

AVALIAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO 410D SUBMETIDO AO ENSAIOS DE TRAÇÃO A QUENTE*

Ana Cecília de Carvalho¹
Amanda Aparecida Fátima Arruda²
Rhelman Rossano Urzêdo Queiróz³
Geraldo Lúcio de Faria⁴
Paulo Sérgio Moreira⁵

Resumo

O aço inoxidável ferrítico 410D (UNS S41003) é um aço relativamente novo e ainda em desenvolvimento no mercado Brasileiro. Ele tem sido posicionado como um candidato a substituir aços baixo carbono comuns e aços patináveis em algumas aplicações onde existam exigências no que diz respeito à resistência do material à oxidação e à corrosão. Entretanto, ainda existem algumas lacunas de conhecimento a respeito do seu comportamento mecânico que permitam avaliar a viabilidade de sua aplicação em condições agressivas de trabalho, como por exemplo em temperaturas relativamente elevadas. Partes estruturais de caldeiras, tubulações para condução de vapores e gases quentes, entre outros, são exemplos em potencial para aplicação do aço 410D. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou o comportamento do referido aço quando submetido a ensaios de tração a quente nas temperaturas de 300°C e 600°, comparando-se os resultados obtidos com o seu desempenho à temperatura ambiente. Concluiu-se que o aço inoxidável 410D é susceptível ao fenômeno de envelhecimento dinâmico na temperatura de 300°C, tendo sua capacidade de deformação plástica significativamente diminuída. A 600°C observou-se uma diminuição de 45% no seu limite de escoamento e um aumento de 7% no alongamento total em relação à temperatura ambiente.

Palavras-chave: Aço Inoxidável; Ensaio de Tração; Temperaturas elevadas.

EVALUATION OF THE 410D FERRITIC STAINLESS STEEL 410D SUBMITTED TO HOT TENSILE TESTS

Abstract

The 410D ferritic stainless steel is a relatively new steel and in development on Brazilian Market. It has been put as a candidate to replace common low carbon steels and weathering steel in some applications, where there are some requirements related to the materials oxidation and corrosion resistance. However, there still is a lack of knowledge related to its mechanical behavior, which allow the assessment of its application's feasibility in aggressive work conditions, such as in relatively high temperatures. Furnace structural parts, piping for conducting hot gases and vapors, among others, are potential examples for 410D steel applications. In this context, the present work has assessed the behavior of the aforementioned steel when it is submitted to hot tensile tests at 300°C and 600°C, by comparing the obtained results to its performance at room temperature. It was concluded that the 410D stainless steel is susceptible to the dynamic aging phenomenon when strained at 300°C. In this condition, its total strain is significantly affected and decreased. At 600°C it was noticed a decrease of 45% on its yield strength and an increase on its total strain when compared to the room temperature condition.

Keywords: Stainless Steel; Tensile test; High Temperatures.

¹ Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Estudante, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais e Brasil.

² Engenharia Metalúrgica, Graduada em Engenharia Metalúrgica, Estudante, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais e Brasil

³ Engenharia Metalúrgica, Graduado na UFOP, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas – UFMG, Professor, Departamento de Metalurgia, Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Física Aplicada a Ciência de Materiais Graduado na Universidade Federal de Ouro Preto, Doutor em Engenharia de Materiais, Professor, Departamento de Metalurgia, UFOP, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

⁵ Engenheiro Metalúrgico, MSc., Pesquisador, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais e Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aço inoxidável ferrítico 410D (UNS S41003) é um aço de grande destaque atual no Brasil apesar de ser fabricado em território nacional a um tempo relativamente curto. O aço em estudo possui um custo relativamente baixo no mercado em relação aos outros aços inoxidáveis. Esse baixo custo se deve à composição química relativamente simples, a ele não ser considerado um aço estabilizado e ser um aço inoxidável ferrítico. Sendo assim, ele foi introduzido no mercado brasileiro com o objetivo de expandir o mercado de aplicação dos aços inoxidáveis e é, também, considerado uma alternativa de baixo custo aos aços carbonos comuns para algumas aplicações em que não se justifica utilizar aços de alto valor agregado, mas se exige bom desempenho em ambientes oxidantes e corrosivos. Como por exemplo, na indústria agrícola, em especial na fabricação de álcool e açúcar, em que há exigências de resistência mecânica e também de resistência à corrosão [1-3].

Tendo em vista que o aço 410D ainda está em desenvolvimento no Brasil, tanto para aplicações quanto para processo de fabricação, foram feitos poucos estudos quanto à caracterização do seu comportamento quando submetido a esforços mecânicos, meios corrosivos, oxidação em temperatura elevadas, de forma a propor novas aplicações ao aço. Algumas frentes de estudo têm sido desenvolvidas recentemente, tendo em vista a relevância e a atualidade do tema. Carvalho (2018) observou o comportamento desse aço em corrosão intergranular quando submetido a diferentes temperaturas e concluiu que o aço sofre sensibilização quando exposto a temperaturas até 600°C, mas que essa ainda se apresentou do tipo “Step” segundo a norma ASTM A763 [21]. Além disso, amostras tratadas isotermicamente a 900°C sofrem transformação martensítica, apresentando uma estrutura bifásica, após o resfriamento, composta de uma matriz de martensita com grãos de ferrita, o que gera um aumento na dureza do material. Faria et.al (2016) estudou também algumas propriedades mecânicas de chapas expandidas fabricadas com aço inoxidável 410D e percebeu que, mesmo com menor espessura, esse aço apresenta desempenho mecânico semelhante ao de chapas expandidas de aço carbono ABNT 1010 e que o mecanismo de fratura foi de nucleação, crescimento e coalescimento de microcavidades, tipicamente apresentado em fraturas dúcteis [4-6].

Tendo como característica desse aço, a boa resistência à corrosão, uma outra possibilidade de aplicação seria em tubulações para passagem de vapor de água em indústrias químicas, em substituição aos aços patináveis, que têm baixo custo de implantação, mas vida útil relativamente curta. O aumento da temperatura nessas tubulações pode levar a uma diminuição da resistência mecânica e da ductilidade do aço, podendo promover até mesmo o rompimento prematuro das estruturas. Nesse sentido, a motivação desse trabalho se dá em avaliar a influência da temperatura sobre o comportamento em tração do aço inoxidável 410D [7-9]. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é gerar resultados experimentais que caracterizem o desempenho em tração a quente desse aço e que contribuam para a avaliação de viabilidade técnica de utilização desse aço em aplicações que envolvam utilização de temperaturas da ordem das estudadas nesse trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado neste trabalho é um aço inoxidável ferrítico do tipo 410D produzido pela empresa Aperam South América. A composição química do aço é apresentada na Tabela 1. As amostras utilizadas foram provenientes de uma chapa com espessura de 6mm laminada à quente, recozida e laminada à frio.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável ferrítico 410D (% em peso).

Elemento	C	Cr	Mn	Si	P	S
Concentração	0,007	11,43	0,588	0,603	0,023	0,0005
Elemento	Ni	Nb	Ti	V	Mo	Al
Concentração	0,329	0,015	0,001	0,028	0,008	0,002

Analisando a composição química apresentada na Tabela 1, observa-se o caráter inoxidável do aço devido ao teor de cromo acima de 11%. Contudo, o teor de carbono é baixo o que contribui para aumentar o campo de estabilidade da fase ferrita e diminui a possibilidade de formação de carbonetos e nitretos de cromo evitando um possível empobrecimento local de cromo que poderia levar a problemas relacionados à sensitização. O molibdênio, níquel e cromo são adicionados para aumentar a resistência à corrosão deste aço que é a principal propriedade dos aços inoxidáveis. A adição de estabilizantes como nióbio, molibdênio e titânio não é significativa, de forma que esse aço não pode ser considerado um aço inoxidável estabilizado. A pequena adição de Mo tem como função contribuir para o aumento da tenacidade à fratura, dureza e a resistência ao impacto [4,10].

2.2 Ensaio de Tração

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial em um corpo de prova padronizado em uma máquina universal de ensaios até que ele se rompa [11]. Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFMG-OP seguindo as recomendações da norma ASTM E8M. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios TIME GROUP, modelo WDW-200, com um forno de resistência elétrica acoplado, monitorado por dois termopares, estando um posicionado na câmara do forno e o outro encostado no corpo de prova. Para o controle dos parâmetros de ensaios foi utilizado o software WinWDC. Os parâmetros utilizados durante os ensaios estão descritos na Tabela 2. As Figuras 1 e 2 apresentam fotografias da montagem utilizada nos experimentos.

Os ensaios foram realizados em triplicata para cada uma das temperaturas escolhidas. As temperaturas de ensaio foram 22°C, 300°C e 600°C com tempo de encharque de 15 minutos. A taxa de deformação utilizada foi de 10^{-3}s^{-1} . Essas temperaturas de ensaio foram escolhidas para avaliar a influência da temperatura no comportamento de tração, sendo assim, realizou-se ensaios à temperatura ambiente (22°C), como referência, e as outras temperaturas foram escolhidas de forma que o material não sofresse austenitização. Além disso, são temperaturas típicas para aplicações diversas em caldeiraria, condução de vapores e gases quentes.

Tabela 2. Parâmetros utilizados dos ensaios de tração.

Ensaio de Tração a quente
Temperaturas: Ambiente (22°C), 300°C e 600°C
Taxa de Deformação: $10^{-3}/s^{-1}$
Tempo de encharque: 15 minutos
Taxa de Aquecimento do Forno: 40°C/minuto

**Figura 1.** Fotografia do forno Resistivo acoplado à máquina universal de ensaios.

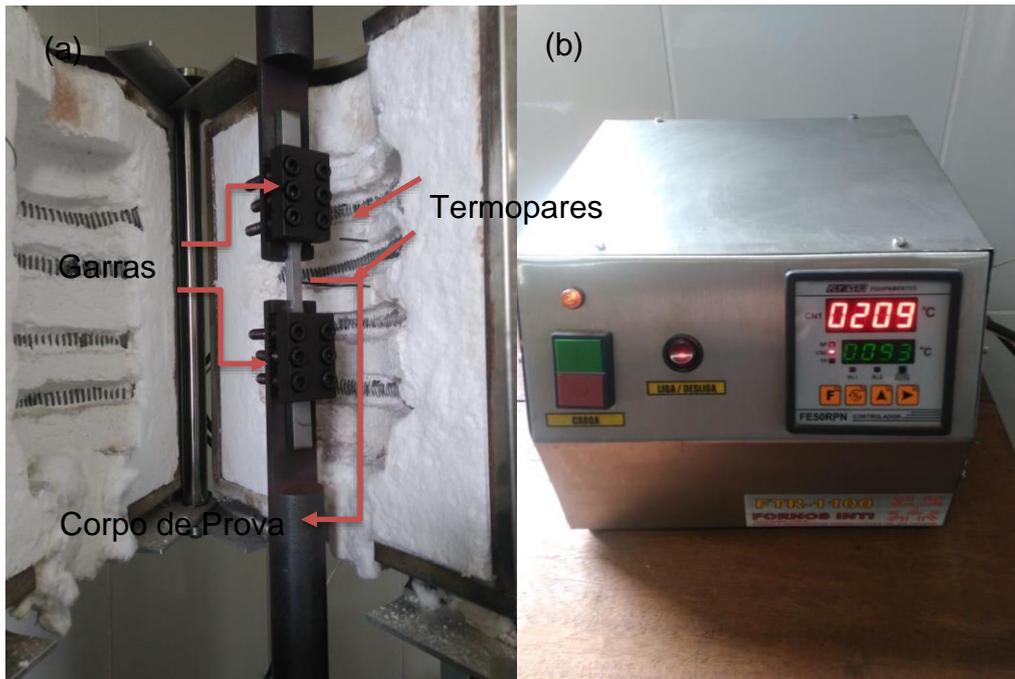


Figura 2. (a) Forno refratário acoplado a máquina de ensaios. (b) controlador dos parâmetros da máquina de tração

Os corpos de prova para os ensaios de tração foram usinados de acordo geometria padrão e as dimensões recomendadas pela norma ASTM E8M, como é mostrado na Figura 3 [17]. As cabeças dos corpos de prova foram confeccionadas com maior comprimento do que o descrito no padrão da norma, com o intuito que as garras da máquina não ficassem expostas às temperaturas elevadas. Essa alteração não afeta em nada a representatividade dos ensaios uma vez que a região útil e os raios de concordância seguem os padrões exigidos

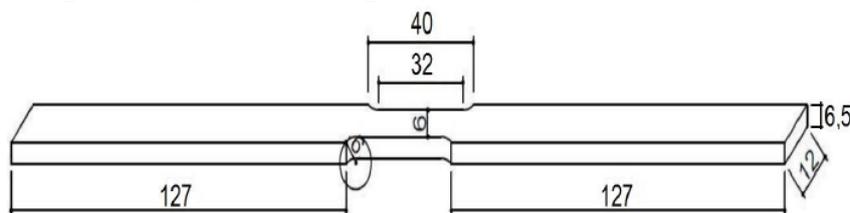


Figura 3. Figura esquemática ilustrando o dimensional dos corpos de prova utilizado nos ensaios de tração (dimensões em mm).

Após a realização dos ensaios, foram calculadas algumas propriedades mecânicas do material, sendo elas limite de escoamento, limite de resistência, redução de área e deformação total. O forno que foi acoplado à máquina, não permitia uso de extensômetro, sendo assim, a deformação total foi calculada unindo-se as partes fraturadas de cada corpo de prova e medindo-se o comprimento final da região útil. De forma semelhante, calculou-se a redução de área com o auxílio de um paquímetro. Para o limite de escoamento e limite de resistência, foram feitos gráficos do tipo tensão x deformação de engenharia. De acordo com a norma ASTM E8M, o limite de escoamento foi calculado de forma a usar o ponto de interseção da curva de ensaio com um segmento de reta, paralelo à região elástica da curva, descolado

de 0,2% da origem [17]. Já para o limite de resistência, usou-se o valor de máxima tensão como critério.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades mecânicas determinadas nos ensaios de tração são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades Mecânicas do Aço Inoxidável 410D submetido a ensaios de tração.

Temperatura (°C)	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de resistência (Mpa)	Redução de área (%)	Deformação total (%)
22	463 ± 6	552 ± 32	66 ± 2	33,5 ± 0,3
300	413 ± 7	451 ± 5	65 ± 4,6	26,2 ± 0,4
600	256 ± 1	258 ± 1	76 ± 2	40,83 ± 0,5
Temperatura Ambiente (dados fornecidos pelo catálogo do fabricante) [20]	Mínimo especificado: 275 Típico: 400	Mínimo especificado: 455 Típico: 490	-	-

Verifica-se que o aço em estudo, à temperatura ambiente, atende às especificações do aço inoxidável ferrítico da classe 410D segundo o catálogo da empresa Aperam South America, conforme apresentado na Tabela 3. Pode-se afirmar que há uma diminuição das propriedades mecânicas, limite de escoamento e limite de resistência, com o aumento da temperatura nos ensaios de tração. Nas temperaturas de 300°C e 600°C houve uma diminuição de 11% e 45%, respectivamente, no limite de escoamento do material, em relação ao seu comportamento à temperatura ambiente. Os valores encontrados tanto para os limites de escoamento, quanto para os limites de resistência se apresentaram significativamente maiores que os encontrados por Ribeiro (2013) ao estudar o aço patinável USI-SAC-350 também nas temperaturas de 300°C e 600°C. Esse resultado é relevante e favorável ao aço 410D, pois o aço patinável USI-SAC-350 é um possível concorrente em diversas aplicações [21].

Este resultado obtido é consistente com os dados obtidos por Fujita et. al (1996) quando estudou aços inoxidáveis ferríticos em temperaturas elevadas. Espera-se que ao aumentar a temperatura de ensaio, haja aumento na deformação total, porém esse aumento não foi observado a 300°C. Uma hipótese para essa queda é que ao realizar ensaios de tração a 300°C, o material em estudo tenha sofrido envelhecimento dinâmico, o que explicaria a diminuição do alongamento total no material. Calculando-se a razão elástica para as três condições citadas acima, tem-se 0,83, 0,91 e 0,99 para 22°C, 300°C e 600°C respectivamente. Sabe-se que quanto mais próximo de 1 é esse número, menor a capacidade de encruamento e menor a região de deformação uniforme. Espera-se então, observar essa diminuição de alongamento uniforme nas curvas tensão – deformação que serão apresentadas a seguir [12,21].

Com o aumento da temperatura para 300°C e 600°C houve uma diminuição de 18% e 53%, respectivamente, no limite de resistência do material, em relação ao seu comportamento à temperatura ambiente. A Figura 5 apresenta exemplos das curvas

de tensão-deformação, que foram obtidas nos ensaios de tração realizados no material. Observa-se que a 600°C há um aumento expressivo da ductilidade dada pelo aumento da deformação do corpo de prova, porém com redução do limite de escoamento e de resistência, ao se comparar com o material na temperatura ambiente, como já comentado anteriormente. Para aços inoxidáveis ferríticos, tem-se que abaixo de 550°C a resistência mecânica é obtida por meio de mecanismos de endurecimento por precipitação e solução sólida, acima dessa temperatura, o mecanismo de endurecimento mais expressivo é por precipitação. Para que se aumente a resistência mecânica de aços inoxidáveis ferríticos em temperaturas elevadas, dever-se-ia aumentar os teores de cromo, molibdênio, silício e alumínio e adicionar maiores quantidades de titânio e nióbio de forma a favorecer a precipitação de carbonetos, porém nessa situação, o aço se enquadraria em outra especificação e seu custo de fabricação aumentaria significativamente [11-13].

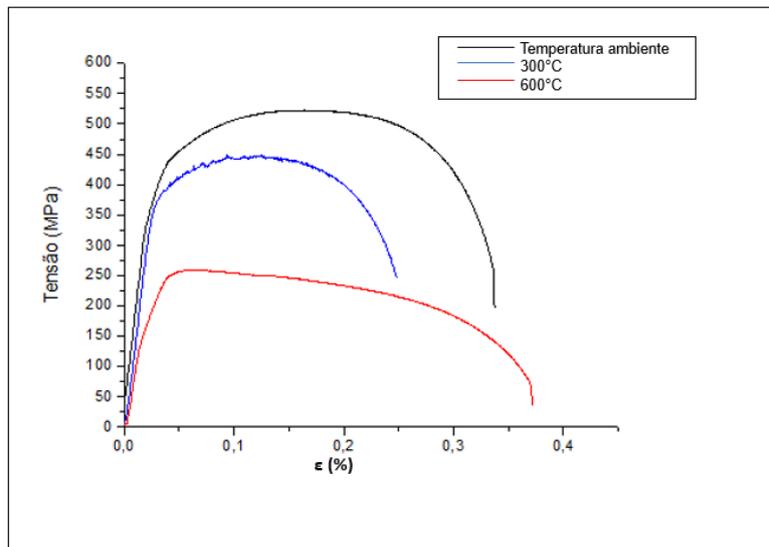


Figura 5. Curvas Tensão-Deformação do Aço Inoxidável 410D ensaiado em diferentes temperaturas.

Ao realizar o ensaio de tração a 300°C no aço inoxidável 410D, apresentado em destaque na Figura 6, confirmou-se a ocorrência do fenômeno de envelhecimento dinâmico no material, conforme esperado pela diminuição da deformação total já discutida acima, que se dá por ancoramento de discordâncias por átomos de soluto durante a deformação plástica e acarreta em uma diminuição na ductilidade do material. Dentre algumas características típicas desse fenômeno, pode-se destacar o aumento da capacidade de encruamento com a temperatura e o escoamento plástico descontínuo, que é o efeito de Portevin Le Chatelier, caracterizado por apresentar serrilhados na curva tensão x deformação. Resultado que era esperado pela literatura, tendo em vista que aços inoxidáveis ferríticos tendem a apresentar envelhecimento dinâmico quando levados a ensaio de tração em temperaturas nas vizinhanças de 300°C [13,15].

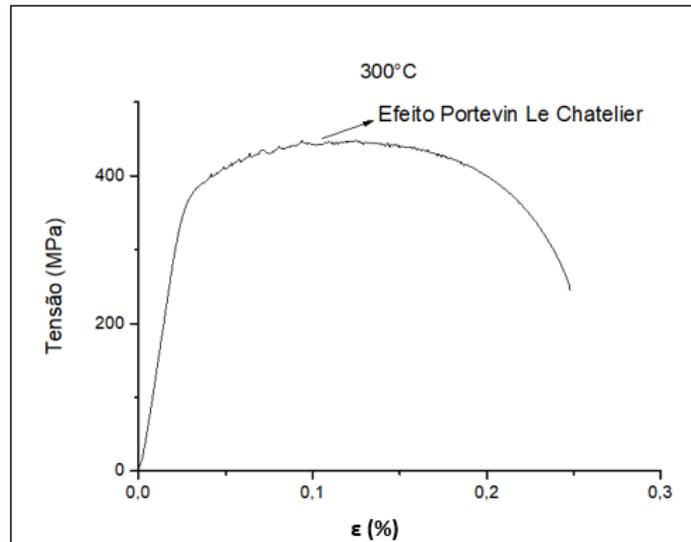


Figura 6. Gráfico Tensão Deformação Aço Inoxidável 410D a 300°C.

Para as três temperaturas, os dados de tensão e deformação de engenharia da região de deformação plástica uniforme da curva foram convertidos para valores de tensão (σ_r) e deformação (ϵ_r) reais. Em seguida, a equação de Hollomon foi ajustada aos dados (Equação 1) (Figura 7). Nesse sentido, encontrou-se os valores do expoente de encruamento (n), do coeficiente de resistência plástica (k) e do ajuste (R^2) para cada temperatura de ensaio, parâmetros esses de relevância na caracterização do comportamento desses materiais em processos que envolvam a sua deformação plástica, como por exemplo, conformação mecânica (Tabela 4). O expoente de encruamento (n) é uma medida da capacidade de um metal endurecer durante uma deformação plástica. Quanto maior o seu valor, mais o material poderá ser deformado na região de deformação uniforme com incremento significativo de tensões.

Os valores encontrados para o aço estudado apresentam uma queda significativa no coeficiente de resistência com o aumento da temperatura. Na temperatura ambiente, o resultado obtido de coeficiente de resistência se apresenta significativamente maior que o k do aço inoxidável ferrítico 430, que foi estudado por Sener (2017) e apresentou valor de 759,5 Mpa. Já o coeficiente de encruamento decresce com o aumento da temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o valor de n e menos o material se deforma na região de deformação uniforme. A diminuição desse expoente com a temperatura é esperada por Kumar, et. al (2017) [16,19].

$$\sigma_r = k \cdot \epsilon_r^n \quad (1)$$

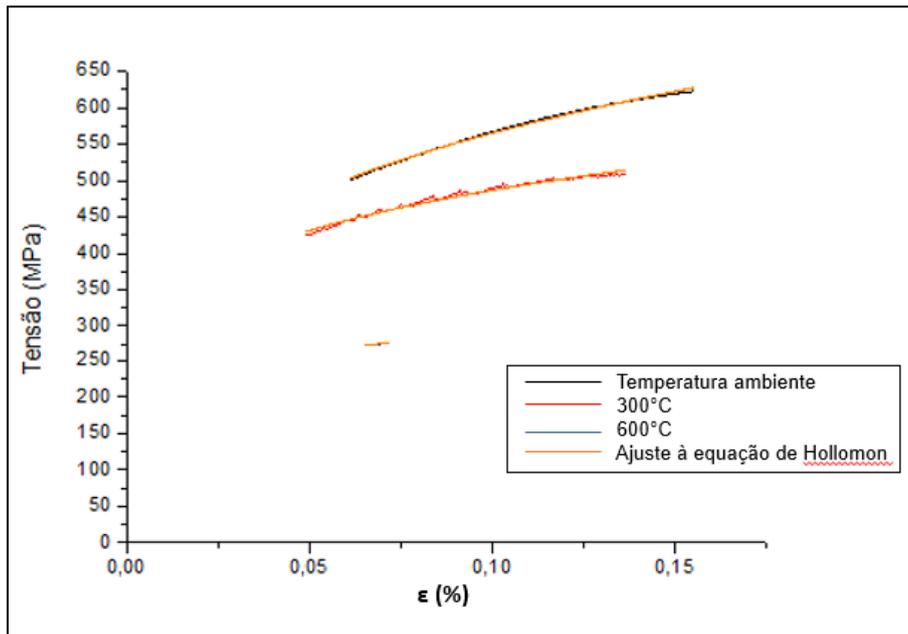


Figura 7. Ajuste à equação de Hollomon para as três temperaturas de ensaio.

Tabela 4. Valores médios dos coeficientes de resistência e de encruamento e de ajuste para as três temperaturas de ensaio.

Temperatura (°C)	k	n	R ²
Ambiente (22°C)	1035 ± 121	0,26 ± 0,02	0,993 ± 0,004
300	732 ± 22	0,17 ± 0,02	0,983 ± 0,003
600	346,89 ± 1	0,0867 ± 0,0001	0,886 ± 0,008

Foram realizadas, também, análises fractográficas no MEV das amostras submetidas ao ensaio de tração nas três condições apresentadas e observou-se que o mecanismo de fratura foi de nucleação, crescimento e coalescimento de microcavidades, tipicamente percebido em fraturas dúcteis, o que foi confirmado por Faria et.al. (2016). As fractografias estão apresentadas na Figura 8. Observa-se, também, que a 600°C as microcavidades se apresentam maiores que a 300°C, o que justifica o maior alongamento durante o ensaio para a temperatura de 600°C, destacado na Tabela 3. A amostra tracionada à temperatura ambiente apresenta delaminações no sentido de laminação da chapa. Esse fenômeno ocorre porque o material possui regiões de fragilidade nesse sentido e, como forma de promover alívio dessas tensões na etapa de deformação não uniforme, trincas secundárias são formadas [2].

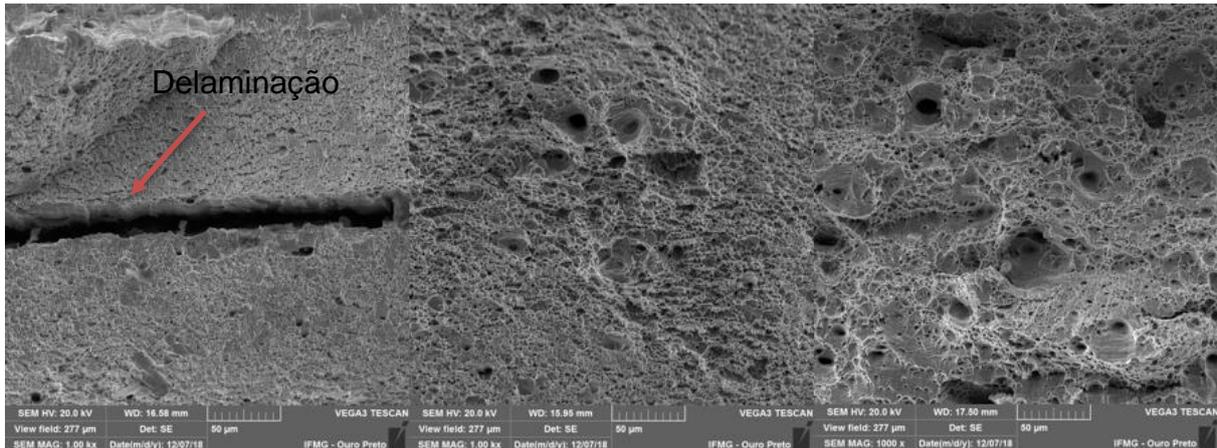


Figura 8. Fractografias ilustrando a presença de microcavidades. 1000x. (a) 22°C, (b) 300°C, (c) 600°C

4 CONCLUSÃO

- O aço inoxidável 410D, quando ensaiado em temperatura ambiente apresentou valores de Limite de escoamento e resistência superiores aos valores especificados.
- O aço inoxidável ferrítico 410D teve uma redução considerável de seus Limites de Escoamento e de Resistência, quando solicitado no ensaio de tração, em temperaturas superiores a ambiente, especialmente na temperatura de 600°C.
- O aço inoxidável 410D apresentou o fenômeno de envelhecimento dinâmico quando submetido à tração em temperatura de 300°C, com redução significativa do seu alongamento total.
- O aço em estudo apresentou, para as três temperaturas de ensaio, mecanismo de fratura dúctil, por meio de nucleação, crescimento e coalescimento de microcavidades.
- Ao se comparar o comportamento mecânico do aço 410D em tração a quente com o de um aço patinável, possível concorrente em diversas aplicações, submetido às mesmas condições de ensaio, foi possível observar o melhor desempenho do aço 410D.

Agradecimentos

À empresa APERAM Aperam South America, pelo material doado, à CAPES e ao CNPq pelo financiamento de Bolsas de Pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 SOARES, H. G.; FARIA, G. L. Caracterização Estrutural e Mecânica de Chapas Expandidas Confeccionadas a Partir de Aços Ferríticos. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 69.; ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA METALÚRGICA, 14.; São Paulo, 2014.

- 2 FARIA, G. L.; GODEFROID, L. B.; FARIA, G. A.; CUNHA, E. C. Avaliação da Susceptibilidade à Corrosão Intergranular em Aços Inoxidáveis Aplicados em Chapas Expandidas. 22o CBECIMAT. 2016.
- 3 VILELA, L.B.M. Efeito da Deformação a Frio e da Temperatura de Recozimento Final Sobre a Evolução Estrutural de um de um Aço Inoxidável Ferrítico ASTM 410. Dissertação de Mestrado. REDEMAT-UFOP. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – Minas Gerais. 2017.
- 4 ARRUDA, A.F.A.; CARVALHO, A.C.; MOREIRA, P.S.; QUEIROZ, R.R.U; FARIA G.L.. Características da camada de óxidos formada no aço inoxidável 410d após tratamentos isotérmicos em atmosfera oxidante. In: 73º Congresso Anual ABM. São Paulo - SP, 2018.
- 5 CARVALHO, A.C., Faria G.L., Moreira, P.S. Efeito do tempo e da temperatura de tratamento isotérmico sobre o tamanho de grão, dureza e susceptibilidade à corrosão intergranular de um aço inoxidável ferrítico. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 78 ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA METALÚRGICA, 18.; São Paulo, 2018.
- 6 GEMELLI, E. Corrosão de Materiais Metálicos. 3. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2006.
- 7 DIETER, G.E. Metalurgia mecânica. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1994.
- 8 SERNA, C. A. Resistência à corrosão intergranular do aço inoxidável ferrítico UNS S43000: avaliação por método de reativação eletroquímica, efeito de tratamento isotérmico e mecanismo de sensibilização. Tese de Doutorado. USP. 2006.
- 9 SILVA, E. S. Efeito do tratamento térmico de solubilização sobre o crescimento de grão e o grau de sensibilização dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 321 e AISI 347. Dissertação de Mestrado. UFMA. 2007.
- 10 LEE, K.O.; YOON, S.; LEE, S.B.; KIM, BS. Low cycle fatigue behavior of 429EM ferritic stainless steel at elevated temperatures. Key Engineering Materials, v. 261-263, p. 1135-1140, 2004
- 11 GARCIA, A.; Spim, AJ.; Santos, AC. Ensaios dos Materiais. 1ªEd. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- 12 FUJITA, N.; KIKUCHI, M.; OHMURA, K. Expressions for solubility products of Fe_3Nb_3C carbide and Fe_2Nb Laves phase in niobium alloyed ferritic stainless steels. ISJ International, v.43, n.12, p.1999-2006, 2003.
- 13 FARIA, R.A., GODEFROID, L.B., REMY, L., Efeito dos elementos Ti e Nb no comportamento em fadiga dos aços inoxidáveis ferríticos utilizados no sistema de exaustão de veículos automotores. Tese de Doutorado, REDEMAT. Ouro Preto, 2006.
- 14 SCHIMITT, J.H., CHASSAGNE, F., MITHIEUX, J.D. Some recente trends in niobium ferritic stainless steels. In: Recent advances of niobium containing materials in Europe. P.134-148, 2005.
- 15 BAIRD, J.D., JAMIESON, A. Creep Strength of Some Synthesized Iron Alloys Containin Manganese, Molybdeum and Chromium. In: Journal of The Iron and Steel Institute, 210. p. 847 – 856
- 16 QUEIROZ, R.R.U. Envelhecimento Dinâmico em Aço Dual Phase Classe de 600Mpa de Limite de Resistência. 119f. Tese de doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 2013.
- 17 ASTM E8M Standard test methods for tension tensing of metallic materials. Dezembro, 2011
- 18 KUMAR, M.V., BALASUNRAMANIAN, V., RAO, A.G. Hot tensile properties and strain hardening behaviour of super 304HCu stainless steel. In: Journal of Materials Research and Technology, ABM, 2017.
- 19 SENER, B., YURCI, M.E., Comparison of quasi-static constitutive equations and modeling of flow curves for austenitic 304 and ferritic 430 stainless steels. In: Special Issue of the 6th International Congress & Exhibition. Maslak, Istanbul, Turkey. 2016

- 20 APERAM. 410D para taliscas de esteiras transportadoras. Biblioteca técnica. Fichas Técnicas. Disponível em: <http://brasil.aperam.com/produtos/forcainox/biblioteca-tecnica/> Acesso em: 01 de junho de 2019.
- 21 RIBEIRO, M. R. Influência da Temperatura de Trabalho na Estrutura e no Comportamento Mecânico do Aço Patinável USISAC 350. Monografia de Graduação em Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. Minas Gerais. 2013.