H.; Tegenkamp, C. The 100th anniversary of the four-point probe technique: the role of probe geometries in isotropic and anisotropic systems. Journal of Physics: Condensed Matter. Vol. 27, No 22, 2015.
- Narutani, T., Takamura, J. Grain-size strengthening in terms of dislocation density measured by resistivity. Acta metall mater. Vol 39, No 8, pp. 2037 - 2049, 1991.
- Pardal, J.M.; Montenegro, T.R.; Tavares, M.T.; Tavares, S.S.M.; Fonseca, M.P.C.; DA Silva, M.R.; Pardal, J.P. "Influencia del Tenor de Carbono en la Transformación Martensítica por Deformación a Frio en el Acero Inoxidable" AISI 321. In: 11º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 2013, La Plata - Argentina. Actas do XI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 2013, La Plata - Argentina: Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata, 2013. p. 2893-2905.
- Surkialiaba D, R., Hedayati, A., Alam, A. S. "Monitoring of Martensitic Transformation in Cold-Rolled 304L Austenitic Stainless Steel by Eddy Current Method" v.2, n.10, pp 312- 323, 2009

Tavares, M.T. Avaliação da transformação martensítica por deformação a frio no aço inoxidável austenítico AISI 321 contendo diversos teores de carbono. Niterói, 2014. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense.

Tavares, S.S.M., Pardal, J.M., Gomes Da Silva, M.J., Abreu, H.G.F., Silva, M.R. "Deformation induced martensitic transformation in a 201 modified austenitic stainless steel" Materials Characterization. 60. 2009. 907-911.

Teixeira Tavares, M. "Avaliação da Transformação Martensítica por Deformação a Frio no Aço Inoxidável AISI 321". Niterói, 2014. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense.

Wright, R.N., 2011. "Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy", first ed. Elsevier, USA, pp. 234-236.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EVALUATION OF MARTENSITIC TRANSFORMATION IN AISI 321 COLD BY NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES

Rodrigo de Souza Brito Lira Fernandes

Hugo Ribeiro da Igreja

Juan Manuel Pardal

Sergio Souto Maior Tavares

Andréia de Souza Martins Cardoso

Rodrigo Chales

Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, sala 108-C bloco E, CEP 24210-240

rodrigolira@id.uff.br

hugoigreja@id.uff.br

juanpardal@id.uff.br

ssmtavares@id.uff.br

bra_afs@hotmail.com

rodrigochales@id.uff.br

Ricardo Carneval

Gabriela Ribeiro Pereira

Vitor Manoel Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais

rocarneval@gmail.com

gpereira@metalmat.ufrj.br

vmsilva@poli.ufrj.br

Abstract. Cold forming processes are usually used in stainless steels (AIA) in final stages of manufacturing wires, bars, plates and tubes in order to achieve a precise adjustment of the dimensions and improve mechanical properties. In this process, the transformation from austenite to martensite phase can occur due to the chemical composition of stainless steel. In recent works, the influence of carbon on the martensitic transformation of titanium stabilize stainless steels was investigated by destructive tests using a Vibrating Sample Magnetometer (VSM). Based on this information, non-destructive tests of eddy currents, feritscope and resistivity through the use of a four-point probe have shown promise of determining the amount of martensite, in a non-intrusive way, which can influence mechanical properties and corrosion resistance of the material. In this way, it is possible to study and analyze this phenomenon in final stages of manufacturing components of this material, as well as being able to assess the degree of martensitic transformation during the service life of these components because of possible local deformations.

Keywords: AISI 321, Cold Rolling, Martensitic Transformation, Non-Destructive Testing

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.