

AVALIAÇÃO DO AUMENTO DA MARTENSITA INDUZIDA POR DEFORMAÇÃO EM UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO UNS30409 POR DIFERENTES TÉCNICAS

Miranda Junior, J.E.⁽¹⁾; Silva, C.C.D.⁽¹⁾; Siqueira, R.P.⁽¹⁾; Feiteira, J.F.⁽¹⁾
(1) Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PGMEC - UFF
Av. dos Trabalhadores, 420, CEP: 27255-125, Volta Redonda, RJ-Brasil.
joaoercio@id.uff.br

Resumo: Os aços inoxidáveis austeníticos possuem excelente resistência à corrosão, combinando baixo limite de escoamento com alta resistência à deformação. Para aumentar a sua resistência mecânica, esses aços são trabalhados a frio. Durante este processo, a fase martensítica é nucleada nos contornos de grão da fase austenítica. A composição química, a morfologia da austenita e o grau de deformação são fatores que influenciam a transformação martensítica induzida por deformação. A presença desta fase endurece o aço. O aço UNS30409 tem suas propriedades afetadas pela transformação martensítica, durante o processamento mecânico. O objetivo do trabalho foi comparar técnicas que avaliam a evolução da fração volumétrica da martensítica induzida por deformação, a saber: Ferritoscopia e Ultrassom. A deformação foi obtida por meio de ensaios de compressão. Os resultados mostram que a Ferritoscopia evidenciou o aumento da martensita com o aumento do grau de deformação. No entanto, o ensaio ultrassônico não evidenciou este comportamento.

Palavras-chave: Ferritoscopia, Ultrassom, Martensita Induzida por Deformação.

INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são classificados com base na microestrutura formada à temperatura ambiente em martensíticos, ferríticos, austeníticos, ferrítico-austenítico (duplex) e Endurecidos por Precipitação. Entre os aços inoxidáveis, os aços austeníticos são os que apresentam a maior resistência à corrosão combinando baixo limite de escoamento e alta resistência a deformação, além de boa ductilidade e soldabilidade ⁽¹⁾.

Alguns aços inoxidáveis austeníticos apresentam uma microestrutura metaestável podendo se transformar em martensita α' (cúbica de corpo centrada, ferromagnética) quando deformados plasticamente em temperaturas abaixo da M_d (temperatura abaixo da qual a martensita se formará por deformação). Este efeito é conhecido como TRIP - *Transformation Induced Plasticity*. A morfologia da austenita, a composição química, o estado de tensões durante a deformação e a temperatura são fatores que influenciam a transformação martensítica. A transformação gradual da austenita para martensita aumenta o endurecimento desses aços, em conjunção com o encruamento da austenita ⁽²⁾.

Os aços inoxidáveis austeníticos são amplamente utilizados na produção de produtos conformados para aplicação em utensílios domésticos, na indústria química, de alimentos e medicamentos. A sua excelente resistência à corrosão e sua baixa rugosidade superficial evitam o acúmulo de impurezas e também facilita a higienização dos equipamentos e componentes ^(3,4). Na arquitetura e na indústria automotiva, principalmente, estes podem ser utilizados em sistemas de exaustão, coxins e juntas. Os aços inoxidáveis podem também ser usados para a confecção de produtos que demandam boa combinação de resistência mecânica e conformabilidade, permitindo a redução de peso e um projeto mais arrojado. A adição de pelo menos 11% em peso de cromo nos aços inoxidáveis é a responsável pela redução radical da taxa de corrosão. A adição de outros elementos de liga (como molibdênio e nitrogênio) aumenta ainda mais a resistência à corrosão. Devido a essa alta resistência à corrosão e excelentes propriedades mecânicas, os aços inoxidáveis são altamente utilizados em aplicações de engenharia. Mas, a resistência à corrosão na maioria dos casos, é a principal motivação para a sua utilização, devido ao alto custo de produção e adição de elementos de liga ⁽⁵⁾. O aço inoxidável austenítico AISI 304H (UNS30409), alvo de investigação neste artigo, possui maior teor de carbono do que a classe 304 padrão que é trabalhada a frio para criar maior resistência à tração, especialmente concebido para ser utilizado em aplicações a temperaturas mais elevadas. O aço AISI 304H resiste à maior parte dos ácidos oxidantes sem que ocorra a formação de ferrugem comum ⁽⁶⁾.

Neste trabalho, o aço AISI 304H foi submetido ao ensaio de compressão. O objetivo deste trabalho foi de quantificar a transformação da austenita em martensita nos corpos de prova deformados utilizando-se as técnicas de ferritoscopia e também medidas de ultrassom.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aço inoxidável UNS30409

No presente artigo foi investigado o aço inoxidável austenítico UNS30409, cedido gentilmente pela empresa Aperam South America ⁽⁷⁾. O material foi recebido na forma de chapas laminadas a quente com microestrutura recristalizada dinamicamente, condição como recebido. O material foi retificado para atingir as dimensões 10 mm por 10 mm de seção transversal e comprimento de 70 mm, como mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Amostras de aço UNS30409 após usinagem.

A composição química do aço UNS30409 pode ser observada na Tabela 1. Os corpos de prova do aço foram cortados em baixa rotação na cortadeira de precisão ISOMET 1000 da marca Buehler para evitar a introdução considerável de deformação plástica durante o corte, o que poderia aumentar a fração de martensita induzida nas amostras. Os corpos de prova para o ensaio de compressão podem ser observados na Figura 2.

Tabela 1- Composição química do aço inoxidável austenítico UNS30409.

	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	C	Fe
MIN	18,0	8,0	-	-	-	-	0,04	-
MAX	20,0	10,5	2,0	0,75	0,04	0,03	0,10	Bal.

Após o corte, os corpos de prova foram comprimidos utilizando-se a máquina de ensaio universal W Testor tipo 20 TUZ 750 em valores de deformação de engenharia que variaram de 7% a aproximadamente 30% de redução longitudinal.



Figura 2 - Corpos de prova do aço UNS30409 para o ensaio de compressão.

Ferritoscopia

Após o ensaio de compressão, a quantidade de martensita α' transformada nos corpos de prova foram medidas com o auxílio do aparelho ferritoscópico. Em todos os ensaios, a sonda do ferritoscópico foi acoplada em cada seção longitudinal do corpo de prova. A aquisição automática dos dados foi feita a cada três segundos pelo ferritoscópico. Para cada corpo de prova deformado, o ferritoscópico fez cinco medidas. Vale ressaltar que a quantificação da fração volumétrica da fase martensítica por ferritoscopia é baseada na propriedade ferromagnética do material. O princípio de funcionamento consiste no método de indução magnética, capacidade do material ser magnetizado ⁽⁸⁾.

Ultrassom

Para as medidas ultrassônicas, utilizou-se um sistema de medição composto de um aparelho de ultrassom não convencional que funciona como um gerador de pulsos ultrassônicos, além disso, este equipamento também tem a função de transmissor e receptor de ecos a partir de um transdutor piezelétrico. O gerador de pulsos ultrassônicos pode ser observado na Figura 3.



Figura 3 - Gerador de pulsos Ultrassônicos Olympus NDT modelo 5058PR.

O gerador de pulsos ultrassônicos foi conectado a um osciloscópio digital da marca KEYSIGHT DSO1072B 70 MHz, como mostrado na Figura 4. Os pulsos gerados excitaram o transdutor piezelétrico que transmitiu ao aço as ondas ultrassônicas. O gerador de pulsos ultrassônicos utilizado neste trabalho foi o Olympus NDT modelo 5058PR de alta voltagem, com uma faixa de tensão de 100 a 900 volts de tensão contínua. Um transdutor 5 MHz de incidência normal foi utilizado para emissão e recepção de ondas mecânicas. Para evitar uma camada de ar entre a peça e os transdutores que possa impedir às vibrações mecânicas de se propagarem, a graxa foi o acoplante selecionado, em função das características do material.

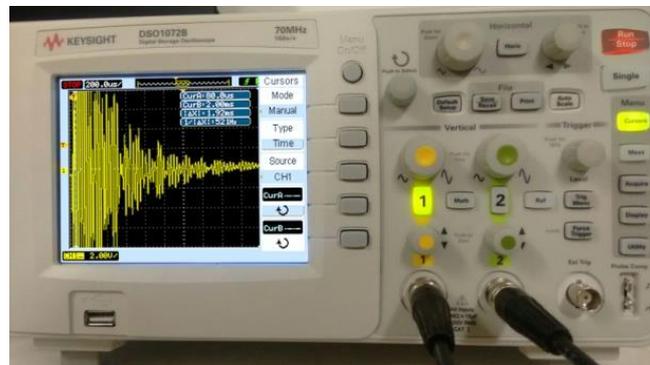


Figura 4 - Osciloscópio Digital da marca KEYSIGHT DSO1072B 70MHz

RESULTADOS

O gráfico da fração volumétrica de fase martensita α' por deformação de engenharia pode ser observado na Figura 5. As medidas de fração volumétrica de fase foram feitas com o auxílio do ferritoscópio. Os resultados mostraram que a fração volumétrica de fase martensita α' aumentou exponencialmente com o aumento da deformação por compressão. O ajuste exponencial que apresentou a melhor correlação (coeficiente de correlação, $R = 0,99$) entre a fração volumétrica de fase martensita α' e a deformação por compressão foi o ajuste exponencial de crescimento conforme a Equação (A). De modo geral, estes resultados estão em concordância com os resultados obtidos recentemente na literatura ^(9,10).

$$y = y_0 + A_1 e^{x/t_1} \quad (A)$$

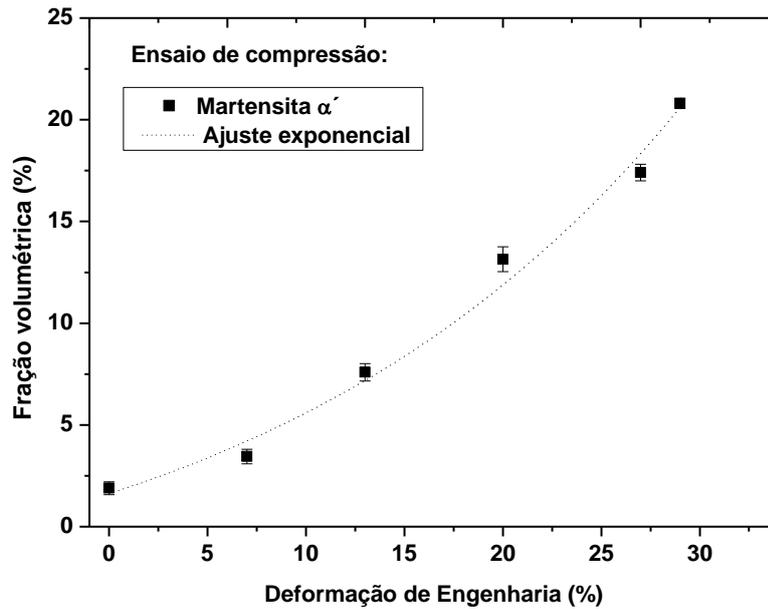


Figura 5 - Evolução da fração volumétrica fase martensita α' com a deformação utilizando a técnica de ferritoscopia.

O gráfico da velocidade ultrassônica por deformação de engenharia é mostrado na Figura 6. Os resultados mostraram que a velocidade ultrassônica varia entre aproximadamente 5820 m/s para a menor deformação e 5780 m/s para a maior deformação. Alguns resultados na literatura reportaram a correlação entre a velocidade ultrassônica e a formação da fase martensita α' . Normando e colaboradores reportaram que a velocidade ultrassônica para o aço inoxidável duplex UNS 31803 aumenta com o aumento do volume da fase martensita α' que foi nucleada a partir da ferrita durante tratamentos térmicos entre 800°C e 900°C ⁽¹¹⁾. No entanto, a literatura reporta também que a velocidade da onda ultrassônica está relacionada às características específicas do meio pelo qual a onda se propaga, tais como elasticidade e densidade do material ⁽¹²⁾. A deformação plástica causa no metal um aumento da quantidade de defeitos cristalinos tais como defeitos pontuais, discordâncias e contornos de grão, o que propiciou a atenuação da amplitude do sinal ultrassônico ^(13,14). Esta estrutura de defeito também altera a velocidade de propagação da onda ultrassônica. Prasad e Kumar reportaram que a velocidade ultrassônica diminui com o aumento do grau de deformação no aço ⁽¹⁵⁾. Deste modo, para o material objeto de estudo neste trabalho, dois efeitos opostos afetam a velocidade ultrassônica durante a deformação plástica por compressão. Enquanto o

aumento da fase martensita α' favoreceu o aumento da velocidade ultrassônica, o aumento das imperfeições na estrutura cristalina favoreceu a diminuição da mesma. Portanto, os resultados sugerem que a sobreposição dos efeitos prejudica a correlação entre o aumento da fase martensita α' e da velocidade ultrassônica. Estes resultados preliminares mostraram que a técnica de ultrassom não foi bem sucedida na avaliação do aumento da fase martensita α' com o aumento da deformação plástica por compressão.

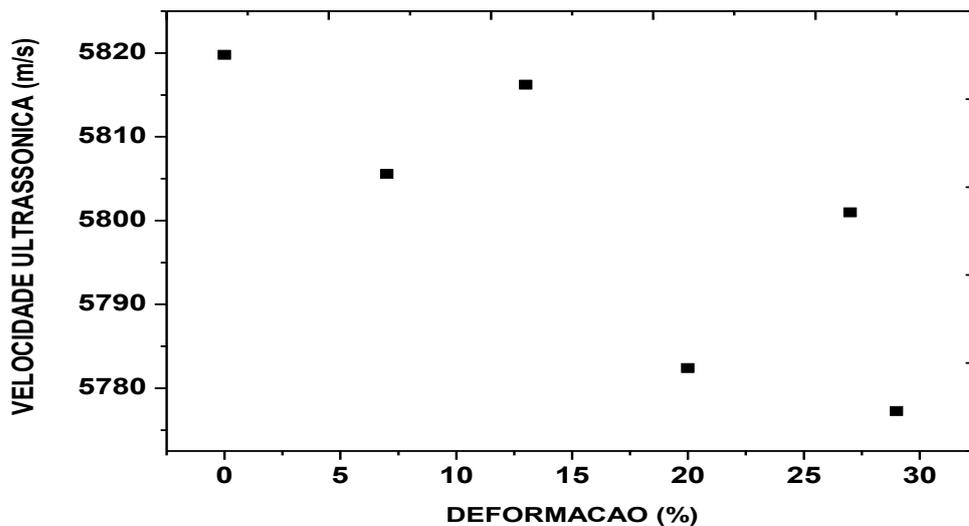


Figura 6 – Relação da variação da velocidade de propagação da onda ultrassônica em diferentes amostras deformadas por compressão

CONCLUSÕES

Neste artigo foi avaliado o aumento da fração volumétrica da fase martensita α' utilizando-se as técnicas de ferritoscopia e de ultrassom. Com relação à ferritoscopia, os resultados mostraram que a fração volumétrica de fase martensita α' aumentou exponencialmente com o aumento da deformação. Já para a técnica de ultrassom, os resultados mostraram que a velocidade ultrassônica foi afetada por dois efeitos concorrentes. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a técnica de ultrassom não foi bem sucedida na avaliação do aumento da fase martensita α' com o aumento da deformação plástica por compressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA e SILVA, A. L. V., MEI, P. R. Aços e ligas especiais. 2ª edição, Ed. Edgard Blucher, p. 407-443, 2006.
2. SERRI, J.; MARTINY, M.; FERRON, G. Finite Element analysis of the effects of martensitic phase transformation in TRIP steel sheet forming. in International Journal of Mechanical Science, vol 47, 2005.
3. ANDRADE, M. S.; GOMES, O. A.; VILELA, J. M. C. Avaliação da estampabilidade de dois aços inoxidáveis austeníticos. 2º COBEF, Uberlândia – MG maio de 2003.
4. DOS SANTOS, M. R., ALVES, B. H. J., LOPES, G. R., Efeito da martensita induzida por deformação e tensões residuais sobre o fenômeno de delayed cracking em aços inoxidáveis austeníticos. 17º CBCIMAT, foz de iguaçu, Brasil, novembro de 2006,.
5. SEDRICKS, A.J. 1996, "Corrosion of Stainless Steels", 2a. ed. A Wiley – Interscience Publications. New York.
6. North American Stainless- 304H – UNS30409
7. Aperam- brasil.aperam.com acesso em 30/03/2016
8. OPERATORS MANUAL FERITSCOPE® FMP30, Institut für Elektronik und Messtechnik, Sindelfingen Germany, pp. 240, 2008.
9. CARDOSO, M.C., Avaliação do Comportamento Plástico de uma Chapa de Aço Inoxidável Austenítico 304L por meio de Ensaios de Tração Uniaxial e Curva Limite de Conformação. Dissertação de Mestrado, EEMVR/UFF – 2012.
10. HECKER, S.S., STAUDHAMMER, K.P., Effects of strain state and strain rate on deformation-induced transformation in 304 stainless steel. Part I. Magnetic measurements and mechanical behavior. Metall. Trans, Vol. A13, p. 619–626, 1982.
11. NORMANDO, P.G., MOURA, E.P., SOUZA, J.A., TAVARES, S.S.M., PADOVESE, L. R., Ultrasound, eddy current and magnetic Barkhausen noise as tools for sigma phase detection on a UNS S31803 duplex stainless steel www.elsevier.com/locate/msea.
12. CUETO, A. R. Ensayos no destructivos por la técnica de ultrasonido. México. 1989.
13. PAPADAKIS, E. P. "Ultrasonic Attenuation in SAE 3240 e 4150 Steel". The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 32, N° 12, pp. 1628-1639, Dec. 1960;
14. BOTVINA, L. R., FRADKIN, L. J., BRIDGE, B., "A new method for assessing the mean size of polycrystalline materials using ultrasonic NDE", Journal of Materials Science, v. 35, n. 18, pp. 4673-4683, Set. 2000.
15. PRASAD, R., KUMAR, S., 'Study of the influence of deformation and thermal treatment on the ultrasonic behaviour of steel', J. Mat. Proc. Tech., 42, pp. 51-59, 1994.

AVALIAÇÃO DO AUMENTO DA MARTENSITA INDUZIDA POR DEFORMAÇÃO EM UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO UNS30409 POR DIFERENTES TÉCNICAS

Abstract. The austenitic stainless steels have excellent corrosion resistance, combining low yield strength with high resistance to deformation. To increase its mechanical strength, these steels are cold worked. During this process, the martensite phase is nucleated at the grain boundaries of the austenitic phase. The chemical composition, morphology of the austenite and deformation are factors that influence the deformation induced martensite. The presence of this phase increases the strength of the austenitic stainless steel. The UNS30409 steel has its properties affected by the martensitic transformation during mechanical processing. The aim of this article was to compare two distinct techniques that evaluate the evolution of the volume fraction of the α' -martensite, namely: Magnetic phase measurements (using the ferritoscope) and Ultrasound. The strain was obtained by means of compression tests. The results have shown that, using the ferritoscope, martensite increased with increasing degree of the deformation. However, the ultrasonic test did not show this behavior.

Keywords: Ferritoscope, Ultrasound, Deformation Induced Martensite.