

ESTUDO DA VARIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NAS PROPRIEDADES CORROSIVAS EM LIGAS FEMNSICRNI(CO-TI) COM EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA

João Pedro de Oliveira Paz¹;
Rita de Cássia Mendonça Sales Contini²;
Heide Heloíse Bernardi³

Aluno do CST: Joao Pedro de Oliveira Paz; e-mail: joao.paz01@fatec.sp.gov.br¹
Professora da FATEC: Dra. Rita de Cássia Mendonça Sales Contini; e-mail: rita.sales@fatec.sp.gov.br²
Professora da FATEC: Dra. Heide Heloíse Bernardi; e-mail: heide.bernardi@fatec.sp.gov.br³

Área do conhecimento: Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Palavras-chave: Efeito de Memória de Forma; EMF; corrosão; ligas inoxidáveis; variação de composições.

INTRODUÇÃO

De acordo com Otubo (1996) o Efeito de Memória de Forma (EMF) é a capacidade de certos materiais voltarem ao estado ou à forma original com o aquecimento em temperaturas acima de A_f (temperatura de fim da transformação da martensita em austenita) após serem deformados no estado martensítico.

A recuperação de forma apresentada por esses materiais possibilita uma série de aplicações tecnológicas. As primeiras aplicações de ligas com EMF começaram na década de 70. Uma das mais notáveis dessas aplicações foi o acoplamento de tubulação hidráulica usado no F-14 (HARTL, 2007). Desde então diversas aplicações para as ligas com EMF vem sendo desenvolvidas e aplicadas em diversos campos desde a aeronáutica até a biomedicina.

Vários estudos em materiais com EMF vêm sendo realizados. Um ponto de interesse é o estudo da resistência a corrosão em ligas com EMF. Della Rovere et al. (2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2016), estudando ligas FeMnSiCrNi e FeMnSiCrNiCo mostraram que estes materiais exibem melhor resistência a corrosão do que os aços inoxidáveis 304, em ambiente oxidante.

Em ligas FeMnSiCrNi (SIMON, 2014), com ensaios de polarização potenciodinâmica mostrou que este material apresentou comportamento passivo parecido ao do aço inoxidável AISI 304, porém em meio de NaCl 3,5%, este material apresentou baixa resistência à corrosão, que segundo os autores, pode ser devido ao elevado teor de Mn do material, levando à corrosão por pites.

Baseado na literatura, o presente projeto apresenta um estudo sobre o comportamento de três diferentes composições, tendo como base a liga FeMnSiCrNi com a adição de Co e Ti, todas na condição solubilizada, submetidas a ensaios de corrosão em meio de NaCl 3,5%.

OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é o estudo da influência da variação de composição em ligas FeMnSiCrNi(Co-Ti) nas propriedades corrosivas das mesmas.

METODOLOGIA

Os aços inoxidáveis com EMF estudados neste trabalho tratam-se de três ligas de composições diferentes, sendo elas FeMnSiCrNi, FeMnSiCrNiCo e FeMnSiCrNiCoTi, cuja composição química está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química (% em peso) da liga inoxidável com EMF.

Liga	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Ti
FeMnSiCrNi	0,008	14,20	5,30	8,80	4,65	----	----
FeMnSiCrNiCo	0,009	8,26	5,25	12,8	5,81	11,84	----
FeMnSiCrNiCoTi	0,030	7,40	4,60	13,12	6,35	12,18	0,40

O tratamento térmico de solubilização foi realizado a 1050°C durante 1h seguido de resfriamento em água, nas ligas FeMnSiCrNi, FeMnSiCrNiCo e FeMnSiCrNiCoTi. Devido ao surgimento de precipitados na amostra com Ti, a mesma também foi solubilizada em 1050°C/5h e 1200°C/1h, seguido de resfriamento em água.

Todas as amostras foram preparadas metalograficamente e caracterizadas utilizando as técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), medidas de dureza vickers e ensaios de corrosão. Os ensaios de corrosão foram realizados com auxílio de um potenciostato/galvanostato da marca Autolab, modelo 302 N. O eletrodo de referência utilizado foi o de cloreto de prata e o contra eletrodo utilizado foi o eletrodo de platina. Foi utilizada uma solução 3,5% de NaCl como eletrólito. As massas das amostras foram medidas antes e depois dos ensaios de corrosão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos resultantes das análises de corrosão estão mostrados na Figuras 1, no qual é possível observar a polarização do material através dos gráficos da análise de Tafel.

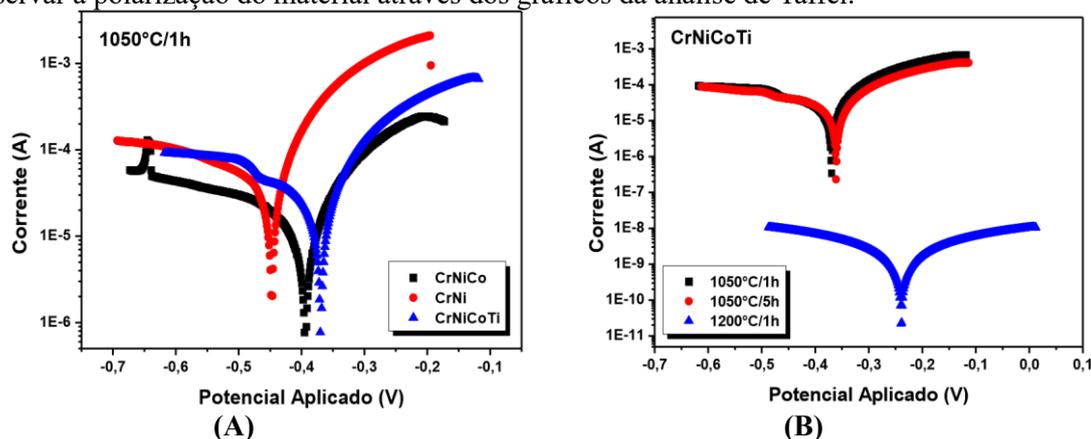
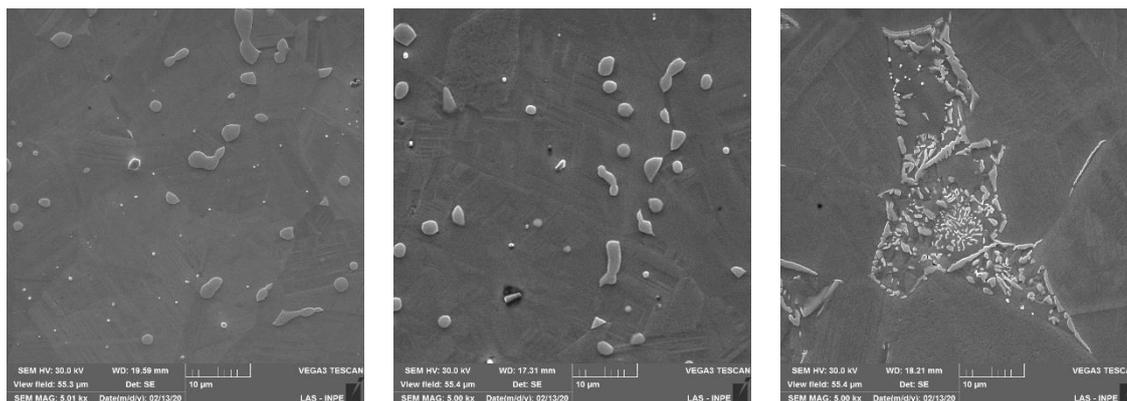


Figura 1. (A) Gráficos de Tafel das amostras FeMnSiCrNi, FeMnSiCrNiCo, FeMnSiCrNiCoTi solubilizadas em 1050°C por 1h. (B) Gráficos de Tafel da amostra FeMnSiCrNiCoTi solubilizada em 1050°C/1h, 1050°C/5h e 1200°C/1h.

A partir dos resultados obtidos foi possível determinar o potencial de corrosão de cada liga. A liga FeMnSiCrNi apresentou um potencial de corrosão de -0,447V. A liga FeMnSiCrNiCo apresentou um potencial de corrosão de -0,397V. A liga FeMnSiCrNiCoTi apresentou os melhores resultados, sendo eles -0,367V para o tratamento à 1050°C/1h, -0,360V para o tratamento à 1050°C/5h e -0,237V para o tratamento à 1200°C/1h. De acordo com Della Rovere (2011a e 2011b), o potencial de corrosão da liga AISI 304 é de -0,283V. Assim sendo, a liga FeMnSiCrNiCoTi tratada à 1200°C/1h apresentou um potencial de corrosão menor que a da liga AISI 304. De acordo com LIMA (2018), a adição de Ti melhora a resistência a corrosão devido ao refinamento do grão que pode ser explicado pela presença de partículas de uma segunda fase rica em titânio que, se localizadas nos contornos de grão, poderiam atuar como obstáculos contra o movimento de discordâncias. A Figura 2 apresenta as micrografias das amostras de FeMnSiCrNiCoTi, que apresentaram precipitados. A análise de EDS realizada nessas amostras apontou uma concentração do titânio nos precipitados, colaborando com LIMA (2018). Além disso, a liga FeMnSiCrNiCoTi tratada à 1200°C/1h apresentou menor valor de dureza ($226,5 \pm 14,2$ HV), mostrando que nessa temperatura os precipitados não interferem nas propriedades mecânicas, mas aumentam a resistência a corrosão.



(a)

(b)

(c)

Figura 2. Micrografia da amostra da liga CrNiCoTi solubilizadas em: (a) 1050°C/1h, (b) 1050°C/5h e (c) 1200°C/1h.

CONCLUSÕES

Baseados nos resultados, pode-se concluir que:

- a) A liga FeMnSiCrNiCoTi apresentou um bom desempenho quanto ao potencial de corrosão.
- b) Os precipitados apresentados na liga FeMnSiCrNiCoTi podem ser uma possível causa para o bom desempenho apresentado por essa liga.
- c) A liga FeMnSiCrNiCoTi tratada à 1200°C apresentou um potencial de corrosão menor que o da liga AISI 304. Mostrando-se um possível material de interesse para pesquisas e aplicações futuras

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa de Iniciação Tecnológica. Ao Dr. Jorge Otubo pelo fornecimento das ligas inoxidáveis com EMF. Ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais por fornecer os equipamentos utilizados durante os processos e a Fatec São José dos Campos – Prof. Jessen Vidal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DELLA ROVERE, C.A. Caracterização da resistência à corrosão de ligas inoxidáveis Fe-Mn-Si-Cr-Ni-(Co) com efeito de memória de forma. 2011. 130f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos. 2011a
- DELLA ROVERE, C.A.; ALANO, J.H.; OTUBO, J.; KURI, S.E. Corrosion behavior of shape memory stainless steel in acid media. *Journal of Alloys and Compounds*, V. 509, p.5376-5380, 2011b.
- DELLA ROVERE, C.A.; ALANO, J.H.; SILVA, R.; NASCENTE, P.A.P.; OTUBO, J.; KURI, S.E. Al. Influence of alloying elements on the corrosion properties of shape memory stainless steels. *Materials Chemistry and Physics*, V.133, p.668-673, 2012a.
- DELLA ROVERE, C.A.; ALANO, J.H.; SILVA, R.; NASCENTE, P.A.P.; OTUBO, J.; KURI, S.E. Characterization of passive films on shape memory stainless steels. *Corrosion Science*, V. 57, p.154-161, 2012b.

DELLA ROVERE, C.A.; SILVA, R.; HAMMER, P.; OTUBO, J.; KURI, S.E. Corrosion Behavior of Fe-Mn-Si-Cr-Ni-Co Shape Memory Stainless Steel in Highly Oxidizing Medium. *Materials Science Forum*, V. 869, p. 669-674, 2016.

HARTL, D.J., e Lagoudas, D.C. (2007). Aerospace applications of shape memory alloys. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 221(4), 535–552.

LIMA, P.C. Estudo do efeito da adição de titânio no tamanho de grão, nas temperaturas de transformação de fase e no Módulo Elástico da liga Cu-14Al-4Ni de efeito memória de forma obtida por fusão a arco e solidificação rápida a vácuo. 2018. Tese de Doutorado em Sistemas Mecatrônicos, Publicação ENM – 10/08/2018. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 108p.

OTUBO, J. Desenvolvimento de ligas inoxidáveis com efeito de memória de forma: elaboração e caracterização. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia de Materiais, 1996.

SIMON, R.W.; DELLA ROVERE, C.A.; GIORDANO, E.J.; KURI, S.E. Avaliação do efeito de memória de forma e da resistência à Corrosão de liga Fe-Mn-Si-Cr-Ni com baixo teor de Mn. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil.