

INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS TÉRMICOS DE TÊMPERA COM AUSTENITIZAÇÃO INTERCRÍTICA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO DO TIPO UNS S41003*

Isadora Pereira Nunes¹
Geraldo Lúcio de Faria²
José Carlos de Lacerda³
Leonardo Barbosa Godefroid⁴

Resumo

O aço UNS S41003 (410D) é um aço inoxidável ferrítico não estabilizado com teor de cromo relativamente baixo. Ele apresenta resistências mecânica e à corrosão, superiores às de aços baixo carbono comuns. Por isso, e por seu custo relativamente baixo entre os aços especiais, é forte candidato à substituição de aços baixo carbono comuns em diversas aplicações. Além das propriedades químicas satisfatórias, para estipular novas aplicações desse aço, é importante garantir bom desempenho em relação à sua resistência mecânica, sendo assim, o desenvolvimento de mecanismos de endurecimento sem perda significativa da ductilidade é desejável. Nesse contexto, este trabalho avaliou a influência de tratamentos térmicos de têmpera com austenitização intercrítica sobre a microestrutura e as propriedades mecânicas do aço inoxidável ferrítico 410D. Foram realizados tratamentos térmicos de têmpera, variando-se a temperatura e o tempo de austenitização com o objetivo de obter microestruturas bifásicas (ferrita e martensita). Os resultados revelaram que o aumento da temperatura e do tempo de austenitização favorecem o aumento da fração de martensita na microestrutura e que quanto maior a fração de martensita, maior a dureza e resistência mecânica em tração. O melhor equilíbrio entre ganho de resistência mecânica, sem perda expressiva de ductilidade foi apresentado pelo aço contendo 57% de martensita.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Ferrítico 410; Tratamentos Térmicos de Têmpera; Transformação Martensítica.

INFLUENCE OF QUENCHING TREATMENTS WITH INTERCRITICAL AUSTENITIZATION ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF A FERRITIC STAINLESS STEEL OF TYPE UNS S41003

Abstract

UNS S41003 (410D) steel is a non-stabilized ferritic stainless steel with relatively low chromium content. It has superior mechanical and corrosion resistance than low carbon steels. For this reason, and because of its relatively low cost in special steels, it is a strong candidate for replacement of common carbon steels in a variety of applications. In addition to satisfactory chemical properties, it is important to ensure good performance in relation to its mechanical strength to stipulate new applications of this steel, thus, the development of hardening mechanisms without significant loss of ductility is desirable. In this context, this work evaluated the influence of quenching with intercritical austenitization on the microstructure and mechanical properties of 410D ferritic stainless steel. Heat treatments of quenching were carried out by varying the temperature and the time of austenitization in order to obtain biphasic microstructures (ferrite and martensite). The results showed that the increase of the temperature and the time of austenitization favors the increase of the martensite fraction in the microstructure and the higher the martensite fraction, the higher the hardness and the tensile strength. The best balance between mechanical strength gain, without significant loss of ductility was presented by steel containing 57% martensite.

Keywords: 410 Ferritic Stainless Steel; Quenching Heat Treatments; Martensitic Transformation.

¹ Pós-Graduada em Engenharia de Materiais, REDEMAT, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

² Físico, Dr., Professor, DEMET, REDEMAT, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, Dr., Professor, UNIFEI, Itabira, MG, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalúrgico, Dr., Professor, DEMET, REDEMAT, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aço UNS S41003 (410D) é um aço inoxidável ferrítico de composição química relativamente simples, com baixa adição de elementos de liga e baixo teor de cromo, quando comparado a outros aços inoxidáveis. Ele apresenta elevada resistência mecânica, boa soldabilidade e boa resistência em ambientes corrosivos e abrasivos quando comparado a aços baixo carbono comuns. As propriedades apresentadas por esse aço alinhadas ao seu baixo custo de produção, em função da sua composição química relativamente simples, tornam-no um forte concorrente à substituição de aços baixo carbono comuns em aplicações estruturais de diversos segmentos industriais. Na indústria de álcool e cana de açúcar, o aço 401D pode ser empregado em taliscas e esteiras transportadores, além de difusores, evaporadores, caldeiras, chaminés e lavadores de gases por exemplo [1-2]. Os principais benefícios proporcionados pela substituição de aços carbono por aços inoxidáveis são o aumento da vida útil dos equipamentos e redução de custos com manutenção, além da redução de espessura das chapas, que no caso do aço 410D pode chegar a até 50%, o que é fruto da elevada resistência mecânica e resistência à corrosão apresentadas por esse aço quando comparado aos aços baixo carbono comuns, geralmente empregados nessas aplicações [3-4].

Apesar de ser um aço com resistência mecânica superior em relação a aços baixo carbono comuns, o aço inoxidável ferrítico 410D é um aço relativamente macio quando comparado a outros aços da mesma classe. Caso se deseje abrir mercado e se explorar novas aplicações para esse aço, além de um desempenho satisfatório quanto à oxidação e à corrosão, é importante garantir também boa resistência mecânica a carregamentos estáticos, à abrasão e à fadiga por exemplo. Por isso, desenvolver mecanismos que elevem a resistência mecânica do aço sem comprometer de forma significativa a sua ductilidade e tenacidade é uma iniciativa importante e necessária. A possibilidade de produzir uma microestrutura bifásica, composta pelas fases ferrita e martensita, é uma boa alternativa a esse desafio. Sabe-se que o aço 410D é susceptível à transformação martensítica quando austenitizado e temperado [5] e que a martensita é uma fase mais dura e resistente, enquanto a ferrita é mais macia e dúctil. A presença simultânea dessas duas fases na microestrutura proporcionaria uma boa combinação de ductilidade e elevada resistência mecânica [6-8].

Esse mecanismo já vem sendo aplicado na fabricação de aços bifásicos de alta resistência para aplicação automotiva, mas sua viabilidade em aços inoxidáveis ferríticos ainda não foi explorada. Sendo assim, esse trabalho propõe a realização de uma austenitização intercrítica do aço 410D, aquecendo o material a temperaturas entre A_{c1} , que é a temperatura de início da formação da austenita, e A_{c3} , que é a temperatura final de austenitização. Dessa forma, seria possível austenitizá-lo parcialmente e, submetendo-o a um resfriamento relativamente rápido, que caracterizaria a têmpera, a porção de austenita formada se transformaria em martensita. Alcançando-se assim, uma microestrutura bifásica, composta por martensita e pela ferrita remanescente, que não sofreu austenitização durante o aquecimento [5,9].

Por se tratar de uma fase de resistência mecânica elevada, a presença de diferentes frações de martensita afeta diretamente as propriedades dos aços bifásicos em geral. A realização de austenitizações intercríticas no aço 410D, em diferentes temperaturas entre A_{c1} e A_{c3} e por diferentes intervalos de tempo poderiam promover a obtenção de microestruturas desse aço com frações variadas de martensita.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de diferentes tratamentos térmicos de têmpera com austenitização intercrítica sobre a microestrutura, a microdureza e a resistência à tração do aço inoxidável ferrítico 410D.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram estudadas chapas de um aço inoxidável ferrítico do tipo 410D com 6mm de espessura, cuja composição química, obtida por espectrometria de emissão óptica, é apresentada na Tabela 1. Destaca-se que durante o processo de fabricação, esse aço foi laminado à quente, recozido e laminado à frio.

Tabela 1. Composição química do aço estudado (% em peso)

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
	0,013	0,581	0,449	0,028	0,001	11,097	0,426
Elemento	Nb	Co	Cu	Ti	V	Mo	N ₂ *
	0,009	0,017	0,021	0,002	0,022	0,012	181

* - p.p.m – partes por milhão

As condições de tratamento térmico avaliadas nesse trabalho foram escolhidas com o objetivo de obter-se microestruturas bifásicas com diferentes frações de martensita. As temperaturas de austenitização intercrítica utilizadas foram definidas com base nas temperaturas críticas A_{c1} e A_{c3} , medidas por dilatométrica, a uma taxa de aquecimento de 5°C/s, para um aço que atende à mesma norma UNS S41003. Vilela [5] determinou as temperaturas de início e de final da austenitização no aquecimento contínuo como sendo 815°C e 937°C, respectivamente.

Foram realizados dez tratamentos térmicos de têmpera em amostras do aço 410D, variando-se o tempo e a temperatura de austenitização conforme apresentado no fluxograma da Figura 1. Em todos os tratamentos térmicos o resfriamento foi feito em água.

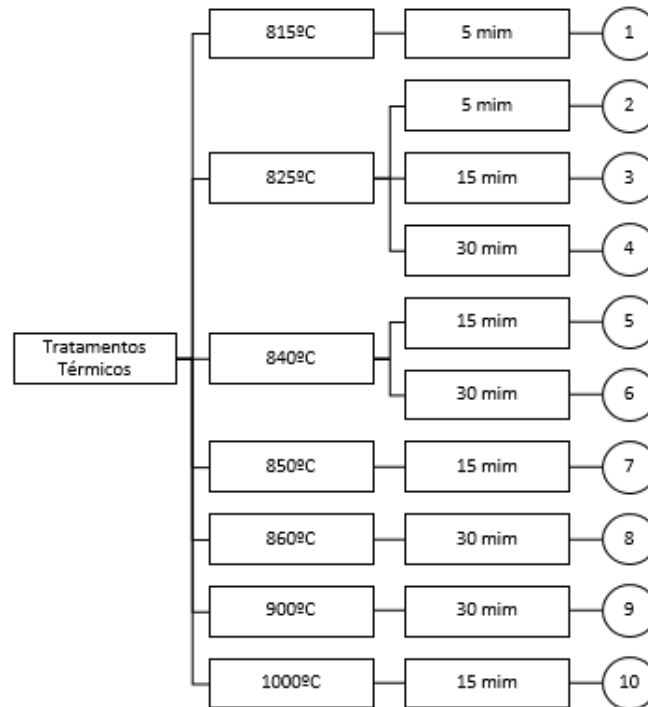


Figura 1 . Fluxograma dos Tratamentos Térmicos Realizados no Aço 410D.

As microestruturas das amostras tratadas termicamente, assim como da amostra do aço no seu estado de entrega, foram analisadas por meio de microscopia óptica em um microscópio óptico LEICA DM2700M do Laboratório de Tratamentos Térmicos e Microscopia Ótica LTM/Escola de Minas/UFOP. Para isso, todas as amostras foram previamente submetidas à preparação metalográfica padrão segundo a norma ASTM E3-01 [10]: embutimento; sequência de lixamento, da lixa grão 120# até a lixa grão 1200#; polimento com alumina em suspensão de 1 μ m e, em seguida, pasta de diamante de 0,25 μ m; ataque químico à quente com o reativo colorante (12ml de H₂SO₄, 3ml de HF; 6 gotas de HNO₃ e 110ml de H₂O).

Foram adquiridas cinco imagens da microestrutura, com o aumento de 500 vezes, para cada uma das dez condições de tratamento térmico realizados e também para o estado de entrega do aço 410D, com o objetivo de realizar a avaliação quantitativa das frações de martensita presentes em cada uma das condições de tratamento térmico pelo método das áreas, com o auxílio do software ImageJ. Esse procedimento foi efetuado nas cinco imagens e uma média da fração de martensita foi obtida, para cada condição.

Para se obter a microdureza das fases, foram realizadas dez medições nos grãos de ferrita e dez medições nas ilhas de martensita em amostras representativas dos tratamentos térmicos realizados. A carga aplicada nessas medições foi de 10gf por 5s, com o objetivo de produzir indentações menores que se enquadrem ao tamanho das fases. Além disso, também foram realizadas dez medições de microdureza geral, em amostras representativas dos tratamentos térmicos. A carga aplicada nessas medições foi de 100gf por 5s. Os ensaios foram conduzidos segundo a norma ASTM E92 [11] e o equipamento utilizado foi um microdurômetro da marca Pantec, modelo HXD 1000TM pertencente ao LTM.

Os ensaios de tração foram realizados segundo a norma ASTM E8M [12] em uma máquina servo hidráulica MTS810 de 10 toneladas, do Laboratório de Ensaios Mecânicos DEMET/Escola de Minas/UFOP e conduzidos à temperatura ambiente,

com uma taxa de deslocamento do pistão de 2mm/mim. Os corpos de prova, cujas dimensões encontram-se na Figura 2, foram retirados no sentido longitudinal de laminação das chapas. Foram avaliados os limites de escoamento, limite de resistência, deformação total e redução de área do aço 410D no seu estado de entrega e após ser submetido às condições: tratamentos térmicos 2 (825°C por 5mim), 3 (825°C por 15mim) e 10 (1000°C por 15mim). Foram ensaiadas três amostras para cada uma das quatro condições.

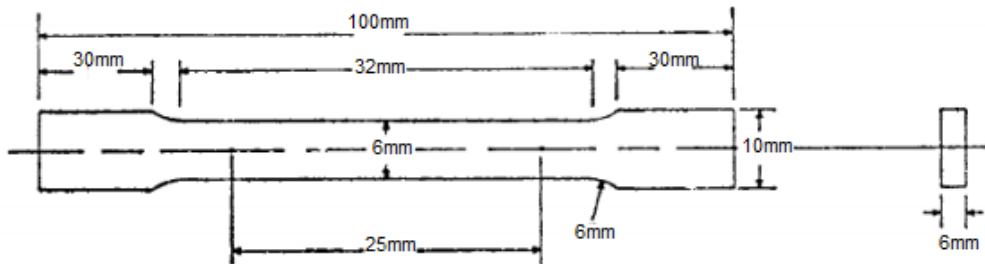


Figura 2 . Corpo de Prova para os ensaios de tração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Influência dos Tratamentos Térmicos na Microestrutura

A Figura 3 apresenta a micrografia do aço 410D em seu estado de entrega. Observa-se uma microestrutura majoritariamente ferrítica, composta por grãos ligeiramente alongados na direção de laminação do material. A microestrutura observada está de acordo com o esperado para o processo de fabricação de um aço inoxidável ferrítico laminado à quente, recozido e laminado à frio.

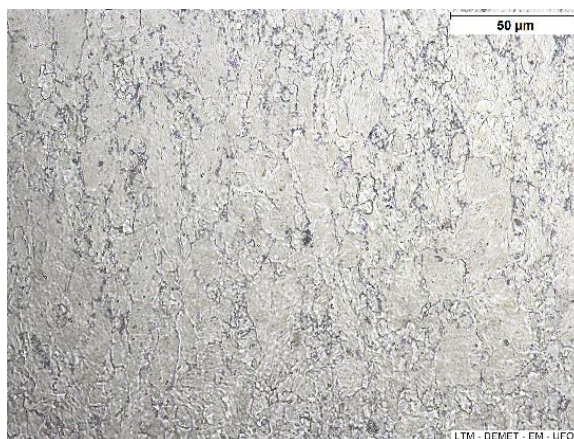


Figura 3. Microestrutura em microscopia óptica do aço 410D em seu estado de entrega - ataque à quente com reativo colorante – 500x.

A Figura 4 apresenta as microestruturas resultantes dos tratamentos térmicos de 1 a 9. Observa-se que todas as microestruturas são bifásicas, compostas por ferrita e martensita. As frações de martensita referentes a cada um desses tratamentos encontram-se no gráfico apresentado na Figura 5. Percebe-se que quanto maior a

temperatura de austenitização intercrítica e o tempo de tratamento, maior é a fração de martensita obtida após o resfriamento (fase indicada nas imagens de microscopia óptica por uma seta vermelha). Isso ocorre porque, na austenitização intercrítica tem-se apenas uma austenitização parcial da estrutura e, conseqüentemente, apenas essa parcela austenitizada forma martensita durante a têmpera. A fração de ferrita observada na microestrutura após o resfriamento é aquela não dissolvida na austenitização intercrítica [13-15]. Correa et al. [15] também observaram um aumento na fração de martensita com a elevação da temperatura de austenitização intercrítica em aços *dual phase* para aplicações automobilísticas, assim como no caso do aço inoxidável 410D estudado neste trabalho, esse aumento da fração de martensita foi relacionado à maior quantidade de austenita formada no aquecimento intercrítico. Arruda et al. [9], ao estudarem fenômenos de oxidação, foram pioneiros ao verificar efeito semelhante em um aço inoxidável 410D.

Austenitizações intercríticas realizadas em uma mesma temperatura, porém com tempos de tratamento diferentes revelaram que, quanto maior o tempo, maiores tendem a ser as frações de martensita após resfriamento. Isso ocorre porque, o mecanismo de austenitização é dependente tanto da temperatura quanto do tempo, e um maior tempo de permanência no forno permite a formação de uma maior fração de austenita e, conseqüentemente, maior fração de martensita após a têmpera [16-17]. Esse efeito do tempo em austenitizações intercríticas já foi verificado, de forma semelhante, para outras classes de materiais. Franco [17] por exemplo, observou uma queda na fração de ferrita pró-eutetoide com o aumento do tempo de austenitização intercrítica para um ferro fundido previamente ferritizado.

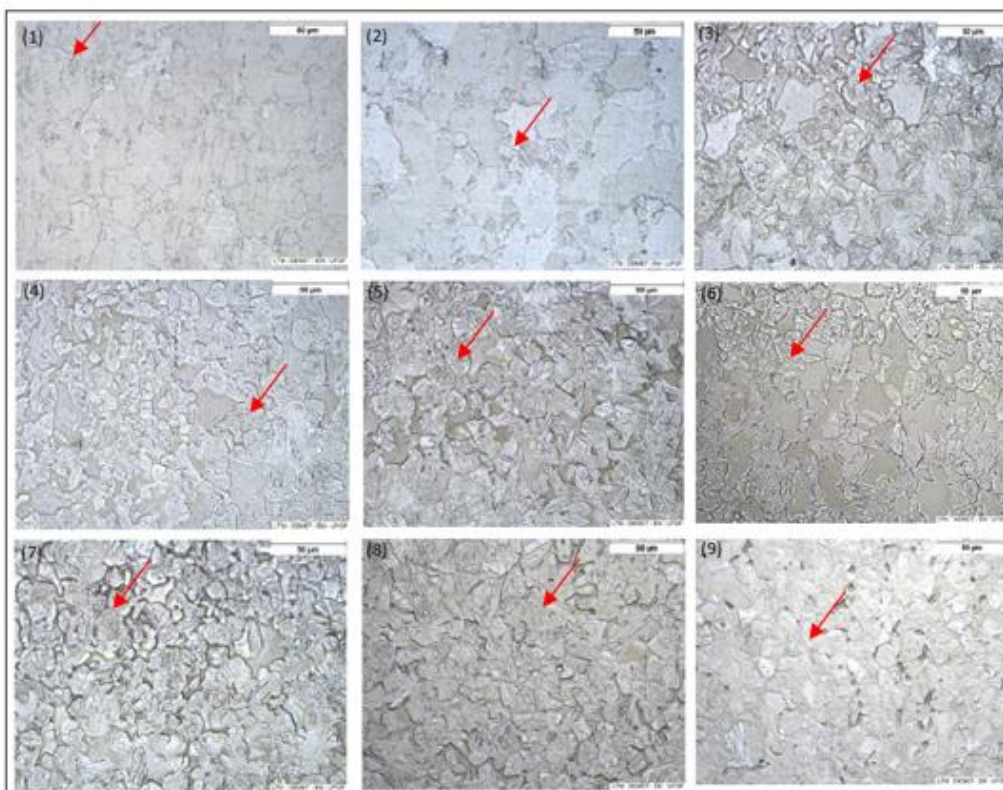


Figura 4. Microestruturas do aço 410D após os tratamentos térmicos de 1 a 9 - ataque à quente com reagente colorante – MO--500x.

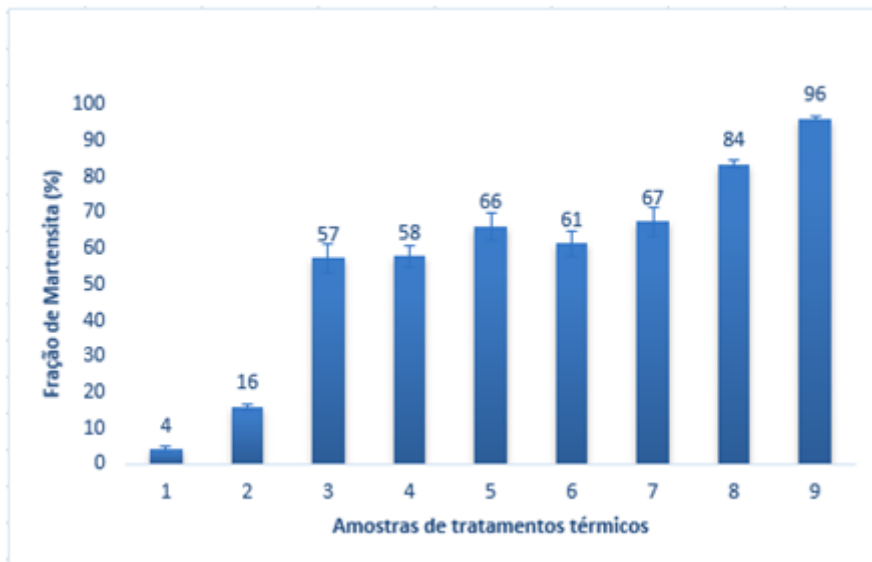


Figura 5 . Frações de martensita presentes nas microestruturas do aço 410D.

A Figura 6 apresenta a microestrutura do aço temperado após ser austenitizado à 1000°C por 15 minutos (tratamento térmico 10). A microestrutura observada é majoritariamente martensítica, o que está de acordo com o esperado, uma vez que a temperatura de austenitização adotada nesse tratamento térmico é superior à temperatura A_{c3} do aço.

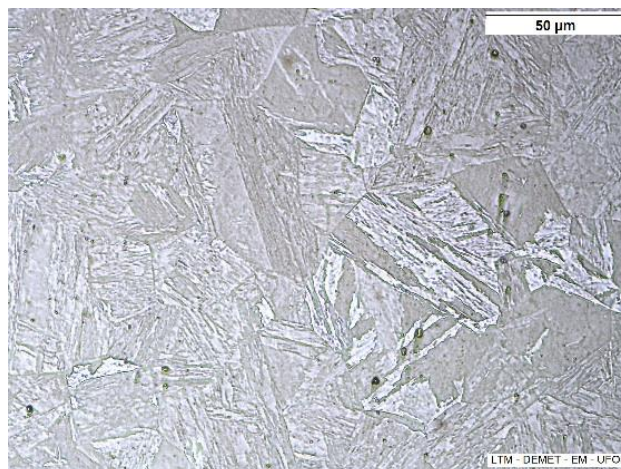


Figura 6 . Microestrutura do aço 410D temperado (1000°C por 15min) - ataque à quente com reagente colorante – MO-500x.

3.2 Influência dos Tratamentos Térmicos na Microdureza

Os valores de microdureza Vickers obtidos para o estado de entrega do aço 410D e para amostras dos dez tratamentos térmicos realizados encontram-se no gráfico apresentado na Figura 7. A microdureza do aço 410D tende a aumentar de acordo com o aumento da temperatura e do tempo de austenitização intercrítica. Esse aumento na microdureza do aço é associado ao aumento da fração de martensita presente na microestrutura. Essa relação entre o aumento da microdureza em função do aumento da temperatura de austenitização também foi atribuída à

presença de maior fração de martensita em um aço bifásico, obtido a partir do aço tipo LNE 380, por Dias et al. [18].

Apenas a amostra referente ao tratamento térmico 1 apresentou valores médios de microdureza inferiores ao estado de entrega do aço 410D. Nessa condição, a fração de martensita, cerca de 4%, foi a menor fração obtida entre os tratamentos térmicos realizados e, alinhado a isso, os grãos de ferrita apresentaram-se equiaxiais e maiores em comparação aos grãos de ferrita no estado de entrega, que se encontravam alongados. Isso é um indicativo de que durante o tratamento térmico pode ter ocorrido recuperação com diminuição da densidade de discordâncias nos grãos ferríticos, fenômenos que contribuem para o alívio de tensões provenientes do processo de fabricação e, conseqüentemente, diminuição da dureza [6-8].

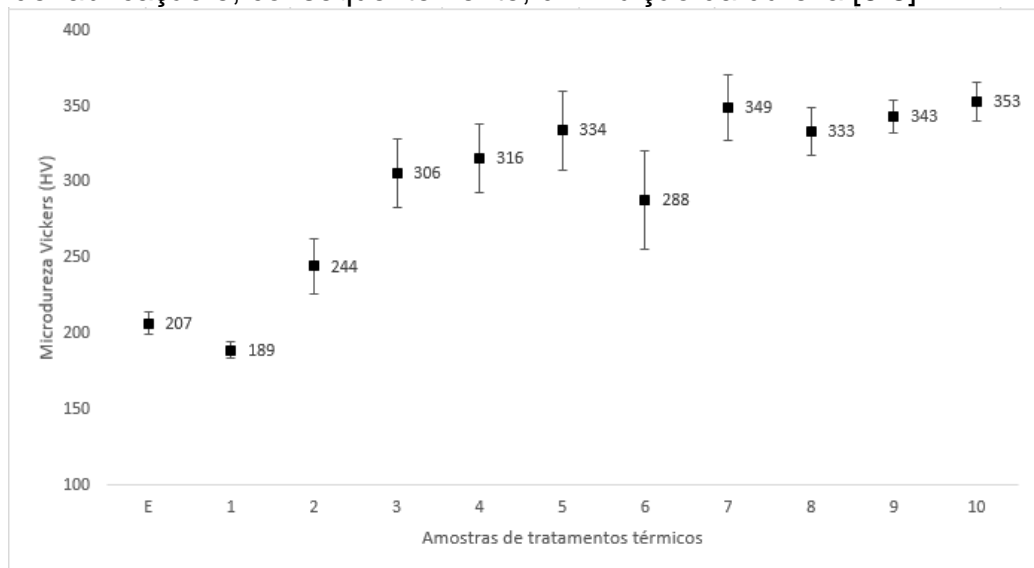


Figura 7 . Microdureza Vickers das amostras do aço 410D no estado de entrega e termicamente tratadas.

Os valores de microdureza Vickers das fases ferrita e martensita para o aço 410D nas condições de tratamentos térmicos de 2 a 8 encontram-se no gráfico apresentado na Figura 8. Nos tratamentos térmicos 1 e 9, o tamanho dos grãos de ferrita e das ilhas de martensita presentes, respectivamente, foram menores do que a menor indentação produzida pelo microdurômetro utilizado e, por isso, não foi possível medir de maneira individualizada a microdureza das fases nessas condições. Em todas as amostras analisadas o valor médio de microdureza da martensita foi superior ao valor médio de microdureza da ferrita, confirmando que a presença da martensita contribui para o aumento da microdureza geral do aço [14,15,18].

Entre as condições analisadas, a amostra referente ao tratamento térmico 2 apresentou o maior valor de microdureza da martensita, em contrapartida, a amostra referente ao tratamento térmico 8 apresentou o menor valor de microdureza da martensita. Isso revela uma tendência de redução da microdureza da martensita com o aumento da temperatura de austenitização. Esse comportamento pode estar relacionado à partição de carbono durante a austenitização intercrítica, uma vez que uma concentração menor de carbono implica em uma redução na dureza da fase. Ao estudar o efeito da temperatura em um tratamento de têmpera com partição de carbono em um aço inoxidável martensítico com baixo teor de carbono, Tsushiyama et al. [19] afirmaram que a solubilidade de carbono na ferrita aumenta com o

aumento da temperatura de partição e, mesmo que temperaturas de partição mais elevadas produzam frações de austenita retida maiores, o teor de carbono na austenita nessas condições é menor. O mesmo pode estar ocorrendo para o aço 410D estudado nesse trabalho, que quando é austenitizado em maiores temperaturas, forma martensita com teor de carbono menor durante a têmpera e, portanto, menos dura.

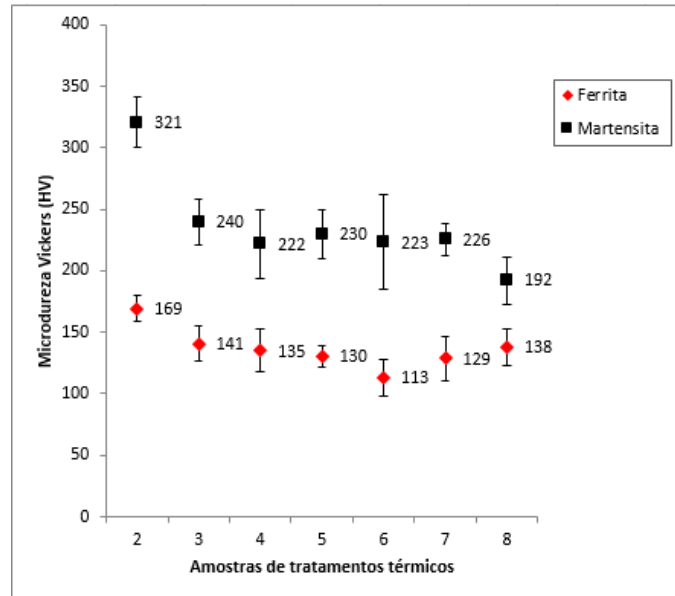


Figura 8 . Microdureza Vickers das fases ferrita e martensita presentes nas amostras do aço 410D após tratamentos térmicos.

3.3 Influência dos Tratamentos Térmicos na Resistência à Tração

Os ensaios de tração foram realizados para quatro condições distintas de microestrutura do aço 410D: estado de entrega, tratamento térmico 2, tratamento térmico 3 e tratamento térmico 10. Essas condições foram escolhidas pois representam, respectivamente, o aço majoritariamente ferrítico, bifásico com uma fração de martensita inferior a 50%, bifásico com uma fração de martensita superior a 50% e majoritariamente martensítico.

Os valores médios de tensão limite de escoamento (σ_{LE}), tensão limite de resistência (σ_{LR}), deformação total (ϵ_t), e redução de área transversal (RA) encontram-se na Tabela 2. De uma maneira geral, observa-se que tanto o limite de escoamento quanto o limite de resistência à tração aumentam com o aumento da fração de martensita presente na microestrutura do aço. Já a deformação total e a redução da área, que são indicativos de ductilidade do material, apresentam um comportamento inverso, diminuindo com o aumento da fração de martensita. Esses resultados estão de acordo com o que foi observado por Gündüz [20], ao estudar o efeito da fração de martensita sobre a resistência mecânica de um aço carbono e um aço microligado, ambos com estrutura bifásica.

A resistência mecânica apresentada pelo aço proveniente do tratamento térmico 2, que contém aproximadamente 16% de martensita, diminuiu em comparação à resistência mecânica do aço no estado de entrega. Como já comentado, o tempo de permanência no forno durante esse tratamento, teria ocasionado uma diminuição da densidade de discordâncias e alívio de tensões provenientes do processo de fabricação do material. Nesse caso, o efeito do alívio de tensões foi superior ao

efeito da fração reduzida de martensita presente na microestrutura, levando à queda da resistência mecânica do aço.

Com um aumento na fração de martensita de 16%, no tratamento térmico 2, para 57%, no tratamento térmico 3, observou-se um aumento expressivo de aproximadamente 28% no limite de escoamento do aço, com uma diminuição de apenas 6% no seu alongamento total. Isso indica que essa proporção entre as fases ferrita e martensita é promissora no que diz respeito a proporcionar um ganho de resistência mecânica sem comprometer, de forma agressiva, a ductilidade do aço.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de tração

Condição	σ_{LE} (MPa)	σ_{LR} (MPa)	ϵ_t (%)	RA (%)
Estado de Entrega	389±25	595±43	36±0	73±4
Tratamento Térmico 2	329±12	566±2	39±0	77±1
Tratamento Térmico 3	421±18	712±0	33±0	70±3
Tratamento Térmico 10	512±64	985±18	20±2	67±4

4 CONCLUSÃO

Durante a austenitização intercrítica, quanto maior a temperatura de austenitização e o tempo de permanência no forno, maior é a fração de martensita presente na microestrutura do aço após resfriamento acelerado.

Os valores médios de microdureza geral das amostras aumentam com o aumento da fração de martensita, isso ocorreu porque a microdureza média da martensita é maior do que a microdureza média da ferrita. A fração de martensita presente na microestrutura exerce significativa influência nas propriedades mecânicas do aço, de forma que, a resistência à tração tende a aumentar com o aumento da fração de martensita.

Um comportamento distinto foi observado para a condição de tratamento térmico 2 em relação ao aço no estado de entrega. Nessa condição, a recuperação e o alívio de tensões proporcionados pelo tratamento térmico na ferrita não transformada foi superior ao efeito da fração de martensita de apenas 16%, reduzindo a resistência mecânica do aço em comparação ao estado de entrega.

Considerando-se uma relação balanceada entre resistência mecânica e ductilidade, o resultado mais promissor foi apresentado pelo tratamento térmico 3. Com um aumento na fração de martensita de 16% para 57% obteve-se um ganho de aproximadamente 28% no limite de escoamento com uma perda de apenas 6% no alongamento total do aço. Portanto, essa foi considerada uma microestrutura bifásica que proporciona um aumento da resistência mecânica do aço inoxidável ferrítico 410D sem comprometer significativamente sua ductilidade.

Agradecimentos

À empresa Aperam South America pelo fornecimento das amostras do aço inoxidável ferrítico AISI 410D para a realização deste trabalho. À REDEMAT e seus funcionários, assim como a CAPES e a CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 APERAM South America. Aço Inoxidável Ferrítico para aplicações estruturais e de desgaste. Disponível em: [http://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2015/11/DIN-WS-1.4003UNS-S41003-A%C3%A7o Inoxid%C3%A1vel-Ferr%C3%ADtico-para-aplica%C3%A7%C3%B5es-estruturais-e-de-desgaste.pdf](http://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2015/11/DIN-WS-1.4003UNS-S41003-A%C3%A7o%20Inoxid%C3%A1vel-Ferr%C3%ADtico-para-aplica%C3%A7%C3%B5es-estruturais-e-de-desgaste.pdf). Visto em: 13 de maio de 2019.
- 2 APERAM South America. 410D para taliscas de esteiras transportadoras: Aço Inoxidável Ferrítico. Disponível em: <http://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2015/11/A%C3%A7o-Ferr%C3%ADtico-410-Taliscas.pdf>. Visto em: 20 de abril de 2019.
- 3 FARIA, G. L. de; GODEFROID, L. F.; MENEZES, V. S. Development of a methodology for structural and mechanical characterization of extended sheets made from stainless steels. *Materials Research*, v. 18, p. 76-82, 2015.
- 4 FARIA, G. L.; GODEFROID, L. B.; DE FARIA, G. A.; DA CUNHA, E. C. Avaliação da Susceptibilidade à Corrosão Intergranular em Aços Inoxidáveis Aplicados em Chapas Expandidas. 22 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal –RN. 2016.
- 5 VILELA, L. B. M.; FARIA, G. L.; ALCANTARA, C. M.; OLIVEIRA, T. S.; COTA, A. B. Efeito da taxa de resfriamento sobre a formação de martensita em um aço inoxidável ferrítico com 11 %Cr e baixos teores de intersticiais. *Revista Matéria*. V.24. N.01. 2019.
- 6 TOTTEN, George E. (Ed.). *Steel heat treatment: metallurgy and technologies*. crc Press, 2006.
- 7 KRAUSS, George. *Steels: processing, structure, and performance*. 2º ed. Asm International, 2015.
- 8 BHADSHIA, Harry; HONEYCOMBE, Robert. *Steels: microstructure and properties*. Butterworth-Heinemann, 2017.
- 9 ARRUDA, Amanda Aparecida Fátima; CARVALHO, Ana Cecília de; MOREIRA, Paulo Sérgio; QUEIRÓZ, Rhelman Rossano Urzêdo; FARIA, Geraldo Lúcio de. CARACTERÍSTICAS DA CAMADA DE ÓXIDOS FORMADA NO AÇO INOXIDÁVEL 410D APÓS TRATAMENTOS ISOTÉRMICOS EM ATMOSFERA OXIDANTE. p. 1470-1481. In: *73º Congresso Anual da ABM*, São Paulo, 2018.
- 10 ASTM, E. 3-01 Standard practice for preparation of metallographic specimens. ASM International, 2007.
- 11 ASTM E92-17. Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. 2017.
- 12 ASTM E 8M – 16a. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials1. 2016.
- 13 MAZAHARI, Y.; KERMAPUR, A.; NAJAFIZDEH, A.; SAEDI, N. Effects of initial microstructure and thermomechanical processing parameters on microstructures and mechanical properties of ultrafine grained dual phase steels. *Materials Science & Engineering A*. 2014.
- 14 MOVAHED, P. et al. The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work hardening behavior of ferrite–martensite dual phase steel sheets. *Materials Science and Engineering: A*, v. 518, n. 1-2, p. 1-6, 2009.
- 15 CORREA, E., MARTINS, S., MAGALHÃES, A., LOPES, W., & AGUILAR, M. Efeito da Temperatura Intercrítica na Microestrutura e na Dureza de um Aço Dual Phase. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2014.

- 16 ERDOGAN e KILICLI. Effect of Ausferrite Volume Fraction and Morphology on Tensile Properties of Partially Austenitised and Austempered Ductile Iron With Dual Matrix Structures. International Journal of Cast Metals Research. October de 2007.
- 17 FRANCO, E. Estudo da Influência dos Parâmetros de Austenitização Sobre a Microestrutura do Ferro Fundido Nodular Austemperado A Partir da Zona Crítica. Dissertação de Mestrado, UDESC. 2008.
- 18 DIAS, A. N. O., Baldissera, M. R., Oshiro, A. Y., & Coelho, G. C. A Influência de Diferentes Microestruturas na Tenacidade à Fratura e na Dureza de um Aço LNE 380 Temperado em Diferentes Temperaturas. VI Conferência Brasileira sobre Temas de Tratamento Térmico. Atibaia, SP, Brasil. 2012.
- 19 TSUCHIYAMA, Toshihiro et al. Quenching and partitioning treatment of a low-carbon martensitic stainless steel. Materials Science and Engineering: A, v. 532, p. 585-592, 2012.
- 20 GÜNDÜZ, Süleyman. Effect of chemical composition, martensite volume fraction and tempering on tensile behaviour of dual phase steels. Materials letters, v. 63, n. 27, p. 2381-2383, 2009.