

AVALIAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL SUPERAUSTENITICO DE NORMA BS EN Nº 14587 NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITE*

João Alberto Fiorese Altoé¹
João Paulo Calixto da Silva²
Rômulo Maziero³

Resumo

Nas indústrias petroquímicas, nucleares e farmacêuticas o avanço tecnológico tem como objetivo a segurança e confiabilidade dos equipamentos com relação à resistência mecânica e à corrosão. Atualmente, o uso dos aços inoxidáveis superausteníticos é uma solução interessante, para uma maior vida útil dos componentes industriais submetidos a ambientes agressivos, como em meios salinos. Esse trabalho tem como objetivo investigar o aparecimento de pites em um aço comercial superaustenítico de composição química aproximada 25Cr28Ni4Mo em solução salina de cloreto de sódio. O aço foi fundido e tratado termicamente por solubilização a 1050°C por 1h com o objetivo de eliminar os precipitados. As análises microestruturais antes e após os ensaios de corrosão foram feitas por microscopia óptica e eletrônica de varredura. Observou-se com os ensaios eletroquímicos de Polarização linear e impedância, que o aço inoxidável superaustenítico apresenta excelente resistência à corrosão em meio salino, caracterizado também pelas imagens que não revelaram a formação de pites, mesmo quando submetidos a elevados potenciais.

Palavras-chave: Superaustenítico; Polarização; Pite.

STAINLESS STEEL EVALUATION OF STANDARD SUPERAUSTENITIC BS EN NO. 14587 IN CORROSION RESISTANCE FOR PITTING

Abstract

In the petrochemical, nuclear and pharmaceutical technological advancement is aimed at safety and reliability of equipment with the mechanical strength and corrosion. Currently, the use of stainless steel superaustenitic is an interesting solution to a longer service life of industrial components subject to harsh environments, such as in saline media. This work aims to investigate the appearance of pits in a commercial steel superaustenitic approximate chemical composition 25Cr28Ni4Mo in saline sodium chloride solution. The steel was cast and thermally treated by solubilizing the 1050°C for 1 h in order to remove precipitates. The microstructural analysis before and after the corrosion tests were made by optical microscopy and scanning electron microscopy. Was observed with the electrochemical tests and linear polarization impedance, which superaustenitic stainless steel exhibits excellent corrosion resistance in saline, further characterized by the images did not reveal the formation of pitting, even when subjected to high potentials.

Keywords: Superaustenitic; Polarization; Pitting.

- ¹ Graduado em Engenharia Mecânica – Professor Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Coordenadoria Mecânica, Campus Aracruz, Espírito Santo, Brasil.
- ² Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais- Professor Engenharia Mecânica FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz, Coordenadoria de Engenharia Mecânica, Aracruz, ES, Brasil.
- ³ Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis superausteníticos são bastante utilizados na fabricação de componentes para equipamentos que trabalham em ambiente sob corrosão severa. A confiabilidade e segurança das indústrias petroquímicas, de papel e celulose, nuclear e farmacêutica aumentou no que diz respeito à resistência à corrosão quando os superausteníticos passaram a ser utilizados. Estes aços são conhecidos pela alta resistência à corrosão por pites e apresentam elevados teores de níquel, cromo, nitrogênio e molibdênio. O níquel tem o papel de estabilizar a austenita, o cromo para aumentar a resistência à corrosão. Já o molibdênio, Armas [1] e Oiyé [2] usualmente presente na faixa de 2 a 6%, é excelente para estabilizar a camada passiva em meios contendo íons cloreto e contribui fortemente na diminuição da corrosão por pites. Segundo Speidel [3], o nitrogênio, quando em solução, tem papel fundamental na resistência à corrosão localizada, pois retarda a formação da fase sigma, aumenta o potencial de pite, Grabke [4], além de melhorar a resistência mecânica. Segundo Magnabosco [5], a presença do nitrogênio associado ao molibdênio aumenta a resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis em meios contendo cloreto.

A corrosão por pite é definida como uma forma de corrosão localizada que consiste na formação de cavidades na superfície de pequena extensão e razoável profundidade. Este tipo de corrosão é característica de materiais que formam a camada passiva e resulta da atuação da pilha ativa, como os aços inoxidáveis.

Segundo Nilsson [6], a resistência à corrosão por pite nos aços inoxidáveis pode ser quantificada por um parâmetro empírico chamado PREN (“pitting resistance equivalent number”). Os aços inoxidáveis superausteníticos são assim classificados quando o valor da resistência equivalente à corrosão por pite, o PREn, for maior que 40. O valor do PREn pode ser calculado em função da porcentagem de alguns elementos de liga, conforme mostrado na Eq. (A).

$$\text{PREN} = \text{Cr}(\%) + [3,3 \times \text{Mo}(\%)] + [16 \times \text{N}(\%)] \quad (\text{A})$$

Alguns testes são usados para avaliar a corrosão por pite. Dentre eles, as curvas de polarização anódicas avaliam a perda de passivação, analisando o potencial de corrosão por pite sobre a superfície do aço. De acordo com esta técnica é possível avaliar o desempenho em relação à corrosão por pite de um determinado aço em uma aplicação específica.

Durante o processo de fabricação, cuidados devem ser tomados para evitar a formação de alguns tipos de precipitados e fases e para que o material alcance as propriedades mecânicas e de resistência à corrosão desejada. O tratamento térmico de solubilização tem o objetivo de dissolver os precipitados existentes, garantindo melhor resistência à corrosão.

Esse trabalho investigou a resistência à corrosão do aço inoxidável superaustenítico de norma BS EN nº 14587 fundido e solubilizado quanto à susceptibilidade a formação de pite por meios de ensaios eletroquímicos em solução salina na temperatura ambiente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A liga de aço para este estudo foi elaborada em um forno elétrico de indução e sistema para desgaseificação em panela na empresa Grupo Metal em Tietê - SP. O

metal líquido foi vazado em moldes de areia aglomerada com resina fenólica uretânica na forma de blocos tipo quilha, conforme dimensões descritas na norma ASTM A781/781M, Figura 1. Estas quilhas foram solubilizadas em um forno elétrico de indução a 1050°C por 1 hora, seguido de resfriamento em água.

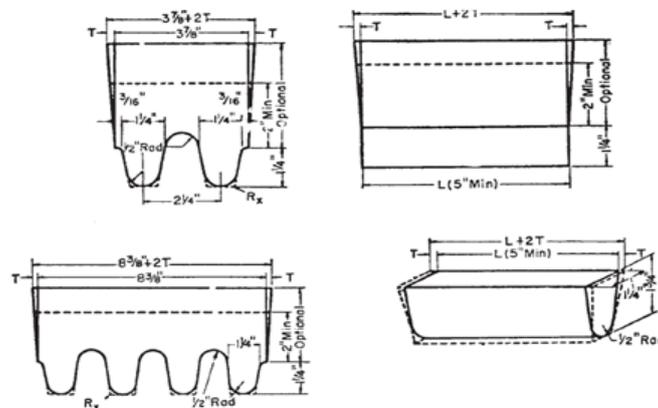


Figura 1. Detalhes do projeto do bloco tipo quilha para fundição.

A análise química foi realizada em um espectrômetro de emissão ótica da marca Oxford Instruments, modelo Foundry-Master Pro e representa a média de dois resultados por amostra (norma ASTM A751).

Para a análise da microestrutura as amostras foram lixadas com lixas de granulação de 200 até 1200 “mesh” e polidas com alumina de granulação de 0,05mm. Utilizou-se um microscópio Óptico marca Leiz modelo Metallux para observação da estrutura antes e após o ensaio de corrosão. As imagens da microestrutura antes e após o ensaio de corrosão foram realizadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo EVO MA 10 da marca ZEIS (operado com 20KV).

Os ensaios de corrosão foram realizados conforme a norma ASTM G5-94(2011) e ASTM G3-89 (2010). Os ensaios de polarização linear e espectroscopia de impedância eletroquímica foram realizados no Laboratório de Corrosão do Ifes-Campus Vitória, em um Potenciostato-galvanostato da marca IVIUM, com o software IviumStat Control Version 1.726 acoplado a um computador para aquisição e tratamento dos dados, conforme a Figura 2.



Figura 2. Equipamento de ensaios eletroquímicos Potenciostato/Galvanostato e analisador de Impedância IVIUM.

As amostras são imersas em soluções de 3,5% de cloreto de sódio de água destilada na temperatura ambiente, simulando água do mar. É utilizado um arranjo experimental de três eletrodos: um eletrodo de calomelano saturado(ECS), como eletrodo de referência; um de platina como contra eletrodo; e a amostra como eletrodo de trabalho, como ilustra a Figura 3.

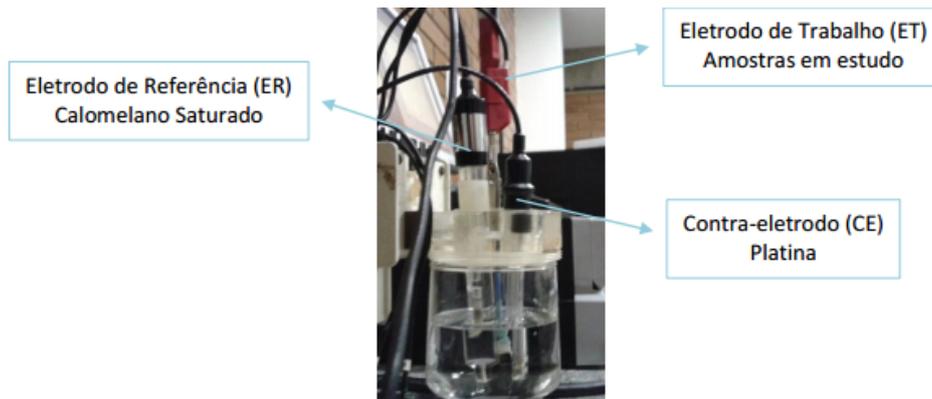


Figura 3. Célula eletroquímica convencional com 3 eletrodos.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados de forma triplicata e a curva média foi adotada nesse trabalho.

No ensaio de polarização a velocidade de varredura foi de 1,0 mV/s a partir de um valor catódico, variando de -0,5 do valor do potencial de circuito aberto a 1,8 V.

Os ensaios de impedância eletroquímica foram realizados na faixa de frequências de 100KHz a 0,01Hz.

Obteve-se os resultados de potencial de corrosão, densidade de corrente e resistência à polarização do aço por meio da extrapolação das Retas de Tafel entre as regiões catódicas e anódicas no diagrama de polarização linear.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aço fundido utilizado neste trabalho foi o superaustenítico, norma BS EN 10283 n.º 1.4587. A Tabela 1 apresenta a composição química do aço e o valor do PREn para o superasutenitico analisado. Os resultados da análise mostram os teores dos elementos dentro das faixas estabelecidas pela norma, além de um elevado valor do PREn.

Tabela 1. Composição química do aço 1.4587 estudado (CP)

	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	N	PREn
Norma	0,03*	2,0*	0,03*	0,02*	1,0*	24,0	28,0	4,0	2,0	0,15	
						a	a	a	a	a	46,0*
						26,0	30,0	5,0	3,0	0,25	
CP	0,03	1,2	0,02	0,01	0,74	25,0	28,4	4,3	2,4	0,2	42,7

CP : Corpo de prova e * indica os valores máximos.

A Figura 4-A mostra a ausência de precipitados e a presença de inclusões no aço estudado após tratamento térmico de solubilização.

Na Figura 4-B a micrografia é após o ensaio de polarização linear, não ocorrendo à formação de pites.

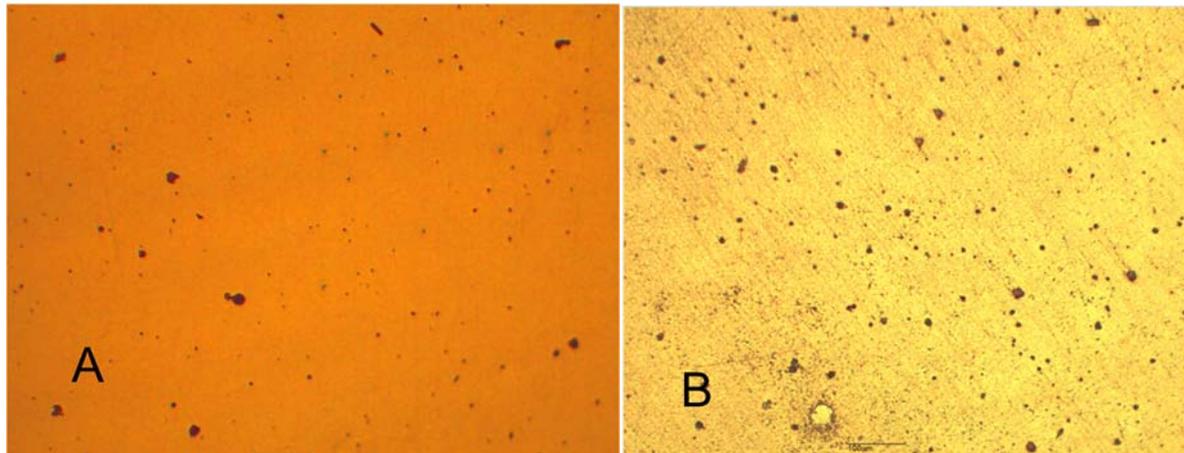


Figura 4. a) Amostra solubilizada a 1050°C por 1h e resfriada em água. b) Amostra após ensaio de Polarização Linear. Aumento de 100x. Microscopia Óptica

A Figura 5-A representa os resultados obtidos pelo ensaio de polarização do aço 1.4587, em solução de NaCl 3,5%. A curva mostra um comportamento de um material que apresenta potencial de quebra de passivação bem definido. Já a Figura 5-B ilustra o resultado da impedância eletroquímica por meio do diagrama de Nyquist. Percebe-se alta resistência a transferência de carga da película passiva.

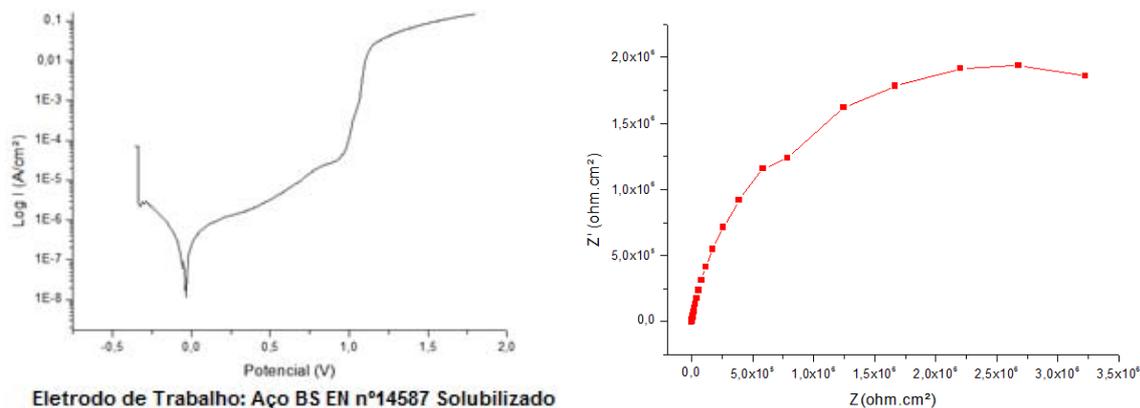


Figura 5. A) Curva de Polarização Linear anódica e B) Diagrama de Nyquist para o Aço BS EN Nº 14587 em solução de NaCl 3,5% p.v. a temperatura ambiente. Eletrodo de Referência de Calomelano e Contra eletrodo de Platina.

Os dados da Tabela 2 são extraídos do software Ivium Stat Control por meio da extrapolação das retas de Tafel na curva de Polarização linear da Figura 4A.

Tabela 2. Dados obtidos por extrapolação das Retas de Tafel no Diagrama de Polarização Linear anódica.

	Tafel
Potencial de Corrosão (V)	-0,041
Densidade de corrente (A/cm ²)	4,50E-07
Resistência a Polarização (Ohm)	8,78E5

A Figura 6 mostra os resultados da microscopia eletrônica de varredura. Nota-se que após o ensaio de Polarização linear a amostra não apresenta a formação de Pites.

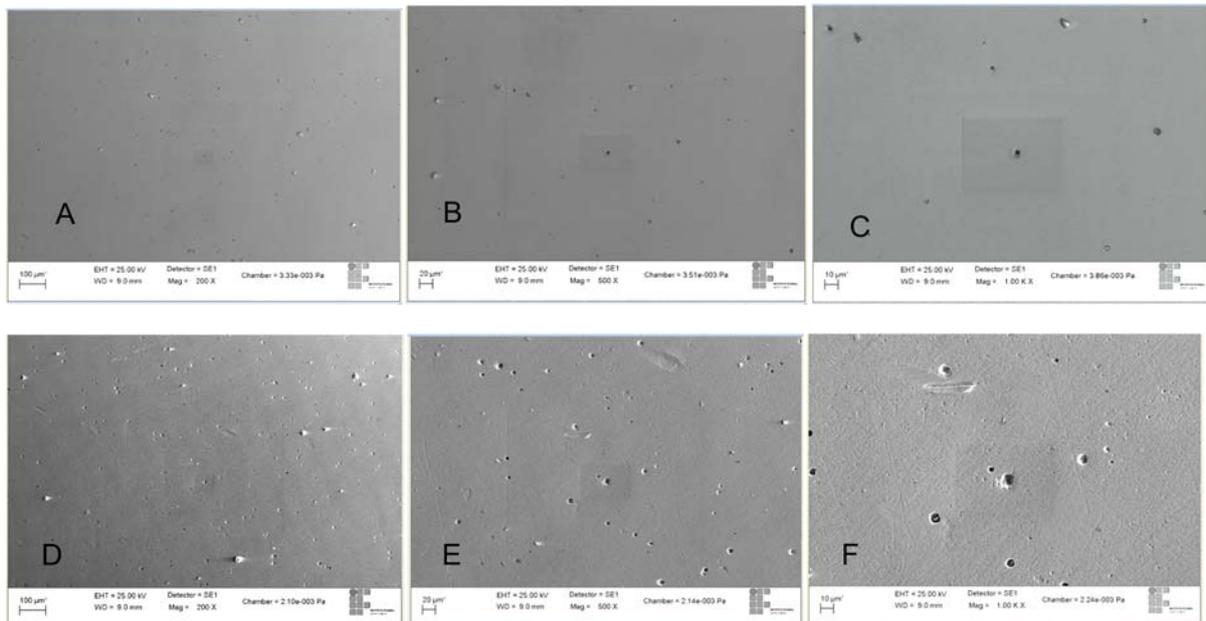


Figura 6. A, B, C) Micrografias superficiais do aço BS EN N°14587 antes do ensaio de Polarização linear. Aumento de 200x, 500x e 1000x, respectivamente. C, D, E) Micrografias superficiais do aço BS EN N° 14587 após ensaio de Polarização linear. Aumento de 200x, 500x e 1000x, respectivamente. (MEV)

Os resultados mostraram que, apesar do ensaio de polarização indicar a formação de pites no aço, as imagens das micrografias não revelaram. Segundo, Santos [7], a curva de polarização pode estar influenciada pela reação de evolução do oxigênio que ocorre na superfície do material. A corrosão leve que está ocorrendo no material, de forma alveolar, pode ser em função de pilhas galvânicas que ocorrem no aço estudado em função da composição química e das inclusões presentes.

A composição química com elevados teores, de cromo, níquel, molibdênio e nitrogênio, o PREn elevado e os resultados do diagrama de Nyquist com alta resistência a transferência de carga da camada passiva, indicam também um material de alta resistência à corrosão. Além disso, um alto potencial e baixas correntes de corrosão indicam que o aço BS EN n° 14587 tem uma alta resistência à corrosão por pite, sendo muito útil em aplicações onde as condições são severas.

4 CONCLUSÃO

Os resultados dessa pesquisa mostraram que o aço inoxidável de norma BS EN n° 14587 fundido e solubilizado possui excelente resistência à corrosão em solução 3,5% de NaCl.

Não ocorreu o aparecimento de pites no aço estudado, sendo então sua aplicação viável e interessante em equipamentos submetidos a ambientes ricos em cloretos, como em água do mar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, o Ifes, pela disponibilidade dos Laboratórios e equipamentos para a realização do estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 Armas, A. I., 2008, "Duplex Stainless Steels: Brief History and Some Recent Alloys". Recent Patents on Mechanical Engineering, n.1, p.51-57.
- 2 OIYE, L. E., 2003. "Microdureza de fase sigma em aço inoxidável dúplex SAF 2205". Projeto de Iniciação Científica – Fundação Educacional Inaciana (FEI), São Bernardo do Campo.
- 3 Speidel Mo. Nitrogen Containing Austenitic Stainless Steels. Mat-wiss. U. Werkstofftech., 2006; 37, n. 10, Alemanha.
- 4 GRABKE HJ. The role of nitrogen in the corrosion of iron and steels. ISIJ International [0915-1559]. Yr:1996 vol:36 iss:7 pg:777-786.
- 5 Magnabosco, R., 2001, "Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS 31803 (SAF 2205)". São Paulo. 181 p. Tese de doutorado em engenharia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, na especialidade Materiais.
- 6 Nilsson, J.O., 1992, "Super Duplex Stainless Steel. Materials Science and Technology, v.8, p. 685-700
- 7 Santos.D.C, 2009, Corrosão por pite em solução 0,6M de cloreto de sódio do aço UNS S31803 em função do tempo de envelhecimento entre 700°C e 900°C, pag. 143-147. Exame de Qualificação de Mestrado apresentado a FEI, departamento de Engenharia Mecânica com ênfase em Materiais e Processos.