

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA MICROESTRUTURA E RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENO-FERRÍTICO SEW 410 NR. 14517 UTILIZADO NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Andre Itman Filho, andrei@ifes.edu.br
Cleybson Soledade Ferro, bison@ifes.edu.br;
Caroline Croce Pimenta, carol@ifes.edu.br
Rosana Vilarim da Silva, rosanavilarim@yahoo.com.br
Rodrigo Santos Messner, rodrigomessner@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729, Jucutuquara, CEP 29040780, Vitória - ES

Resumo: Os aços inoxidáveis austeno-ferríticos pertencem a uma classe de materiais com características singulares interessantes para aplicações diversas, inclusive na substituição dos inoxidáveis austeníticos que apresentam aceitável resistência mecânica e à corrosão, em diversos ambientes. As primeiras referências sobre os aços inoxidáveis austeno-ferríticos foram publicadas por Bain e Griffiths que estudaram as microestruturas destas ligas. A resistência à corrosão genérica destes aços é similar à dos inoxidáveis austeníticos, porém apresentam melhor resistência à propagação de trincas em corrosão sob tensão. No caso da exploração de petróleo em grandes profundidades, o efeito da erosão-corrosão associado à atmosfera salina é o grande responsável pelo aumento dos custos de manutenção dos equipamentos. Considerando o grande interesse na pesquisa petrolífera em águas profundas, a proposta deste estudo foi avaliar as alterações da microestrutura e dureza de um aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 ($Cr_{26}Ni_{6}Mo_{3}Cu_{3}$) por meio de tratamentos térmicos em temperaturas próximas a 850 °C. Resultados da literatura indicam que nesta temperatura há o favorecimento da transformação da fase sigma que apresenta alta dureza. Embora haja um aumento da resistência ao desgaste, é importante avaliar o efeito desta fase na resistência à corrosão do material. Assim foram realizados testes galvanostáticos para observar a influência das variações das quantidades de fases no potencial de pite deste aço em solução salina com 3,5% de cloreto de sódio. Os resultados mostraram que o aumento da fase sigma proporcionou um acréscimo da dureza e uma redução do potencial de pite. Desta forma devem ser avaliadas as situações onde a resistência ao desgaste seja importante desde que haja o controle do potencial do ambiente salino.

Palavras-chave: : aço inoxidável austeno-ferrítico, fase sigma, potencial de pite.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Os Aços Inoxidáveis Austeno-Ferríticos e as Transformações de Fase

Os aços inoxidáveis de uma forma geral são divididos em ferríticos, austeníticos e martensíticos, além dos considerados de estrutura mista como os austeno-ferríticos ou duplex. Nestes aços a microestrutura é determinada basicamente pelos teores de cromo e níquel que atuam como estabilizadores das fases ferrítica ou austenítica (Bain e Griffith, 1927). O cromo é o principal responsável pela resistência à corrosão, enquanto a adição de níquel melhora a resistência mecânica à quente. O carbono, que aumenta a temperabilidade dos martensíticos, mas prejudica a resistência à corrosão dos austeníticos, o titânio e nióbio que possuem afinidade com o carbono e diminuem a susceptibilidade à corrosão intergranular, ou o molibdênio que é adicionado para evitar a corrosão localizada, são importantes nas características dos inoxidáveis (Pickering, 1978). De uma forma geral, a principal aplicação dos aços inoxidáveis é na fabricação de componentes que atuam expostos aos ambientes corrosivos. Nos casos de maior exigência em meios agressivos a opção normalmente é pela escolha dos inoxidáveis austeníticos da série 300, que além da menor densidade quando comparados às ligas não ferrosas básicas, apresentam resistência mecânica e à corrosão adequada com menor custo.

Atualmente, porém, os aços inoxidáveis austeno-ferríticos, ou duplex, estão sendo utilizados em substituição aos inoxidáveis austeníticos nas aplicações industriais, onde as exigências para resistência à corrosão e mecânica são maiores (Gunn, 2001). Equipamentos como vasos de pressão, reatores e tanques de armazenamento para uso em altas temperaturas ou em meio aquoso com cloretos, são fabricados com os aços duplex.

Na indústria petrolífera, estes aços são utilizados em plataformas fixas e flutuantes que operam em profundidades de 2000m abaixo do nível do mar e também em componentes fundidos como as bombas que injetam água salgada no sub-solo marítimo para aumentar a pressão local, expulsando o gás e o óleo. Nestas plataformas, os equipamentos suportam pressões de até 350 Bar em meio de cloretos, sulfetos e outros gases dissolvidos (Finn e Srivastava, 2000). As propriedades destes aços são conseguidas por meio do controle da composição química e dos tratamentos termo-mecânicos, que proporcionam uma microestrutura balanceada com 50% de ferrita e 50% de austenita (Itman, 2007).

Nos inoxidáveis duplex a solidificação tem início em torno de 1450°C com a formação da ferrita (α) que dá origem a austenita (γ) próxima a 1300°C. Os carbonetos M_7C_3 precipitam em temperaturas na faixa de 950 a 1050°C nos contornos de grão γ/α . Abaixo de 950°C formam-se os carbonetos $M_{23}C_6$ (Kawalla e Chabbi, 2000). A fase sigma (σ) formada no estado sólido precipita na faixa de 600 a 950°C com prejuízo da tenacidade (Norström et al, 1981). De acordo com Charles (1991) a composição química da fase sigma é Fe30%Cr4%Ni7%Mo e a precipitação é rápida e intensa nas peças obtidas por fundição. A fase σ nucleia preferencialmente na interface α/γ incoerente com a matriz e é favorecida pela adição do nióbio, cromo, molibdênio e silício. Embora seja considerada prejudicial à tenacidade do aço inoxidável, a dureza elevada da fase sigma pode melhorar a resistência superficial ao desgaste e representar uma importante aplicação do aço austeno-ferrítico em meios levemente agressivos. Considerando o grande interesse na pesquisa petrolífera em águas profundas, a proposta deste estudo foi avaliar as alterações da microestrutura e dureza de um aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 (Cr26Ni6Mo3Cu3) por meio de tratamentos térmicos simulando o resfriamento de peças fundidas onde haverá a formação de fase sigma em temperaturas próximas a 850°C (Gunn, 2001). A influência das variações das quantidades de fases foi observada por meio de medidas do potencial de pite em meio salino com 3,5 % de cloreto de sódio, valor este, típico da concentração salina máxima nos oceanos Atlântico e Pacífico. Os resultados são importantes para verificar o efeito da temperatura nas características microestruturais do material e avaliar indiretamente a resistência ao desgaste tendo como objetivo a utilização em situações onde estes requisitos sejam fundamentais.

1.2. Objetivos

Atualmente, o interesse na prospecção de petróleo em águas profundas tem motivado o desenvolvimento tecnológico de aços e ligas especiais. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento térmico no aço inoxidável duplex SEW 410 W.Nr. 1.4517 considerando o efeito da fase sigma formada. A quantidade das fases foi avaliada por meio das técnicas de microscopia ótica e o efeito da variação destes valores nas amostras tratadas foi correlacionado às medidas de microdureza e medidas do potencial de pite.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras do aço austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 na forma de discos com 12 mm de diâmetro e 3mm de espessura foram solubilizadas a 1050°C durante uma hora. Para variar a quantidade de fase sigma estas amostras foram aquecidas na temperatura de 850°C durante 15, 30 e 60 minutos conforme as informações obtidas nos diagramas de transformação de fases dos inoxidáveis austeno-ferríticos (Gunn, 2001). Após o aquecimento e resfriamento ao ar as amostras foram lixadas e polidas conforme preparação metalográfica convencional. As microestruturas dos aços, na condição solubilizada e após tratamentos térmicos, foram observadas após ataque químico por imersão em reagente Behara. Para avaliar o efeito da transformação das fases foram feitas medidas de dureza Rockwell e de microdureza, conforme a norma ASTM A384/89 (1990), nas amostras antes e após tratamentos térmicos. Posteriormente foram obtidas as curvas de polarização para determinação do potencial de pite conforme a norma ASTM G5 (1994) em uma solução salina com 3,5% de cloreto de sódio. As medidas do potencial foram obtidas com varredura igual a 1,0 mV/s em um potenciostato-galvanostato PG 39-A acoplado a um microcomputador para aquisição e tratamento dos dados.

3. RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a composição química do aço inoxidável austeno-ferrítico utilizado neste trabalho. Na Tabela 2 estão apresentados os valores das porcentagens de fases e medidas de dureza Rockwell C das amostras antes e após o aquecimento a 850°C. Os valores de microdureza Vickers determinados nas diferentes fases estão mostrados na Tab. (3).

Tabela 1. Composição química do aço SEW 410 Nr. 14517 (% em peso).

Cr	Ni	Mo	Cu	Mn	Si	C	N	P	S
26,0	6,4	3,2	3,0	1,5	0,8	0,03	0,22	0,03	0,01

Tabela 2. Porcentagem de fases presentes e medida de dureza no aço SEW 410 após tratamento térmico a 850°C.

Tempo (min)	Ferrita (%)	Austenita (%)	Sigma (%)	Dureza RC
0*	57 ± 3	43 ± 2	0,00	23 ± 1
15	52 ± 3	43 ± 2	5 ± 2	25 ± 1
30	46 ± 2	44 ± 2	10 ± 2	29 ± 1
60	4 ± 1	45 ± 3	51 ± 4	39 ± 1

*Medidas realizadas em uma amostra solubilizada.

Tabela 3. Medida de microdureza Vickers (HV) no aço SEW 410 após tratamento térmico a 850°C. *Medidas realizadas em uma amostra solubilizada.

Tempo (min)	Ferrita + σ	Austenita
0*	305 ± 10	255 ± 8
15	550 ± 20	264 ± 12
30	576 ± 15	263 ± 7
60	692 ± 12	258 ± 10

As microestruturas características das amostras aquecidas a 850 °C durante 15, 30 e 60 minutos são mostradas nas Fig(s). 1a, 1b e 1c respectivamente. Todas foram resfriadas ao ar.

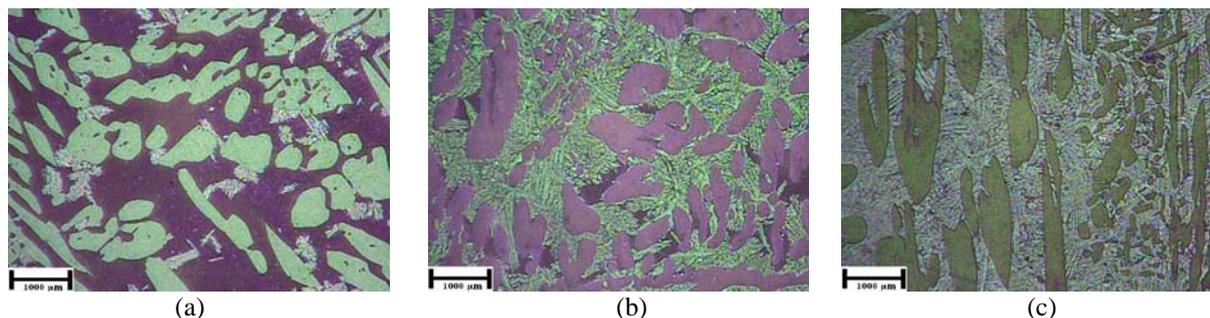
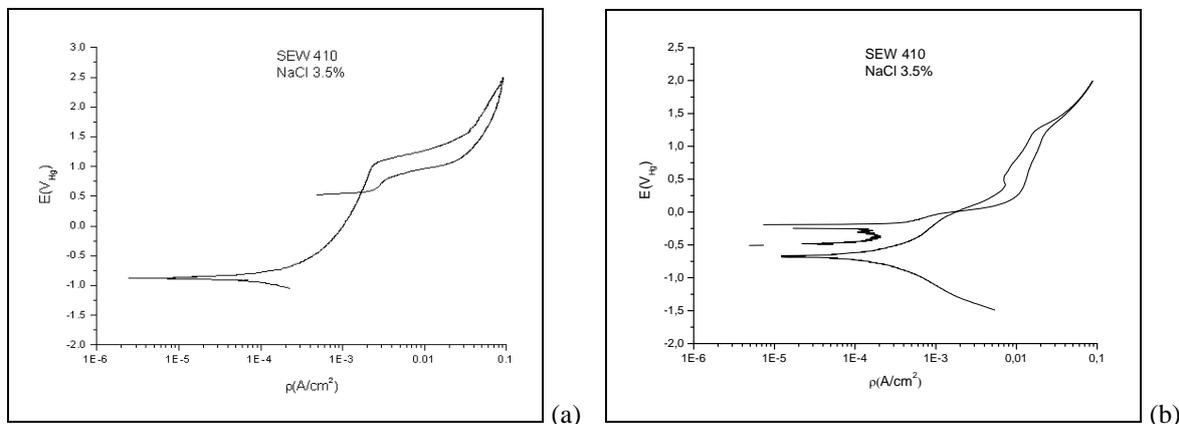


Figura 1. Amostras tratadas na temperatura de 850 °C durante: (a) 15 min, (b) 30 min, (c) 60 min.

Na Figura 2a é apresentada a curva de polarização do aço austeno-ferrítico solubilizado a 1050 °C. As Figuras 2b, 2c e 2d apresentam as curvas de polarização do mesmo aço após tratamento térmico a 850 °C durante 15, 30 e 60 minutos, respectivamente. Todas resfriadas ao ar.



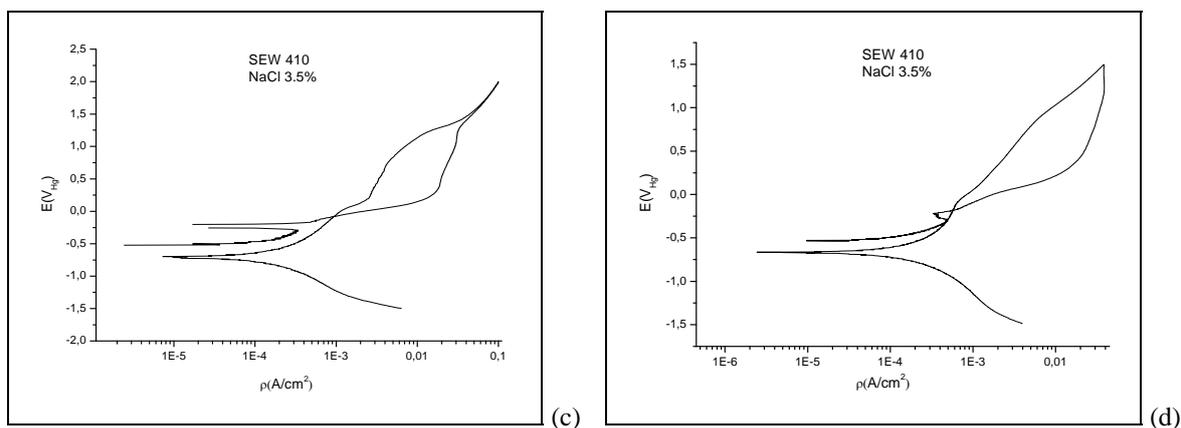


Figura 2. Curvas de polarização do aço austeno-ferrítico. (a) Amostra solubilizada a 1050 °C, (b) Amostra tratada durante 15 minutos a 850 °C, (c) Amostra tratada durante 30 minutos a 850 °C, (d) Amostra tratada durante 60 minutos a 850 °C.

Na Tabela 4 são apresentadas as medidas dos potenciais de pite obtidas na amostra solubilizada e tratada termicamente a 850°C nos tempos indicados.

Tabela 4. Medidas do potencial de pite do aço inoxidável SEW 410 solubilizado e após aquecimento a 850oC.

SEW 410	Potencial de pite
Solubilizado 1050 °C	1,19 ± 0,01
15 min / 850°C	1,15 ± 0,02
30 min / 850°C	1,00 ± 0,02
60 min / 850°C	0,92 ± 0,03

4. DISCUSSÃO

É possível observar na Tab. (2) o efeito da quantidade de fase sigma no aumento da dureza Rockwell C. Estes valores na amostra são mais representativos, pois com as medidas da microdureza Vickers os resultados são pontuais. Com relação aos últimos, fica confirmada a maior dureza de sigma comparando-se às outras fases (Tab. 3). Como sigma é uma transformação da ferrita, fica difícil diferenciar as duas fases e, portanto, os valores de microdureza representam a mistura das mesmas. A maior quantidade da transformação da ferrita em fase sigma, com o aumento do tempo de permanência da amostra na temperatura de 850 °C, é evidenciada nas Fig(s) 1a, 1b e 1c. Quanto aos valores do potencial de pite na Fig. (2) e Tab. (4), verifica-se uma diferença significativa nas amostras tratadas durante 30 e 60 minutos, embora com 15 minutos a redução seja pouco significativa. Assim é importante uma continuidade dos testes galvanostáticos em outras condições eletroquímicas, para avaliar com maior precisão o efeito da fase sigma na resistência à corrosão dos aços austeno-ferríticos. Estes novos resultados serão importantes para correlacionar a resistência ao desgaste e os valores do potencial de pite destes aços em diferentes ambientes agressivos.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram o efeito do tratamento térmico na formação da fase sigma e a influência da mesma na dureza e resistência ao pite de um aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517. Embora o aumento da dureza seja um indicativo de maior resistência ao desgaste é necessário avaliar as condições do meio em que o componente será utilizado, para que haja uma otimização do efeito de sigma com relação à resistência ao pite.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido por meio do projeto “Efeitos do nióbio no aço inoxidável austeno-ferrítico SEW Nr14517 utilizado na indústria petroquímica”, processo nº 45413860/09 da FAPES, e às instituições, CNPq e FUNCEFETS, pelas bolsas de iniciação científica concedidas.

7. REFERÊNCIAS

Bain, E.C.; Griffith, W.E., 1927, “An introduction to the iron-chromium-nickel alloys”, Transactions AIME, V.75, p.166-213.

- Charles, J. , 1991, “Conf. Proc. Stainless Steel”, Beaune, Les Éditions de Physique, 1991, Vol.1, 3-48.
- Finn, M. E. & Srivastava, A. K. , 2000, “Machining of Stainless Steel Proceedings”, International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, USA.
- Gunn, R.N. , 2001, “Duplex Stainless Steel: Microstructure, Properties and Applications”, Abington Publishing, Cambridge-England.
- Itman. A. ; Silva, R.V.; Gouvêa, C.A.R. ; Casteletti, L.C, 2007, “Evaluation of austenitic-ferritic stainless steel wires for orthodontic applications”, Journal of Testing and Evaluation, Vol. 36, No. 2.
- Kawalla, R. e Chabbi, L., 2000, “Metallurgical aspects of thermomechanical rolling in γ/α region and influence on the properties”, Proceedings International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, USA.
- Norström, L.A.; Pettersson, S.; Nordin, S., 1981, “ σ phase embrittlement in some ferritic-austenitic stainless steels”, Zeitsch Werkstofftech, v.12, p.229-234.
- Pickering, F.B., 1978, “Physical Metallurgy and the Design of Steels: Austenitic Stainless Steels”, Applied Science Publishers Ltd., Cap.11, p.227-268.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

THERMAL TREATMENT EFFECT ON THE MICROSTRUCTURE AND CORROSION RESISTANCE OF THE AUSTENITIC-FERRITIC STAINLESS STEEL SEW 410 NR. 14517 USED IN THE PETROCHEMISTRY INDUSTRY

Andre Itman Filho, andrei@ifes.edu.br
Cleybson Soledade Ferro, bison@ifes.edu.br;
Caroline Croce Pimenta, carol@ifes.edu.br
Rosana Vilarim da Silva, rosanavilarim@yahoo.com.br
Rodrigo Santos Messner, rodrigomessner@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Av. Vitória 1729, Jucutuquara, CEP 29040780, Vitória - ES

***Abstract.** The austenitic-ferritic stainless steels are part of a set of materials with singular characteristics favorable for several applications, including in replacement of austenitic stainless steel. These last ones show acceptable mechanical and corrosion resistance in several environments. The first works about the austenitic-ferritic stainless steel were published by Bain and Griffiths, which studied the microstructure of these alloys. The corrosion resistance of these steels is similar to austenitic steels, but they show better resistance to stress corrosion crack propagation. In the oil exploitation, the effect of erosion-corrosion in saline atmosphere is the main responsible for the increment in the equipments maintenance costs. Regarding the great interest in researches related to deep water oil exploitation, the proposal of this study was to evaluate the effect of the heat treatment at temperatures near to 850°C on the microstructure and hardness of the austenitic-ferritic stainless steel SEW 410 Nr. 14517 (Cr26Ni6Mo3Cu3). According the literature this temperature favors the sigma phase transformation that has high hardness. Although an increase of the wear resistance is observed, it is important to evaluate the effect of this phase in the steel corrosion resistance. So, galvanostatic tests were accomplished to observe the influence of the phase amount on the pitting potential of this steel in saline solution with 3.5% sodium chloride. The results shows that the sigma phase promotes hardness increase and corrosion resistance decrease. So, it is important to evaluate the work conditions of a component manufactured with this steel to optimize their use in situations in which wear is fundamental since there is a potential control of the saline environment.*

***Keywords:** austenitic-ferritic stainless steels, sigma phase, pitting potential.*