

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Avaliação da degradação isotérmica no aço inoxidável superduplex UNS S32750 nas velocidades ultrassônicas volumétricas e potencial de corrosão por pite

Larissa M. de Britto^a, Ygor T. B. dos Santos^b, Paulo M. B. de Santana^c
Ivan C. da Silva^d, Cláudia T. T. Farias^e.

Abstract

In this work, the ultrasonic non-destructive test method with contact in pulse echo configuration was applied to UNS S32750 superduplex stainless steel. Initially, the specimens were exposed to thermal treatment of solubilization at 1200°C. Hence, isothermal aging (900°C) was conducted at different time intervals (30 min, 1h, 3h and 4h) to evaluate the influence of intermetallic phases precipitation in the longitudinal and transverse ultrasonic speeds. Metallographic and optical microscopy tests were performed for visualization of the specimens' microstructure at both situations: as received and after thermal treatment. Furthermore, a study of the anodic polarization curves, inside of an ions chloride bath (concentration: 3.5% m/V), was performed to determine reliable work parameters. The obtained results have demonstrated that the ultrasonic technique is quite efficient for assessing microstructural changes in the specimens. Moreover, the values of pitting potential are correlated with the exposure aging times.

Keywords: Corrosion, Nondestructive Testing, Sigma Phase, Pitting Potential, Polarization.

Resumo

Neste trabalho, o método de ensaio não destrutivo ultrassônico por contato em configuração pulso eco, foi aplicado a corpos de prova em aço superduplex UNS S32750. Inicialmente, os corpos de prova foram expostos a tratamento térmico de solubilização a 1200°C. Posteriormente, foi realizado envelhecimento isotérmico 900°C em diferentes intervalos de tempo (30 min, 1h, 3h and 4h) a fim de avaliar a influência de precipitados de fases intermetálicas nas velocidades ultrassônicas longitudinal e transversal. Ensaio metalográfico e microscopia ótica foram realizados para visualização da microestrutura presente nos corpos de prova como recebido, e após o tratamento térmico. Aliado a isso, efetuou-se o levantamento da curva de polarização anódica em meio contendo íons cloreto (concentração: 3,5% m/V) para determinação de parâmetros de trabalho confiáveis. Os resultados obtidos mostraram que a técnica ultrassônica utilizada mostrou-se bastante eficiente para avaliar alterações microestruturais no material, e que os valores de potencial de pite estão correlacionados com estes tempos de exposição.

^a Graduanda em Eng. Química - IFBA Campus Salvador/GPEND/LABIND

^b Graduando em Eng. Industrial Mecânica - IFBA Campus Salvador/GPEND/LABIND

^c M. Sc. Eng. Mecânica - IFBA Campus Simões Filho

^d D. Sc. Eng. Metalúrgica e de Materiais - IFBA Campus Salvador/GPEND/LABIND

^e D. Sc. Eng. Metalúrgica e de Materiais - IFBA Campus Salvador/GPEND/LABIND

Palavras-chave: Corrosão, Ensaio Não Destrutivo Ultrassônico, Fase sigma, Potencial de Pite, Potenciometria.

Introdução

A necessidade de materiais mais resistentes para a indústria petroquímica fez surgir uma categoria de aços com as características superiores aos aços ferríticos e aos austeníticos, como elevada resistência mecânica e à corrosão por pite. Os aços inoxidáveis superduplex foram desenvolvidos principalmente para trabalho *offshore* e também são bastante utilizados nas indústrias químicas, petroquímicas e de papel e celulose, pois asseguram tais características. Estas boas propriedades podem ser explicadas pela sua composição química típica (Cr, Mo, Ni e N) e pela presença em quantidades aproximadamente iguais de duas fases, a ferrita (α) e austenita (γ) (1).

Em serviço, geralmente, esses materiais são submetidos a altas temperaturas onde, nessa condição, podem ocorrer transformações microestruturais como a precipitação de diferentes compostos químicos, como nitretos e carbeto de cromo, e de fases intermetálicas, como a sigma (σ), chi (χ) e austenita secundária (γ_2) (2). A formação destes precipitados promove desbalanceamento entre as frações de ferrita e austenita e, como consequência, causa a redução da tenacidade, dureza e resistência à corrosão por pites do material.

Um parâmetro utilizado para a determinação da resistência à corrosão do aço superduplex é o potencial de pite (E_{pite}), que é o potencial associado ao início da formação de pite ou ruptura da passividade. Este é definido a partir da construção de uma curva anódica [Potencial aplicado, E (V) vs Densidade de corrente, $\log i$ (A/cm²)], sendo o valor de potencial no qual a densidade de corrente tem um aumento considerável na faixa de passivação (3). Para isso, utiliza-se um potenciostato/galvanostato, no qual o material é exposto à meio agressivo contendo íons cloreto (Cl⁻). A uma temperatura fixa, quanto maior for este potencial de pite, maior é a resistência à corrosão do material, o que pode ser associado à precipitação dos intermetálicos (4). Este é um dos objetivos deste trabalho, a correlação do E_{pite} do aço superduplex UNS S32750 com a formação de fases secundárias devido ao envelhecimento isotérmico a 900 °C em diferentes tempos.

O outro objetivo deste trabalho é analisar e caracterizar o aço inoxidável superduplex UNS S32750 através de ensaio ultrassônico na configuração pulso eco, análise metalográfica e microscopia óptica (MO). Ensaio de potenciometria foram utilizados para relacionar as alterações na microestrutura do material decorrentes da exposição a diferentes tratamentos isotérmicos com a variação do potencial de corrosão por pite, utilizando o ensaio não destrutivo ultrassônico como uma técnica de caracterização microestrutural.

Metodologia

Corpos de Prova

Os corpos de prova (CPS) foram confeccionados a partir de uma barra solubilizada, doado pela empresa Sandvik Steel[®], cuja composição química é a seguinte: Si -0,497%; Cl –

0,262%; V- 0,117%; Cr – 24,8%; Mn – 0,934%; Fe – 62%, Co – 0,332%; Ni – 7,11%; Cu – 0,179%; Mo- 3,59%. Os CPS para o ensaio de ultrassom foram produzidos em forma de cubos e primas de bases hexagonais. Foram confeccionados a fim de possibilitar a aquisição do sinal ultrassônico nas direções 0°, 90° e 45° em relação à orientação dos grãos na laminação. A Figura 1 (a) exibe os corpos de prova quanto às suas forma e orientação granular. Já para os ensaios de potenciometria, os CPS foram produzidos a partir do corte da secção transversal da barra.

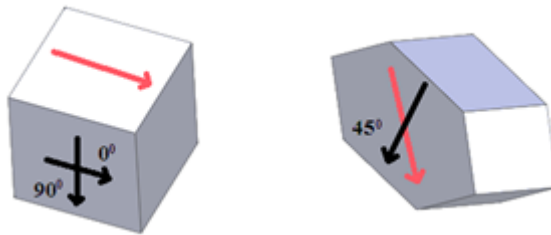


Figura 1 (a) - Esquemático dos corpos de prova para ensaios por ultrassom.

Após a produção dos corpos de prova, estes foram solubilizados à 1200°C durante 30 min. Em seguida foram submetidos a tratamentos isotérmicos em 900°C em diferentes tempos a fim de avaliar a influência dos precipitados de fases intermetálicas nos valores das velocidades ultrassônicas e potencial de corrosão por pite, uma vez que a fase sigma é uma das fases mais importantes em termos da diminuição das propriedades mecânicas dos aços superduplex. As temperaturas foram selecionadas como base no Diagrama (TTT) - Tempo, Temperatura, Transformação - do trabalho de Nilsson (5). Em seguida ao tratamento térmico todos os corpos de prova foram rapidamente resfriados por imersão total em água.

A partir dos discos cortados e submetidos ao tratamento de envelhecimento isotérmicos, a confecção dos eletrodos de trabalho, Figura 1 (b), se deu com a soldagem dos mesmos em fio de cobre e embutidos em resina polimétrica a frio. Após a cura da resina, estes foram desbastados em lixas de 120, 220, 320, 400, 500, 600, 1000 e 1200 *mesh* e polidas com pasta de alumina 1 µm. As amostras do UNS S32750 foram limpas por meio da lavadora de ultrassom e enxaguadas com etanol. As bordas dos eletrodos foram isoladas para evitar corrosão por frestas.

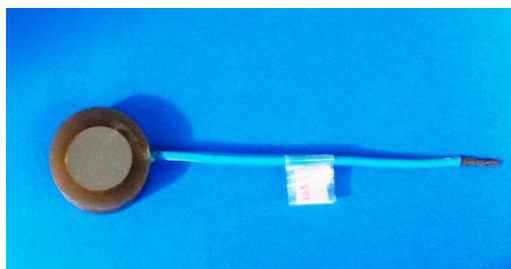


Figura 1 (b) - Eletrodo de trabalho.

Ensaio Metalográficos e Microscopia Óptica

As amostras avaliadas no ensaio metalográfico foram debastadas com lixas 220, 320, 400, 600 *mesh*, polidas com alumina de 1µm e 0,3µm. Em seguida, foram submetidas ao ataque do

reagente Behara com 20 mL de HCl em 100 mL de H₂O destilada e adição de 0,3 a 0,6 g de metabissulfito de potássio durante 40 segundos, seguido de secagem com jato de ar quente (6). Para a análise da microestrutura foi utilizado microscópio óptico marca Olympus[®] modelo CX31. As imagens foram capturadas e armazenadas em computador para análise posterior.

Ensaio de Potenciometria

Os ensaios eletroquímicos de polarização anódica foram conduzidos em um Potenciostato/Galvanostato Autolab[®], modelo PGSTAT 302N. Utilizou-se uma célula de três eletrodos, nos quais, os CPS são os eletrodos de trabalho a platina é o contra-eletródo e o eletrodo de referência é a prata/cloreto de prata (Ag/AgCl), conforme a Figura 2. Os testes foram iniciados após a determinação do potencial de corrosão em circuito aberto (OCP), durante 30 minutos. A partir do potencial anteriormente definido, uma varredura a taxa de 1 mV/s foi aplicada na direção anódica, até que o potencial de 1,5 V (Ag/AgCl) fosse atingido, assim como foi feito por Valeriano (7). A solução de trabalho (eletrólito) foi NaCl a 3,5% a temperatura ambiente, e a susceptibilidade à corrosão foi avaliada através da determinação do potencial de pite (E_{pite}), com o auxílio da curva (potencial vs densidade de corrente) construída.



Figura 2 - Célula eletroquímica utilizada nos ensaios de polarização.

Determinação das Velocidades Ultrassônicas

Com base nos resultados obtidos pela macrografia, a qual identificou a orientação dos grãos, foram realizados ensaios ultrassônicos na configuração pulso eco por contato como Bittencourt (8), conforme esquematizado na Figura 3, para obtenção dos valores das velocidades ultrassônicas longitudinal e transversal. A fim de avaliar a influência da orientação dos grãos em cada microestrutura, os ensaios foram realizados tendo como referência as direções 0°, 45° e 90°.

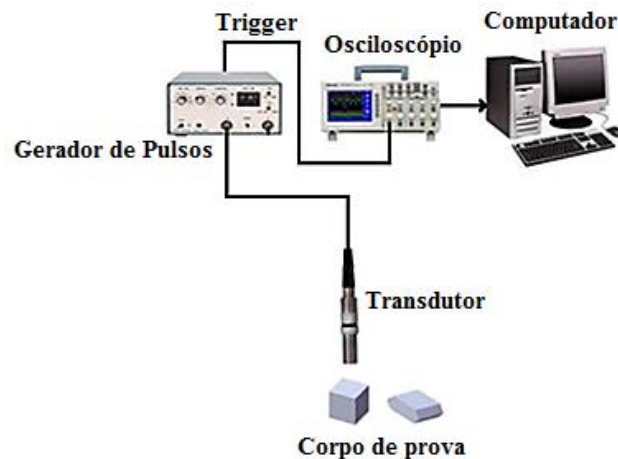


Figura 3 - Esquema experimental para obtenção das velocidades ultrassônicas longitudinal e transversal.

Foram utilizados um transdutor de contato de ondas longitudinal modelos: A1095 (5 MHz). Para determinação da velocidade transversal, foi utilizado um transdutor modelo V154 (2,25 MHz). Todos os transdutores utilizados são da marca Olympus Panametrics[®]. A inspeção foi feita utilizando gerador de pulso, modelo 5077PR, conectado a um osciloscópio digital Tektronix[®], modelo TDS 2024B, a uma frequência de amostragem de 250 MHz interfaceado com microcomputador para armazenagem dos sinais. Para cada corpo de prova, foram coletados 5 sinais para posterior processamento.

Processamento Digital de Sinais

Para determinação das velocidades sônicas, os sinais foram processados através do *software* Matlab[®]. Foi necessário, para a realização desta etapa o desenvolvimento de uma rotina computacional, a qual permitiu por meio de correlação cruzada obter o atraso no tempo entre os dois primeiros ecos e consequentemente, o cálculo das velocidades ultrassônicas.

Resultados e discussão

Análise Microestrutural

A Figura 4 (a) mostra a microestrutura do corpo de prova em aço inoxidável UNS S32750 na condição de como recebido – Sem Tratamento (ST) em microscopia ótica, observa-se que os contornos de grão estão bem definidos, ferrita (δ) campo escuro e austenita (γ) em forma de ilhas na cor clara, sem a presença de fases deletérias. A Figura 4 (b) apresenta as microestruturas dos CPS tratados termicamente a temperatura de 1200°C (temperatura de solubilização) por 30 mim. Observa-se na imagem que não há indícios de precipitados de fase, além da semelhança com o corpo de prova na condição de como recebido, afirmando que as especificações estão corretas quanto à condição de processamento.

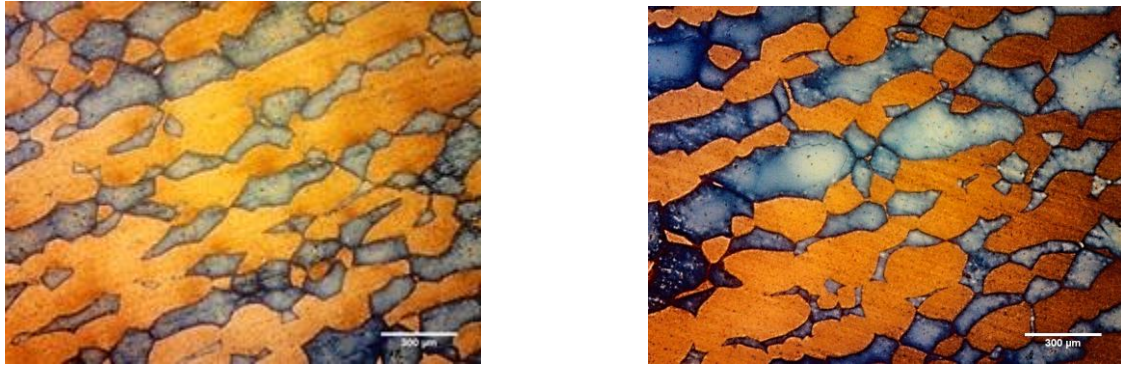


Figura 4 - Microscopias ópticas do aço superduplex UNS S32750 ST (a) e solubilizado a 1200°C (b), obtidas pelo ataque com reagente Behara, com o aumento de 200X.

As micrografias dos corpos de provas submetidos a envelhecimento isotérmico de 900°C por 30 minutos podem ser observados na Figura 5 (a). Observa-se nas amostras que há precipitados de fases visualizados. A fase de cor amarela composta por austenita e a cinza por ferrita, a fase sigma possivelmente precipitada nas interfaces ferrita/austenita cor branca. Com o aumento do tempo de exposição verificou-se um aumento na quantidade de precipitados no corpo de prova exposto termicamente por 1h, Figura 5 (b).

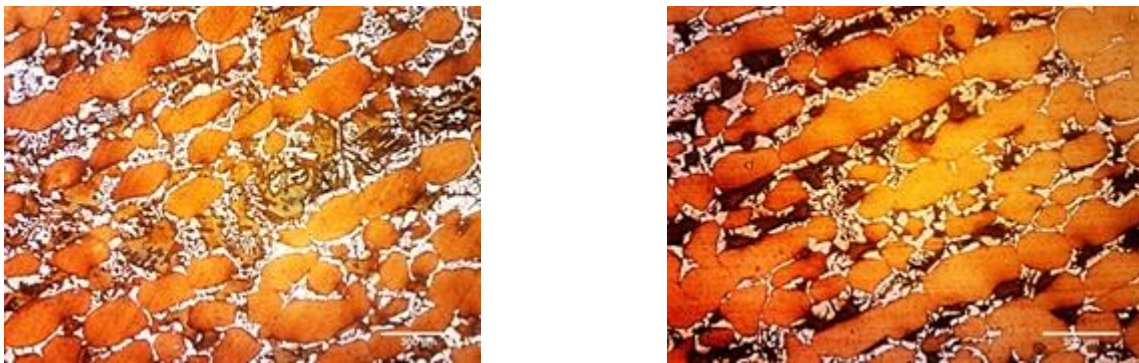


Figura 5 - Microscopia óptica do aço superduplex UNS S32750 tratado termicamente por 30 min (a) e por 1h (b) Microscopia ótica, obtidas pelo ataque com reagente Behara, com o aumento de 200X.

As Figuras 6 (a) e 6 (b) mostram as micrografias da amostra submetida a envelhecimento isotérmico de 900°C por 2h. e 3h respectivamente. Como na amostra anterior à visualização da ferrita é um pouco dificultosa.



Figura 6 - Microscopia óptica do aço superduplex UNS S32750 tratado termicamente por 2h (a) e por 3h (b) Microscopia ótica, obtidas pelo ataque com reagente Behara, com o aumento de 200X.

A Tabela 1 mostra a variação da dureza em relação aos corpos de prova analisados. Para as amostras ST e SS (Solubilizada) verifica-se os menores valores de dureza, conforme o trabalho de Martins (9), onde relacionam dureza com a fase sigma e mostram que quanto maior o volume desta fase maior o valor de dureza.

Para cada amostra submetida ao mesmo ciclo térmico de envelhecimento é observado um aumento no valor médio da dureza. As amostras submetidas a tratamento térmico de 900°C por 30 min foram as que tiveram os menores valores nas três direções mostrando que estas possuem os menores valores de fase sigma. Para os corpos de prova de 1 h e 2 h, os valores de dureza encontrados são bastante próximos nas três direções (0°, 90° e 45°). O corpo de prova exposto a tratamento térmico de 900°C por 3 h apresenta os maiores valores de dureza nas direções medidas possivelmente, devido a maior concentração de fase sigma.

Tabela 1 - Valores médios da dureza (HRC) em cada corpo de prova.

Corpo de Prova	Tratamento Térmico / Tempo de exposição	Dureza HRC		
		0°	90°	45°
ST	Sem tratamento	23,7 ± 0,520	23,8 ± 0,390	23,8 ± 0,501
SS	1200°C /30 min	23,5 ± 0,620	22,8 ± 0,430	22,7 ± 1,45
S-30-1	900°C/30 min	28,6 ± 1,04	26,0 ± 4,20	29,6 ± 1,11
S-1h-1	900°C/1 h	36,7 ± 0,990	33,2 ± 1,23	36,7 ± 4,45
S-2h-1	900°C/2 h	37,9 ± 0,900	36,2 ± 1,04	37,9 ± 1,01
S-3h-1	900°C/3 h	39,2 ± 1,09	39,1 ± 0,850	39,1 ± 0,67

As velocidades ultrassônicas longitudinal e transversal foram determinadas, a fim de realizar a caracterização do material a partir de seus ciclos térmicos de tratamento. A partir da diferença de dois ecos de fundo consecutivos e conhecendo a espessura da peça foram encontrados os valores de velocidades longitudinal para as frequências de 2.25 MHz, e transversal 2.25 MHz nos corpos de prova, cujos valores médios são mostrados nas tabelas 2 e 3 nas direções 0°, 90° e 45°.

Tabela 2 - Média das velocidades ultrassônica longitudinal, obtidas em cada corpo de prova na frequência de 2.25 MHz.

Corpo de Prova	Tratamento Térmico / Tempo de exposição	Velocidade Longitudinal 2.25MHz (m/s)		
		0°	90°	45°
ST	Sem tratamento	5849,2 ± 7,2000	5927,3 ± 1,8000	5818,1 ± 8,5000
SS	1200°C /30 min	5901,7 ± 15,000	5884,9 ± 7,9000	5843,8 ± 1,8000
30	900°C/30 min	5874,0 ± 2,6200	5870,7 ± 3,5600	5863,1 ± 13,150
1	900°C/1 h	5846,4 ± 2,6100	5845,6 ± 2,7700	5815,9 ± 13,040
2	900°C/2 h	5844,1 ± 2,6100	5856,9 ± 0,0000	5834,3 ± 6,7300

3	900°C/3 h	5849,9 ± 2,8000	5852,5 ± 8,1300	5870,6 ± 4,8300
---	-----------	-----------------	-----------------	-----------------

Tabela 3 - Média das velocidades ultrassônica transversal, obtidas em cada corpo de prova na frequência de 2.25 MHz.

Corpo de Prova	Tratamento Térmico / Tempo de exposição	Velocidade Transversal 2.25MHz (m/s)		
		0°	90°	45°
ST	Sem tratamento	3305,7 ± 0,0000	3246,0 ± 10,400	3215,4 ± 7,5000
SS	1200°C /30 min	3181,0 ± 1,3000	3148,2 ± 2,3000	3019,5 ± 14,900
30	900°C/30 min	3158,1 ± 1,2400	3164,2 ± 1,0100	3125,9 ± 0,0000
1	900°C/1 h	3175,3 ± 0,0000	3175,6 ± 1,3000	3169,7 ± 1,3000
2	900°C/2 h	3157,8 ± 1,2400	3168,2 ± 0,0000	3159,8 ± 0,0000
3	900°C/3 h	3163,5 ± 0,0000	3156,4 ± 1,0100	3188,4 ± 1,0700

Os valores de dureza foram utilizados como fator coadjuvante para contestar a caracterização através da mudança microestrutural correlacionando assim com: as temperaturas de exposição do material e as velocidades ultrassônica longitudinal e transversal.

Segundo a Tabela 1 maior valor de dureza corresponde ao corpo de prova cujo tratamento térmico foi 900°C por 3h e possivelmente está relacionada a maior intensidade de precipitação da fase sigma, como indicado por Silva (2), porém obteve o menor valor de velocidade como no trabalho de Oliveira (10) e isto se repetiu também para as amostras analisadas com onda transversal nos corpos de prova na forma cúbica.

Possivelmente, pelo fato em que os valores das medições da dureza para os corpos de prova 1 h, 2 h, na forma de (cubos) serem relativamente próximos. Os valores de velocidade também se mostraram próximos. O mesmo ocorreu com a análise feita com onda transversal. O corpo de prova 30 min (cubos), apresenta valor de velocidade tanto longitudinal quanto transversal maior em relação aos demais corpos de prova tratados termicamente citados anteriormente. Este obteve o menor valor de dureza o que está de acordo com o trabalho de Silva (2).

As amostras ST e SS (cubos) obtiveram valores divergentes de velocidades em relação aos demais corpos de prova, mesmo estes tendo os menores valores de durezas, porém confirma que os corpos de prova tem estrutura metalúrgica similar como visto nas Figuras 5 e 6 da microscopia.

Análise do potencial de pite

Os ensaios de polarização anódica realizados nas amostras solubilizadas e submetidas a tratamento isotérmico geraram curvas de potencial em função da densidade de corrente, como apresentado nas Figuras 7 e 8.

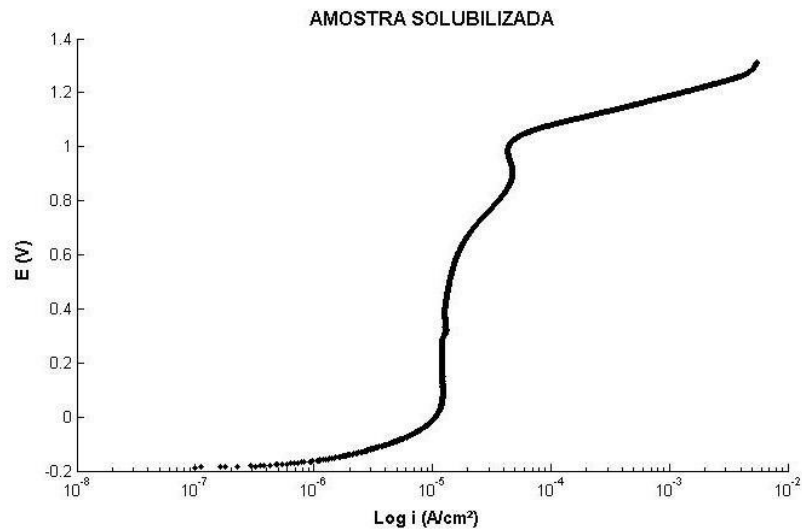


Figura 7 - Curva de polarização potenciodinâmica do aço inoxidável super duplex UNS S32750 solubilizada.

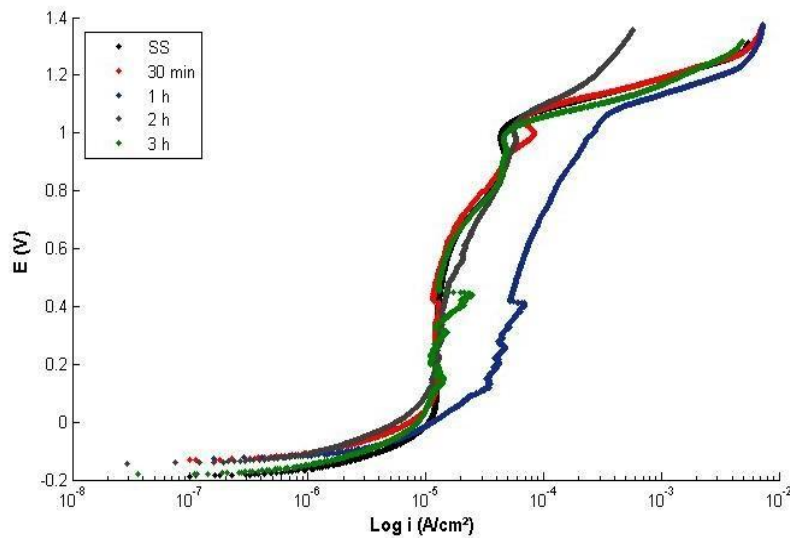


Figura 8 - Comparação das curvas de polarização potenciodinâmica do aço inoxidável super duplex UNS S32750 em diferentes condições.

A Tabela 4 apresenta os potenciais de pite obtidos para cada condição de tratamento isotérmico. Este ponto foi definido como o potencial no qual há um aumento significativo da densidade de corrente (11), na região transpassiva (7)(12).

Tabela 4 - Potenciais de pite do aço superduplex UNS S32750 em diferentes condições.

Condição	E pite (Ag/AgCl) / V
SS	1,0412
30 minutos	1,0380
1 hora	1,0365

2 horas	1,0317
3 horas	1,0011

A partir dos dados contidos na Figura 8 e na Tabela 4, pode-se observar que com o aumento do tempo de envelhecimento houve diminuição do valor do potencial de pite, porém não é muito acentuada. Pode-se associar a isso, principalmente, à formação de fase sigma decorrente dos tratamentos de envelhecimento isotérmico. As micrografias mostraram que há um aumento da fração de sigma na matriz com o aumento do tempo de envelhecimento, e como possível consequência, empobrecimento de cromo em algumas regiões, diminuindo a resistência de corrosão por pite do material.

Já a Figura 9 ilustra a micrografia do aço superduplex UNS S32750 tratada termicamente por 30 min após o ensaio de polarização anódica. A partir da mesma, pode-se evidenciar a presença de pites na amostra, e com isso, pode-se relacionar o aumento de corrente com a ocorrência do mecanismo corrosivo.

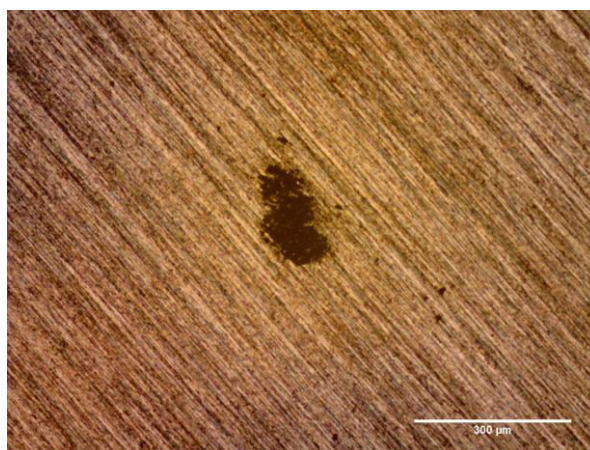


Figura 9 - Microscopia óptica do aço superduplex UNS S32750 tratado termicamente por 30 min após o ensaio de polarização, com o aumento de 40X.

Segundo Santos (13), na temperatura de envelhecimento de 900°C, a diminuição do potencial de pite como consequência da formação de fase sigma (σ) a partir de 2 h de exposição pode estar ligada a outros mecanismos de precipitação de fases deletérias. Para ela, existe a possibilidade de ocorrer decomposição eutetóide da ferrita, com formação de austenita secundária empobrecida em cromo.

Conclusões

Os resultados experimentais para os valores das velocidades sônicas transversal e longitudinal em aço inoxidável superduplex UNS S32750 quando submetido ao envelhecimento isotérmico a 900°C foram satisfatórios quando confrontados com os valores teóricos baseado nas referências consultadas, comprovando que a técnica utilizada pode ser uma ferramenta útil para avaliar as transformações microestruturais neste tipo de material.

A partir do ensaio de dureza, foi confirmado que a presença da fase sigma aumenta a dureza, sendo possível correlacioná-la com os valores das velocidades de propagação nos corpos de prova tratados termicamente somente para as amostras cúbicas. No caso das amostras em forma de prisma, a impossibilidade de correlacionar a dureza com a velocidade pode ser devido à complexidade da propagação da onda em incidência oblíqua (45°) e sua metalurgia complexa. Porém, foi possível observar que todos os corpos de prova ST e SS tiveram o mesmo comportamento em todas as análises, confirmando similaridades nas condições de suas estruturas. Todos os resultados tiveram comportamento genérico nas suas réplicas correspondentes.

Na temperatura de envelhecimento isotérmico de 900°C , o aumento do tempo de tratamento promove o aumento da fração de sigma na matriz, o que diminui a dureza do material e seu potencial de pite.

Referências bibliográficas

- (1) KANG, D.H.; LEE H. W. Study of the correlation between pitting corrosion and the component ratio of the dual phase in duplex stainless steel welds. **Corrosion Science**, Busan, v. 74, n. 9, p. 396-407, Sep. 2013.
- (2) SILVA, A. **Efeito da Temperatura de Solubilização na Precipitação de Fase Sigma de um Aço Inoxidável Superduplex**. Dissertação (Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2011.
- (3) FARIAS, C.T.T. **Caracterização de pite em aço inoxidável AISI 304 através de técnicas eletroquímicas e ultrassom focalizado**. Dissertação (Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002;
- (4) NASCIMENTO, A.M.; IERARDI, M.C.F.; KINA, A.Y.; TAVARES, S.S.M. Pitting corrosion resistance of cast duplex stainless steels in 3.5%NaCl solution. **Materials Characterization**, Campinas, v. 59, n.12 , p. 1736-1740, Dec. 2008.
- (5) Nilsson, J. O. Overview. **Super duplex stainless steel**, **Materials Science**, Tech.8, pp. 685-700, 1992. ;
- (6) VOORT, V. G. F. **Metallography – Principles and Practice**. Mc-Graw Hill, 1984.
- (7) VALERIANO, L.C. **Influência da Precipitação de Fases Secundárias na Resistência à Corrosão do Aço Inoxidável Super Duplex UNS S 32520**. Dissertação (Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2012.
- (8) BITTENCOURT, M. S. Q. **Medida do Tempo de Percurso de Onda Ultra-Sônica para Avaliação de Tensões**. In: III Pan-American Conference for Nondestructive Testing, 2003, Rio de Janeiro – RJ.
- (9) MARTINS, M. **Caracterização Microestrutural e Comportamento à Corrosão do Aço Inox Super Duplex ASTM A890 Gr 6A**. 59º Congresso Anual da ABM. São Paulo, 2004.
- (10) OLIVEIRA, T. A. S.; FARIAS, C. T. T.; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, Y. T. B.; SOBRAL, M. D. C., **Estudo da Influência da Temperatura na Atenuação do Sinal Ultrassônico em Aços Inoxidáveis AISI 316L e Duplex UNS S31803 Submetido a Tratamento Isotérmico**. In: 12ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos. Porto de Galinhas, 2013.
- (11) WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. EDUSP. São Paulo, 2003.
- (12) MAGNABOSCO, R. **Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS S31803 (SAF 2205)**. Dissertação (Doutor em Engenharia

Metalúrgica e de Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

(13) SANTOS, D.C. **Corrosão por pite em solução 0,6 M de cloreto de sódio do aço UNS S31803 em função do tempo de envelhecimento ente 700°C e 900°C.** Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica com ênfase em Materiais e Processos) - Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, 2009.