

## INVESTIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL SUPER DUPLEX UNS S32750

Francisco Magalhães dos Santos Júnior<sup>1</sup>; Leonardo Oliveira Passos da Silva<sup>2</sup>; Aline Costa Cezar<sup>2</sup>; Ygor Tadeu Bispo dos Santos<sup>2</sup>; Tiago Nunes Lima<sup>2</sup>; Alexandre Ferraz Dourado<sup>2</sup>; Daniel Marques de Souza<sup>2</sup>; Bruno Caetano dos Santos Silva<sup>2</sup>; André Souza Oliveira<sup>2</sup>; Rodrigo Santiago Coelho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bolsista de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) Nível 3; Projeto Sistema de Monitoramento da Soldagem (SMS) – Petrobras/ANP; magalhaesjun@gmail.com

<sup>2</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; rodrigo.coelho@fieb.org.br

### RESUMO

Neste estudo são apresentados dois métodos para avaliação da resistência à corrosão em amostras do aço inoxidável super duplex UNS S32750 de 10 mm de espessura. O objetivo foi avaliar a suscetibilidade à corrosão no material como recebido. A resistência à corrosão foi avaliada através do teste de imersão (ASTM G48 – método A) em cloreto de ferro (FeCl<sub>3</sub>) e pela técnica de polarização (ASTM G5) em solução de cloreto de sódio (NaCl). No teste de imersão em FeCl<sub>3</sub>, constatou-se que as amostras sofreram uma taxa de corrosão abaixo do permitido pela norma (4 g/m). Já o resultado da técnica de polarização em solução de NaCl apresentou taxa de corrosão (TC) < 0,1 mm/ano. Foi observado que as amostras sofreram reduzidas taxas de corrosão, o que é consistente visto que o material investigado apresenta elevada resistência à corrosão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aço inoxidável super duplex, corrosão por pite, teste de imersão, polarização.

### 1. INTRODUÇÃO

Os Aços Inoxidáveis Super Duplex (AISD) são aços ferrítico-austeníticos com frações de volume aproximadamente iguais de ferrita e austenita, oferecendo boas propriedades mecânicas e resistência à corrosão. Comparado com os aços inoxidáveis duplex comuns, os AISD apresentam melhor resistência à corrosão, especialmente a resistência local por pite e corrosão sob tensão em ambientes com alto teor de cloreto, sendo interessante para aplicações nas indústrias naval e petroquímica<sup>1-3</sup>.

No entanto, quando o AISD é soldado, o aporte térmico pode prejudicar seu desempenho, principalmente no que tange a resistência à corrosão por pite. Essas degradações são resultantes do desequilíbrio das fases após a soldagem como o excesso de fase de ferrita e da precipitação de fases deletérias, como nitretos de cromo, austenita secundária ( $\gamma_2$ ), sigma ( $\sigma$ ) e chi ( $\chi$ )<sup>4,5</sup>. A resistência à corrosão por pite depende da relação austenita / ferrita, presença de fases intermetálicas e valor PREN (do inglês: *Pitting resistance equivalent number*). Os AISD são definidos como os aços para os quais o PREN é maior que 40.

$$PREN_{16} = \%Cr + 3,3\%Mo + 16\%N \quad (1)$$

A suscetibilidade de corrosão pode ser medida por vários ensaios, por exemplo, o teste de imersão em cloreto de ferro (ASTM G48 – método A), técnicas de polarização (ASTM G5), e medições de temperatura crítica de pite (ASTM G150)<sup>6</sup>. A ASTM G48 mede a perda de massa na amostra após a imersão da mesma em solução de FeCl<sub>3</sub> a 40° ± 2° C por 24 horas. A técnica de polarização analisa o potencial de corrosão por pite ( $E_{pit}$ ) e potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) e a densidade de corrente de corrosão ( $i_{corr}$ ), curvas de Tafel. Os maiores valores positivos de  $E_{pit}$ ,  $E_{corr}$  e  $E_{pit} - E_{corr}$  indicam melhor resistência à corrosão por pite do material. A avaliação CPT (do inglês: *Critical Pitting Temperature*) fornece a temperatura máxima de trabalho permitida para a amostra por meio de medições potencioestáticas<sup>7</sup>.

Neste trabalho, duas formas de avaliar a suscetibilidade à corrosão por pite foram utilizadas em amostras de uma chapa do AISD UNS S32750 de espessura 10 mm. Através do teste de imersão em FeCl<sub>3</sub> (ASTM G48 – método A) e técnicas de polarização (ASTM G5) em solução de NaCl a resistência à corrosão por pite foi investigada.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi uma chapa com espessura de 10 mm do AISD UNS S32750 com teor de ferrita de 56%. A Tabela 1 apresenta a composição química obtida no certificado do material como recebido. O certificado indica que a chapa foi fabricada na forma laminada a quente e temperada a 1100° C com resfriamento em água.

Tabela 1. Composição química da chapa de 10 mm do AISD UNS S32750 (% peso)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	PREN
0,015	0,42	0,74	0,029	0,001	24,72	6,88	3,80	0,270	41,58

Fonte: Elaborado pelos autores

### 2.1 Ensaio de Corrosão por imersão em Cloreto de Ferro (FeCl<sub>3</sub>)

Os ensaios de corrosão foram realizados com base na norma ASTM G48 método A. Nesse ensaio foram utilizados corpos de prova de 5 x 25 e 10 x 25 mm para a chapa de 10 mm do AISD UNS S32750. De acordo com o método A da ASTM G48, modificado conforme especificado na I-ET (Especificação Técnica da Petrobras), o teste consiste basicamente em manter as amostras por 24 horas imersas em solução concentrada de FeCl<sub>3</sub> a 40 °C ± 2 °C, e avaliar a perda de massa por área, correlacionando os valores à susceptibilidade a corrosão<sup>6</sup>.

Na preparação das amostras, a superfície foi lixada utilizando lixas d'água com 200 de granulometria. Posteriormente as amostras foram pesadas 5 vezes na balança analítica da marca GEHAKA modelo BG 200 com resolução de 0,001 mg e, em seguida, imersa no banho de FeCl<sub>3</sub> a 40 °C. Verificou-se a temperatura com pirômetro digital, marca IMMIPA modelo MT-360, calibrado para medição de -30 °C a 550 °C ± 2 °C. Posterior o período de 24 horas, as amostras foram lavadas com água corrente e utilizou-se uma escova para retirar partículas aderentes. Após a secagem ao ar, as amostras foram pesadas novamente<sup>6</sup>.

Os critérios de aceitação de resistência a corrosão utilizados são do anexo L da norma IET:

- Sem pite na ampliação de 20 vezes; e
- A perda de peso deve ser inferior a 4,0 g/m<sup>2</sup>.

### 2.2 Técnica de polarização

Na preparação superficial das amostras com dimensões 10 x 10 mm utilizou-se as lixas seguindo as granulometrias de 180 a 1500, respeitando a rotação de 90° a cada mudança de lixa e lubrificação em água abundante. Para o polimento, utilizou-se a politriz com alumina líquida em suspensão para polimento metalográfico de 1 µm e 0,3 µm, numa rotação de 300 rpm. Na sequência, foi realizado o embutimento ao frio com resina epóxi e catalizador endurecedor.

Nestes ensaios, cada amostra (eletrodo de trabalho) foi montada em uma célula de corrosão contendo uma solução eletrolítica (NaCl), junto com o eletrodo de referência (é o padrão que será associado ao eletrodo de trabalho) e o eletrodo auxiliar (que deve ser inerte no meio e serve de contraponto para o fluxo da corrente). Todos os eletrodos foram conectados ao potenciostato PGTAT128N da Autolab Metrohm ligado a um computador para as análises utilizando o software NOVA versão 2.1.

O eletrodo de referência utilizado foi de platina, numa varredura a 10 mV/s. A faixa de potencial varrida no ensaio foi de -300 mV do PCA até +1500 mV deste mesmo valor, ou até que a corrente medida ultrapassasse o limite operacional do equipamento, de 100 mA. Cada ensaio foi iniciado com o processo de estabilização do potencial de equilíbrio da superfície na solução, durante o qual foi registrado o potencial de circuito aberto (OCP, pelas iniciais em inglês) por uma hora. Na sequência, foi iniciada a varredura de potenciais no sentido anódico e catódico. Foi realizado o levantamento das curvas em 3 amostras

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaio de Corrosão por imersão em cloreto de ferro

Os resultados do ensaio de corrosão estão apresentados na Tabela 2. **Fonte de referência não encontrada.** Foi possível observar que as amostras sofreram uma taxa de corrosão bem abaixo do permitido da norma (4 g/m<sup>2</sup>), o que era esperado, já que as amostras não foram submetidas a ciclos térmico que poderiam desbalancear o teor de austenita / ferrita permitido em norma. Além disso, não foram identificados pites de corrosão no microscópio com aumento de 20 vezes.

Tabela 2. Resultados do ensaio de corrosão. O sinal negativo em taxa de corrosão indica ganho de massa.

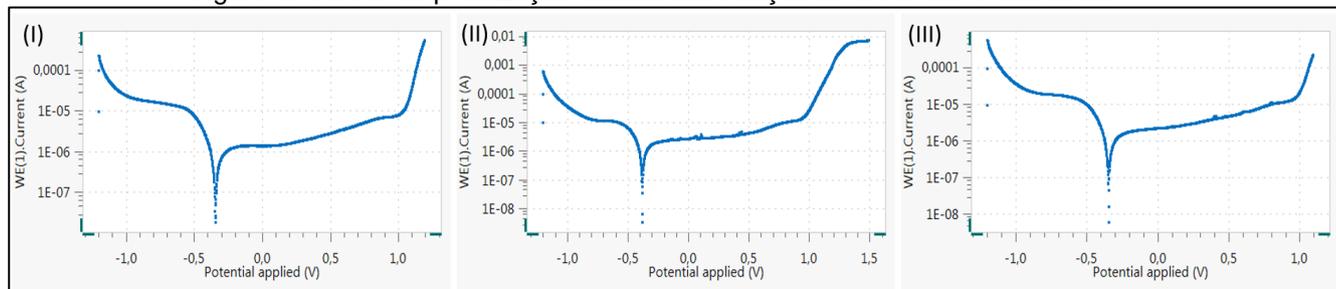
#	Dimensões (mm)	Taxa de Corrosão (g/m <sup>2</sup> )	Desvio Padrão (g/m <sup>2</sup> )
1	10 x 25 x 10	-2,0167	1,1747
2	5 x 25 x 10	-1,5529	0,3045

Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.2 Técnica de polarização

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de polarização mais representativas das três amostras. Os valores dos principais parâmetros: densidade de corrente de corrosão ( $i_{corr}$ ), potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ), e taxa de corrosão (TC) se encontram na Tabela 3. O valor da TC corresponde a metais totalmente resistentes ( $TC < 0,1$  mm/ano).

Figura 1. Curvas de polarização obtidas em solução de NaCl das 3 amostras.



Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 3. Resumo dos parâmetros  $i_{corr}$ ,  $E_{corr}$  e taxa de corrosão (TC) das 3 amostras

	Média	Desvio Padrão
$i_{corr}$ (A)	3,064E-07	1,364E-07
$E_{corr}$ (V)	-0,3410	0,0022
TC (mm/ano)	0,0036	0,0016

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos ensaios relatados nesse trabalho foi possível conhecer melhor as metodologias usadas e a resistência a corrosão por pite do AISD UNS S32750 na espessura de 10 mm. Foi observado que as amostras sofreram uma taxa de corrosão baixa que correspondem a metais altamente resistentes nesses meios corrosivos, o que era esperado, já que as amostras não foram submetidas a ciclos térmico que poderiam desbalancear sua microestrutura.

Em trabalhos futuros sugere-se a realização de um amplo estudo do efeito na resistência a corrosão por pite e na microestrutura desse aço de diferentes ciclos térmicos por meio de equipamento de simulação térmica (Gleeble®).

### 5. REFERÊNCIAS

- 1 Tan H, Jiang Y, Deng B, Sun T, Xu J, Li J. **Effect of annealing temperature on the pitting corrosion resistance of super duplex stainless steel UNS S32750.** *Mater Charact.* 2009;60(9):1049-1054. doi:10.1016/j.matchar.2009.04.009
- 2 Pardala JM, Tavaresb SSM, Da Penha Cindra Fonseca M, De Souzaa JA, Vieirab LM, De Abreuc HFG. **Deleterious phases precipitation on superduplex stainless steel UNS S32750: Characterization by light optical and scanning electron microscopy.** *Mater Res.* 2010;13(3):401-407. doi:10.1590/s1516-14392010000300020
- 3 Wessman S, Karlsson L, Pettersson R, Östberg A. **Computational thermodynamics study of the influence of tungsten in superduplex stainless weld metal.** *Weld World.* 2012;56(11-12):79-87. doi:10.1007/BF03321398
- 4 Ramirez AJ, Garzo CM. **Growth kinetics of secondary austenite in the welding microstructure of a UNS S32304 duplex stainless steel.** 2006;54:3321-3331. doi:10.1016/j.actamat.2006.03.018
- 5 Brandi D, Ramirez AEJ. **The relationship between atomic partitioning and corrosion resistance in the weld-heat affected zone microstructures of UNS S32304 duplex stainless steel.** Published online 2007:9021-9029. doi:10.1007/s10853-007-1881-6
- 6 Cerro R, Ferro P, Tiziani A, Zucchi F. **Annealing temperature effects on superduplex stainless steel UNS S32750 welded joints. II: Pitting corrosion resistance evaluation.** *J Mater Sci.* 2010;45(16):4378-4389. doi:10.1007/s10853-010-4311-0
- 7 Paulraj P, Garg R. **Effect of welding parameters on pitting behavior of GTAW of DSS and super DSS weldments.** *Eng Sci Technol an Int J.* 2016;19(2):1076-1083. doi:10.1016/j.jestch.2016.01.013