

Tema: Iniciação Científico-Tecnológica

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO À CORROSÃO E À CORROSÃO SOB TENSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL DÚPLEX AISI 318 EM MEIO CONTENDO CLORETO*

Leandro Brunholi Ramos¹
Maiquel Antoniazzi da Rosa²
Cristiane de Souza Brandolt³
Roberto Moreira Schroede⁴
Iduvirges Lourdes Müller⁵

Resumo

Foi estudado o efeito da temperatura no comportamento à corrosão sob tensão do aço inoxidável dúplex AISI 318 em solução contendo 115.000 ppm de cloreto, pH4 a temperatura ambiente e a 70°C. Ensaios de tração com baixa taxa de deformação foram realizados. Foi avaliada a susceptibilidade do aço inoxidável dúplex AISI 318 à corrosão sob tensão no potencial de circuito aberto e em vários potenciais anódicos e catódicos. Os resultados mostraram que a redução do alongamento variou com o potencial aplicado. Os resultados experimentais mostraram que o aço AISI 318 ficou imune à corrosão sob tensão em potencial entre -750 mV_{ECS} e 1.000 mV_{ECS} na temperatura ambiente e entre -650 e -100mV_{ECS} para a temperatura de 70°C. Em potenciais maiores que o potencial de pite observou-se uma redução drástica no alongamento em ambas as temperaturas. No entanto, quando os potenciais aplicados foram abaixo de -650 mV_{ECS} para a temperatura de 70°C e -750mV_{ECS} para a temperatura ambiente, houve uma redução no alongamento final até a ruptura, provavelmente através do processo de fragilização por hidrogênio.

Palavras-chave: Aço inoxidável dúplex; Corrosão sob tensão; Ensaio de tração com baixa taxa de deformação.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON STRESS CORROSION CRACKING BEHAVIOUR OF DÚPLEX STAINLESS STEEL AISI 318 IN SOLUTION CONTAINING CHLORIDE

Abstract

The effect of temperature on the stress corrosion cracking behavior of an AISI 318 duplex stainless steel in a 115,000 ppm chloride ions solution with pH4 at room temperature or 70°C was investigated. Slow strain rate testing was performed. The susceptibility of an AISI 318 duplex stainless steel to stress corrosion cracking at open circuit potential and at various anodic and cathodic potentials was evaluated. The results showed that the reduction in the elongation varied with the applied potential. The experimental results showed that AISI 318 was immune to stress corrosion cracking in potentials between -750 and 1,000mV_{ECS} at room temperature and between -650 and -100mV_{ECS} at 70°C. At potentials higher than the pitting potential, a dramatic reduction in elongation was observed, in both temperatures. However, when the potential was held below -650mV_{ECS} at 70°C and -750 mV_{ECS} at room temperature, a reduction in maximum elongation until rupture was observed, probably through hydrogen embrittlement mechanism.

Key words: Duplex stainless steel; Stress corrosion cracking; Slow strain rate testing.

¹ Estudante de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Mestre em Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Doutor em Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁵ Professora Doutora UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis dúplex têm essa designação devido a sua microestrutura ser constituída de duas fases, ferrita (α) e austenita (γ) [1]. O equilíbrio entre as fases é obtido principalmente pelo ajuste da composição química do cromo (Cr), níquel (Ni) e pelos tratamentos térmicos adequados [2].

Desde 1970, muitos estudos têm sido dedicados ao desenvolvimento e aprimoramento de processos de produção desse tipo de liga, bem como em pesquisas na área de corrosão. Como resultados os aços inoxidáveis dúplex estão hoje sendo empregados em uma ampla gama de aplicações como material estrutural em vários setores industriais, entre eles, na produção de petróleo em plataformas off shore [3,4].

O alto teor de Cr e molibdênio (Mo) em conjunto com o nitrogênio, dão origem a uma elevada resistência à corrosão por pites em soluções contendo cloretos.

Os aços inoxidáveis dúplex também possuem uma maior resistência à corrosão sob tensão (CST) comparado aos aços inoxidáveis austeníticos [5].

A susceptibilidade dos aços inoxidáveis dúplex na CST tem sido estudada recentemente. Laitinen e Hanninen [6] investigaram a CST do dúplex UNS S31803 em solução contendo 50% em massa de CaCl_2 em 100°C . Eles observaram que o crescimento das trincas foram principalmente através da fase austenítica. Pelo contrário, Jargelius et al. [7], concluíram que em vez da ferrita, a austenita foi a fase que impediu a propagação da trinca, em várias soluções contendo cloreto, aquecidas até a temperatura de ebulição, 43,5% MgCl_2 , 63% CaCl_2 e 50% de LiCl. Estas informações indicam que existem algumas controvérsias quanto ao efeito da microestrutura sobre os mecanismos da CST dos aços inoxidáveis dúplex, denotando assim, a necessidade de mais estudos sobre o comportamento desta liga em sistemas sob tais circunstâncias.

Além disso, a iniciação de uma trinca favorecida pela CST em meio contendo cloreto pode estar associada aos mecanismos de corrosão por pites ou dissolução seletiva de fases [6-8].

Uma das formas de proteção contra corrosão geralmente utilizada é a proteção catódica. Entretanto quando estes potenciais aplicados se encontram muito abaixo do potencial de corrosão do aço, a produção de hidrogênio pode ser considerável. Os aços inoxidáveis dúplex são considerados resistentes à fragilização por hidrogênio devido à estrutura dúplex com a austenita dúctil agindo no sentido de impedir a propagação da trinca nesse aço a partir da fase ferrítica, que por sua vez, é mais susceptível à fragilização por hidrogênio, devido à difusão preferencial do H em sua rede cristalina [9].

Segundo Shreir et al. [10], a resistência a ruptura, pela propagação de trincas geradas por CST, nos aços inoxidáveis dúplex varia com a temperatura, sendo menor na faixa dos $60\text{-}90^\circ\text{C}$ do que a temperatura ambiente. O mecanismo detalhado de nucleação das trincas é complexo, pois envolve interações entre as diferentes respostas mecânicas e eletroquímicas das fases ferrita e austenita.

Este trabalho tem a intenção de avaliar a influência da temperatura sobre a resistência à corrosão sob tensão do aço inoxidável dúplex AISI 318 em solução contendo íons cloreto, saturada com CO_2 através da técnica de baixa taxa de deformação. Além de estudar o efeito da temperatura sobre o mecanismo de CST desses aços, será estudado também o efeito do potencial aplicado, empregando potenciais anódicos e catódicos nos ensaios, avaliando a influência dos mesmos sobre a susceptibilidade à corrosão sob tensão da liga estudada.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste estudo foi o aço inoxidável dúplex AISI 318 com composição química mostrada na tabela 1. Esse material passou pelo processo de laminação até adquirir o formato de barras de 1000 mm de comprimento por 16 mm de diâmetro, posteriormente sofreu tratamento térmico de normalização. As microestruturas obtidas após tratamento térmico, nos cortes, longitudinal e transversal, podem ser observadas na figura 1(a) e (b), respectivamente.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável dúplex AISI 318, realizada por espectrometria de emissão atômica.

Elemento	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	S	P	Nb
Percentual em massa (%)	0,02	0,43	1,51	5,43	22,76	2,81	0,157	0,0008	0,024	0,02

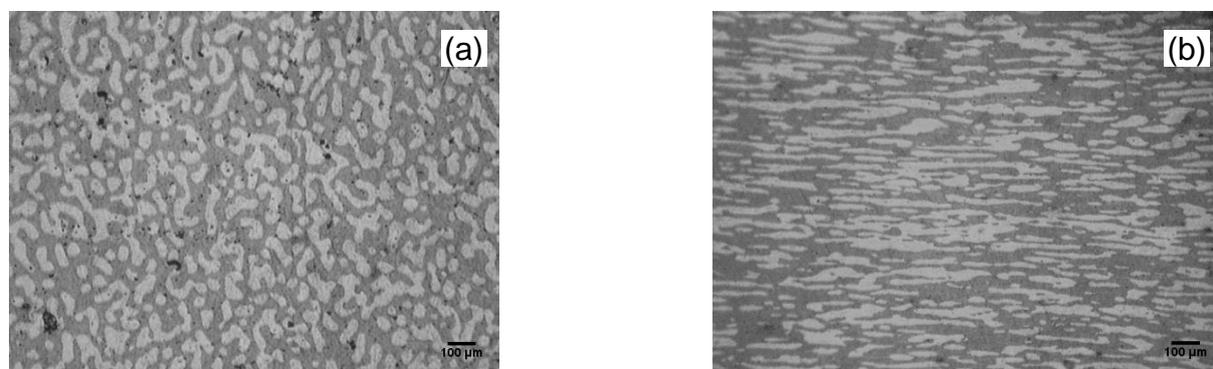


Figura 1. Micrografia em microscópio óptico do aço inoxidável dúplex AISI 318, microestruturas apresentadas após corte longitudinal (a), e transversal (b). Regiões claras e escuras representam as fases austenita e ferrita, respectivamente.

A solução aquosa empregada nos ensaios foi de NaCl contendo 115.000 ppm e pH 4 ajustado com a adição de ácido acético, saturada em CO₂ durante todo o ensaio. As curvas de polarização potenciodinâmicas foram obtidas com um potenciostato EG&G Princeton Applied Research Modelo 273, com velocidade de varredura de potencial igual a 1mV/s. Utilizou-se uma célula eletroquímica composta de três eletrodos: eletrodo de referência de calomelano saturado (ECS), um contra eletrodo de platina e o corpo de prova (eletrodo de trabalho). Nas curvas de polarização realizadas a 70°C utilizou-se um banho termostático para o aquecimento da célula eletroquímica de dupla camisa. Os corpos de prova foram preparados com lixas de SiC até a granulometria 1000, montados em resina epóxi, conectados à parte traseira através de um fio de cobre. A determinação das curvas de polarização foram iniciadas com 50mV abaixo e acima do potencial de circuito aberto para as curvas anódicas e catódicas, respectivamente.

Nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação, a velocidade utilizada foi de $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, até a ruptura do corpo de prova. Os corpos de prova foram usinados segundo as regras da norma NACE TM0177-90 [11], conforme ilustrado na figura 2, e lixados até a granulometria 600 com a finalidade de remover as marcas de usinagem.

Foram realizados ensaios de tração com baixa taxa de deformação no meio corrosivo e ao ar, sem e com a aplicação de potenciais, em temperatura ambiente e

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

na temperatura de 70° C. Utilizou-se óleo mineral neutro como meio para realização de um ensaio de tração na temperatura de 70°C. Nos ensaios realizados a 70°C utilizou-se uma célula de dupla camisa composta de duas câmaras, sendo elas: interna, responsável por comportar o eletrólito e o corpo de prova e a câmara externa, por onde passa o fluxo de água aquecida, originada de um banho termostático com a finalidade de aquecer o eletrólito da câmara interna.

Para os ensaios de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de potencial foram utilizados resultados das curvas de polarização como referência para escolha dos potenciais catódicos e anódicos a serem aplicados.

Na caracterização física das amostras, após ruptura dos corpos de prova, empregou-se um microscópio eletrônico de varredura Jeol, modelo JSM 5800, operando a 25 kV, um microscópio óptico Leica DMR e um microscópio estereoscópico modelo Optech-Bel Photonics SZT.

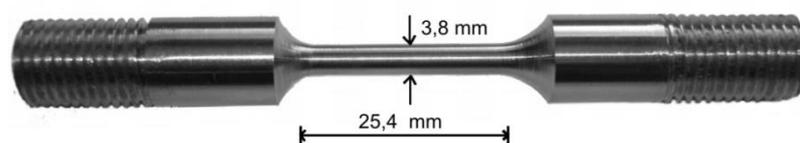


Figura 2. Dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de tração, segundo a norma NACE TM0177-90 [11].

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CURVAS DE POLARIZAÇÃO

As curvas de polarização do aço dúplex nas temperaturas de 25° C e 70° C são observadas na figura 3. Nota-se grande influência da temperatura no comportamento à corrosão do aço inoxidável dúplex. Quando se passa de 20° C para 70° C ocorre um aumento de aproximadamente 20 vezes no valor da densidade de corrente passiva, também observa-se uma redução significativa na zona de passivação na temperatura de 70° C em comparação à curva de polarização realizada na temperatura ambiente, além de baixar levemente o potencial de corrosão (E_{corr}). O maior efeito, entretanto, é observado no potencial de pite (E_{pite}), que cai aproximadamente de 950mV_{ECS}, a temperatura ambiente, para valores da ordem de -150mV_{ECS} a 70°C, tornando esse material muito mais susceptível a corrosão sob tensão nessa temperatura, já que em muitos sistemas o pite funciona como um concentrador de tensões e um iniciador desse tipo de corrosão.

A tabela 2 apresenta os parâmetros de corrosão: potencial de corrosão, (E_{corr}), densidade de corrente de corrosão, (I_{corr}), pela extrapolação das retas de Tafel, e o potencial de pite (E_{pite}) obtidos a partir da figura 3.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

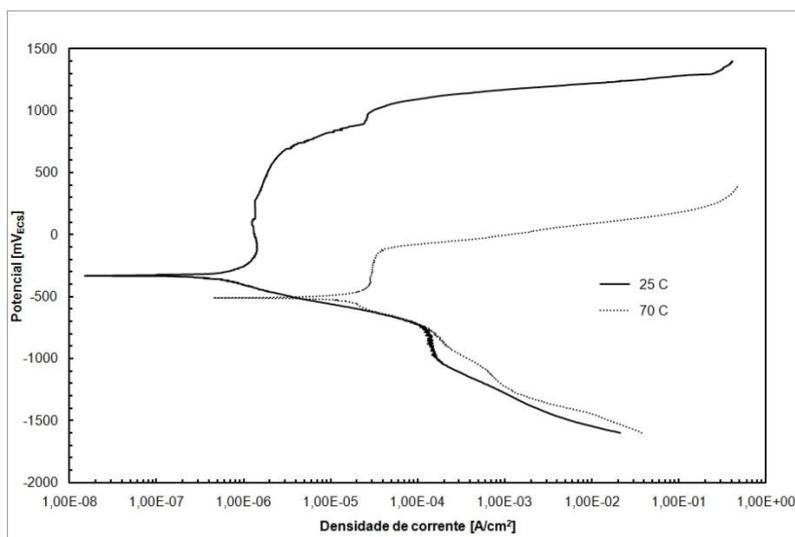


Figura 3. Curvas de polarização do aço inoxidável dúplex, AISI 318, realizadas em temperatura ambiente e a 70°C.

Tabela 2. Valores dos parâmetros de corrosão obtidos através das curvas de polarização.

Temperatura (°C)	E_{corr} (mV _{ECS})	I_{corr} (A/cm ²)	E_{pite} (mV _{ECS})
25	- 330	$2,7 \times 10^{-7}$	950
70	- 507	$8,0 \times 10^{-6}$	- 150

A figura 4 apresenta a imagem obtida através do microscópio estereoscópico, mostrando a superfície do corpo de prova contendo pites, após ser submetido ao ensaio potenciodinâmico a 70° C.



Figura 4. Morfologia em microscópio óptico dos pites formados no corpo de prova de aço inoxidável dúplex após ensaio potenciodinâmico a 70°C.

3.2 Ensaios de Baixa Taxa de Deformação

3.2.1 Potenciais catódicos

O efeito da aplicação de potenciais catódicos sobre o alongamento no ensaios de tração com baixa taxa de deformação na temperatura ambiente é demonstrado na figura 5.

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

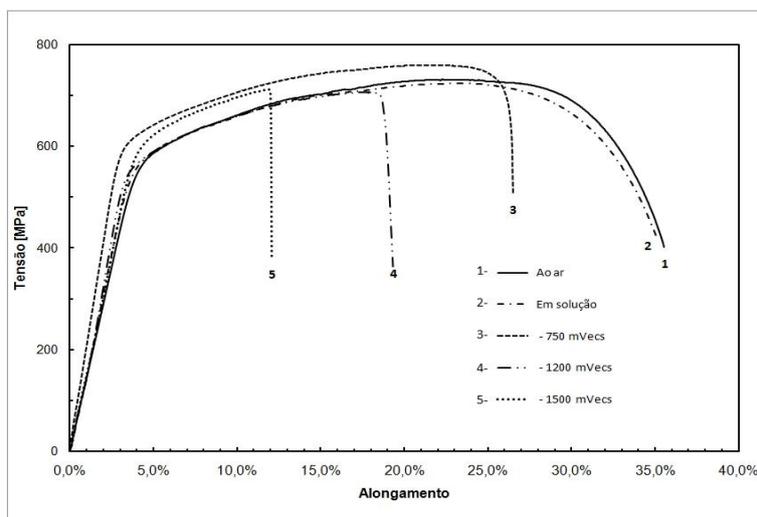


Figura 5. Efeito do potencial catódico aplicado nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação do AISI 318, na temperatura ambiente, velocidade de $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

Os resultados, observados na figura 5, indicam uma grande influência do potencial aplicado sobre o alongamento total do aço registrado. Observa-se que, quanto menor (mais negativo) o potencial aplicado, menor o alongamento total do corpo de prova. Provavelmente a fase ferrita, que é susceptível a fragilização por hidrogênio, esteja comprometendo a integridade de todo o aço.

Resultados semelhantes são observados na figura 6, onde também observa-se os ensaios de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de potenciais catódicos, mas realizados na temperatura de 70° C .

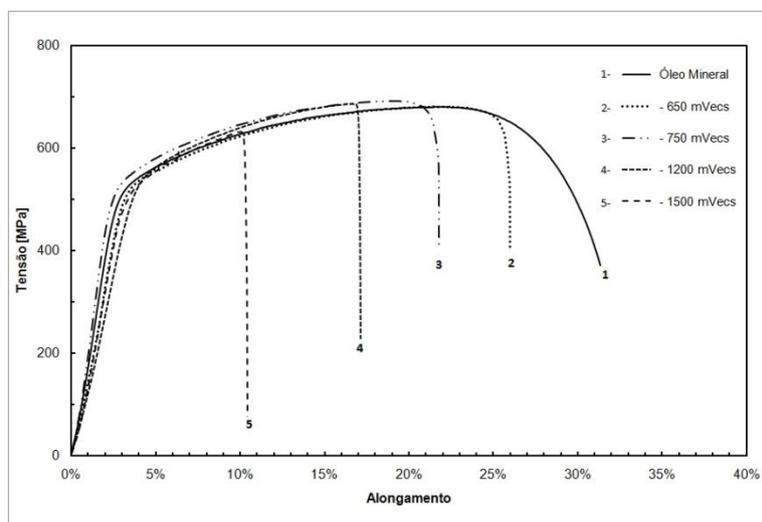


Figura 6. Efeito do potencial catódico aplicado nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação do AISI 318, na temperatura de 70° C , velocidade de $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

Nos ensaios mostrados na figura 6, na temperatura de 70° C , em comparação aos resultados da figura 5, na temperatura ambiente, em potenciais equivalentes, podemos observar uma redução no alongamento máximo perceptível em todos os potenciais com o aumento da temperatura. Pode-se supor que este efeito esteja relacionado a um aumento na velocidade de difusão do hidrogênio na rede cristalina do aço.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Tanto na temperatura ambiente como na temperatura de 70° C, os ensaios de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de potenciais catódicos, mostraram uma redução da extrincção em função dos potenciais aplicados, como pode-se observar na figura 7, que ilustra as macrografias das fraturas dos corpos de prova utilizados nos ensaios de de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de potenciais catódicos na temperatura de 70° C. Também foram observadas, através do microscópio óptico, a presença de microtrincas na superfície dos corpos de prova perpendiculares a direção do carregamento, resultantes da fragilização do aço, provenientes de ensaios de tração com aplicação de potenciais catódicos, como podemos visualizar na figura 8a e na figura 8b, correspondentes às micrografias dos corpos de prova remanescentes dos ensaios de tração realizados a temperatura ambiente com aplicação de potencial catódico de -1,5V_{ECS}. Essas microtrincas parecem atravessar indistintamente as duas fases que compõe o aço.

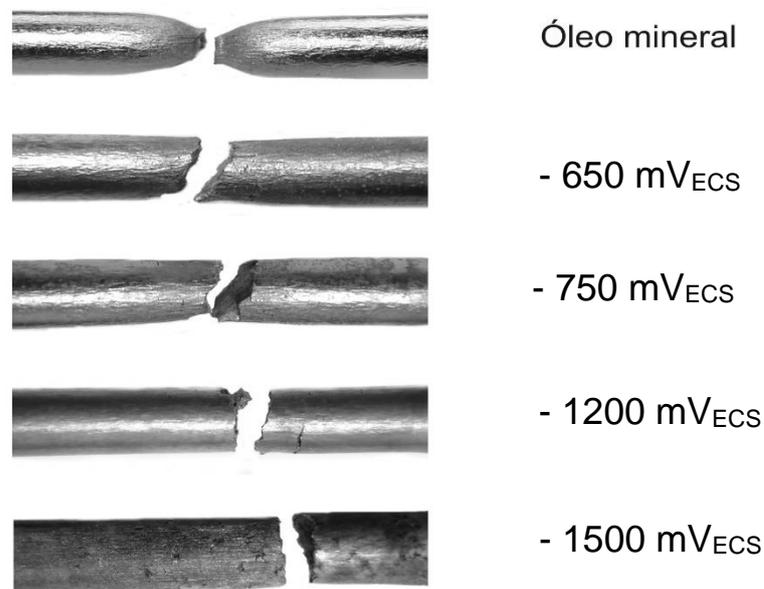


Figura 7. Macrografias das fraturas dos corpos de prova do AISI 318 após ensaio de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de diferentes potenciais catódicos na temperatura de 70°C.

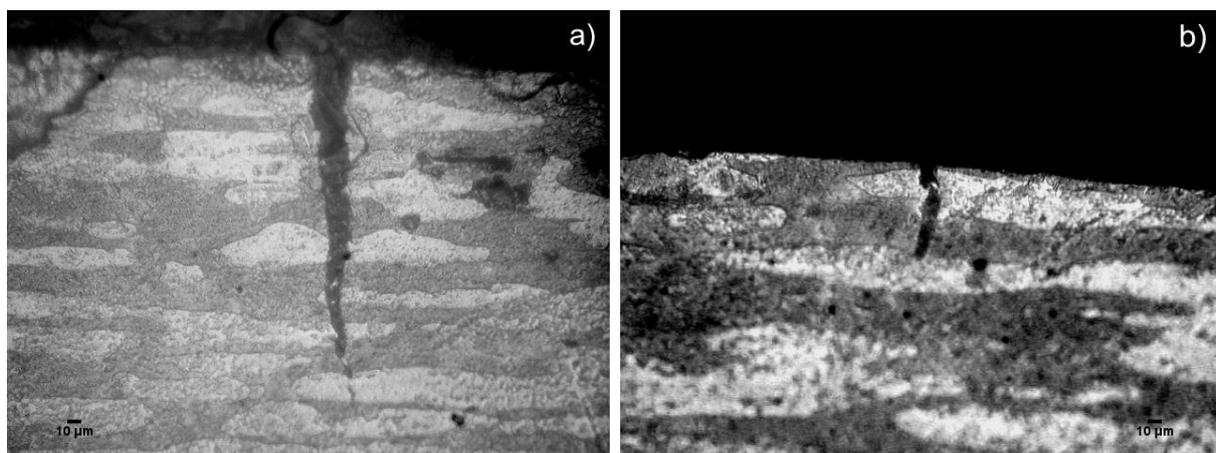


Figura 8. Micrografias em microscópio óptico evidenciando a presença de microtrincas no corpo de prova de aço inoxidável dúplex após ensaio de tração a temperatura ambiente, com aplicação de potencial de -1,5V_{ECS}.

3.2.2 Potenciais anódicos

Ensaio de tração com baixa taxa de deformação e com aplicação de potenciais anódicos foram realizados nas temperaturas de 25 e 70°C. Os resultados podem ser observados nas figuras 9 e 10, respectivamente.

A influência do potencial anódico aplicado nos ensaios de tração à baixa taxa de deformação, em ambas as temperaturas, 25 e 70°C, somente são observados nos potenciais iguais ou superiores ao de pite. Observando-se as curvas de polarização do aço dúplex, para a temperatura ambiente e 70°C, verifica-se que o potencial de pite, como já mencionado anteriormente, diminui consideravelmente quando se passa de de 25°C para 70°C, tornando essa temperatura, de 70°C, bem mais perigosa em termos de fragilização, já que o potencial de pite a 70°C se encontra muito próximo do potencial de corrosão. O mesmo não é observado na curva de polarização realizada em 25°C.

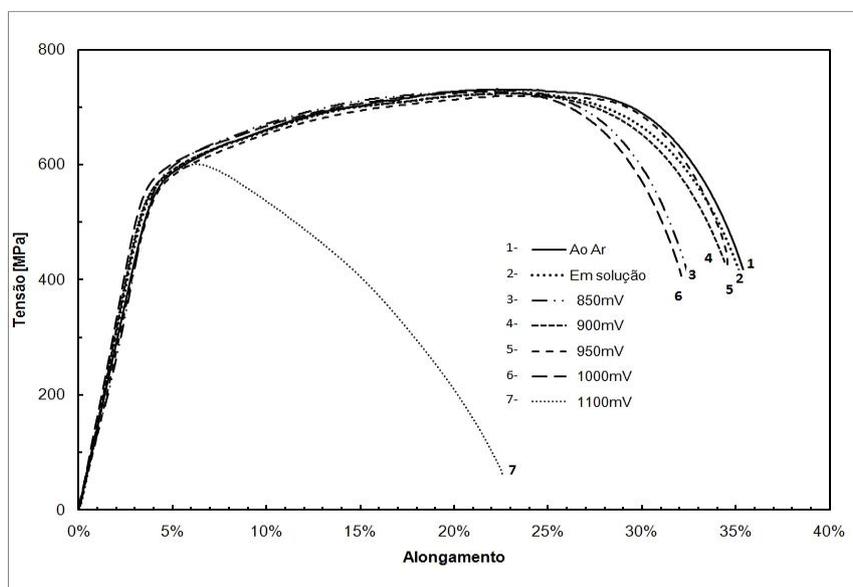


Figura 9. Efeito do potencial anódico aplicado nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação do AISI 318, na temperatura de 25°C, velocidade de $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

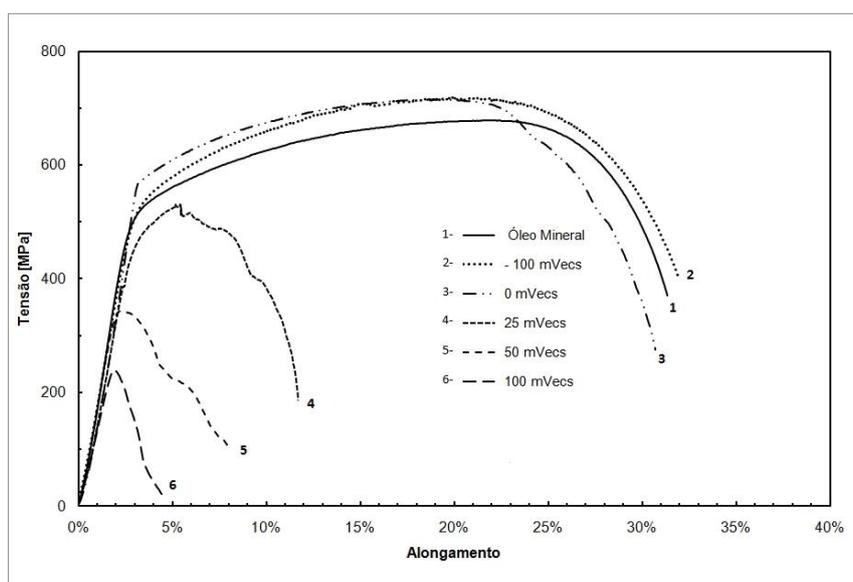


Figura 10. Efeito do potencial anódico aplicado nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação do AISI 318, na temperatura de 70°C, velocidade de $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

As reduções nos alongamentos máximos observados nos potenciais anódicos superiores ao potencial de pite, tanto na temperatura ambiente como em 70°C parecem estar relacionados apenas à dissolução do aço, conforme podemos observar na figura 11, que exhibe o aspecto das rupturas dos corpos de prova após ensaio de tração com baixa taxa de deformação e com a aplicação de diversos potenciais anódicos na temperatura de 70°C. No entanto, fissuras podem nuclear nessas irregularidades originadas na dissolução anódica, mesmo que não tenham sido observadas nesse trabalho.

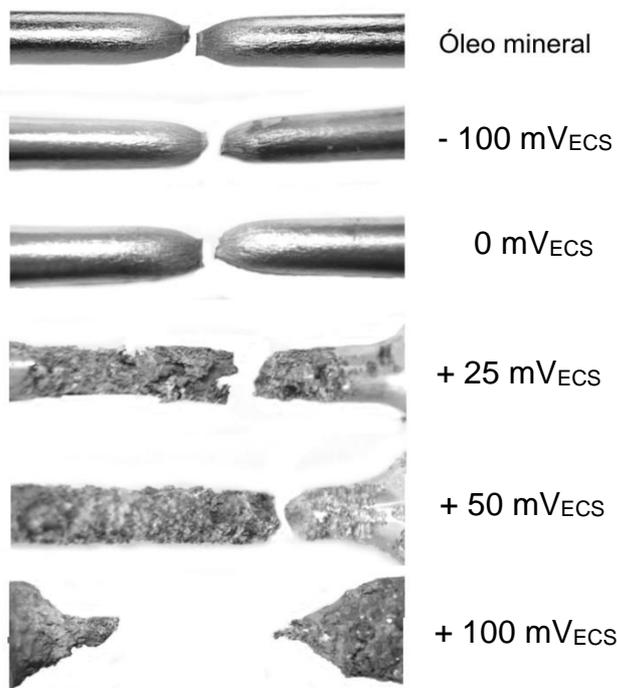


Figura 11. Macrografias das fraturas dos corpos de provas do AISI 318 após ensaio de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de diferentes potenciais anódicos na temperatura de 70°C.

As reduções nos alongamentos máximos observados nos potenciais anódicos superiores ao potencial de pite, tanto na temperatura ambiente como em 70°C parecem estar relacionados apenas à dissolução do aço.

3.2.3 Microscopia eletrônica

A redução acentuada da ductilidade é o principal efeito resultante da interação causada pelo hidrogênio na rede cristalina dos aços susceptíveis a essa fragilização. A fratura comumente encontrada nesses casos apresenta pouca ou nenhuma deformação plástica, ocorrendo de forma abrupta. A figura 12, itens (a), (b) e (c), apresentam as micrografias das regiões das fraturas dos corpos de prova submetidos à tração ao ar, com aplicação de potencial anódico (850mV_{ECS}), e com a aplicação de potencial catódico (-1,1 V_{ECS}), respectivamente.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

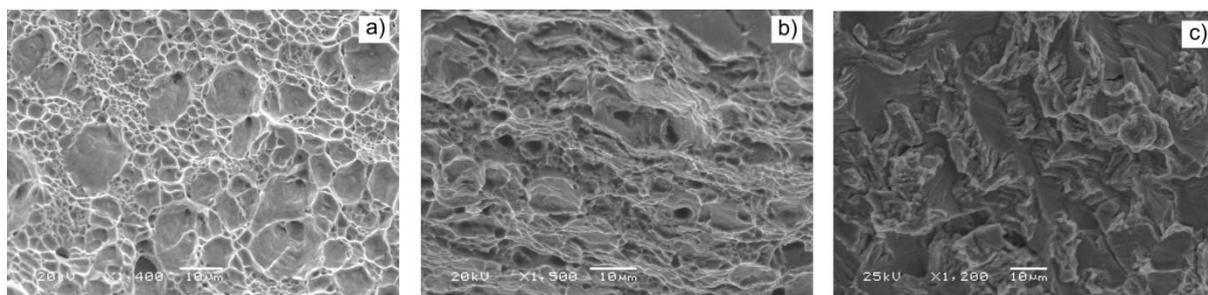


Figura 12. Imagem em MEV das regiões da fratura dos corpos de prova do AISI 318 após ensaio de tração com baixa taxa de deformação, realizado na temperatura ambiente. (a) ensaio ao ar, (b) em solução com aplicação de potencial anódico de 850mV_{ECS}, (c) em solução com aplicação de potencial catódico de -1100 mV_{ECS}.

No itens (a) e (b) da figura 12 pode-se observar a presença de *dimples*, caracterizando que a fratura ocorreu de forma dúctil, do tipo taça cone com grande extricção. Entretanto, no item (c) da figura 12, observa-se na fratura planos de clivagem, caracterizando uma fratura do tipo frágil, provavelmente proveniente da fragilização por hidrogênio.

O aço inoxidável dúplex apresentou, através das curvas de polarização, uma excelente resistência à corrosão em solução contendo 115.000 ppm de íons cloreto, pH4 e CO₂, na temperatura ambiente, além de possuir um elevado potencial de pite em comparação aos aços inoxidáveis austeníticos, como apresentaram Senatore M et al [12], no estudo onde compararam, entre outras propriedades, a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis dúplex e os tradicionais aços inoxidáveis austeníticos AISI 304L e 316L.

Contudo, na temperatura de 70°C, o mesmo aço não obteve o mesmo comportamento. A curva de polarização realizada nessa temperatura, mostrou um considerável decréscimo no potencial de pite, além da elevação da densidade de corrente de passivação do material.

Os resultados dos ensaios de tração à baixa taxa de deformação, em ambas temperaturas (25 e 70°C), indicaram uma imunidade à corrosão sob tensão presente em uma grande amplitude de potenciais, que compreende a zona de passivação anódica até potenciais catódicos da ordem de aproximadamente - 600 mV_{ECS}.

Tsai e Chou[13], investigaram o efeito da aplicação de potenciais catódicos no aço inoxidável dúplex em solução constituída de 26% em peso de NaCl e pH2. Através de ensaios com baixa taxa de deformação Tsai e Chou [13] concluíram que, para o sistema em estudo, o aço inoxidável dúplex apresentou imunidade entre o potencial de circuito aberto e - 245mV_{ECS}, além de uma redução no alongamento do corpo de prova para potenciais menores ou iguais a - 380 mV_{ECS}. Ainda sobre o estudo de Tsai e Chou [13], esses autores observaram a propagação de microtrincas secundárias abaixo da região da fratura nos corpos de prova após ensaio de tração com aplicação de potencial catódico de -1500mV_{ECS}, semelhantes às apresentadas neste trabalho, como pode-se verificar na figura 8. Porém nas micrografias de Tsai e Chou [13], fica evidente que a propagação das fissuras ocorre principalmente na fase ferrita, confirmando a susceptibilidade da fase ferrita à fragilização por hidrogênio [9]. Em outras palavras, a não constatação nesse trabalho da propagação preferencial de trincas na fase ferrita não indica que a mesma não ocorra.

Comparando-se os resultados dos ensaios de tração com aplicação de potenciais catódicos a temperatura ambiente, com os equivalentes à temperatura de 70°C,

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



figuras 5 e 6, respectivamente, podemos observar uma redução no alongamento máximo, perceptível em todos os potenciais com o aumento da temperatura. Podemos supor que esse favorecimento à fragilização, obtido através do aumento da temperatura, tenha um valor máximo onde acima do qual não se observa mais o fenômeno. Shreir et al [10], afirmam que há uma redução na resistência na faixa de temperatura para entre 60-90°C. Esses autores associam esse fenômeno às diferentes interações eletroquímicas e mecânicas entre as fases presentes. Schroeder [14], constata um aumento na fragilização por hidrogênio numa faixa de temperaturas para aço ABNT 1080, em meio contendo cloreto caindo abruptamente próximo de 90°C.

Nos resultados obtidos nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação com aplicação de potenciais anódicos, observou-se que, aplicando-se potenciais entre o potencial de circuito aberto e o potencial de pite, os resultados das curvas são muito semelhantes aos realizados sem aplicação de potencial, ou seja, nesses potenciais não há corrosão sob tensão. Este fenômeno foi observado para ambas as temperaturas (25 e 70°C).

Tsai e Chen [15], estudaram a influência da aplicação de potenciais anódicos sobre a corrosão sob tensão do aço inoxidável dúplex em uma solução contendo 26% em peso de NaCl e pH6 na temperatura de 90°C. Os resultados por eles encontrados se assemelham aos deste trabalho. Para potenciais anódicos abaixo do potencial de pite, o alongamento total dos ensaios de tração não diferiu muito dos ensaios realizados em potencial de circuito aberto. Porém a aplicação de potenciais maiores (mais ativos) que o de pite, resultaram em reduções significativas no alongamento total. Além disso, Tsai e Chen [15], revelaram, através de micrografias, a existência de trincas perpendiculares à direção do carregamento iniciadas a partir do interior dos pites. Essas trincas, por sua vez, seriam incentivadas pelo mecanismo de dissolução seletiva da ferrita no interior dos pites, evidenciado pelos autores. No entanto, no presente trabalho, não se verificou a presença de trincas a partir dos inúmeros pites observados nos ensaios de tração realizados em potenciais anódicos.

4 CONCLUSÕES

A liga de aço inoxidável dúplex, AISI 318, em solução salina contendo 115.000 ppm de íons cloreto, pH4 e CO₂, apresentou grandes influências nas propriedades eletroquímicas quando a temperatura do eletrólito em estudo passa de 25°C para 70°C. São elas: alteração acentuada, da ordem de aproximadamente 1.100mV, no potencial de pite, aumento de aproximadamente 20 vezes na densidade de corrente de passivação anódica e redução da amplitude de potenciais da zona de passivação anódica.

A suscetibilidade do AISI 318 à corrosão sob tensão é fortemente dependente do potencial aplicado. Nos potenciais intermediários entre, -750mV_{ECS} e 1.000mV_{ECS}, para temperatura ambiente, e entre -650mV_{ECS} e -100mV_{ECS}, para a temperatura de 70°C, não foi observada a influência do meio nos ensaios de tração com baixa taxa de deformação. No entanto, em potenciais maiores que os limites anódicos e menores que os limites catódicos citados, ocorreram reduções drásticas no alongamento total. No lado anódico, essa redução foi causada por dissolução em função do potencial superar o potencial de pite para esse sistema, e no catódico

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



pela presença de microtrincas geradas, provavelmente, por um processo de fragilização pelo hidrogênio.

Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Charles J. Why and where dúplex stainless steels. In: PROC. 5TH Dúplex Stainless Steel Conference, 1997, Maastricht, Netherlands. p. 29-42.
- 2 Josefsson B, Nelsson J, Wilson A. Phase Transformations in Dúplex Steels and the Relation Between Continuous Cooling and Isothermal Heat Treatment. In: Proceedings Of The Dúplex Stainless Steel Conference, 1991, Beaune, France. p. 67-78.
- 3 Gunn RN. Dúplex Stainless Steels : Microstructure, properties and applications. Cambridge: Abington Publishing, 1997.
- 4 Davison RM, Redmond JD. Practical guide to using dúplex stainless steels. Materials Performance. jan. 1990. p. 57-62.
- 5 Hutchings RB, Turnbull A, May AT. Measurement of Hydrogen Transport in a Dúplex Stainless Steel. Scripta Metallurgica et Materialia, 1991; 25(12): 2657-2662.
- 6 Laitinen A, Hanninen H. Chloride-Induced Stress Corrosion Cracking of Powder Metallurgy Dúplex Stainless Steels. Corrosion, 1996; 4: 295-306.
- 7 Jargelius RFA, Blom R, Hertzman S, Linder J. Dúplex stainless steel '91, in: J. Charles, S. Bernhardson (Ed.). Les Editions de Physique I. p.211, 1992.
- 8 Miyasaka A, Kanamaru T, Ogawa H. Critical Stress for Stress Corrosion Cracking of Dúplex Stainless Steel in Sour Environments. Corrosion, 1996; 52(8): 592-599.
- 9 Zakroczymski T, Owzcarek E. Electrochemical investigation of hydrogen absorption in a dúplex stainless steel. Acta Materialia, 2002; 50(10): 2701-2713.
- 10 Shreir LL. et al. Corrosion: Metal/environmental reactions. 3.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, v. 1, 1994.
- 11 National Association of Corrosion Engineers. TM0177-90, n. 53040: Standart Test Method. Houston, 1990. 22 p.
- 12 Senatore M, Finzetto L, Perea E. Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 2007; 60(1).
- 13 Tsai WT, Chou SL. Environmentally assisted cracking behavior of dúplex stainless steel in concentrated sodium chloride solution. Corrosion Science, Oxford, 2000; 42(10): 1741-1762.
- 14 Schroeder RM. Comportamento eletroquímico e susceptibilidade à corrosão sob tensão do aço ABNT 1080 utilizado em armaduras de concreto protendido. PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- 15 Tsai WT, Chen MS. Stress corrosion cracking behavior of 2205 dúplex stainless steel in concentrated NaCl solution. Corrosion Science, Oxford, 2000; 42(3): 545-559.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.