

PROPRIEDADES MECÂNICAS E RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM BAIXOS TEORES DE INTERSTICIAIS (1).

Lauralice de Campos Franceschini Canale(2)

Herivelto Moreira dos Santos (3)

RESUMO

Foram realizados ensaios comparativos para dois tipos de aços inoxidáveis: um aço do tipo ferrítico E-BRITE com alto teor de cromo, e um austenítico do tipo 316-L. Os ensaios realizados possibilitaram o levantamento das propriedades mecânicas de tração e impacto em várias temperaturas e das características de corrosão através das curvas de polarização anódica. Os resultados obtidos mostraram que o aço inoxidável ferrítico do tipo E-BRITE poderia vir a substituir o 316-L em certas situações.

1 - Introdução

Atualmente a fabricação de aços inoxidáveis com baixos teores de elementos intersticiais (carbono e nitrogênio) tem sido possível graças ao advento de modernas técnicas de fusão como AOD, VOD e fusão por indução a vácuo (VIM) (1).

Nos Estados Unidos o desenvolvimento do aço inoxidável ferrítico do tipo E-BRITE pela Allegheny Ludlum Metals Co. veio de encontro a diversas tentativas de se tentar substituir os aços inoxidáveis austeníticos do tipo 316-L em ambientes extremamen

(1) Trabalho submetido ao I Seminário Brasileiro sobre Aços Inoxidáveis - ABM - São Paulo, 9 e 10 de outubro de 1989.

(2) Associada da ABM, Engenheira Mecânica, Mestra e Doutoranda em Metalurgia, Professora Assistente junto ao Departamento de Materiais da EESC-USP.

(3) Membro da ABM, Engenheiro de Materiais e Mestre em Metalurgia, Técnico Especializado de Nível Superior junto ao Departamento de Materiais da EESC-USP - Av. Dr. Carlos Botelho, nº 1465 - Telefone (0162) 71 2230 - Vila Pureza - São Carlos - SP - CEP 13 560.

te corrosivos ⁽²⁾.

O aço inoxidável do tipo E-BRITE se destinaria a substituir os aços austeníticos convencionais em diversas operações realizadas pelas indústrias químicas e petroquímicas ⁽³⁾, principalmente na forma de tubos utilizados em trocadores de calor ⁽⁴⁾.

Os baixos teores de elementos intersticiais estariam diretamente relacionados com uma maior resistência à corrosão e uma melhor ductilidade e soldabilidade do E-BRITE quando este é comparado com os aços inoxidáveis ferríticos convencionais ^(2,5,6).

O fato do aço inoxidável ferrítico do tipo E-BRITE ser praticamente isento de níquel faria com que este material substituisse com vantagem os tipos austeníticos especialmente em situações de corrosão sob tensão em diversos ambientes cáusticos e ácidos ⁽⁷⁾.

Com o objetivo de se verificar o comportamento de aços inoxidáveis submetidos a um meio corrosivo tem se utilizado nos últimos anos equipamentos como o potenciostato eletrônico, de grande valia para este tipo de estudo ⁽⁸⁾. É possível, com a utilização deste equipamento obter-se os parâmetros eletroquímicos para um dado meio corrosivo, através das curvas de polarização anódica.

Uma visão esquemática da curva de polarização anódica e dos parâmetros eletroquímicos que podem ser obtidos através dela são apresentados na figura 1.

O material que apresenta as melhores características de resistência à corrosão deve exibir:

- a) Os mais baixos valores para o potencial de corrosão e

densidade de corrente de corrosão (respectivamente, E_{corr} e I_{corr}).

b) Os menores valores da densidade de corrente de passivação primária e da densidade de corrente crítica de passivação (respectivamente I_{pp} e I_{cp}).

c) Baixos valores do potencial crítico de passivação (E_{cp}).

d) Valores elevados para o potencial de pite (E_{p}) e para a diferença $E_{\text{p}} - E_{\text{corr}}$.

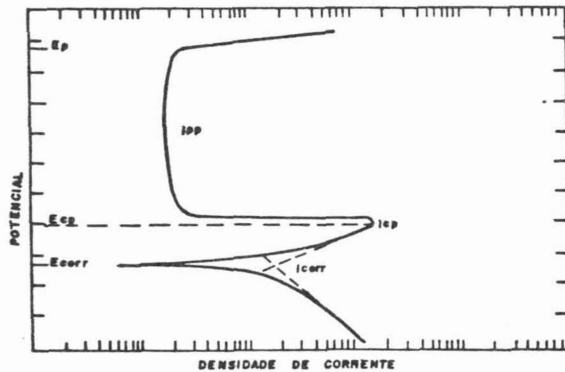


Figura 1 - Identificação dos parâmetros eletroquímicos de interesse sobre uma curva de polarização anódica.

Existem diversos resultados na literatura que apontam para o fato do aço inoxidável ferrítico do tipo E-BRITE poder substituir com vantagem o tipo austenítico 316-L em diversos meios corrosivos⁽⁹⁾. A tabela I mostra estes resultados.

Tabela I - Resistência à corrosão do aço inoxidável E-BRITE 26Cr - 1Mo comparada com o aço inoxidável austenítico do tipo 316-L⁽⁹⁾.

MEIO CORROSIVO	TAXA DE CORROSÃO (mm/ano)		
	TEMPERATURA	TIPO 316 L	26 Cr - 1 Mo
ácido acético conc.	ebulição	0,5	0,5
ácido acético conc. + 220 ppm Cl ⁻	ebulição	18,0	2,0
25% hidróxido de sódio	100°C	1,0	0,10
30% ácido fluorsilícico	ambiente	11,0	36,0
50% ácido fórmico	ebulição	3,30	0,10
85% ácido láctico	ebulição	0,10	0,10
85% ácido láctico + 100 ppm NaCl	ebulição	0,40	0,10
75% ácido nítrico	ebulição	3,70	1,40
10% ácido oxálico	ebulição	2,10	0,5
40% ácido sulfúrico	ambiente	7,10	30,0
50% cloreto de zinco	ebulição	0,90	0,50

O objetivo do presente trabalho é levantar e comparar as propriedades mecânicas de tração e impacto em diversas temperaturas e os parâmetros eletroquímicos de um aço inoxidável austenítico do tipo 316-L e um aço inoxidável ferrítico do tipo E-BRITE 26Cr - 1Mo, ambos de procedência nacional e com teores reduzidos de elementos intersticiais.

2 - Materiais e Métodos

Os materiais usados na presente investigação foram um aço inoxidável austenítico 316-L e um aço inoxidável ferrítico E-BRITE 26Cr - 1Mo cujas composições químicas são dadas na tabela II.

A quantidade de nitrogênio presente está expressa em partes por milhão (ppm) enquanto que todos os demais elementos tem suas quantidades expressas em termos de porcentagem em peso.

Tabela II - Composições químicas obtidas para os materiais estudados no presente trabalho.

Material	Composição Química	
316-L	C - 0,009 N - 41 Cr - 18,4 Mo - 2,2	Mn - 0,73 Si - 0,61 P - 0,011 S - 0,013 Ni - 8,4
E-BRITE	C - 0,008 N - 33 Cr - 27,4 Mo - 1,49	Mn - 0,25 Si - 0,21 P - 0,011 S - 0,013

Obteve-se as ligas acima em um forno de indução à vácuo e os lingotes foram, posteriormente, forjados até o formato de barras de seção quadrada com 25mm de lado, submetendo-se as mesmas, a seguir, a uma solubilização a 1200°C por 1 hora.

Obedeceu-se a seqüência convencional de preparação metalográfica, concluindo-se a mesma com polimento com pasta de diamante de 0,25µm e ataque com glyceregia. As micrografias apresentadas foram obtidas em um banco metalográfico marca ZEISS, tipo NEOPHOT 21.

As propriedades mecânicas de tração foram obtidas em uma máquina Instron de capacidade 10,0kN segundo recomendações das normas ASTM E370-77 e ASTM E21-79 desde a temperatura ambiente até 800°C a intervalos de 50°C.

As propriedades de impacto foram levantadas com o auxílio de uma máquina de ensaios de impacto de 350J de capacidade e de acordo com a norma ASTM E23-86 utilizando-se corpos de prova tipo Charpy com entalhe em V na faixa de temperatura de -60°C

a 60°C.

Para o levantamento das curvas de polarização anódica retirou-se amostras de formato circular com cerca de 1cm^2 de área das barras forjadas e solubilizadas. Tais amostras foram lixadas até lixa 600 e posteriormente polidas em óxido de cromo e pasta de diamante de $0,5\mu\text{m}$. Após completamente polidas as amostras eram cuidadosamente limpas em benzeno e a seguir com água destilada.

Tal procedimento foi adotado para todas as amostras tentando-se com isto garantir a maior reprodutibilidade possível das condições superficiais dos materiais ensaiados.

As amostras foram ensaiadas em situação de polarização anódica em um potenciostato de procedência TACUSSEL.

O eletrólito utilizado para o levantamento das curvas de polarização anódica foi uma solução de 1,0N de H_2SO_4 + 0,5N de NaCl (pH 0,9), utilizando-se parte desta solução para a limpeza da célula de polarização. Utilizou-se um eletrodo de calomelano saturado como eletrodo de referência e um de platina como eletrodo auxiliar. Procurou-se manter para todas as amostras ensaiadas uma distância absolutamente constante entre o corpo de prova (eletrodo de trabalho) e o eletrodo de calomelano (2mm).

O potencial de repouso ou de corrosão (E_{CORR}) foi medido com o sistema de varredura e o eletrodo auxiliar de platina deligados. Esperou-se cerca de 4 horas para que o potencial entre o eletrodo de trabalho e o de referência alcançasse um valor que permanecesse praticamente constante.

O eletrólito era, então, retirado da célula de polarização a mesma era novamente lavada com solução fresca e depois de se

reproduzir as condições superficiais dos corpos de prova, iniciava-se o ensaio de polarização anódica propriamente dito.

O registro das curvas foi obtido por meio de um traçador $E \times \log I/\text{cm}^2$, utilizando-se programadores com duas velocidades de varredura diferentes: 0,27 e 1,38 mV/seg.

Antes do início de cada varredura, submetia-se as amostras durante cerca de 10 minutos a um potencial predeterminado de -700mV com a finalidade de se dissolver os óxidos superficiais que pudessem ter se formado previamente sobre os materiais a serem ensaiados.

De posse das curvas de polarização anódica, determinou-se diretamente os valores dos parâmetros eletroquímicos de interesse.

3 - Resultados e Discussão

As figuras 2 e 3 mostram as microestruturas das ligas estudadas no presente trabalho, ambas solubilizadas a 1200°C durante 1 hora.

As figuras 4, 5, 6 e 7 mostram como variam as propriedades mecânicas de tração (tensão de resistência, tensão de escoamento, alongamento e estrição) para as duas ligas estudadas.

Observa-se para as duas ligas estudadas uma contínua diminuição dos parâmetros de resistência (σ_R e σ_e) à medida que a temperatura aumenta.

Até cerca de 500°C os valores de σ_R e σ_e são ligeiramente superiores para a liga E-BRITE. A partir de 500°C observa-se uma queda mais acentuada nestes parâmetros de resistência para a liga E-BRITE que passa a ser suplantada pelo aço inoxidável 316-L.

A estrição e o alongamento total aumentam continuamente para os dois materiais estudados, sendo que o aço inoxidável 316-L apresenta os maiores valores para estas duas propriedades em comparação com a liga E-BRITE, em todas as temperaturas.

A figura 8 mostra que a resistência ao impacto é significativamente maior para o aço 316-L em comparação com a liga E-BRITE para toda a gama de temperaturas de ensaio.

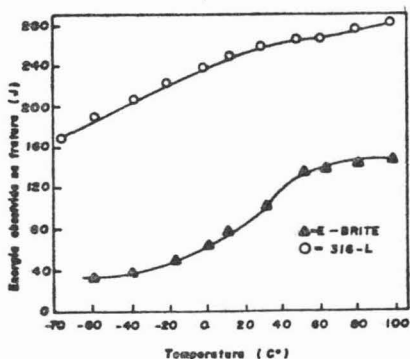


Figura 8 - Energia absorvida no ensaio de impacto em função da temperatura.

As tabelas III e IV exibem os valores dos diversos parâmetros eletroquímicos que foram obtidos a partir das curvas de polarização para as duas velocidades de varredura utilizadas: 0,27mV/seg e 1,38mV/seg.

De uma maneira geral nota-se que a liga E-BRITE apresenta resultados mais satisfatórios que o aço inoxidável 316-L em termos das características de corrosão estudadas.

4 - Conclusão

Uma análise geral dos resultados obtidos mostra que o aço inoxidável ferrítico E-BRITE 26Cr-1Mo poderia vir a ser um substituto interessante para o aço inoxidável austenítico do tipo 316-L. Isto seria verdadeiro muito mais em termos das características de resistência à corrosão do que em termos das propriedades mecânicas de tração e impacto nas diversas temperaturas estudadas.

5 - Referências Bibliográficas

- (1) DAVISON, R. M. & STEIGERWALD, R. F. The new ferritic stainless steels. Metal Progress: 40-46, June 1979.
- (2) VAN CLEAVE, D. A. New family adopts E-BRITE stainless. Iron Age, 221(27):47-50, March 1978.
- (3) STREICHER, M. A. New stainless steels for the process and power industries. Metal Progress, 128(5):29-42, 1985.
- (4) FRANSON, I. A. Ferritic stainless steels for petrochemical and other process service. Paper presented at the 1984 Western Regional Conference of the National Assn. of Corrosion Engineers, Edmond, Alta. 28 feb.-1march, 1984, 32 pages.
- (5) NICHOL, T. J. et al Embrittlement of ferritic stainless steels. Metallurgical Transactions A, 11A:573-585, April 1980.
- (6) STEIGERWALD, R. F. et al The physical metallurgy of Fe-Cr-Mo ferritic stainless steels. In: Stainless Steels'77, Climax Molybdenum Company.
- (7) TRUMAN, J. E. Stress corrosion cracking of martensitic and ferritic stainless steels. International Metals Reviews, 26(6):301-349, 1981.
- (8) BABOIAN, R. ed. Electrochemical techniques for corrosion. Paper presented at the Symposium on Electrochemical Techniques for Corrosion at the NACE. Corrosion Meeting held in Houston-Texas, March 1976, pages 22-26.
- (9) Avico Vacuum Metals "E-Brite 26-1: Meeting the challenge" Div. Avico Inc. Berkley, California - 1975. 22p.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sr. Pedro Luiz Di Lorenzo pela competente preparação metalográfica dos materiais estudados e à Sra. Denise Martins Morales pelo precioso trabalho de datilografia.

Summary

In the present work the mechanical properties in several temperatures and corrosion characteristics of E-BRITE and 316-L stainless steels were determined.

The results showed that ferritic type E-BRITE would be an interesting material to be employed instead 316-L austenitic type.

Tabela III - Valores dos parâmetros eletroquímicos das curvas de polarização das ligas ensaiadas a 25°C, com uma velocidade de varredura igual a 0,27mV/seg.

MATERIAL	E-BRITE	316-L
E_{corr} (mV)	-380	-320
E_{cp} (mV)	-280	-250
E_p (mV)	150	110
$E_p - E_{corr}$ (mV)	530	430
$\frac{I_{corr}}{10^5}$ (A/cm ²)	1,25	1,50
$\frac{I_{cp}}{10^5}$ (A/cm ²)	1,80	2,30
$\frac{I_{pp}}{10^5}$ (A/cm ²)	0,20	0,48

Tabela IV - Valores dos parâmetros eletroquímicos das curvas de polarização das ligas ensaiadas a 25°C, com uma velocidade de varredura igual a 1,38mV/seg.

MATERIAL	E-BRITE	316-L
E_{corr} (mV)	-370	-310
E_{cp} (mV)	-285	-245
E_p (mV)	158	115
$E_p - E_{corr}$ (mV)	528	425
$\frac{I_{corr}}{10^5}$ (A/cm ²)	1,30	1,45
$\frac{I_{cp}}{10^5}$ (A/cm ²)	1,75	2,25
$\frac{I_{pp}}{10^5}$ (A/cm ²)	0,25	0,50

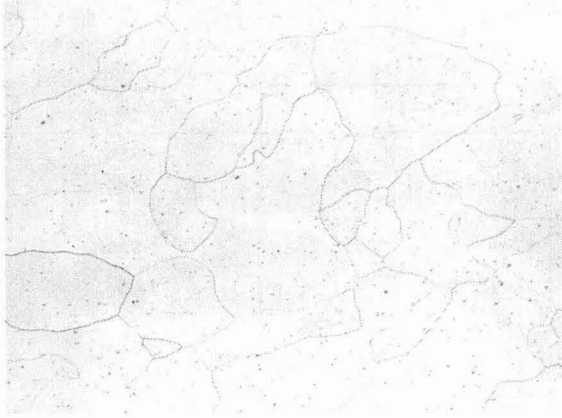


Figura 2 - Microestrutura da liga E-BRITE na condição solubilizada a 1200°C . Aumento: 87X. Ataque: Glyceregia.

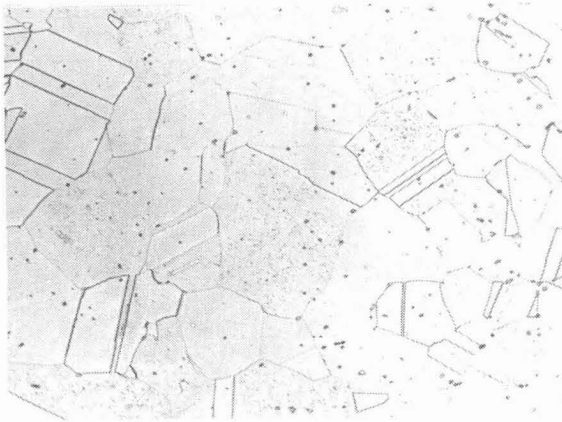


Figura 3 - Microestrutura do aço 316-L na condição solubilizada a 1200°C . Aumento: 87X. Ataque: Glyceregia.

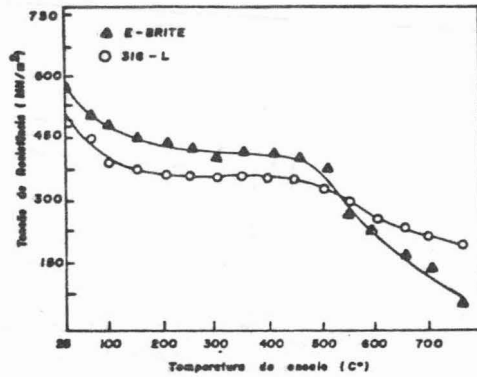


Figura 4 - Variação da tensão de resistência com a temperatura de ensaio.

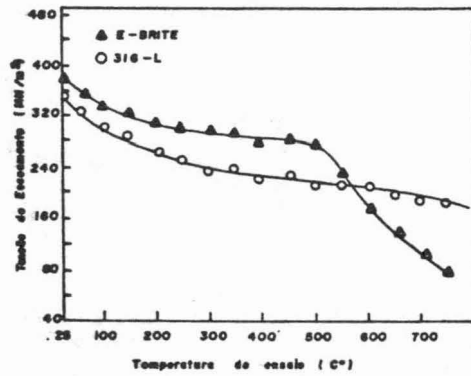


Figura 5 - Variação da tensão de escoamento com a temperatura de ensaio.

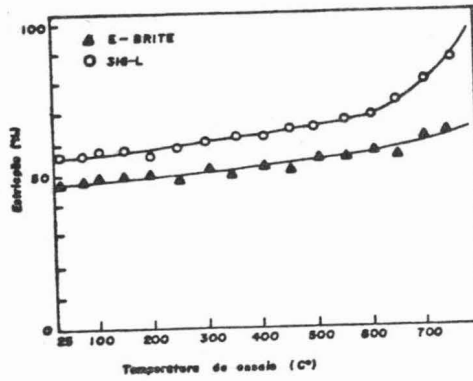


Figura 6 - Variação da estrição com a temperatura de ensaio. de

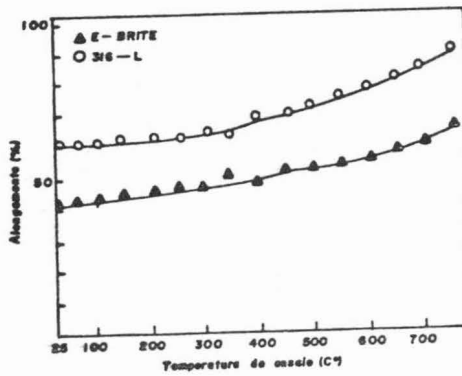


Figura 7 - Variação do alongamento total com a temperatura de ensaio.