

ANÁLISE DA DETERIORAÇÃO CORROSIVA NOS AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 303 E AISI 316L A EXPOSIÇÃO À ÁGUA DO MAR ARTIFICIAL

E. W. A. Figueredo¹, R. L. F. Melo², J. D. Rocha Junior², M. Q. Silva²
^{1,2}Laboratório de Materiais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, R.
Francisco Mota, 572 – Costa e Silva, CEP: 59600-971, Mossoró – RN, Brasil
¹erike_wilker@hotmail.com

RESUMO

Os aços inoxidáveis quando expostos em algumas soluções aquosas sofrem o processo de corrosão, diminuindo de forma considerável sua vida útil. Dessa forma, o trabalho tem o objetivo de analisar experimentalmente o processo corrosivo sofrido pelos aços inoxidáveis austeníticos AISI 303 e AISI 316L, tratados termicamente e submetidos ao meio corrosivo de água do mar artificial. Diante dos resultados constatou-se que os tratamentos isotérmicos nos aços inoxidáveis austeníticos AISI 303 não sofrem um grau de sensibilização apreciável, sendo observados danos na camada passivadora permitindo que o aço ficasse mais susceptível à corrosão por pite. No aço AISI 316L o processo de sensibilização não ocorreu, já que o aço não possui carbono em sua composição, principal elemento para ocorrer o processo de sensibilização, entretanto com o tratamento térmico e o meio corrosivo que o aço foi exposto, este veio a obter uma pequena taxa de corrosão.

Palavras-chave: Corrosão, sensibilização, Aços inoxidáveis austeníticos, Corrosão por pite.

INTRODUÇÃO

Em uma análise rápida na área de corrosão nota-se um aumento no número de estudos relacionados com o tema, dentre os fatores que levaram ao fato destaca-se o grande nível de cobrança das indústrias, onde a corrosão é um dos principais problemas que afetam o setor e os efeitos advindos dessa estão diretamente relacionados à segurança e o bom funcionamento dos componentes.

Em razão do amplo uso de materiais metálicos em diversos setores da indústria, tem-se grande ocorrência do fenômeno de corrosão nesses materiais, ocasionando a sua deterioração e conseqüentemente acidentes que podem afetar a segurança das pessoas e do meio ambiente, além de prejuízos financeiros com manutenção e reposição desses componentes danificados. De acordo com Gentil⁽³⁾ a corrosão é capaz de provocar uma diminuição da vida útil e tornar estes materiais inutilizáveis. Perante o caso, faz-se necessário uma análise dos ambientes nos quais os materiais ficam expostos e partir disso desenvolver estudos que, além de solucionar os problemas já existentes, forneçam informações pertinentes a realização de um plano de manutenção corretiva, preditiva e preventiva, com o intuito de evitar acontecimentos que possam comprometer o funcionamento dos processos.

Em meio aos inúmeros materiais metálicos existentes, muitos têm como desvantagem não serem resistentes à corrosão. Na literatura, os materiais com maior destaque quanto ao nível de resistência à corrosão são os aços inoxidáveis. De acordo com as especificações são os materiais mais resistentes a este tipo de degradação e ainda mantêm propriedades mecânicas apreciáveis⁽⁴⁾. Porém, sabe-se que se os mesmos ficarem expostos em determinados meios, geralmente com presença de cloretos, são capazes de corroer, diminuindo de forma considerável sua vida útil e causando alterações em suas propriedades mecânicas, podendo provocar acidentes por falha precoce de componentes, como no caso da indústria petrolífera que utiliza vários tipos de aço, frequentemente os inoxidáveis, submetidos a atmosferas extremas e pressões elevadas ⁽²⁾.

Por conseguinte, os processos corrosivos independentemente dos avanços tecnológicos se fazem sempre presentes, ressaltando a importância da implantação de ações corretivas, preditivas e preventivas, de forma a manter a confiabilidade dos equipamentos e processos. A partir da averiguação de que a corrosão existente representa um problema em potencial para os componentes, torna-se necessário o desenvolvimento de procedimentos específicos de análise e correção, constituindo-se na motivação fundamental para a realização de estudos adicionais sobre este fenômeno⁽¹⁾.

MATERIAIS E METODOS

No presente estudo tem-se um experimental acerca do processo corrosivo sofrido por aços inoxidáveis quando submetidos à meios corrosivos, além de pesquisas bibliográficas em obras literárias acerca do assunto para melhor entendimento e desenvolvimento do trabalho para a obtenção de resultados confiáveis e satisfatórios.

A partir do embasamento teórico acerca do assunto foi dado início aos experimentos, utilizando amostras dos aços inoxidáveis AISI 303 e 316L, dipostas em barras cilíndricas.

A figura 1 apresenta o fluxograma que contém os passos seguidos para a obtenção das peças:

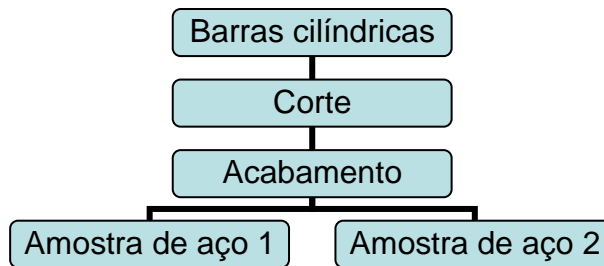


Figura 1- Fluxograma de obtenção das peças

Para o corte dos corpos de prova foi utilizada uma serra fita da *Starret* modelo S1101 e posteriormente cortados com máquina policorte modelo Arocor 60 da *Arotec*.

Para cada amostra do aço foi realizado o tratamento térmico no 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 com o intuito de promover a sensitização desse material para em seguida serem submetidos ao meio corrosivo. O fenômeno de sensitização sujeita aos aços inoxidáveis austeníticos mais um mecanismo de corrosão, a intergranular. Sendo que sensitização consiste na precipitação dos carbonetos ricos em cromo nos contornos de grão e conseqüentemente, empobrecimento de cromo na região vizinha. Isso acontece depois que o material é exposto ao tratamento térmico ou aquecidos para o trabalho a quente ou para soldagem numa certa faixa de temperatura, entre 400°C e 850°, por um determinado tempo que levará ao processo de sensitização.

Após tratamento térmico, as amostras passaram por uma fase de acabamento superficial com lixas d'água com granulometria de 180, 320, 400, e 820 numa Lixadeira/Politriz modelo Aropol 2V da Arotec, para retirada de óxidos que se formaram na superfície e obter uma superfície que possibilitasse a visualização da corrosão ao qual os corpos de prova estariam submetidos. A técnica de lixamento manual consiste em lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menor, mudando-se de direção, cerca de 90°, em cada lixa subsequente até desaparecerem os traços da lixa anterior.

Foi feito a medição das dimensões das amostras, assim como do peso de cada uma delas. Estas serão utilizadas no tópico resultados e discussão para devida explanação e obtenção dos resultados.

Os meios corrosivos utilizados no experimento foram preparados com 05 cloretos, os quais se têm: Cloreto de Sódio (NaCl), Cloreto de Magnésio (MgCl), Cloreto de Cálcio (CaCl) e Cloreto de Potássio (KCl). Foi preparada a solução, com os cloretos presentes em água do mar. Para a produção da água do mar artificial foi utilizado água destilada e os percentuais de cloreto, apresentados na Tabela 1, retirados da Norma ASTM D1141, que indica os percentuais de cada cloreto quando se deseja fazer estudos com água do mar artificial.

Tabela 1 - Quantidade de sais para água do mar artificial

Componente	Quantidade (g/l)
NaCl	24,53
MgCl	5,2
KCl	4,695
CaCl	1,16

Com a solução feita, os corpos de provas foram submetidos à essa, ficando totalmente submersos no fluido. O experimento foi acompanhado durante todo o andamento da exposição das amostras ao meio corrosivo, sendo a solução corrosiva completada semanalmente a um nível suficiente para deixar as amostras totalmente submersas no fluido.

Com o tempo de exposição decorrido as amostras foram retiradas da exposição do meio corrosivo e limpadas para a retirada de sólidos que ficaram na superfície. Em seguida essas foram pesadas através de uma balança eletrônica de precisão *Shimadzu* modelo TX3202L com resolução de 0,01g para ser feita a análise de Taxa por Perda de Massa (TPM) e Taxa de Penetração da Corrosão (TPC) fundamentais para a avaliação dos resultados que irão ser apresentados no final do trabalho.

Para as outras amostras dos aços inoxidáveis AISI 303 e 316 L foi realizada análise de microscopia para verificação detalhada do quanto a corrosão atacou cada amostra específica de cada aço, tratadas e não tratadas termicamente, ou seja, verificou-se a susceptibilidade ou não à corrosão de cada aço. Antes disso, todas as amostras foram submetidas a um processo de polimento e ataque químico para só então passarem pela análise microscópica.

No polimento foi utilizado solução abrasiva de alumina para retirada de marcas na superfície de ataque numa Lixadeira/Politriz modelo Aropol 2V da *Arotec*. O ataque químico foi realizado na superfície a ser observada para revelar nitidamente o efeito da corrosão na superfície do aço.

Depois do polimento e ataque químico, as amostras já estão prontas para o exame microscópico desde que os elementos estruturais possam ser distinguidos uns dos outros, através da diferença de cor, relevo, falhas estruturais como trincas, poros, etc. Por fim, realizou-se a análise de microscopia no microscópio óptico Olympus Gx51 acoplado com câmara digital Olympus SC30 com o software AnalySISgetIT, sendo observadas todas as superfícies de ataque de todas as amostras, tirando fotos em aumentos diferentes que revelaram o que a corrosão causou a cada superfície de cada amostra exposta ao meio corrosivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo do estudo sobre o processo corrosivo de aços inoxidáveis AISI 303 e 316L quando submetidos à água do mar artificial.

A análise química foi realizada como o auxílio de um Espectrômetro de Emissão Ótica PDA7000 da Shimadzu do Laboratório de Caracterização de

Materiais (LACAM) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A medida foi realizada em duas posições de cada amostra, com erro na quarta casa decimal, de tal forma que os valores apresentados correspondem à média aritmética desses valores. Os aços inoxidáveis AISI 303 e 316L utilizados no presente trabalho apresenta a composição química de acordo com as tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Composição química do aço AISI 303

Elemento	Porcentagem
C	0,0472
Si	0,409
Mn	1,677
P	0,03
S	0,025
Ni	8,921
Cr	18,6
Mo	0,55
Cu	0,27
Ti	0
Pb	0
Al	0
Nb	0,053
V	0,55

Tabela 3 - Composição química do aço AISI 316L

Elemento	Porcentagem
C	0,0000
Si	0,569
Mn	1,109
P	0,32
S	0,232
Ni	10,49
Cr	17,4
Mo	2,15

Cu	0,43
Ti	0,000008
Pb	0
Al	0
Nb	0,052
V	0,53

Um dos pontos mais importantes na composição química dos aços em estudo é a ausência de carbono no aço 316L, mostrando que o mesmo não passará por o processo de sensitização devido ao tratamento térmico que foi submetido, podendo-se dizer que esse não sofrerá corrosão intergranular. O contrário ao aço AISI 303 que tem a possibilidade de ser sensitizado. 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 vanádio, que são elementos estabilizados utilizados para minimizar a sensitização do aço, impedindo o empobrecimento do cromo via precipitação em forma de carbonetos. Visto os percentuais dos elementos de liga que estão presentes nestes aços, podemos classifica-los como aços inoxidáveis austeníticos pelo percentual, principalmente, de Ni e Cr, valendo salientar a presença de nióbio e vanádio que são elementos estabilizadores para minimizar um possível processo de sensitização, além do baixo teor de carbono.

A sensitização nos aços inoxidáveis é denominada pela formação de carbonetos complexos de cromo, resultantes da combinação do cromo com o carbono livre existentes nos aços, ou seja, a sensitização é mais intensa quanto maior for à quantidade de carbono no aço ou quanto mais tempo o material permanecer a uma temperatura crítica.

Análise fotográfica

Após as amostras dos dois aços serem retiradas das soluções que estavam expostas, foram limpas com água destilada para retirar o excesso de produto de corrosão da superfície possibilitando a análise visual das superfícies corroídas.

Na figura 2 pode-se observar as superfícies correspondentes aos aços AISI 316L e 303, respectivamente, após expostas a solução de água do mar.



Figura 2 - Amostras dos Aços AISI 316 L e 303 depois da exposição à solução de água do mar

Nessas amostras nota-se a presença de uma provável corrosão por pites, onde foi observado que na amostra do aço AISI 316L a corrosão manteve-se espalhada na superfície e no aço AISI 303 se concentrou na maior parte com maior quantidade e intensidade.

Taxas de corrosão

Em se tratando de uma perspectiva de engenharia, são necessários índices que permitam a visualização de como os sistemas e materiais são susceptíveis à corrosão. Para o trabalho foram utilizadas as seguintes taxas de corrosão: Taxa de Penetração da Corrosão (TPC) e a Taxa de Perda de Massa (TPM), ambas calculadas pelas equações (A) e (B), respectivamente:

$$TPC = \frac{KW}{\rho At} \quad (A)$$

Onde K é uma constante que vale 87,6 mm/ano, W é a perda de massa em g, A é a área exposta em cm², t é o tempo de exposição em horas e ρ é a massa específica do material em g/cm³.

$$TPM = \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (B)$$

Onde ΔM é expressa a variação de massa e Δt é a variação de tempo.

A perda de massa é um dos parâmetros utilizados para monitorar a corrosão nos materiais metálicos, desta forma as amostras foram pesadas antes e depois da passagem pelo processo de corrosão. O resultado da pesagem é apresentado nas Tabela 4 e 5, que neste caso se refere aos aços AISI 316L e 303, respectivamente, indicando também a Taxa por Perda de Massa da amostra levando em consideração um período de exposição de um mês.

Tabela 4 - Análise de perda de massa para o aço 316L

Massa Inicial (g)	Massa final (g)	Perda de Massa (mg)	TPM (kg/ano)	TPC (mm/ano)
35,5010	35,4981	2,9	$3,41452 \times 10^{-5}$	0,002048

Tabela 5 - Análise de perda de massa para o aço 303

Massa Inicial (g)	Massa final (g)	Perda de Massa (mg)	TPM (g/dia)	TPC (mm/ano)
36,66	36,63	30	$3,53226 \times 10^{-4}$	0,0029

Já para Taxa de Penetração a Corrosão (TPC) do aço 316L, observa-se que esse material apresentou 0,002048 mm/ano no período de um mês. E para o aço AISI 303 a taxa de penetração no material apresentou 0,0029 mm/ano no mesmo período de exposição.

Com base nos resultados da Taxa de Perda de Massa ficou comprovado que o aço AISI 316L sofreu pouca perda de massa, como previsto anteriormente. Já o aço AISI 303, teve uma perda de massa maior, pois, o mesmo apresentou danos na camada de cromo após o tratamento térmico, estando mais susceptível a corrosão.

Após as amostras dos dois aços terem sido analisadas pela Taxa de Penetração a corrosão e Taxa de Perda de Massa, as mesmas foram submetidas a análise microscópica para ser ter a comprovação ou não da ação da corrosão nos aços.

As figuras 3 e 4 apresentam a microscopia das amostras dos aços AISI 316L e 303, respectivamente.

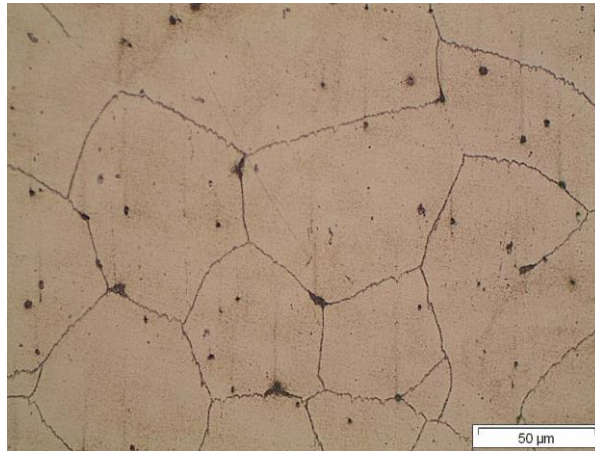


Figura 3 - Análise microscópica do aço AISI 316 L

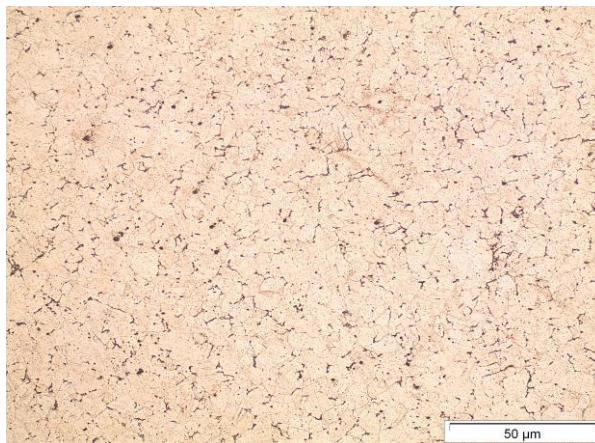


Figura 4 - Análise microscópica do aço AISI 303

Através da análise das imagens microscópicas fica perceptível que a amostra do aço AISI 316L, mesmo passando pelo tratamento térmico, não evidencia a sensitização, o mesmo apresentou baixa ou quase nenhuma corrosão por pites, tendo em vista que este não apresenta carbono em sua composição.

Na amostra do aço AISI 303 constatou-se que este apresentou corrosão por pite nos contornos de grão, indicando que o tratamento térmico promoveu danos a camada de cromo e levou a o surgimento de corrosão. A não evidência da corrosão intergranular nesse tipo de aço se dá pelo fato que o Nióbio e o Vanádio funcionaram como elementos estabilizadores, impedindo maior precipitação de carbonetos de cromo.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo principal a realização da análise da deterioração corrosiva de dois aços inoxidáveis quando submetidos à água do mar, observando essa comparação através de parâmetros físicos e visuais, identificando o tipo de corrosão e os parâmetros associados à mesma. Partindo dos conhecimentos adquiridos e dos resultados obtidos de perda de massa e taxa de penetração de corrosão, com os testes de exposição realizados em laboratório, conclui-se que:

- Os aços inoxidáveis em estudo apresentaram provável tendência à corrosão por pite em meio a água do mar.
- Tratamentos térmicos aumentam a susceptibilidade à corrosão dos aços inoxidáveis austeníticos.
- O tratamento térmico não conseguiu sensibilizar o aço AISI 303 mesmo com a presença de carbono, pois, o Nióbio e Vanádio na sua composição agiram como elementos estabilizadores e não permitiram a precipitação de carbonetos de cromo, porém promoveu danos na camada de cromo, permitindo que o aço ficasse mais susceptível à corrosão por pite.
- Como previsto, o aço AISI 316L não teve ataque considerável de corrosão, pois, o mesmo não sofreu sensibilização por não ter em sua composição o carbono necessário para esse efeito.
- Para aços inoxidáveis submetidos a tratamentos térmicos que promovem a precipitação de carbonetos, é indicado um resfriamento rápido após o tratamento, impedindo assim a precipitação dos carbonetos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NUNES, L. P. Fundamentos de resistência à corrosão, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 330p. 2007.
2. THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Interciência, 2004.
3. GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 360 p.
4. SILVA, A. L., MEI, P. R., **Aços e Ligas Especiais**, 3ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

ANALYSIS OF DETERIORATION IN STEEL CORROSIVE STAINLESS AISI 303 AND AISI 316L EXPOSURE TO WATER ARTIFICIAL SEA

ABSTRACT

Stainless steels when exposed to certain aqueous solutions can corrode, considerably reducing its useful life. Thus, the work has the aim to make experimental analysis about the corrosive process undergone by austenitic stainless steel AISI 303 and AISI 316L subjected to the corrosive medium of artificial seawater with heat treatment. With the results it is clear that isothermal treatments in stainless steel AISI 303 austenicos do not suffer from a degree of appreciable sensitization, observed damage to the passivating layer that allowed the steel stay more susceptible to pitting corrosion. In the AISI 316L sensitization process has not occurred, because the steel has no carbon in its composition is the main element to occur sensitization process, but with the heat treatment and the corrosive medium than steel was exposed resulted in a small corrosion.

Keywords: Corrosion, Sensitization, Austenitic stainless steels, Corrosion pite.