

# RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS AÇOS AISI 317L E SAF 2304 EM MEIO DE GLICERINA ACIDIFICADA CONTENDO CLORETOS\*

Fernanda de Lima Menezes<sup>1</sup>  
Vanessa de Freiras Cunha Lins<sup>2</sup>  
Maria das Mercês Reis de Castro<sup>2</sup>

## Resumo

O biodiesel, obtido a partir de um éster e um álcool na presença de um catalisador, é produzido pela reação de transesterificação e tem como coproduto a glicerina. A produção de biodiesel da Petrobras Biocombustível tem, em uma de suas etapas, a lavagem dos produtos para remoção do catalisador básico, metilato de sódio, por meio da reação de neutralização com ácido clorídrico. Devido a essa prática, a glicerina obtida é acidificada e contém resíduos de cloretos, o que leva à corrosão localizada dos aços utilizados em determinados pontos do processo de produção. Dessa forma, o presente trabalho avaliou a resistência à corrosão do aço austenítico 317L e do aço lean duplex 2304, em meio de glicerina acidificada contendo cloretos. Todas as medidas foram conduzidas a 64°C, visando simular as condições de operação da empresa. Para o estudo em questão, utilizou-se as técnicas de potencial de circuito aberto (OCP), polarização potenciodinâmica e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises mostraram que o aço AISI 317L obteve menor potencial de pite que o SAF 2304, logo foi menos resistente. Por meio do MEV foi possível confirmar a presença dos pites, sendo que as cavidades presentes no aço AISI 317L foram mais numerosas e profundas que as observadas no aço SAF 2304.

**Palavras-chave:** Glicerina; Cloreto; Aços inoxidáveis; Polarização potenciodinâmica.

## CORROSION RESISTANCE OF AISI 317L AND SAF 2304 STEEL IN MEDIUM OF GLYCERIN ACIDIFIED CONTAINING CHLORIDE

### Abstract

Biodiesel and glycerin, obtained from ester and alcohol in presence of a catalyst, are produced by the transesterification reaction. The production of biodiesel by Petrobras Biocombustível has, in one of its stages, the washing of products to remove the basic catalyst, sodium methylate, through the neutralization reaction with hydrochloric acid. Because of this practice, the glycerin obtained is acidified and contain residues of chloride, which leads to localized corrosion of the steel used in certain points of the manufacturing process. Austenitic and lean duplex stainless steels such as AISI 317L and SAF2304 are alternative materials of equipment of biodiesel plant which is in contact with acidified glycerin containing chloride. This work aims to evaluate the pitting corrosion resistance of the AISI 317L stainless steel and the SAF 2304 lean duplex stainless steel in solution of acidified glycerin containing chloride at a service temperature of 337K. For the present study, was used the open circuit potential techniques (OCP), potentiodynamic polarization and scanning electron microscopy (SEM). Analyses showed that steel AISI 317L had lower pitting potential that the SAF in 2304, therefore was less resistant. By SEM it was possible to confirm the presence of pitting in the steels. The cavities present in the steel AISI 317L were more numerous and deeper than those observed in the steel SAF 2304.

**Keywords:** Glycerin; Chloride; Stainless steel; Potentiodynamic polarization.

<sup>1</sup> Engenheira Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira Química. Professora Associada, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A ampla utilização de combustíveis fósseis traz consequências climáticas e econômicas, como a poluição ambiental, o aquecimento da atmosfera e a disputa das reservas de petróleo causada por seu inevitável esgotamento [1,2]. Assim, para reduzir o consumo de petróleo, são necessárias pesquisas por biocombustíveis, como o biodiesel, considerado uma energia renovável limpa. Barnwal e Sharma [3] concluíram que a queima de biodiesel forma menos óxidos de enxofre, fuligem e monóxido de carbono do que o óleo diesel. Coronado et al. [4] também mostraram que a emissão de monóxido de carbono é reduzida de 40 a 50% para a combustão de biodiesel em motores diesel que no caso da combustão de diesel convencional. Além disso, a utilização de biodiesel contribui para o ciclo de carbono da atmosfera, uma vez que o dióxido de carbono emitido durante a combustão é reabsorvido pelas plantas que o produzem, o que leva a um processo autossustentável e de menor impacto ambiental [1,5].

O biodiesel é produzido a partir do processo de transesterificação, que consiste na reação entre um álcool de cadeia curta e óleos vegetais, gorduras animais ou gorduras residuais, na presença de um catalisador. Paralelamente à produção de biodiesel é obtida a glicerina como coproduto [6,7].

Na produção de biodiesel e glicerina é comum o uso de bases fortes como catalisador, tais como hidróxido de sódio ou de potássio. A Petrobras biocombustível utiliza o metilato de sódio como catalisador. Para remoção do catalisador básico é necessário uma etapa de neutralização, que é feita com ácido clorídrico diluído [5]. Porém o uso de HCl leva a formação de glicerina com certo teor de cloreto, o que favorece a corrosão por pite nos pontos de dosagem dos aços da linha de produção [8-10]. A corrosão por pite é uma das formas mais comuns e perigosas de corrosão localizada e ocorre, geralmente, em ambientes agressivos, como em soluções de brometo e cloreto [9,11].

Alguns autores estudaram a corrosão de aços inoxidáveis em meios de biodiesel [12-14], mas a avaliação da corrosão de aços inoxidáveis em meio de glicerina acidificada não é encontrada na literatura.

Os aços inoxidáveis austeníticos são conhecidos pela boa resistência à corrosão [15,16]. A resistência à corrosão destes aços é devido à presença de uma película passiva formada na sua superfície, que se trata de uma mistura de óxidos de cromo e de ferro [17-19]. Além disso, a adição de molibdênio para aços inoxidáveis austeníticos estabiliza o filme passivo aumentando a resistência à corrosão localizada [20,21]. Eghbali et al. [22] observaram que o aumento na concentração de molibdato no filme passivo aumenta a temperatura crítica de pite.

Os aços inoxidáveis duplex também são usados largamente em ambientes corrosivos. Eles combinam as boas propriedades mecânicas da fase ferrita ( $\alpha$ ) com a boa resistência à corrosão da austenita ( $\gamma$ ), o que é aplicável na fabricação de componentes de equipamentos e instalações industriais de construção [23,24]. O aço inoxidável duplex também forma a película de óxido protetora, estabilizada por cromo e níquel. Em aços lean duplex, o níquel é reduzido, o que é compensado por adições de manganês e nitrogênio [23]. Han et al [25] verificaram que, para o aço inoxidável duplex 2205, a corrosão por fresta aumenta com o aumento da temperatura e também mostraram que a temperatura crítica de pite em solução de 4% (m/v) de NaCl aumenta quando o pH aumentou de 1,5 para 8,5.

Para auxiliar na previsão da resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis é utilizado o índice equivalente de resistência ao pite (PREN). Este fator está

relacionado com a concentração de Cr, Mo e N através da equação:  $PRE = \% Cr + 3,3 \times \% Mo + x\% N$  [23].

A gestão do processo de corrosão é muito importante, pois é parte das decisões administrativas para evitar altos custos, perda de produção, paradas da unidade, corrosão de equipamentos e contaminação ambiental. De acordo com estudos feitos pelo CC Technologies Laboratories, Inc., com o apoio da NACE International e Federal Highway (FHWA) no ano de 2001, os custos de corrosão nos Estados Unidos representaram 3,1% do Produto Interno Bruto do país, o equivalente a US267 bilhões. Akinyemi et al. (2012) [26] mostraram que o custo de corrosão por barril de petróleo bruto representa 77% do custo do barril.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência à corrosão localizada do aço inoxidável austenítico AISI 317L e do aço inoxidável lean duplex SAF 2304 em meio de glicerina acidificada colhida na produção de biodiesel a partir do óleo de soja em plantas da Petrobras Biocombustível de Montes Claros, Minas Gerais. A literatura mostra que a resistência à corrosão do aço lean duplex é comparável a do aço austenítico 316L, mas não existem estudos sobre a corrosão dos aços 317L e lean duplex 2304 em glicerina acidificada nas condições de processo da planta de biodiesel [27].

Para o estudo em questão, foi medido o potencial de circuito aberto (OCP), também chamado de potencial de corrosão (E<sub>corr</sub>). Foi utilizada a técnica de polarização potenciodinâmica na direção anódica para avaliar a corrosão localizada do aço e a microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliar as superfícies corroídas [15, 18,28]. Todos os experimentos foram realizados a 64°C em solução de glicerina acidificada contendo cloretos.

Este estudo se insere no Projeto de pesquisa intitulado “Estudo da corrosão em plantas de biodiesel”, desenvolvido pelo laboratório de Corrosão e Engenharia de Superfície da Universidade Federal de Minas Gerais, em parceria com a Petrobras Biocombustível. O objetivo geral deste projeto é selecionar os materiais mais adequados para a utilização nos equipamentos da planta de produção de biodiesel da Petrobras em Montes Claros.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

A composição química dos aços AISI 317L e SAF 2304, fornecidos por uma empresa comercial, é mostrada na Tabela 1. As amostras de aço foram cortadas em dimensões de 10 mm x 10 mm x 4mm e embutidas em resina epóxi. Em seguida foram polidas usando lixas de SiC na seguinte ordem: 100, 220, 400, e 600 mesh. O contato elétrico entre a amostra e o potenciostato foi feito por meio de um fio de cobre soldado. Todas as possíveis frestas foram cobertas com resina para evitar a ocorrência de fendas durante os experimentos. Então, as superfícies analisadas foram lavadas com álcool e secadas.

**Tabela 1:** Composição química dos aços AISI 317L e SAF 2304 (m%).

Tipo	UNS	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N(ppm)	PREN
AISI 317L	S31700	0,03	2,00	0,75	18-20	11-15	3-4	600	30
SAF 2304	S32304	0,011	1,450	0,201	22,87	4,202	0,275	1193	25,22

Fonte: APERAM.

## 2.2 Medidas eletroquímicas

As medidas de polarização foram realizadas de acordo com a norma ASTM G-61 [29]. Todas as experiências eletroquímicas foram realizadas em glicerina acidificada contendo cloretos a 64°C, com agitação. A composição da glicerina é mostrada na Tabela 2, fornecida pela Unidade de Produção de Biodiesel de Montes Claros (UPBMC) da Petrobras Biocombustível. A célula eletroquímica foi montada com três eletrodos, sendo um eletrodo de trabalho (amostras dos aços), um eletrodo de referência Ag/AgCl (KCl saturado) e um contra eletrodo de platina.

**Tabela 2:** Composição da glicerina utilizada.

Características	Método	Resultado	Unidade
pH	BIO 1012	6,17	
Condutividade	STD 2510	4,90	mS/cm
Humidade	E203	14,94	%m/m
Acidez	CA 5A-40	0,1	%m/m

Fonte: UPBMC, 2014.

Os experimentos foram realizados utilizando-se o potenciostato IviumStat e os dados foram tratados com software IviumSoft. Antes do teste de polarização anódica, o eletrodo de trabalho foi imerso na solução de ensaio por 3300s e o potencial de circuito aberto ( $E_{corr}$ ) foi obtido. Em seguida, o potencial do eletrodo foi varrido na direção anódica a partir de -50mV abaixo do  $E_{corr}$  até 700mV, com uma taxa de 0,167 mV/s. Cada teste foi repetido pelo menos três vezes para assegurar a reprodutibilidade.

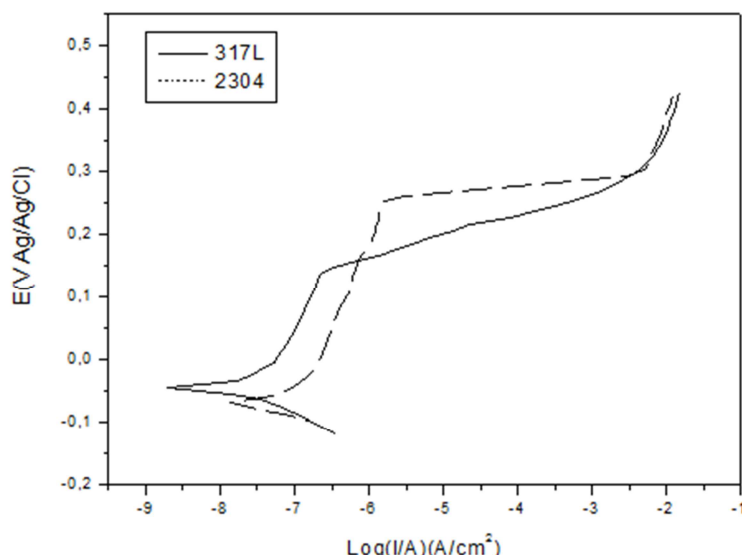
## 2.3 Análise de superfície

As superfícies corroídas foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando o equipamento FEG - Quanta 200 FEI *scanning electro-microscope*, com uma tensão de 30 kV e uma distância de trabalho de 10 mm.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Estudos Eletroquímicos

As curvas de polarização anódica fornecem características importantes sobre a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis. A Figura 1 mostra as curvas de polarização anódica para os aços AISI 317L e SAF 2304 em solução de glicerina acidificada contendo cloretos a 64°C. Os resultados de potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) e potencial de pite ( $E_{pit}$ ) são expostos na Tabela 3.



**Figura 1** - Curvas de polarização anódica em meio de glicerina acidificada contendo cloreto a 64°C para os aços AISI 317L e SAF 2304.

**Tabela 3** - Potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) e potencial de pite ( $E_{pite}$ ) para os aços estudados em meio de glicerina acidificada contendo cloretos a 64°C.

Aço	$E_{corr}$ (mV)	Desvio padrão (mV)	$E_{pite}$ (mV)	Desvio padrão (mV)
AISI 317L	- 33,52	7,44	143,17	33,01
SAF 2304	- 75,06	5,38	310,83	48,66

Por meio das curvas de polarização potenciodinâmica na direção anódica, apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1**, é possível notar que os aços avaliados apresentaram comportamento típico, com regiões ativa, de passivação e transpassivação [30]. O rápido aumento da densidade de corrente indica a ocorrência de formação de pites estáveis ou dissolução da camada passiva, em que o potencial de pite ( $E_{pite}$ ) é dado pela reta definida pela interseção da curva antes do aumento de densidade de corrente com a linha definida pela curva após o aumento de corrente [31].

Também se observa que a densidade de corrente de passivação se concentrou na faixa de  $10^{-7}$  a  $10^{-6}$  para ambos os aços. De acordo com a Tabela 2, o AISI 317L foi menos resistente a corrosão localizada que o SAF 2304. Comparando este resultado com os valores qualitativos de PREN apresentados na Tabela 1, observou-se que houve desacordo, uma vez que se esperava que, segundo o PREN, o aço AISI 317L apresentasse o melhor comportamento frente à corrosão. De acordo Mesquita et al. [32], esta diferença pode ocorrer uma vez que o valor de PREN não considera os efeitos da microestrutura, temperatura, quantidade de inclusões e possíveis precipitações secundárias, os quais influenciam o papel benéfico dos elementos de liga na resistência à corrosão localizada. Além disso, em aços inoxidáveis duplex os elementos químicos não são distribuídos igualmente entre as duas fases. O Cr e Mo estão preferencialmente na fase ferrita e o N e Ni na fase austenita.

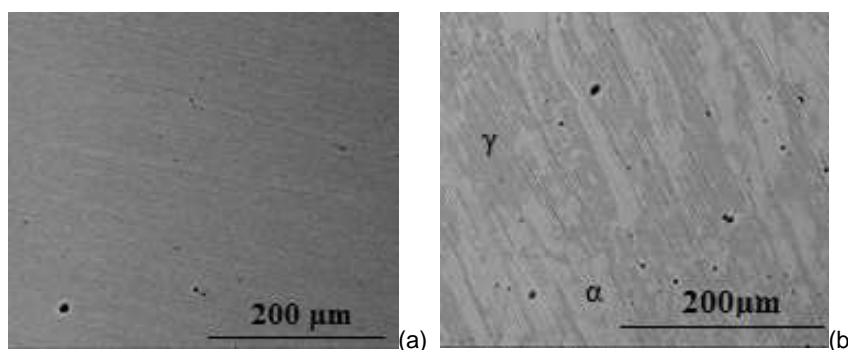
Embora de acordo com o potencial de corrosão o aço AISI 317L seja mais nobre do que o SAF2304, os valores do potencial de pite mostraram que o aço AISI 317L é mais vulnerável à corrosão localizada. Esta diferença existe porque o potencial de corrosão se trata de uma medida em que as velocidades do processo catódico e anódico são iguais, é processo espontâneo, irreversível e que ocorre em condição

quase estacionária, indicando a tendência do material a corroer, já o potencial de pite, obtido por polarização anódica, é uma medida cinética. Portanto, a cinética da reação redox para o aço AISI 317L tende a ocorrer mais rapidamente do que a do aço SAF 2304, diminuindo o seu potencial de pite. Os íons cloreto rompem a camada de passivação do aço 317L mais facilmente que a camada dos aços lean duplex 2304.

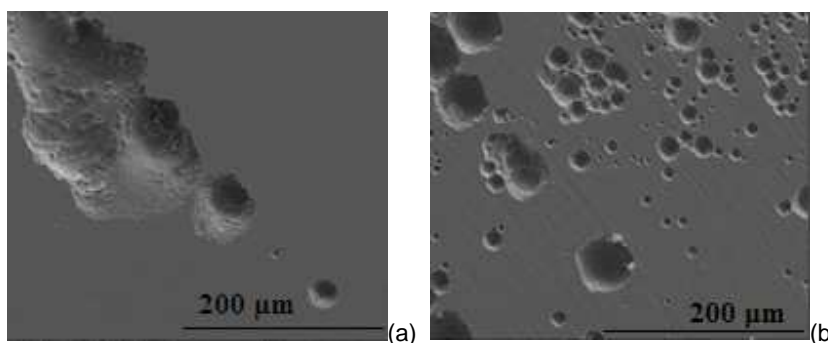
A maior resistência à corrosão do aço SAF 2304 em comparação com o aço AISI 317L é creditada à maior quantidade de cromo, que tem uma maior cinética de oxidação, formando uma camada passiva estável [23] e a diferença de microestrutura entre os dois aços.

### 3.2 Estudo da Superfície

A superfície das amostras, antes e depois da polarização potenciodinâmica na direção anódica, é analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens são mostradas nas Figuras 2 e 3.



**Figura 2** – Micrografia (MEV) das superfícies dos aços AISI 317L (a) e SAF 2304 (b) antes da polarização potenciodinâmica na direção anódica em glicerina a 64°C.



**Figura 3** – Micrografia (MEV) das superfícies dos aços AISI 317L (a) e SAF 2304 (b) após a polarização potenciodinâmica na direção anódica em glicerina a 64°C.

De acordo com a Figura 2 é possível ver a diferença entre a microestrutura dos aços analisados. O aço AISI 317L (Fig. 2 (a)) é composto apenas pela fase austenita, já o aço SAF 2304 (Fig. 2 (b)) possui a fase austenita ( $\gamma$ ) e fase ferrita ( $\alpha$ ).

Segundo a Figura 3 nota-se a corrosão localizada em ambas as amostras após a polarização potenciodinâmica na direção anódica. Este tipo de corrosão é devido à existência de cloreto na glicerina utilizada [28]. Comparando a Figura 3 (a) e a Figura 3 (b) observa-se que a cavidade da corrosão localizada do aço AISI 317L é maior e mais profunda do que a presente no aço SAF 2304, o que está de acordo com os resultados de polarização potenciodinâmica na direção anódica. Os pontos

de corrosão localizada estão presentes em direções específicas na superfície dos aços.

#### 4 CONCLUSÃO

Considerando-se que todas as análises foram feitas em glicerina acidificada contendo cloreto a 64°C, é possível concluir que:

- Termodinamicamente, pelo Ecorr, o aço AISI 317L tem menos tendência à corrosão que o SAF 2304.
- De acordo com os valores obtidos de potencial de pite, o aço AISI 317L tem menos resistência à corrosão localizada que o aço SAF 2304, nas condições estudadas. A maior quantidade de cromo no aço SAF 2304 em relação ao AISI 317L e a presença das fases ferrítica e austenítica podem ter contribuído para a maior resistência do aço SAF 2304 em glicerina acidificada.
- Os aços AISI 317L e SAF 2304 apresentaram corrosão localizada na superfície após os testes de polarização potenciodinâmica, e pites alinhados em direções específicas na superfície dos aços. Os pites na superfície do aço AISI 317L foram mais profundos e maiores do que os observados na superfície do aço lean duplex.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível – CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Petrobras Biocombustível e à Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, pelo apoio e incentivo a pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Abbaszaadeh A, Ghobadian B, Omidkhan MR, Najafi G. Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management*. 2012; 63: 138-148.
- 2 Fazal MA, Haseeb ASMA, Masjuki HH. Effect of different corrosion inhibitors on the corrosion of cast iron in palm biodiesel. *Fuel Processing Technology*. 2011; 92: 2154-2159.
- 3 Barnwal BK, Sharma MP. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2005; 9: 368-378.
- 4 Coronado CR, Carvalho JR JA, Silveira JL. Biodiesel CO<sub>2</sub> emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian Market. *Fuel Processing Technology*. 2009; 90: 204-211.
- 5 Knothe G. Analyzing Biodiesel: Standards and Other Methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2006; 83 (10): 823-833.
- 6 Hu XG, Zhou LL, Wang QJ, Xu YF, Zhu XF. On corrosion behaviour of metal in biomass. *Corrosion Engineering Science Technology*. 2010; 46 (4): 400-405.
- 7 Pasqualino JC, Montané D, Salvadó J. Synergic effects of biodiesel in the biodegradability of fossil-derived fuels. *Biomass Bioenergy*. 2006; 30: 874-883.
- 8 Ding J, Zhang L, Li D, Lu M, Xue J, Zhong W. Corrosion and stress corrosion cracking behavior of 316L austenitic stainless steel in high H<sub>2</sub>S – CO<sub>2</sub> – Cl<sub>2</sub> environment. *Journal Material Science*. 2013; 48: 3708-3715.
- 9 Adeli M, Golozar MA, Raeissi K. Pitting Corrosion of SAF2205 Duplex Stainless Steel in Acetic Acid Containing Bromide and Chloride. *Chemical Engineering Communications*. 2010; 197: 1404–1416.

- 10 Jafarian M, Gobal F, Danaee I, Biabani R, Mahjani MG. Electrochemical studies of the pitting corrosion of tin in citric acid solution containing Cl<sup>-</sup>. *Electrochimica Acta*. 2008; 53: 4528-4536.
- 11 Blasco-Tamarit E, Igual-Muñoz A, AntónGarcía J, García-García D. Effect of temperature on the corrosion resistance and pitting behaviour of Alloy 31 in LiBr solutions. *Corrosion Science*. 2008; 50: 1848-1857.
- 12 Wanga W, Jenkins PE, Ren Z. Electrochemical corrosion of carbon steel exposed to biodiesel/simulated seawater mixture. *Corrosion Science*. 2012; 57: 215-219.
- 13 Fazal MA, Haseeb ASMA, Masjuki HH. Corrosion mechanism of copper in palm biodiesel. *Corrosion Science*. 2013; 67: 50-59.
- 14 Hu E, Xu Y, Hu X, Pan L, Jiang S. Corrosion behaviors of metals in biodiesel from rapeseed oil and methanol. *Renewable Energy*. 2012; 37: 371-378.
- 15 Xiong J, Tan MY, Forsyth M. The corrosion behaviors of stainless steel weldments in sodium chloride solution observed using a novel electrochemical measurement approach. *Desalination*. 2013; 327: 39-45.
- 16 Ferreira EA, Noce RD, Fugivaram CS, Benedetti AV. Influence of Ethanol, Acidity and Chloride Concentration on the Corrosion Resistance of AISI 316L Stainless Steel. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2013; 24 (3): 397-405.
- 17 Jiménez-Come MJ, Muñoz E, García R, Matres V, Martín ML, Trujillo F, et al. Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steel using artificial intelligence techniques. *Journal of Applied Logic*. 2012; 10: 291-297.
- 18 Loto CA, Popoola API, Fayomi OS, Loto, RT. Corrosion Polarization Behaviour of Type 316 Stainless Steel in Strong Acids and Acid Chlorides. *International Journal Electrochemical Science*. 2012; 7: 3787-3797.
- 19 Ait Albrimi Y, Ait Addi A, Douch J, Souto RM, Hamdani M. Inhibition of the pitting corrosion of 304 stainless steel in 0.5M hydrochloric acid solution by heptamolybdate ions. *Corrosion Science*. 2015, 90: 522-528.
- 20 Ilevbare GO, Burstein GT. The role of alloyed molybdenum in the inhibition of pitting corrosion in stainless steels. *Corrosion science*. 2001; 43: 485-513.
- 21 Mottu N, Vayer M, Dudognon J, Erre R. Structure and composition effects on pitting corrosion resistance of austenitic stainless steel after molybdenum ion implantation. *Surface & Coatings Technology*. 2005; 200: 2131-2136.
- 22 Eghbali F, Moayed MH, Davoodi A, Ebrahimi N. Critical pitting temperature (CPT) assessment of 2205 duplex stainless steel in 0.1M NaCl at various molybdate concentrations. *Corrosion Science*. 2011; 53: 513-522.
- 23 Chan KW, Tjong SC. Effect of Secondary Phase Precipitation on the Corrosion Behavior of Duplex Stainless Steels. *Materials*. 2014; 7: 5268-5304.
- 24 Cvijovic Z, Radenkovic G. Microstructure and pitting corrosion resistance of annealed duplex stainless steel. *Corrosion Science*. 2006; 48: 3887-3906.
- 25 Han D, Jiang YM, Shi C, Deng B, Li J. Effect of temperature, chloride ion and pH on the crevice corrosion behavior of SAF 2205 duplex stainless steel in chloride solutions. *Journal of Material Science*. 2012; 47: 1018-1025.
- 26 Akinyemi OO, Nwaokocha CN, Adesanya AO. Evaluation of corrosion cost of crude oil processing industry. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2012; 7(4): 517-528.
- 27 Tavares SSM, Pardal JM, Silva MR, Oliveira CASde. Martensitic Transformation Induced by Cold Deformation of Lean Duplex Stainless Steel Uns S32304. *Materials Research*. 2014; 17(2): 381-385.
- 28 Izquierdo J, Martín-ruíz L, Fernández-Pérez BM, Rodríguez-raposo R, Santana JJ, Souto RM. Scanning microelectrochemical characterization of the effect of polarization on the localized corrosion of 304 stainless steel in chloride solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2014; 728:148-157.
- 29 ASTM G-61, Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron, Nickel or Cobalt based Alloys. Philadelphia, PA: ASTM; 2009.



- 30 Freire L, Carmezim M J, Ferreira MGS, Montemor MF. The electrochemical behaviour of stainless steel AISI 304 in alkaline solutions with different pH in the presence of chlorides. *Electrochimica Acta*. 2011; 56: 5280-5289.
- 31 Alonso-Falleiros N, Wolynech S. Correlation between Corrosion Potential and Pitting Potential for AISI 304L Austenitic Stainless Steel in 3.5 % NaCl Aqueous Solution. *Materials Research*. 2002; 5 (1): 77-84.
- 32 Mesquita TJ, Chauveau E, Mantel M, Kinsman N, Roche V, Nogueira RP. Lean duplex stainless steels - The role of molybdenum in pitting corrosion of concrete reinforcement studied with industrial and laboratory castings. *Materials Chemistry and Physics*. 2012; 132(2-3): 967-972.