



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA CORROSÃO DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

Manoel Quirino da Silva Júnior, manoel.quirino@ufersa.edu.br¹

Erike Wilker Arruda Figueredo, erike_wilker@hotmail.com¹

Francisca Geidilany Saraiva de Oliveira Frutuoso, geidilany.saraiva@gmail.com¹

Áleft Verlanger Rocha Gomes, aleft_verlanger@hotmail.com¹

¹UFERSA, Av. Francisco Mota, 572 Bairro Costa e Silva Mossoró-RN

Resumo: Os aços são materiais metálicos, ferrosos, que apresentam excelentes vantagens possibilitando uma grande diversificação de aplicabilidade, mas apresentam, também, algumas desvantagens sendo a baixa resistência à corrosão uma das principais. Dentre os aços comerciais, os aços inoxidáveis são os que mais se destacam por apresentar uma elevada resistência à corrosão mantendo as vantagens que os demais aços apresentam. Porém, é conhecido que se os mesmos ficarem expostos em algumas soluções aquosas, geralmente com presença de enxofre e certos cloretos, são capazes de corroer diminuindo de forma considerável sua vida útil, e causando alterações em suas propriedades mecânicas, com isso gerando diversos impactos, podendo provocar acidentes por falha precoce de componentes, como no caso da indústria petrolífera, que utiliza frequentemente diversos aços inoxidáveis, submetidos a atmosferas extremas e pressões elevadas e alta salinidade. Desta forma, este trabalho teve como principal objetivo, a análise experimental acerca do processo corrosivo sofrido pelos aços inoxidáveis austeníticos AISI 316L e AISI 304, com e sem tratamento térmico, submersos em água produzida de poço. Foi observado que os aços AISI 316L e AISI 304 apresentam perda de massa e taxa de penetração de corrosão, muito próximas sendo que o aço AISI 304 apresenta mais corrosão intergranular e transgranular que as outras amostras, podendo ser observado pelas microscopias ópticas. O aço AISI 304, por conter carbono, ao ser tratado termicamente, sofre sensibilização diferente dos demais, explicando a maior presença das trincas intergranulares e transgranular nesse aço, enquanto que as outras amostras sofrem corrosão preferencial por pitting à um estado de corrosão mais generalizado.

Palavras-chave: Inoxidável, Corrosão, Sensibilização

1. INTRODUÇÃO

Aços inoxidáveis, em uma definição genérica, aço que tem característica de não oxidar mesmo em exposição prolongada à atmosfera normal (Telles, 1979).

Sua passividade é obtida graças à formação de um óxido protetor que impede o contato do metal base com a atmosfera agressiva. A película óxido protetora nos aços inoxidáveis é criada através da formação de um composto químico, mantido sobre a superfície metálica por forças atômicas, sendo esse composto resultado de reações químicas de certos elementos de liga introduzidos no metal com o meio circunvizinho (Chiaverini, 2012).

Esse tipo de aço contém um mínimo de 10,5% cromo, podendo encontrar aços inoxidáveis que possuem mais de 30% de cromo ou menos de 50% de ferro, sendo o cromo seu principal elemento de liga. O cromo é o mais eficiente de todos os elementos de liga podendo se dizer que o cromo é a ciência dos aços inoxidáveis como elemento de liga no ferro. Segundo os gráficos abaixo, mostra o papel fundamental do cromo para combater a corrosão, pois, atmosfera industrial ou temperaturas elevadas ao tempo que se aumenta o teor de cromo, o metal sai de uma grande corrosibilidade a um metal praticamente indestrutível pela corrosão (Chiaverini, 2012).

Existem algumas aplicações que exigem uma composição mais nobre desses materiais que é a classe L, desenvolvidos especificamente para soldagem e outras operações a quente, onde apresentam teores de carbono máximo de 0,03 %, situação esta que deve ser compensada com o aumento de níquel para que se consiga estabilizar a austenita ou ainda nióbio ou titânio formando precipitados mais estáveis que o carboneto de cromo (Carvalho, 2006).

A corrosão intergranular acontece quando existe um caminho preferencial para a corrosão na região dos contornos de grão que são regiões de mais alta energia que possibilitam surgimentos de sítios preferenciais de precipitação de segundas fases, e ao decorrer do tempo a corrosão vai aumentando até o ponto dos grãos serem destacados. Este tipo de

corrosão não requer a presença simultânea de meio corrosivo e esforços de tração. Como apresentado a corrosão intergranular acontece e se propaga em um caminho preferencial do material, desta forma existe um fator responsável pela diferença na resistência à corrosão da matriz e do material vizinho ao contorno, que seria composição química, pois, nos mesmo material tem-se uma diferença de composição química que leva ao surgimento de regiões mais susceptíveis a corrosão. Esse fenômeno é chama-se sensitização (Gentil, 2011).

Para uma análise mais detalhada, foram elaboradas técnicas para o estudo de corrosão em aços, criando índices que medem de forma mais precisa como esses materiais e sistemas são susceptíveis a corrosão, onde esses índices fazem parte do monitoramento da corrosão e são amplamente utilizados na avaliação dos processos de deterioração dos sistemas de produção de petróleo. Esta técnica consiste basicamente na avaliação da taxa de corrosão determinada através da Taxa de Penetração e Taxa de Perda de Massa (Callister Júnior, 2012).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os aços inoxidáveis austeníticos AISI 304 e AISI 316L foram obtidos por meio de doação. Estavam dispostos em tarugos cilíndricos de 25mm de diâmetro para o tarugo de AISI 304 e de 31mm de diâmetro o tarugo de AISI 326L. A composição química do aço AISI 316L está especificada na Tab. 1:

Tabela 1. Composição química do aço AISI 316L.

Elemento	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	V
%	0,0000	0,5690	1,1090	10,4900	17,4000	2,1500	0,4300	0,0520	0,5300

Na Tabela 2, está especificada a composição química do aço AISI 304.

Tabela 2. Composição química do aço AISI 304.

Elemento	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	V
%	0,0472	0,4085	1,6770	8,9212	18,5860	0,55192	0,27463	0,0533	0,0550

De cada aço foram cortadas quatro amostras utilizando uma serra fita da Starret modelo S1101 e posteriormente cortados com máquinas policorte modelo Arocor 60 da Arotec.

As amostras foram submetidas a lixamento retirada de rebarbas que ficaram devido ao corte e limpar todas as faces das amostras.

Posteriormente todas as amostras foram submetidas a um tratamento térmico forno tipo mufla modelo GP-2000 da UFERSA com temperatura máxima de 1200°C. Ambas as amostras foram aquecidas a uma temperatura de 850°C durante 8 horas, seguido de um resfriamento lento.

Após cortados e todos passarem por o tratamento térmico, as amostras passaram por uma fase de acabamento superficial com lixas d'água com granulometria de 180, 220, 320, 400, 500, 600 e 800 e 1000 numa Lixadeira/Politriz modelo Aropol 2V da Arotec.

O meio corrosivo utilizado no trabalho foi à água produzida de poço, localizada no Campo do Amaro e fornecida pela companhia da Petrobras Mossoró.

As amostras foram pesadas numa balança eletrônica de precisão Shimadzu modelo TX3202L com resolução de 0,0001g.

Para as análises de microscopia foi utilizado um microscópio óptico Olympus Gx51 acoplado com câmara digital Olympus SC30 com o software AnalySIS getIT.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como se observa na Tab. 2, o aço inoxidável AISI 304 apresenta uma quantidade de carbono acima de 0,03%, sendo passivo de sensitização, segundo a literatura. Sendo que o processo de sensitização pode ser minimizado, pois, a quantidade de carbono não permite um alto grau de sensitização e aliado ao baixo teor de carbono, tem a presença dos elementos de liga, como nióbio e titânio, que são elementos estabilizados utilizados para minimizar a sensitização do aço, impedindo o empobrecimento do cromo via precipitação em forma de carbonetos.

O aço inoxidável AISI 316L modificado a porcentagem de carbono é zero, o que indica que esse aço não passará pelo processo de sensitização devido ao tratamento térmico que o mesmo foi submetido, podendo dizer que o mesmo não sofrerá corrosão intergranular.

Pode-se perceber que com os elementos de liga encontrados no aço, principalmente, Cr e Ni, podemos classifica-lo como aço inoxidável austenítico, além pelo baixo teor de carbono.

As amostras do aço inoxidável AISI 304 foram submetido ao meio corrosivo durante um período de 174 dias sob ação corrosivo de água produzida de poço. Após esse período as amostras foram retiradas da exposição à solução para serem limpas e coletadas novamente o peso de cada amostra, se houver redução de massa nas amostras, significa dizer

que as amostras do aço inoxidável AISI 304 sofreram algum processo de corrosão. Os dados obtidos estão expostos na Tab. 3.

Tabela 3. Medidas de massa para as amostras de aço AISI 304.

Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Redução (%)
1	53,9679	53,8991	0,1274
2	52,2186	52,1506	0,1302
3T	54,235	54,1524	0,1523
4T	54,3926	54,3242	0,1257

Como se observa nas medidas de massa da Tab. 3 houve redução de massa das amostras, o que indica que houve corrosão nas amostras de aço inoxidável AISI 304. E as amostras tratadas termicamente, 3T e 4T, tiveram uma redução de massa maior que as amostras não tratadas.

Dessa forma, fica evidenciada a ocorrência da corrosão nas amostras do aço inoxidável AISI 304. Podemos concluir que o meio corrosivo afetou a camada passivadora das amostras não tratadas e que as amostras que passaram por tratamento térmico, mesmo como o mínimo de teor de carbono na sua composição e os agentes estabilizantes presentes, não foram suficientes para evitar a sensitização do aço das amostras tratadas. Por menor que seja o grau de sensitização, fica evidente que houve a precipitação de carboneto de cromo para o contorno de grão, gerando uma área empobrecida que é susceptível a corrosão intergranular. Esse fato corroborado na análise microscópica da Fig. 1 para o aço AISI 304 sem tratamento térmico.

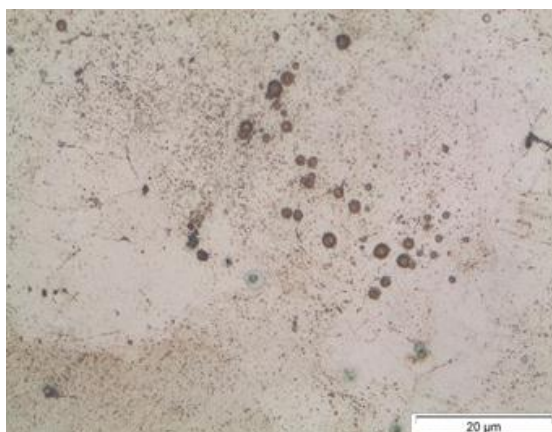


Figura 1 - Análise microscópica das amostras não tratadas do aço inoxidável AISI 304.

Como pode ser visto na Fig. 1, a corrosão é por pite e para o aço AISI 304 tratado termicamente é observada a corrosão intercrystalina, como pode ser visto na Fig. 2.

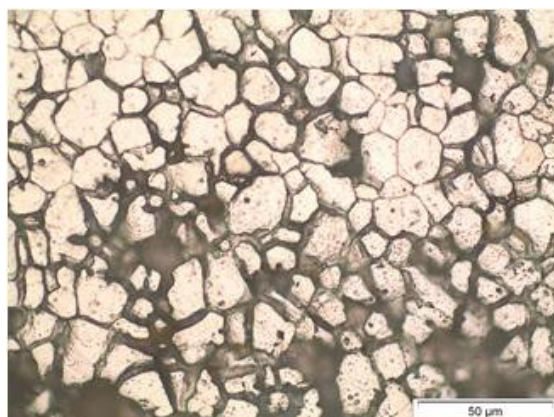


Figura 2 - Análise microscópica das amostras tratadas do aço inoxidável AISI 304.

De forma similar ao que aconteceu com as amostras do aço AISI 304, as amostras do aço AISI 316L foram expostas ao mesmo meio corrosivo de água produzida de poço por o mesmo período de 174 dias. Retirada da exposição e limpas, as mesmas foram pesadas e seus dados foram apresentados na Tab. 4.

Tabela 4. Medidas de massa para as amostras de aço AISI 316L.

Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Redução (%)
1	80,3824	80,2902	0,1147
2	79,3142	79,218	0,1212
3T	84,1005	83,9824	0,1404
4T	80,9811	80,8752	0,1307

Na análise microscópica das amostras do aço inoxidável AISI 316L pode ser observado um aspecto similar de corrosão por pite, onde pode ser observado que nas amostras 1 e 2, respectivamente, como mostrado na Fig. 3.

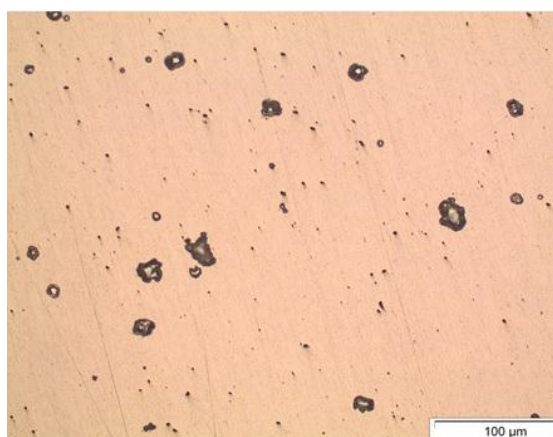


Figura 3 - Análise microscópica das amostras não tratadas do aço inoxidável AISI 316L.

Como pode ser visto na Fig. 3, a corrosão é por pite e para o aço 316L tratado termicamente é observada a corrosão por pite como pode ser visto na Fig. 4.

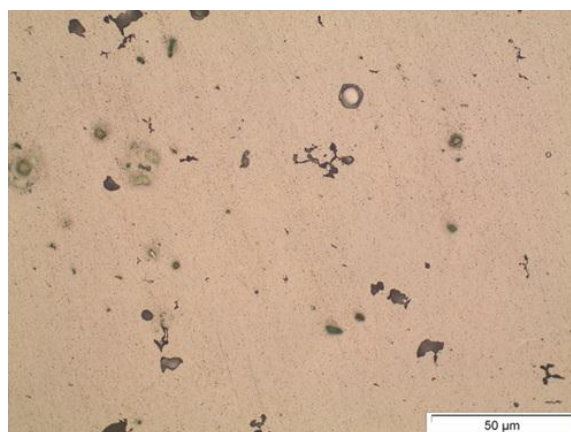


Figura 4 - Análise microscópica das amostras tratadas do aço inoxidável AISI 316L.

Para o cálculo da Taxa de Penetração da Corrosão é necessário ter a massa específica de cada material em g/cm^3 , como isso foi realizado um procedimento para obter esses dados de cada aço específico. O procedimento foi realizado a partir de uma amostra do aço, sendo essa amostra pesada com ajuda de uma proveta graduada calculou o volume inicial e o volume descolado. Com isso, foi feito a razão entre a massa da amostra e a diferença de volume. Feito esse procedimento para todos os aços do trabalho, obtendo para o aço AISI 304 uma densidade de $7,72656 \text{ g/cm}^3$ e para o aço AISI 316L uma densidade de $7,86772 \text{ g/cm}^3$.

Com os dados das densidades e medidas as amostras, podemos mensurar a Taxa de Penetração da Corrosão apresentado na Tab. 5.

Tabela 5. Taxa de Penetração da Corrosão e Taxa de Perda de Massa do aço inoxidável AISI 304.

Amostra	TPC (mm/ano)	TPM (kg/ano)
1	0,0084898	0,0001443
2	0,0089673	0,0001426
3T	0,0107881	0,0001732
4T	0,0094066	0,0001531

E para o aço AISI 316L mostrado na Tab. 6 Taxa de Penetração da Corrosão.

Tabela 6. Taxa de Penetração da Corrosão e Taxa de Perda de Massa do aço inoxidável AISI 316L.

Amostra	TPC (mm/ano)	TPM (kg/ano)
1	0,0083570	0,0001934
2	0,0073654	0,0002017
3T	0,0105254	0,0002477
4T	0,0092378	0,0002221

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal fazer uma análise da deterioração corrosiva dos aços inoxidáveis AISI 304 e 316L tratados e não tratados termicamente, sendo expostos a água produzida de poço de petróleo, observando essa comparação através de parâmetros físicos e visuais, identificando o tipo de corrosão e os parâmetros associados à mesma. Partindo dos conhecimentos adquiridos, procedimento, condições de exposição e análise dos resultados obtidos com os testes de exposição realizados em laboratório, conclui-se:

- Todas as amostras que passaram por tratamento térmico apresentaram maior corrosão;
- Esses tipos de aço aumentam a susceptibilidade a corrosão quando submetidos a tratamentos térmicos;
- As amostras de aço inoxidáveis AISI 304 tratadas sofreram sensibilização devido ao tratamento térmico e após exposição apresentaram corrosão intergranular. As não tratadas sofreram uma quebra da película passivadora, ocorrendo aparecimento de corrosão por pite;
- Os aços inoxidáveis AISI 316L não apresentaram processo de sensibilização, pois, pela fato de não ter carbono em sua composição e por possuir elementos estabilizadores que não permitem a precipitação de carbonetos de cromo. Porém, houve danos na camada de cromo, permitindo que o aço ficasse susceptível à corrosão por pite, sendo que nas amostras tratadas teve também o aparecimento de uma pequena corrosão intergranular.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento a UFRSA por dar condições a realização do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ-ARMAS, I. Duplex Stainless Steels: Brief History and Some Recent Alloys, Recent Patents on Mechanical Engineering. Vol. 1, 2008.
- BARBOSA, C. A. Revestimento de poços. O desafio da exploração em águas profundas e a contribuição da LRCs-Ligas Resistentes a Corrosão, Inox 31, Núcleo Inox, Janeiro/Abril 2009.
- CALLISTER JUNIOR, William D.. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais**: uma abordagem integrada. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 162 f.
- CARVALHO, J. A. N. Critério para Seleção de Aços Inoxidáveis Gerência do Centro de Pesquisas-ACESITA. Disciplina Aços Especiais - Apostila. Universidade Federal de Ouro Preto; Escola de Minas, 2006.
- GENTIL, Vicente. Corrosão. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7ª Ed. São Paulo: abm, 2012.
- CARDOSO, Luiz Cláudio. Petróleo: Do poço ao posto. 3º Reimpressão. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.
- CARDOSO, Luiz Cláudio dos Santos. Logística do Petróleo: Transporte e Armazenamento. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- LIMA SOBRINHO, L. Desenvolvimento de Matriz Polimérica para Material Compósito visando o Reforço de Dutos de Aço. Tese (Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2005.

- MOREIRA, Ana Paula Erthal. GESTÃO TECNOLÓGICA DO MONITORAMENTO DA CORROSÃO INTERNA DE DUTOS. Dissertação (Mestrado) – UFRJ / Escola de Química, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2012.
- TOUÇA, J. M. R.; BASTIAN, F. L. Fratura de Materiais Compósitos Utilizados no Reparo de Dutos. Petro & Química, Ano XXVII, nº 253, p.99-102, outubro de 2003.
- THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001. 271p.
- SILVA, A. L., MEI, P. R., Aços e Ligas Especiais, 3ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- SILVA, A. L., MEI, P. R., Aços e Ligas Especiais, 3ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores Manoel Quirino Silva Júnior, E.W.A. Figueredo, F.G.A.S.O Frutuoso, A.V.R. Gomes são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF THE CORROSION DETERIORATION OF STAINLESS STEEL IN CHLORIDES CONTAINING MEDIA

Manoel Quirino da Silva Júnior, manoel.quirino@ufersa.edu.br¹

Ericson Romualdo Fonseca Ferreira, ericson-16@hotmail.com¹

Francisca Geidilany Saraiva de Oliveira Frutuoso, geidilanyaraiva@gmail.com¹

Áleft Verlanger Rocha Gomes, aleft_verlanger@hotmail.com¹

¹UFERSA, Av. Francisco Mota, 572 Bairro Costa e Silva Mossoró-RN

Abstract. *The steels are metallic materials, ferrous metals, which have excellent advantages, allowing a great diversification applicability, but have also some disadvantages being low corrosion resistance of the main. Among the commercial steels, stainless steels are the ones that stand out by having a high corrosion resistance while maintaining the benefits that other steels have. However, it is known that if the same are exposed in some aqueous solutions, usually in the presence of sulfur and certain chlorides, are able to corrode diminished considerably its useful life, and causing changes in their mechanical properties, thereby generating many impacts, may cause accidents early component failure, such as the petroleum industry often uses several stainless steels subjected to extreme atmospheres and high pressures and high salinity. Thus, this work had as main objective, the experimental analysis about the corrosive process undergone by austenitic stainless steels AISI 316L and AISI 304, with and without heat treatment, submerged in well water produced. It was observed that AISI 316L and AISI 304 steels exhibit weight loss and corrosion rate of penetration, being very close to the AISI 304 steel is more corrosion and intergranular to transgranular other samples, it can be observed by optical microscopy. AISI 304 steel, by containing carbon when thermally treated, undergoes different sensitization of the others, explaining the greater presence of intergranular cracks and transgranular this steel while the other samples undergo preferential corrosion pitting to a state more widespread corrosion.*

Keywords: *Stainless, corrosion, sensitization*