



20º Congresso de Iniciação Científica

ANÁLISE DA CORROSÃO POR PITE E CORROSÃO INTERGRANULAR EM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO E DUPLEX FUNDIDOS

Autor(es)

CARLA GIOMETTI FRANÇA

Orientador(es)

RODOLFO LIBARDI

Apoio Financeiro

FAPESP

1. Introdução

Neste projeto foi estudado a corrosão por pite e corrosão intergranular em dois tipos de aços inoxidáveis fundidos: austeníticos e duplex.

Em geral, os aços inoxidáveis pertencem ao grupo de aços de alta liga constituído em sistemas de Fe-C-Cr e Fe-C-Cr-Ni, que contém um teor maior que 12% de cromo, na qual confere sua grande resistência a oxidação. Eles são divididos basicamente em cinco categorias: ferríticos, martensíticos, austeníticos, ferrítico-austeníticos (duplex) e endurecíveis por precipitação (KEY TO METALS STEELS, 2012; COLPAERT, 2008).

Os aços inoxidáveis austeníticos são compostos por ligas de Fe-Cr-Ni. Em temperatura ambiente apresentam um baixo limite de escoamento, limite de resistência alto e elevada ductilidade, são os melhores em questão de soldabilidade e resistência à corrosão. Já os aços inoxidáveis duplex possuem uma composição típica de 22%Cr – 5%Ni – 3%Mo – 0,15%N – 0,02%C. Estes aços são caracterizados por apresentar elevada resistência à corrosão, resistência mecânica e boa soldabilidade (COLPAERT, 2008).

Os aços inoxidáveis podem sofrer a corrosão intergranular, que é quando o ataque se manifesta no contorno de grão, por causa da formação de uma zona pobre em cromo ao longo dos contornos de grão. Os átomos de cromo da região, que se encontrava em solução sólida, se difundem para os contornos e formam carbonetos, na qual diminui a resistência a corrosão, deixando o material mais sensível a corrosão intergranular. Essa zona empobrecida em cromo chama-se sensitização, pois o material fica suscetível a corrosão intergranular. Como consequência da sensitização há o aparecimento de trincas microscópicas ao longo dos contornos de grãos na estrutura do material, não alterando as dimensões do mesmo (NUNES, 2007; LIMA, 2002).

Já a corrosão por pite ou puntiforme ocorre quando há um desgaste de forma muito localizada e de alta intensidade, ou seja, ocorre a formação de cavidades geralmente com profundidade maior que o diâmetro e borda angulosa. A resistência por pite de um aço inoxidável depende da sua composição (porcentagem em peso dos elementos de liga) e pode ser obtida através do cálculo para o equivalente a resistência por pite (PRE – Pitting Resistance Equivalent), sendo que quanto maior o valor de PRE, maior será a resistência ao ataque por pites (NUNES, 2007; BARBOSA, 2011).

Os ensaios de corrosão em aços inoxidáveis são realizados geralmente de acordo com as normas ASTM (American Society Testing Materials). A norma ASTM G48 (2009) - método “A” descreve a suscetibilidade dos aços inoxidáveis a corrosão por pite. Já a norma ASTM A262 (2008) – práticas “A” e “E” descrevem a suscetibilidade dos aços inoxidáveis à corrosão intergranular (NORMA ASTM G48, 2012; NORMA ASTM A262, 2012).

Essa pesquisa tem como objetivo principal estudar as normas ASTM G48 – método “A” e ASTM A262 – práticas “A” e “E” e

realizar ensaios de corrosão por pite e de suscetibilidade a corrosão intergranular em aço inoxidável austenítico fundido ASTM CF8M e aço inoxidável duplex fundido ASTM CD4MCuN (NORMA ASTM A351/351M, 2010; NORMA ASTM A995/A995M, 2009).

2. Objetivos

Essa pesquisa tem como objetivo principal estudar as normas ASTM G48 – método “A” e ASTM A262 – práticas “A” e “E” e realizar ensaios de corrosão por pite e de suscetibilidade a corrosão intergranular em aço inoxidável austenítico fundido ASTM CF8M e aço inoxidável duplex fundido ASTM CD4MCuN.

3. Desenvolvimento

Os aços foram enumerados de acordo com a composição, sendo 1 aço inoxidável austenítico e 2 aço inoxidável duplex, conforme mostrado na tabela 1.

De acordo com a norma ASTM 351 o aço 1 é classificado como CF8M e segundo a norma ASTM A995/A995M-09 o aço 2 é classificado como Grau 1B: CD4MCuN (NORMA ASTM A351/351M, 2010; NORMA ASTM A995/A995M, 2009).

Os ensaios de corrosão por pite foram realizados de acordo com a norma ASTM G48 – método “A” e os ensaios de corrosão intergranular de acordo com a norma ASTM A262 – práticas “A” e “E” (NORMA ASTM G48, 2012; NORMA ASTM A262, 2012).

4. Resultado e Discussão

A partir da tabela 1 (anexo 1), foi possível obter o PRE das amostras e as porcentagens de cromo e níquel equivalente.

- Amostra 1:

- o PRE = 27,12;

- o Cromo equivalente = 21,94;

- o Níquel equivalente = 14,91.

- Amostra 2:

- o PRE = 42,92;

- o Cromo equivalente = 30,99;

- o Níquel equivalente = 15,35.

3.1. Método “A” – ASTM G48

A partir da realização do método “A” da norma ASTM G48, foi possível coletar alguns dados, como peso inicial e final das amostras, e assim obter resultados que são apresentados na tabela 2 (anexo 2), para as amostras na temperatura a $50\pm 2^\circ\text{C}$ e na temperatura a $22\pm 2^\circ\text{C}$.

A partir da tabela 2 (anexo 2), pode-se observar que as amostras precipitadas perderam mais massa em relação as amostras solubilizadas, levando em consideração a mesma composição.

O tratamento térmico de solubilização levou a uma menor taxa de corrosão por pite devido a homogeneização da estrutura dos corpos de prova (CPs), conforme mostra a figura 1 (anexo 3). Já as amostras que foram submetidas ao tratamento de solubilização seguida da precipitação perderam mais massa provavelmente devida a precipitação de carbonetos de cromo que faz com que a região em volta do cromo necessário para a passivação fique pobre, ou surgimento de uma nova fase que faz aumentar a resistência mecânica, a fragilização e diminuir a resistência à corrosão.

É possível observar pela tabela 2 (anexo 2) que a amostra de aço inoxidável duplex (2) perdeu menos massa em relação a de aço inoxidável austenítico, o que é válido, visto que o duplex possui um maior PRE. Quanto maior o valor de PRE, maior a resistência ao ataque por pites, pois estas amostras possuem maiores teores de cromo, molibdênio e/ou nitrogênio, na qual aumenta esta resistência a corrosão por pite. Ou seja, a amostra de aço inoxidável austenítico (1) tem a tendência de apresentar corrosão por pite devido ao baixo PRE, sendo este um dos principais problemas.

Também foi possível observar que a temperatura utilizada no ensaio influenciou na perda de massa dos CPs, isto é, quanto maior for a temperatura utilizada maior será a perda de massa. Isso ocorre devido ao aumento da temperatura que acelera o tempo de iniciação da corrosão em relação a maioria dos ambientes naturais, consequentemente o grau de corrosão será maior do que em ambientes naturais por um período de tempo similar.

Analisando as amostras 1P e 2S (anexo 1) com as suas respectivas perdas de massa pode-se observar que não é possível ver a ocorrência de pite, como ocorreu visivelmente nos outros CPs (exemplo: amostra 1S), mas sabe-se que ocorreu uma perda de massa. Isso pode ser devido a ocorrência de corrosão do tipo pite subsuperficial do CP que indica essa perda.

3.2. Prática “E” – ASTM A262

Observou-se que o aço inoxidável duplex precipitado (2P) não apresentou ductilidade suficiente para serem dobrados a 180° ,

ocorrendo a ruptura do material. Isso ocorre devido a profundidade que a trinca intergranular atingiu, na qual com a ação mínima de esforços mecânicos faz a peça se romper.

Em relação aos registros obtidos no estereoscópio, pode-se observar que as amostras 1S e 2S estão isentas de trincas, o que é correto, pois apresentam em sua composição um teor de carbono menor que 0,03% e foi realizado o tratamento de solubilização assim prevenindo a sensitização. Já a amostra 2P apresentou trinca intergranular, ou seja, ocorreu corrosão intergranular, visto que o tratamento térmico utilizado foi a precipitação e a amostra 1P apresenta teor de carbono maior que 0,03%. Ou seja, não houve nenhum tipo de prevenção a sensitização. A sensitização forma uma zona empobrecida em cromo ao longo do contorno de grão deixando o material mais suscetível a este tipo de corrosão.

Assim as amostras 1P e 2P estão reprovadas nesta prática, e 1S e 2S aprovadas.

3.3. Prática “A” – ASTM A262

De acordo com a norma utilizada foi possível classificar e analisar se ocorreu ou não corrosão no aço inoxidável austenítico, sendo:

- Amostra 1P: Valas interdendríticas conectadas e Pite I, pois há presença de pelo menos um grão completamente cercado por valas associado a pits rasos e fundos; apresentou corrosão tanto no contorno da ferrita quando no contorno de grão austenítico.

- Amostra 1S: Ferritas isoladas e Pite I, pois há ferritas isoladas associadas a pites rasos e profundos; o grão austenítico não revelou com o ataque, já o grão ferrita revelou, entretanto não formou valas, ou seja, não aconteceu corrosão.

Para o aço inoxidável duplex não é viável utilizar a classificação da norma ASTM A262, entretanto é possível classificar pelo princípio de surgimento de valas ou não e saber se ocorreu ou não corrosão.

- Amostra 2S: Estrutura em valas, pois há presença de valas nos contornos de grão da fase austenítica; apresentou corrosão só no contorno de grão da fase austenítica.

- Amostra 2P: Estrutura em valas, pois há presença de valas nos contornos de grão da fase austenítica, e Pite I; apresentou corrosão só no contorno de grão da fase austenítica.

Assim sendo a amostra 1S foi aprovada e as amostras 1P, 2P e 2S reprovaram nesta prática. O que é válido, com exceção do CP 2S, pois no tratamento de solubilização os elementos que dão resistência à corrosão estão distribuídos e no tratamento de precipitação por ter ocorrido à precipitação de elementos no contorno de grão, tornando-os susceptíveis.

5. Considerações Finais

Em relação as práticas ASTM G48 e ASTM A262 podemos concluir que:

- ASTM G48 – Método “A”

Pode-se concluir que a composição química das amostras e o tipo de tratamento térmico utilizado no ensaio influenciam na ocorrência de corrosão por pite. Em relação a composição química das amostras, o aço inoxidável duplex apresentou maior resistência a corrosão por pite. E em relação ao tipo de tratamento, as amostras que foram submetidas ao tratamento de solubilização seguido da precipitação apresentaram maior perda de massa do que as solubilizadas.

- ASTM A262 – Prática “E”

Pode-se concluir que em relação ao tratamento fornecido as amostras, precipitadas ou solubilizadas, o aço inoxidável duplex precipitado (4P) rompeu-se, pois não apresentou ductilidade suficiente para ser dobrado a 180°. Já as amostras 2S e 4S estão isentas de trincas e a amostra 2P teve a ocorrência da corrosão intergranular. Concluindo, as amostras 1P e 2P estão reprovadas nesta prática, e 1S e 2S aprovadas.

- ASTM A262 – Prática “A”

Pode-se concluir a partir dos resultados obtidos nesta prática que as amostras com o tratamento de precipitação apresentaram corrosão intergranular, já as amostras com o tratamento de solubilização não apresentaram esse tipo de corrosão, com exceção da amostra 2S que apresentou corrosão intergranular. Concluindo a amostra 1S foi aprovada e as amostras 1P, 2P e 2S reprovaram nesta prática.

Referências Bibliográficas

BARBOSA, C. A. *Revestimento de poços da camada pré-sal*. São Paulo, ano 610, vol. 67, pp. 132, mar/abr 2011.

COLPAERT, H. *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*. 4. Ed. São Paulo, SP, Ed. Edgard McGraw-Hill, 2008.

KEY TO METALS STEELS. Artigos. *The basics of ferrous metallurgy: Microstructures in austenitic stainless steels*. Disponível em: <http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=268>. Último acesso: 03 ago. 2011.

KEY TO METALS STEELS. Artigos. *Duplex stainless steels: part one / part two*. Disponível em: <http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=208>

<http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=210>. Último acesso: 03 ago. 2011.

LIMA, S. A.; ABREU, H. F. G. de. et. all. Aspectos da corrosão intergranular dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304L, AISI 316L, AISI 321 e AISI 347, usados em refinarias. 22° CONBRASCORR - Congresso Brasileiro de Corrosão: 19 a 21 Ag. 2002. Salvador - Bahia.

NORMA ASTM 262. *Standard practices for detecting to intergranular attack in austenitic stainless steels*. Designation: A262 - 02a

(Reapproved 2008), pp. 2-6, 11-14.

NORMA ASTM A351/351M - 10. *Standard Specification for Castings, Austenitic, for Pressure-Containing Parts.* Designation: A351/351M - 10 (Reapproved 2008).

NORMA ASTM A995/A995M - 09. *Standard Specification for Castings, Austenitic-Ferritic (Duplex) Stainless Steel, for Pressure - Containing Parts.* Designation: A995/A995M - 09 (Reapproved 2008).

NORMA ASTM G48. *Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution*. Designation: G48 - 03 (Reapproved 2009), pp. 1-4, 7-8.

NUNES, L. P. de. *Fundamentos de resistência à corrosão*. Rio de Janeiro, RJ, Ed. Interciência: IBP: Abraco, 2007.

Anexos

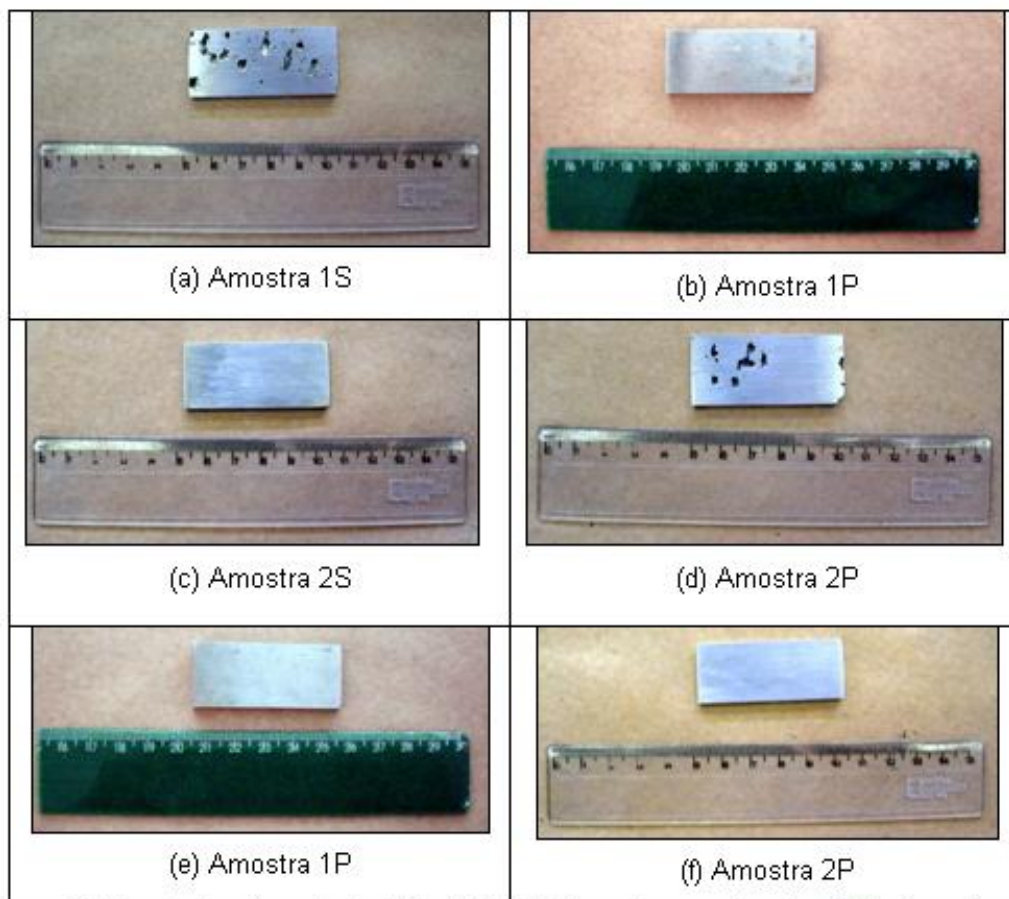


Figura 1. Resultados do método "A" - ASTM G48 na temperatura de 50°C (a - d) e na temperatura de 22°C (e - f)

Tabela 2. Massa dos CPs ensaiados na temperatura de 50°C e 22°C

AMOSTRA	MASSA INICIAL [g]	MASSA FINAL [g]	MASSA PERDIDA [g]
Temperatura 50 ±2°C			
1S	41,317	38,054	3,263
2S	40,287	39,840	0,447
1P	41,070	36,266	4,804
2P	40,664	38,407	2,257
Temperatura 22 ±2°C			
1P	39,873	38,064	1,809
2P	40,312	39,855	0,457

Tabela 1. Composição, em porcentagem, de cada amostra

AMOSTRA	1	2
C [%]	0,079	0,028
Si [%]	0,86	0,94
Mn [%]	0,86	0,77
P [%]	0,034	0,0034
S [%]	0,006	0,010
Cr [%]	18,29	25,24
Ni [%]	9,23	7,83
Mo [%]	2,21	4,34
Cu [%]	0,38	---
N [%]	0,096	0,21