

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CARACTERIZAÇÃO DE UM AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNSS31803 SUBMETIDO A TÊMPERA EM TRÊS MEIOS DE RESFRIAMENTO DIFERENTES

Tamara Silva Louzada, tamaralouzada@gmail.com¹
Eduardo Miguel da Silva, eduardosilva@unifei.edu.br¹
Ricardo Shitsuka, ricardoshitsuka@unifei.edu.br¹

¹Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira, Distrito Industrial II, s/ n°, CEP 35903-081 Itabira/MG, Brasil

Resumo: Os aços inoxidáveis duplex possuem uma extensa aplicação nas indústrias química, petroquímica, automobilística, de papel e celulose, siderúrgicas, alimentícias e de geração de energia. O aço UNSS31803 destaca-se, por exemplo, dos aços austeníticos da série 304L e 316L em virtude da sua elevada resistência à corrosão em certos meios. No entanto, o aço UNSS31803 é susceptível a alguns fenômenos de fragilização como precipitação de carbonetos e formação de fases. Sua microestrutura duplex pode ser obtida através do balanceamento dos elementos de liga e de tratamento termomecânico. Já os elementos estabilizadores de austenita, como o níquel, o carbono e o nitrogênio, e os elementos estabilizadores da ferrita, como o cromo, o silício e o molibdênio, nesses aços são controlados através do balanceamento dos seus elementos de liga (Senatore et. al, 2007). Segundo Senatore et. al (2007), para maximizar as propriedades mecânicas dos aços duplex bem como sua resistência à corrosão, as frações volumétricas de austenita e ferrita devem ter um balanceamento próximo a 50% cada. Neste contexto, este trabalho investiga os efeitos do tratamento térmico e dos seus diferentes meios de resfriamento no aço inoxidável duplex UNSS31803. Para isso, foi feita a sua caracterização por meio da microdureza, da microscopia óptica e eletrônica de varredura (110V) e da ferritoscopia. As temperaturas utilizadas na têmpera foram de 500°C e 850°C, os meios de resfriamento foram a água pura, o óleo e uma solução de água + sal e o tempo de tratamento foi de três minutos devido às dimensões das amostras. De uma maneira geral, foi observado o percentual de ferrita em torno de 35% do volume do material e todas as amostras apresentaram a precipitação de carboneto de cromo nos contornos dos grãos. Já a microdureza média do material, quando aplicada uma carga de 200g, teve uma variação entre 125 - 151 HV.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Duplex, Tratamento Térmico, Microdureza, Microestrutura

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são materiais com utilização crescente nas indústrias em função da sua alta resistência à corrosão e as suas propriedades mecânicas. Porém, são materiais que exigem cuidados especiais na sua trabalhabilidade sob o risco de comprometimento de suas propriedades (Silva, 2011). Neste sentido, esses aços tem um grande destaque na indústria petroquímica, que enfrenta ambientes extremamente agressivos o que exige a utilização de materiais com elevada resistência à corrosão e boa tenacidade, presentes nos diversos tipos de aços inoxidáveis.

Os aços inoxidáveis duplex são materiais baseados no sistema Fe-Cr-Ni, apresentando um teor de Cr de 20 a 30% e de Ni de 5 a 10%, com baixos teores de carbono (menores do que 0,03%) (Colpaert, 2008). Neles também pode haver adições de nitrogênio, molibdênio, tungstênio, manganês e cobre. Sua microestrutura contém frações aproximadamente iguais de ferrita e austenita, apresentando uma elevada resistência mecânica e à corrosão, especialmente a corrosão sob tensão, uma boa tenacidade e uma ótima resistência à fadiga (Colpaert, 2008). O aço duplex UNSS31803 caracteriza-se por ter uma estrutura bifásica composta por “ilhas” de austenita em uma matriz ferrítica (Gunn, 1997). Suas propriedades mecânicas são alcançadas através do balanço microestrutural entre as fases ferrita e austenita, obtidas através do controle da composição química e das condições do tratamento térmico de solubilização (Bain, 1987). Nota-se que as suas principais características podem ser alteradas durante os processos de soldagem. Porém, estas alterações no metal base devem ser mínimas para evitar problemas como a fragilização do material através do crescimento excessivo de grão, do aumento do teor da ferrita ou da formação de fases intermetálicas indesejáveis (Folkhard, 1988).

Quando os aços inoxidáveis duplex são expostos a uma faixa de temperatura entre 300° e 1000°C, como consequência de tratamentos térmicos ou ciclos térmicos de soldagem feitos de forma inadequada, podem ocorrer a

precipitação de outras fases além da ferrita e austenita. Estas fases podem ser intermetálicas (sigma, chi, nitretos, carbonetos etc.), austenita secundária, muito comum nesses casos como também em resfriamentos muito bruscos, e α' (Padilha e Guedes, 2004). Segundo ASM (1994), de todas as fases precipitadas nesta faixa de temperatura, as que apresentam uma cinética favorável e/ou um efeito fragilizante mais acentuado são: a formação de nitretos de cromo que são normalmente encontrados nas soldas dos aços inoxidáveis duplex, a formação da fase sigma que causa grandes reduções na tenacidade dos materiais e a formação da fase α' , com uma estrutura CCC rica em cromo e responsável pela fragilização do material a uma temperatura de aproximadamente 475°C. Assim, tanto as propriedades mecânicas, principalmente a tenacidade, como a resistência à corrosão podem ser prejudicadas de acordo com a fase precipitada.

Na faixa de precipitação da fase sigma (600 a 1000 °C), a ferrita é termodinamicamente metaestável em aços inoxidáveis duplex, possuindo um alto teor de elementos formadores de fase sigma (Cr e Mo). Assim, através da decomposição da ferrita ocorre a precipitação da fase sigma. A decomposição da ferrita pode ocorrer através de uma reação eutetóide formando sigma e austenita, sendo que a austenita apresenta teores mais baixos dos elementos Cr e Mo (Maehara, 1983, Júnior, 2008).

Segundo Telles (2003), os aços inoxidáveis também estão sujeitos a sensitizerização, que nada mais é do que a precipitação de carbonetos de cromo, causada pela combinação do cromo com o carbono livre derivado da decomposição da cementita. Na maioria dos aços inoxidáveis, a sensitizerização ocorre numa faixa de temperatura de 525°C a 850°C, no entanto ela também pode ocorrer quando o aço fica exposto a temperaturas mais baixas em um longo período de tempo segundo pesquisas realizadas por Shreir *et al.* (1994). Quando o aço sofre a sensitizerização, ele fica sujeito a corrosão intergranular que tem como característica o surgimento de trincas no contorno dos grãos. Como há o empobrecimento de cromo na região periférica do grão, essa se torna anódica em relação às regiões da vizinhança (Telles, 2003). Portanto, o grau de sensitizerização dependerá, sobretudo, do tempo da temperatura dentro do intervalo crítico ou da taxa de resfriamento através do intervalo de temperatura crítica, bem como da composição da liga, em particular, o teor de carbono (Sheir, 1994). Quanto a empregabilidade do aço inoxidável que sofreu sensitizerização, Telles (2003) afirma que não é preciso descartá-lo, desde que o mesmo não corra o risco de sofrer corrosão intergranular, pois a sensitizerização, unicamente, não afeta as propriedades mecânicas do material, bem como sua resistência às baixas temperaturas, à fluência, à oxidação atmosférica e à corrosão em altas temperaturas.

Leiva-García *et al.* (2015) estudaram o processo de sensitizerização no aço inoxidável duplex DIN1.4462 utilizando a microscopia confocal e técnicas eletroquímicas localizadas, assim em seus estudos utilizaram amostras desse aço tratadas termicamente a 850°C durante 1 e 2 horas e concluíram que o processo de sensitizerização do aço causou uma diminuição na sua resistência à corrosão, degradando as propriedades de proteção da superfície contra a corrosão além do aumento da suscetibilidade à formação de pites. Por outro lado pesquisas realizadas por Costa *et al.* (2005), propuseram uma metodologia para a averiguação automática de dutos e tubulações através da análise de imagens micrográficas de amostras de aço inoxidável AISI 304L de uma tubulação, assim foi extraído dessas imagens um conjunto de características usadas para classificar as amostras em três níveis de sensitizerização segundo a norma ASTM A260-02^a, obtendo através dessa metodologia proposta uma taxa de acerto de 100%, demonstrando que é possível identificar automaticamente amostras com diferentes graus de sensitizerização. Assim, tais informações obtidas permitem que sejam tomadas ações preventivas para evitar a expansão da corrosão em dutos.

Portanto, este trabalho tem como objetivo caracterizar o aço inoxidável duplex UNS31803 submetido a têmpera em três meios de resfriamento diferentes. Nota-se que variações na temperatura podem modificar a microestrutura original, alterar o balanço das fases e consequentemente afetar o desempenho da peça, modificando suas propriedades. Desta forma esse trabalho visa contribuir para um melhor entendimento das propriedades mecânicas e a resistência à corrosão do material, que são fatores determinantes no aumento do desempenho de um componente, principalmente quando este está submetido a uma variação do ciclo térmico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos testes foram utilizados neste trabalho corpos de prova de aço inoxidável duplex UNS31803 cuja composição esta apresentada na Tab. 1. Assim, a chapa de aço inoxidável duplex UNS31803 foi seccionada em sete partições retangulares, cuja dimensões são 1x1,5x3 mm, das quais seis amostras foram submetidas a um tratamento isotérmico em um forno de Mufla no laboratório de materiais da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI- Campus Itabira), nas temperaturas de 500 °C e 850 °C, durante o período de 3 minutos. A escolha dessas temperaturas se deu pelo fato de que esses aços geralmente são empregados em alguns processos industriais nessa faixa de temperatura, assim pesquisas recentes realizadas nos aços duplex, mostram que nessa faixa de temperatura estudada pode ocorrer precipitação de fases que fragilizam o material, como por exemplo a fase α' (475 °C) e fase sigma (faixa de temperaturas de 550 °C e 950 °C).

O tempo de tratamento foi definido segundo as dimensões das amostras. Após este tempo de exposição, as amostras foram resfriadas em água + sal, água pura e óleo. A sétima partição foi utilizada como um material padrão, uma amostra que não recebeu tratamento térmico, conforme Tab. 2.

Após a têmpera, as amostras foram embutidas a quente, seguido pelo lixamento e polimento em alumina. Para revelar a microestrutura do material, foi realizado um ataque eletrolítico utilizando Ácido Oxálico a 10% e uma fonte reguladora de tensão da marca Tektronix TDS 2002B, com uma corrente contínua de 400mA e tensão constante de 5V durante o tempo de sete minutos.

Tabela 1. Composição química do Aço Inoxidável UNSS31803 (Fonte: Arcelor Mittal, 2016).

Elemento Químico	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N2
% em massa	0,03	2,00	1	0,03	0,02	22,0 a 23,0	4,5 a 6,5	3,0 a 3,5	0,14 a 0,20

Tabela 2. Ilustração das sete amostras, com suas respectivas temperaturas de tratamento térmico e meio de resfriamento.

Amostras	A	B	C	D	E	F	G
Temperatura de Tratamento (°C)	500	500	500	850	850	850	-
Meio de Resfriamento	Água + Sal	Água	Óleo	Água + Sal	Água	Óleo	-

2.1. Ensaio de Microdureza

Segundo Souza (1982), a dureza através da penetração é o método mais utilizado e citado nos artigos técnicos. Para a medição da dureza foi utilizado o microdurômetro da marca Wilson modelo 420. Esse ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção mecânica da UNIFEI, Campus Itabira.

Para os ensaios de microdureza Vickers das amostras, a peça foi posicionada na mesa de apoio seguida pela fixação do penetrador de pirâmide de 1/16" perpendicularmente a mesa. A carga utilizada foi de 200 g. O primeiro resultado do ensaio não foi considerado em virtude do penetrador não estar bem assentado no seu alojamento. Assim, passou-se uma distância mínima de uma impressão vizinha da outra, com um valor mínimo de 2,5 vezes o seu diâmetro (distância de centro a centro). Portanto, foram realizados um total de cinco medições na seção transversal sobre a superfície dos corpos de prova, como pode ser observado na Fig. 1.

**Figura 1. Corpo de prova com os pontos de microdureza.**

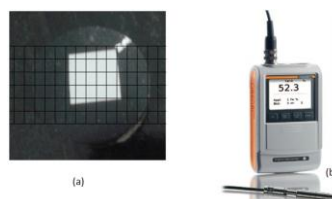
2.2. Microscopia Óptica e Eletrônica de Varredura

Para a caracterização das amostras tratadas termicamente e como recebido foram utilizados o microscópio óptico e o microscópio eletrônico de varredura (MEV) na seção transversal. Na microscopia óptica a luz é transmitida ou refletida por uma amostra que interage com o olho após passar por uma coluna de magnificação (Loureiro, 2010). Ao passo que o microscópio eletrônico de varredura tem como princípio de funcionamento o uso de um feixe de elétrons com um diâmetro pequeno e esse feixe percorre toda a superfície da amostra transmitindo o sinal do detector a uma tela catódica. Tal varredura é sincronizada com o feixe incidente. O MEV fornece de forma rápida informações a respeito da morfologia do material, bem como os elementos químicos que os compõe (Dedavid *et al*, 2007).

2.3. Ferritoscopia

Segundo Tavares *et al* (2006), o ferritoscópio estima a quantidade de ferrita em um material, ou seja, o teor de fase ferromagnética. Tal medida se baseia no método da indução magnética, em que um campo magnético (gerado por uma bobina) relaciona-se com as fases magnéticas do material.

Na ferritoscopia, feita com o ferritoscópio Fischer FMP30, foram utilizados 20 pontos de coleta de dados na seção transversal das sete amostras. Para realizar tal procedimento foi utilizado uma folha transparente quadriculada na superfície de cada amostra (Fig. 2.a). Assim, após a calibração do equipamento, tocou-se a amostra com o ferritoscópio em cada área quadriculada da folha, com dimensões de 1x1 mm, percorrendo toda a superfície da peça.

**Figura 2. (a) Coleta dos pontos nas amostras no ferritoscópio – Escala: 1x1mm e (b) Ferritoscópio Fischer FMP30.**

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo Baudin *et al.* (2007), a dureza, o limite de escoamento e o tamanho do grão são fatores importantes para avaliar as propriedades mecânicas de um material policristalino. Portanto, a Tab. 3 enumera os resultados de microdurezas das sete amostras em cada ponto de indentação (cinco no total), suas respectivas microdureza média e desvio padrão das amostras. Nota-se que a microdureza média varia de acordo com a temperatura de tratamento e o meio de resfriamento adotado. Observa-se também que as três menores microdureza média correspondem as amostras tratadas a 850°C (amostras D, E e F). Quanto à dispersão dos dados, nota-se que a amostra E (850°C/água) apresenta uma menor variação na microdureza. Já a amostra B (500°C/água) possui a maior dispersão dos dados, ou seja, há uma maior variação nos valores da microdureza. Essas variações podem ter sido causadas pelo erro do operador, do equipamento ou ambos (simultaneamente).

Tabela 3. Enumeração das sete amostras e suas respectivas Microdureza Média (Vickers) e Desvio Padrão.

Amostras	A	B	C	D	E	F	G
Microdureza Média (HV 0.2)	151,72	149,76	144,38	133,48	140,42	125,4	148,26
Desvio Padrão	5,75	6,13	3,64	3,57	2,18	4,91	5,86

Segundo Loureiro (2010), os aços inoxidáveis duplex com concentração de 13% a 90% estão sujeitos à fragilização quando são tratados e resfriados lentamente em temperaturas entre 400 °C e 500 °C, esse fenômeno é conhecido como fragilização a 475 °C e causa mudança comportamental a tração, a fratura e fadiga desse aço. Essa fragilização provoca um aumento na resistência a tração e uma diminuição na ductilidade, resistência ao impacto e corrosão.

A Figura 3 ilustra a interação entre a temperatura de tratamento e o meio de resfriamento na microdureza do material.

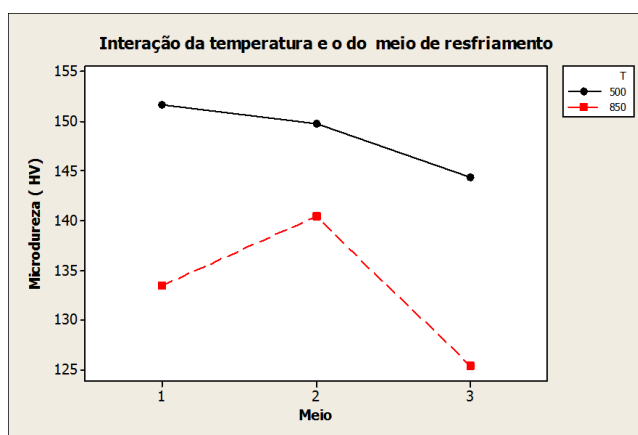


Figura 3. Interação entre a temperatura do tratamento térmico e o meio de resfriamento na microdureza, sendo os meios de resfriamento 1 = água + sal, 2 = água, 3 = óleo.

Ao observar a Fig. 3, percebe-se que houve um aumento da dureza do aço tratado a 500°C com o meio de resfriamento (meio 1) água + sal, ou seja, nessa faixa de temperatura provavelmente houve maior precipitação de nitretos de cromo aumentando a dureza e fragilizando o material. Por outro lado, a minimização da microdureza ocorreu na temperatura de 850 °C tendo como meio de resfriamento óleo (meio 3), assim nota-se que para essa temperatura o meio de resfriamento tem uma forte interação na resposta dureza. Assim ao realizar a análise de variância, como observado na Tab. 4, verificou-se que apesar de realizar poucos experimentos nota-se que o *P value* está abaixo de 5%. Portanto, existe uma significância dos resultados mesmo com o ajuste do modelo em torno de 64% conforme R^2 (adj).

Tabela 4. Teste de Variância da microdureza versus temperatura.

Variável	DF	SS	MS	F	P
T	1	362,3	361,3	10,18	0,033
Erro	4	141,9	35,5		
Total	5	503,2			

3.1. Microscopia Óptica do Aço Duplex como Recebido e Pós Tratamento Térmico

Na Figura 4, observa-se a metalografia do aço inoxidável duplex na condição tal como recebido. Nela, nota-se a duas fases bem características, ferrita e austenita, em que os grãos apresentam uma forma hexaxial.

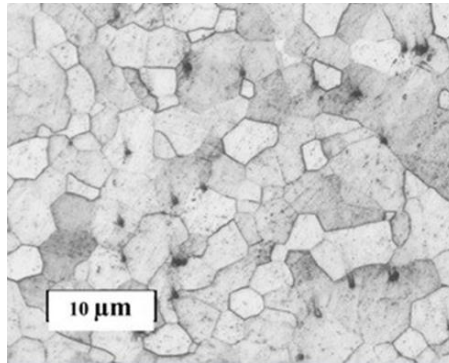


Figura 4. Microestrutura típica do aço duplex UNSS31803 como recebido. Ataque Eletrolítico.

A figura 5 ilustra as imagens obtidas no microscópio óptico das amostras pós tratamento térmico. Nela observa-se que os grãos apresentam formas hexaxiais.

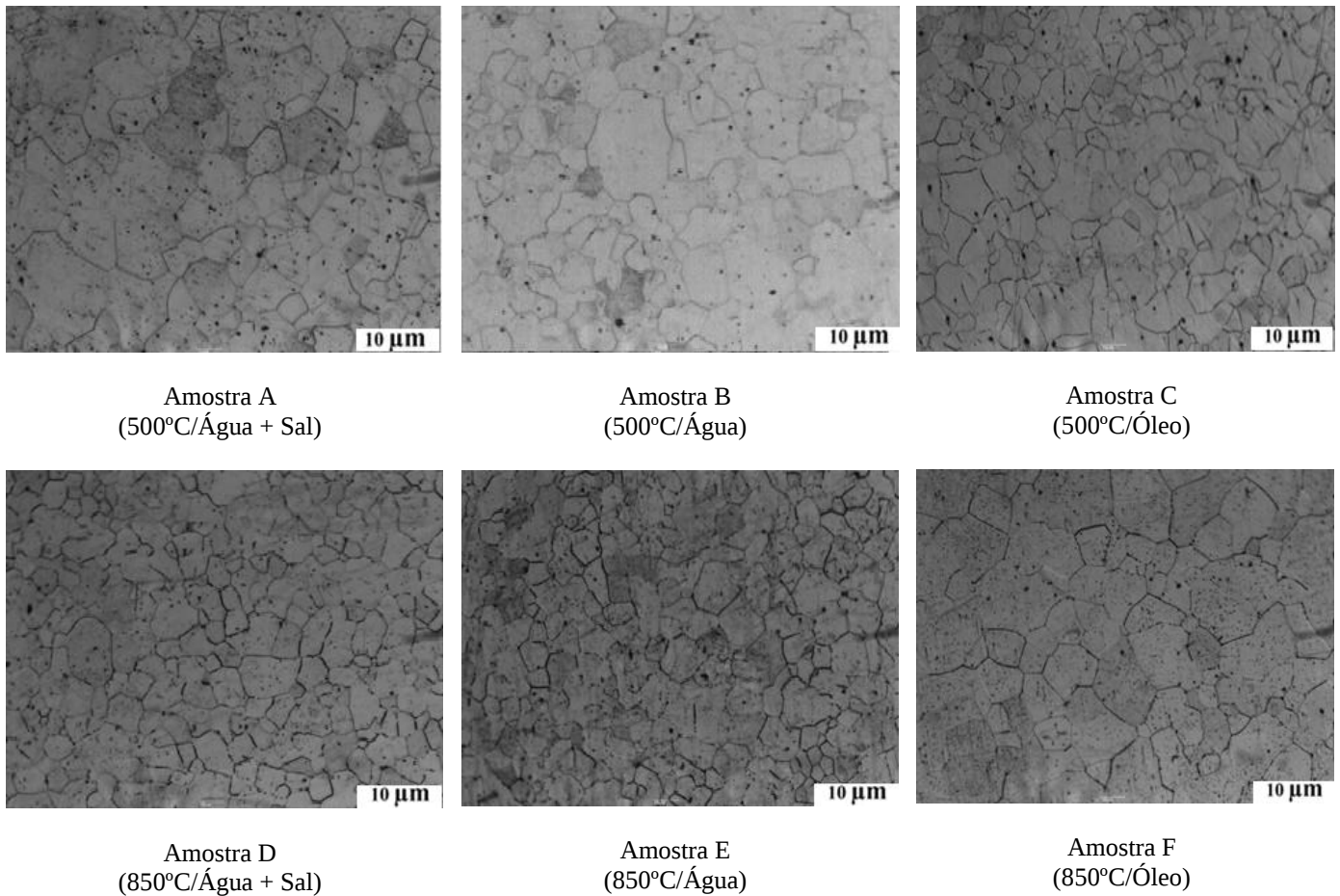


Figura 5. Microestrutura do aço inoxidável duplex após tratamento térmico a 500°C e 850° C e resfriamento em três meios diferentes (água + sal, água e óleo). Escala:10µm, Ataque Eletrolítico

Ao analisar a Fig. 5, observa-se que para os meios de resfriamento de água pura e solução de água + sal, a microestrutura sofreu um refinamento com o aumento da temperatura. Isso fica claro ao comparar a amostra A com a amostra D e ao comparar a amostra B com a amostra E. Já a amostra C apresenta uma microestrutura mais refinada em relação a amostra F. Também é possível observar que nas amostras D, E e F houve uma possível precipitação nos contornos de grão (estão mais escurecidos).

3.2. Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

No microscópio eletrônico de varredura foram feitas imagens utilizando um aumento de 10.000x nas amostras tratadas termicamente. A Figura 6 ilustra as imagens obtidas através do MEV.

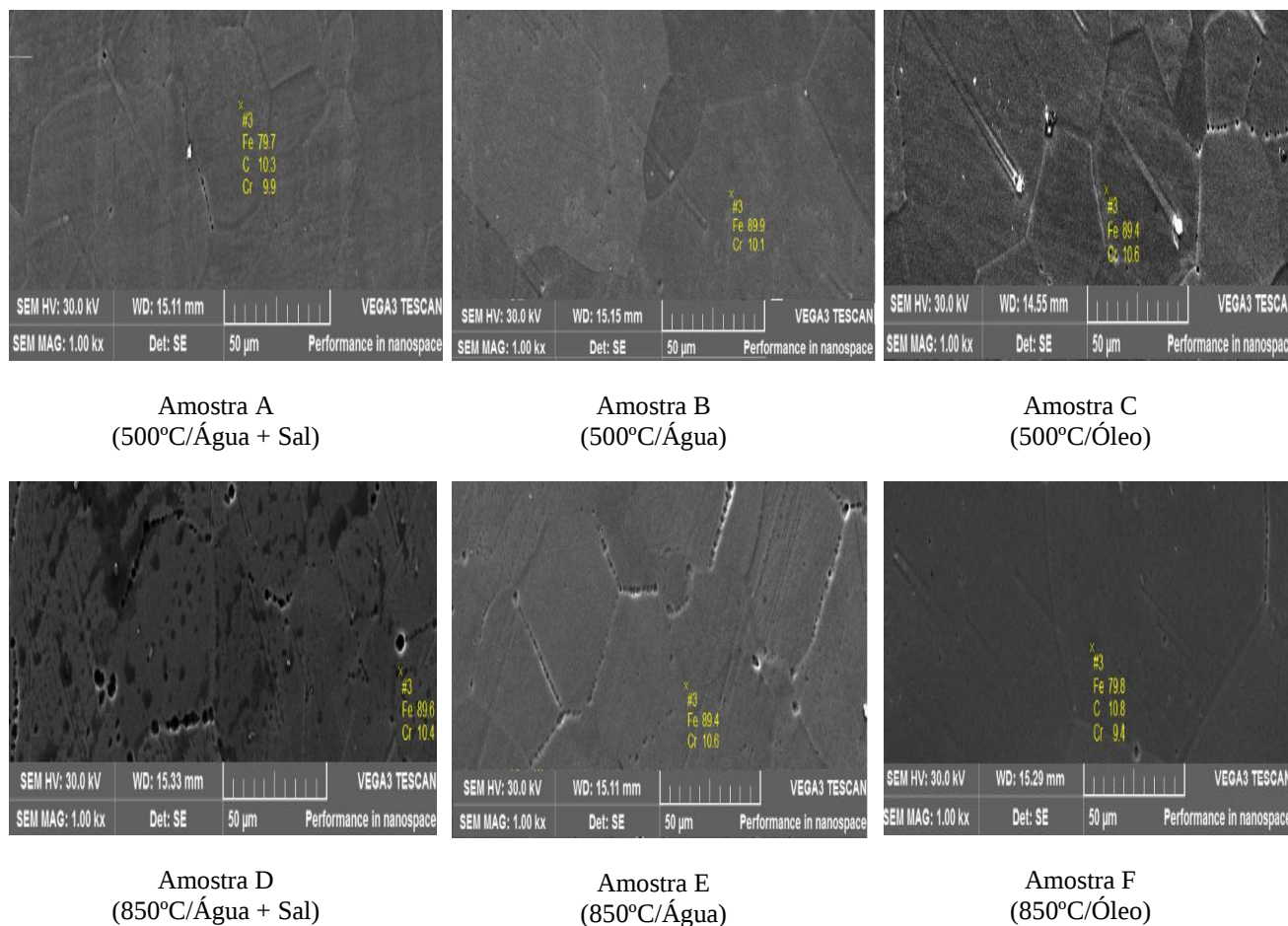


Figura 6. Microestrutura do aço inoxidável duplex após tratamento térmico de 500 a 850 C e resfriamento em meios diferentes (água + sal, água e óleo).

Analisando a Fig. 6 observa-se que na maioria das amostras tratadas em ambas as temperaturas ocorreu o fenômeno da sensitização. Tal fenômeno se caracteriza pela precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grão ou precipitação de fase sigma.

3.3. Principais Efeitos das Variáveis Sobre a Fração de Ferrita

Após a caracterização das amostras no MEV, procedeu-se a medição das mesmas através do ferritoscópio para obter a quantidade da fase ferrita presente no aço duplex UNSS31803, nas condições de tratamento térmico já descritas. Assim, a Tab. 5 ilustra a média dos 20 pontos de coletas em cada uma das amostras, bem como o desvio padrão dos dados coletados.

Tabela 5. Média dos resultados da quantificação de ferrita obtidos nas sete amostras através da ferritoscopia.

Amostras	A	B	C	D	E	F	G
Média (%)	32,415	32,615	31,905	33,24	32,375	32,8	31,8
Desvio Padrão	1,489	2,79	2,205	1,492	0,791	1,246	4,015

Através da Tab. 5, pode-se observar que a ferritoscopia gerou resultados para a quantidade de ferrita em torno de 35% do volume do material. Uma possível causa pode ser a formação de textura de recristalização, já que a orientação preferencial da fase ferrita pode afetar as medidas magnéticas realizadas com o ferritoscópio. Este fato também foi

observado por Leandro (2013), que desenvolveu uma pesquisa sobre a influência do tempo e da temperatura de solubilização no tamanho de grão austenítico e ferrítico, e na fração de ferrita de um aço inoxidável duplex UNSS31803.

A Figura 7 apresenta a interação entre a temperatura de tratamento térmico e o meio de resfriamento sobre a fração de ferrita no material.

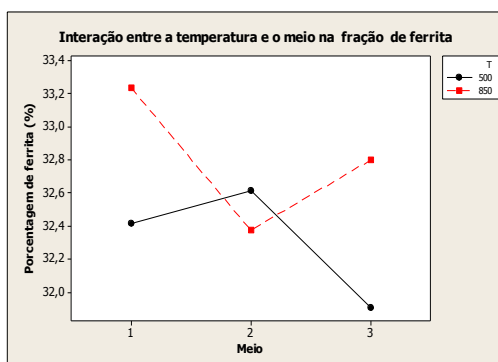


Figura 7. Interação entre a temperatura e o meio de resfriamento sobre a fração de ferrita, sendo os meios de resfriamento 1 = água, 2 = água + sal, 3 = óleo.

Analisando a Fig. 7, nota-se que existe uma interação entre as variáveis temperatura de tratamento térmico e o meio de resfriamento, assim nota-se que a uma tendência do aumento do teor de ferrita apesar de ser pouco significativo para as amostras analisadas. Entretanto observa-se que para maximizar a porcentagem de ferrita deve-se trabalhar com a temperatura de tratamento térmico em torno de 850°C e no meio de resfriamento (1) água. A combinação entre os elevados valores de alongamento da austenita com o elevado limite de escoamento da ferrita nos aços inoxidáveis duplex formam um conjunto de notáveis propriedades mecânicas, chegando a alongamento mínimo de 25% e dureza de 260 HV (Lopes, 2006). Assim o percentual de ferrita aumenta o nível de dureza e causam fragilidade nesses materiais para diferenças significativas na relação austenita/ferrita, sendo a ferrita uma microestrutura mais dura e a austenita mais macia e dúctil, por outro lado a ausência dessa fase causa perda de resistência à fissuração por corrosão sob tensão (Moura, 2007).

4. CONCLUSÃO

Este trabalho intitulado caracterização de um aço inoxidável duplex UNSS31803 submetido a têmpera em três meios de resfriamento diferentes, apesar de estar em fase preliminar nos permite concluir que tanto a temperatura de tratamento térmico quanto o meio de resfriamento exerceram forte influência na microestrutura e microdureza do aço inoxidável duplex UNSS31803.

- Houve um aumento da dureza do aço tratado a 500°C com o meio de resfriamento (meio 1) água + sal, ou seja, nessa faixa de temperatura provavelmente houve maior precipitação de nitretos de cromo aumentando a dureza e fragilizando o material.
- A minimização da microdureza ocorreu na temperatura de 850 °C tendo como meio de resfriamento óleo (meio 3).
- Ao realizar a análise de variância, verificou-se que apesar de realizar poucos experimentos nota-se que o P value está abaixo de 5%. Portanto, existe uma significância dos resultados mesmo com o ajuste do modelo em torno de 64% conforme R^2 (adj).
- Existe uma interação entre as variáveis temperatura de tratamento térmico e o meio de resfriamento, assim nota-se que a uma tendência do aumento do teor de ferrita apesar de ser pouco significativo para as amostras analisadas. Entretanto observa-se que para maximizar a porcentagem de ferrita deve-se trabalhar com a temperatura de tratamento térmico em torno de 850°C e no meio de resfriamento (1) água, porém a minimização do percentual de ferrita ocorre na temperatura de 500°C e tendo como meio de resfriamento o óleo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao órgão de fomento FAPEMIG, que tornou possível a realização deste trabalho, a Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira por disponibilizar seus laboratórios, a equipe técnica da UNIFEI pela assistência prestada e ao LIMAV.

6. REFERÊNCIAS

- Arcelor Mittal, 2016, “Soluções sustentáveis em aço inoxidável para toda a cadeia de Óleo e Gás”, Arcelor Mittal Inox Brasil, São Paulo – SP, Brasil.
- ASM Speciality Handbook, 1994, “Stainless Steel Materials Park”, American Society for Materials.
- Bain, E.C., Griffiths, W.E., 1987, “Introduction to the iron – chromium – nickel alloys”, Trans. Aime, Vol. 75.
- Colpaert, H., 2008, “Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns”, 4ª ed, Edgard Blucher, São Paulo, 652p.
- Costa, R. C. S., Ramalho, G. L. B., Lopes, D. F. A., Medeiros, F. N. S. de, Medeiros, L. C. L. de, Bruno, A. D. S., 2005, “Avaliação da sensibilidade do aço inoxidável AISI304L através de imagens micrográficas”, 3º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, Salvador – BA.
- Dedavid, A. B., Gomes, I.C., Machado, G., 2007, “Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores [recurso eletrônico]”. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60p.
- Folkhard, E., 1998, “Welding Metallurgy of Stainless Steels”, Springer Verlag, Wien New York.
- Gunn, R.N., 1997, “Duplex stainless steels – Microstructures, properties and applications”, Woodhead Publishing.
- Júnior, S.C.M., 2008, “Influência da deformação e do Tratamento Térmico na Textura Cristalográfica de um Aço Inoxidável Duplex”, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 136p.
- Leandro, R., M., 2013, “Influência do tempo e da temperatura de solubilização no tamanho de grão austenítico e ferrítico, e na fração de ferrita de um aço inoxidável duplex UNS31803”, Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo – SP, 75p.
- Leiva-García, R., Fernandes, J. C. S., Muñoz-Portero, M. J., García-Antón, J., 2015, Study of sensitisation process of a duplex stainless steel (UNS14462) by means of confocal microscopy and localised electrochemical techniques. Corrosion Science. 2015.
- Lopes, J. T. B., 2006, “Influência da presença de fases frágeis e da temperatura nas propriedades de propagação de trinca por fadiga do aço inoxidável duplex UNS S31803” Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.
- Loureiro, J.P., 2010, “Caracterização Microestrutural de um aço duplex UNS31803 pela técnica não destrutiva de correntes parasitas pulsadas”, Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 101p.
- Maehara, Y., *et al*, 1983, “Effect of alloying elements on σ phase precipitation in δ - α duplex phase stainless steels”, Metal Science, v.17, n.11, p.541-547.
- Moura, V. S., Lima, L. D., Pardal, J. M., Kina, A. Y., Corte, R. R. A., Tavares, S. S. M., 2007, “Influence of microstructure on the corrosion resistance of the duplex stainless steel UNS31803”, Materials Characterization.
- Nagatani, T., Saito S., Sato, M., Yamada, M., 1987, “Development of an ultra-high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. Scanning Microscopy”, v.11, p. 901-909.
- Padilha, A.F & Guedes, L.C., 2004, “Aços Inoxidáveis Austeníticos, Microestrutura e Propriedades”, Ed. Hemus, São Paulo, Universidade de São Paulo, 171p.
- Senatore, M., Finzetto, L., Perea, E., 2007, “Estudo comparativo entre aços inoxidáveis duplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L”, Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(1): 175-181.
- Shreir, L. L., Jarman, R. A., Burstein, G. T., 1994, “Corrosion. Vol. 1 – Metal/environmental reactions”, 3ª ed., Butterworth Heinemann.
- Silva, E.M., 2011, “Estudo da Correlação entre o Aporte Térmico, as Propriedades Magnéticas e a Corrosão sob Tensão em Juntas Soldadas de Aço Inoxidável Ferrítico AISI-409”, Tese de doutorado, Universidade Federal de Itajubá, 187p.
- Souza, S. A., 1982, “Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos – Fundamentos Teóricos Práticos”, 5ª ed., Ed. Edgar Blücher Ltda, São Paulo, 286p.
- Tavares, S. S. M., Castro, J. L. G. de, Corte, R. R. A., Souza, V. M. de, Pardal, J. M., 2006, “Detecção de pequenos teores de fase sigma e avaliação dos seus efeitos na resistência à corrosão do aço inoxidável duplex UNS31803”, Engevista, v. 8, n. 2, p. 77-82.
- Telles, P. C. Da S., 2003, “Materiais para equipamentos de processo”, 6ªed., Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 269p.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CHARACTERIZATION OF A DUPLEX STAINLESS STEEL UNSS31803 SUBMITTED TO HEAT TREATMENT IN THREE DIFFERENT COOLING MEDIUM

Tamara Silva Louzada, tamaralouzada@gmail.com¹
Eduardo Miguel da Silva, eduardosilva@unifei.edu.br¹
Ricardo Shitsuka, ricardoshitsuka@unifei.edu.br¹

¹Federal University of Itajubá - Campus Itabira, Industrial district II, no number, Zip Code: 35903-081, Itabira/MG, Brazil

Abstract. The duplex stainless steel have an extensive application at chemical industry, petrochemical industry, automotive industry, pulp and paper industry, siderurgy industry, food industry and power generation industry. The stainless steel UNSS31803 stands out from austenitic steels 304L and 316L series, e.g., because of their high corrosion resistance in certain conditions. However, the duplex steel UNSS31803 is susceptible to some phenomena of embrittlement such as carbide precipitation and phase formation. Duplex microstructure could be achieved by balancing of alloying elements and thermomechanical treatment. The balancing of alloying elements at stainless steel aims to control the content of stabilizing austenite elements (gamagenics), such as nickel, carbon and nitrogen, and the content of stabilizing ferrite elements (alfagenics), such as chrome, molybdenum and silicon. Behavior mechanic of duplex steel is closely related to the characteristic of each phase. Therefore, the balance between volume fractions of austenite and ferrite must be close to 50% for each phase in order to maximize mechanical properties. In this context, this paper investigates the effects of heat treatment and different cooling mediums in duplex stainless steel UNSS31803. For this, their characterization was made through microhardness, optical microscopy, scanning electron (110V) and ferritoscopia. The heat treatment temperatures were 500°C and 850°C during three minutes (due to dimensions of the samples) and cooling mediums were pure water, oil and a solution of water and salt. In general, it observed the ferrite percentage around of 35% of material volume and all samples showed the chromium carbide precipitation in the grain boundaries. The mean hardness ranged from 125 HV to 151 HV.

Keywords: Duplex Stainless Steel, Heat Treatment, Microhardness, Microstructure