Unisanta Science and Technology, **2015, 6, December**
Published Online 2015 Vol.4 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Analise de corrosão por Pite em Placa de Troca Térmica de Material Austenítico de um Trocador de Calor

Leonardo Peres de Souza[1], Marcos Tadeu T. Pacheco[1,2]

[1]Universidade Santa Cecília - Unisanta
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos – SP, Brasil.
[2] Universidade Camilo Castelo Branco - Instituto de Engenharia Biomédica,
Estr. Dr. Altino Bondesan, 500, São José dos Campos, SP
E-mail: leonardo.peres.eng@hotmail.com

Received April, 2015

Resumo: Estudo realizado para caracterizar a corrosão por pite localizado, evidenciado em placas de troca térmica de um trocador de calor de uma unidade de processo, resfriado por água de torre de resfriamento sem tratamento químico para eliminação de impureza na sua composição química. A caracterização do dano ocorreu após a remoção de amostras nos pontos previamente identificados através de ensaio não destrutivo de líquido penetrante, para análise química através de Espectrometria Óptica para identificação correta da liga e de seus componentes e comparação com o indicado em normas de fabricação de chapas. Foram realizados ensaios metalográficos, essa no microscópio estéreo para caracterização e dimensionamento superficial e dimensionamento do pite, para posterior análise micrográfica na seção transversal do dano. Com essas analise metalográficas do material em conjunto com a análise química dos componentes da água de resfriamento que circulam nas chapas de troca térmica pode-se observar a devida caracterização da corrosão por pite pela elevada oscilação de cloretos em um período de operação do equipamento, promovendo a corrosão eletroquímica por pite.

Palavras chave: Corrosão por Pites, Aços Austeníticos, Corrosão Eletroquímica.

Pitting corrosion Analysis on heat exchange Plate of Austenitic Material of a Heat exchanger

Abstract: This work aims to characterize the pitting corrosion located evidenced in heat exchange plates of a heat exchanger of a process unit cooled by cooling tower water without chemical treatment to eliminate impurities. The characterization of the damage occurred after the removal of samples in previously identified points using non-destructive test penetrant for chemical analysis by spectrometry optics for correct identification of the league and its components and comparison with the indicated plates manufacturing standards. Metallographic test performed through stereo microscope to identify the type of surface pitting and scaling and later micrographic analysis in the cross section of the damage to assess its depth and electrochemical corrosion attack of the grain boundaries. With these metallographic analysis of the material together with the chemical analysis of components of cooling water circulating in the heat exchange plates can observe proper characterization of the high pitting corrosion in a chloride oscillation equipment operation period, promoting the electrochemical pitting corrosion.

Keywords: pitting corrosion, Austenitic Steels, Corrosion Electrochemistry.

Copyright © 2015 ISESC.

1. Introdução

Os Trocadores de placa foram introduzidos comercialmente na década de 30 para atender às exigências de higiene e limpeza nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, pois eles podem ser facilmente desmontados, limpos e inspecionados. Com isso, contínuos aperfeiçoamentos tecnológicos tornaram esses equipamentos um forte concorrente aos tradicionais trocadores de calor casco-e-tubos ou duplo-tubo em várias outras aplicações industriais.

Atualmente são extensamente empregados em diversos processos de troca térmica entre líquidos com pressões e temperaturas moderadas (até 1,5 MPa e 150 ^{o}C) quando se deseja alta eficiência térmica [1].

Esses equipamentos são construidos com placas de troca térmica feitos com aços austeniticos que servem como superfícies de transferência de calor. Estas placas são dispostas entre cabeçotes de chapas mais espessas, comprimidos por estojos de fixação e selados através de anéis de vedação (Figura 1). Essas chapas são facilmente limpas e substituídas, sendo entre elas, por seus estreitos canais, escoados fluidos a serem resfriados trocando calor através de finas chapas metálicas.

Com o aumento de sua aplicação foram sendo observados danos nessas chapas, atribuidas principalmente à qualidade e composição quimica dos fluidos transportados por seus estreitos canais.

O dano o mais severo; a corrosão por pite, que causa a perfuração de pontos localizados nessas chapas de troca térmica.

O artigo tem por finalidade caracterizar a corrosão do tipo pite nas placas de troca térmica de um trocador de calor, de aço austenitico, por meio de ensaios metalográficos, e de espectrometria óptica para análise do material da placa que será comparado com a especificada no projeto do equipamento.

2. Materiais e Métodos

Após a remoção das placas de troca térmica do equipamento foi realizada a identificação do dano utilizando ensaio não destrutivo com líquido penetrante (Fig.2) em toda a extensão das placas, para indicação da região com o dano.

Para analise desse dano observado no ensaio de líquido penetrante, foi retirada uma amostra retirada dessa região para análise química e metalográfia do material para avaliação do seu mecanismo de dano, assim como, amostras do fluido de resfriamento que circula externamente pelas placas para analise de suas características físicas.

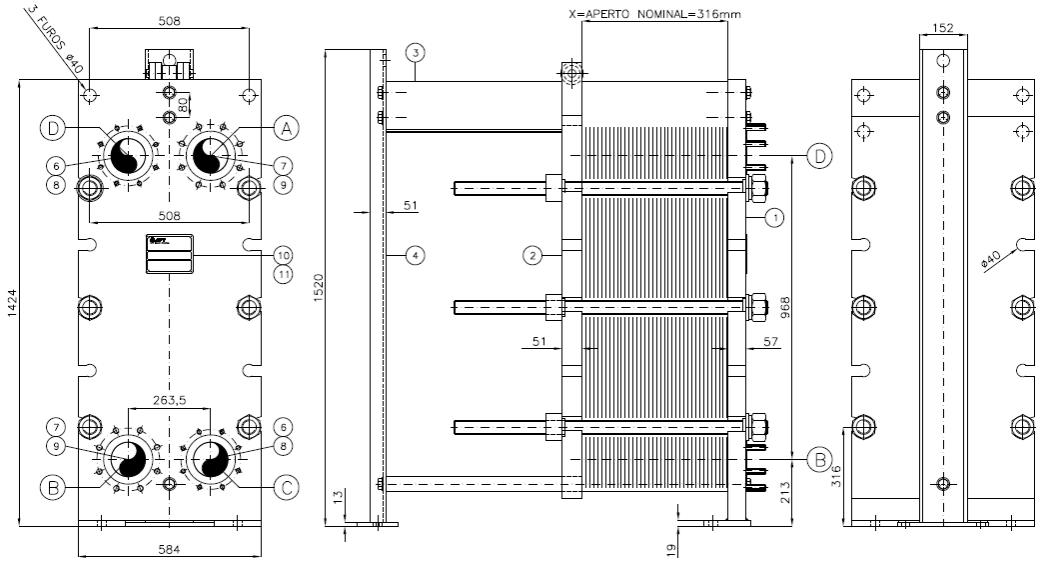


Fig. 1: Detalhamento das dimensões do Trocador de Calor [10].

Copyright © 2015 ISESC



Fig. 2: Vista da identificação do dano após ensaio com Líquido Penetrante.

A amostra removida da placa de troca térmica do equipamento foi colocada em um aparelho do tipo Espectrometro Óptico de modelo Spectromaxx com repetibilidade de 0,77% e tendência 4% com 2 repetições nessa mesma amostra indicando valores próximos conforme observado na Tabela 01.

Como primeira analise metalográfica, foi analisada a amostra sem preparação, sendo preservadas suas características iniciais, observada através do microscópio estéreo do tipo TNE 10T com ampliação entre 10x e 40x, Figura 3, para caracterização a corrosão por pite.

Propriedade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1° Analise	0,021	0,5	1,86	0,018	0,007	17,08	10,11	2,08
2° Analise	0,025	0,48	1,52	0,026	0,004	16,94	10,31	2,08

Tabela 1 – Resultados das porcentagens das propriedades do material analisado.

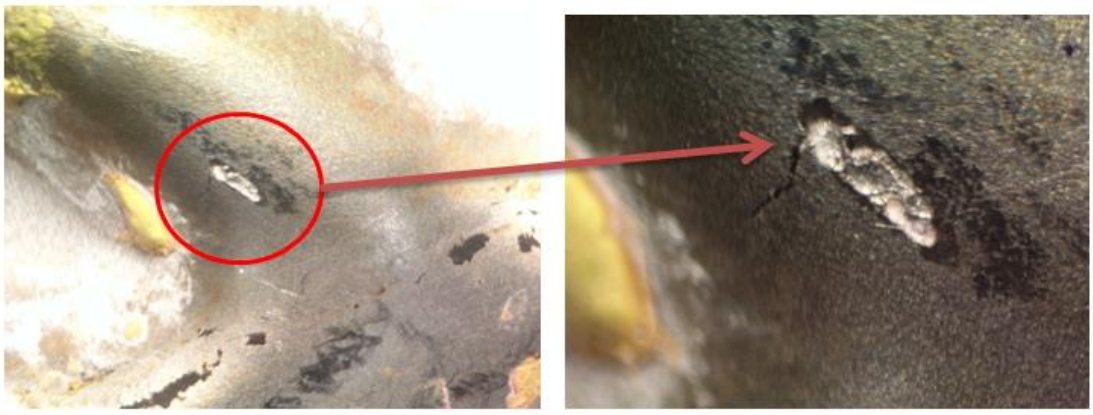


Fig. 3: Vista da superfície com dano, analisada através de um microscópio estéreo com ampliação de 10x e 40x, respectivamente, antes da preparação para analise metalográfica.

Copyright © 2015 ISESC

Com a caracterização do dano observada microscopicamente, teve inicio seu preparo para analise metalográfica, sendo seccionado transversalmente ao dano, com auxilio de um disco de desbaste para embutimento da amostra a quente com resina acrílica transparente (Metil Metacrilato) – marca comercial Dencrill - a temperatura de 165°C com pressão de 17Mpa durante 6 minutos, resfriada a 75°C durante 7 minutos [REF.03].

Com a amostra embutida teve inicio a preparação da face transversal do dano para sua analise, utilizando lixas com granulação de 100 a 220 em uma politriz até o polimento geral da seção transversal a ser amostrada, sendo direcionada ao microscópio óptico com aumento de 100x para avaliação do pite na seção transversal seccionada, Figura 4.

Foi executado o ataque químico com reagente de formulação de 200ml de HNO3 e 60ml HCL de acordo com a tabela 3 e reagente 12 da norma ASTM E-407, sendo direcionada ao microscópio ótico TNM 07PL para analise de sua microestrutura, com aumento de imagens de 100X a 200X, sendo evidenciado o dano e suas características microestruturais, caracterizando a corrosão por pite [4]. Observado uma linha central linear na extensão de toda a região analisada, caracterizando segregação em material austenitico em degraus. Para analise dos contornos de grão e suas características físicas na região da corrosão foi utilizado um aumento de 100x no microscópio óptico, sendo observada perda de material desordenada, estando em algumas regiões transgranulares e em outras intergranulares, conforme Figura 6.

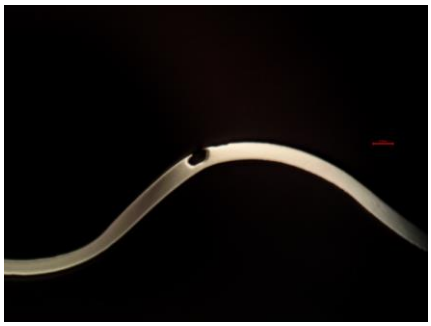


Fig. 4: Vista da seção transversal do pite para caracterização do dano e dimensionamento.

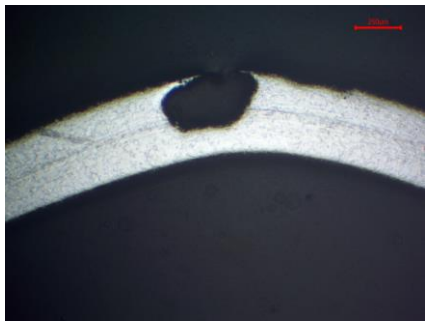


Fig. 5: Vista da seção transversal do pite após ataque químico observando microestrutura austenitica em degraus com leve segregação central.

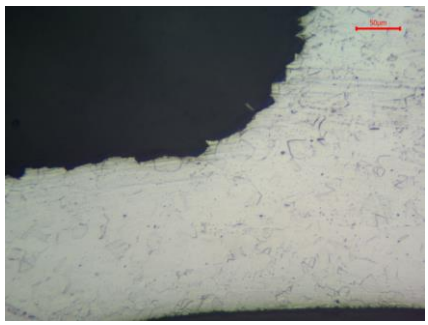


Fig. 6: Figura identificando a borda do pite observando a corrosão tanto intergranular quanto a transgranular.

Copyright © 2015 ISESC

Foram retiradas amostras semanais da água de resfriamento do equipamento para analise de sua composição físico/químico durante o período onde foi observada a falha nas placas de troca térmica desse trocador em operação, para analise da quantidade de cloretos que possibilitasse esse tipo de corrosão. Para essa analise as amostras foram encaminhadas ao laboratório para análises físico-químicas e bacteriológicas com a respectiva emissão de laudos segundo Portaria 2914, NTA 60, Conama 357 e 430, Decreto 8.468. Conforme identificado no gráfico 01, foi analisado em particular apenas o componente "cloreto" das amostras da água proveniente da torre de resfriamento, podendo ser observada a variação da quantidade de cloreto na substancia analisada durante o período de quatro meses.

3. Resultados e discussões

Através do ensaio não destrutivo realizado em toda área superficial das placas de troca térmica pode-se observar regiões com descontinuidades passantes, através de indicações circulares de pequenos diâmetros localizados. Com isso foi possível o inicio da análise da corrosão, a identificação do ponto na placa de troca térmica, e determinação da região a ser analisada para sua caracterização, conforme visto na figura 2. Na amostra que contia o dano foi avaliada em um microscópio estéreo com ampliação entre 10 e 40x, antes da preparação para embutimento e ataque quimico, sendo identificado no primeiro momento a corrosão localizada, caracterizando o dano como corrosão por pite, relativamente rasa quando visto pela superfície, com dimensões maximas de aproximadamente 0,5mm x 0,12mm. Com essa mesma técnica foi possível dimensionar o dano superficial.

Após sua preparação com corte de sua seção tranvesal, polimento, embutimento e ataque quimico, a amostra foi analisada micrograficamente, sendo observada dimensão máxima de 0,2mm de diametro que apresentou profundidade de 0,3mm no ponto seccionalmente analisado pelo ensaio metalográfico, podendo ter perfurado a chapa se observado em outras seções.

No exame micrográfico foi possível identificar que a chapa apresenta microestrutura austenitica em degraus, ou seja, quase não há presença de carbonetos nos contornos de grão. Também foram detectados sulfetos alongados e outras indicações que tenderiam a diminuir a resistencia do material a corrosão por pites.

De modo geral a microestrutura austenitica apresenta grãos bem definidos praticamente sem deformações plasticas.

A composição quimica da chapa observada pelo Epectrometro Óptico que caracterizou o material com AISI 316L, indica a presença de 2,08% de molibidenio conforme tabela 1, o que tende a melhorar o desempenho do material a esse tipo de corrosão, que em combinação com o cromo é muito eficiente na estabilização da camada passiva quanto à presença de cloretos, tornado eficaz sua resistencia quanto à corrosão para concentrações baixas de cloreto. A faixa recomendada de molibidenio esta entre 2% a 3% embora comercialmente sejam fornecidos ligas com teor muito próximos do mínimo [5].

Outro ponto caracteristico do mecanismo de dano observado é sua condição de corrosão evidenciada sendo intergranular e transgranular, conforme Figura 6, corroendo de forma não sistemica pela diferença de potencial eletroquimico do poço do pite [8]. À medida que o pite aumenta sua densidade, a concentração iônica na solução da poça do pite aumenta, chegando muitas vezes a condições de supersaturação. Sob essas condições, a taxa de crescimento pite é limitada pelo transporte de massa para fora do poço [6].

Na analise quimica da água de resfriamento realizada durante o período onde foi evidenciado o problema com o equipamento pode-se observar uma grande variação na água de resfriamento quanto a presença de Cloretos, conforme grafico 1, caracterizando assim o dano por completo, pois o cloreto tem uma capacidade anionica relativamente de pequena influencia e alta difusividade, sendo que com a presença grandes quantidades desse componente e de agentes oxidantes como óxigenio, interfere prejudicialmente na passivação do material austenitico.

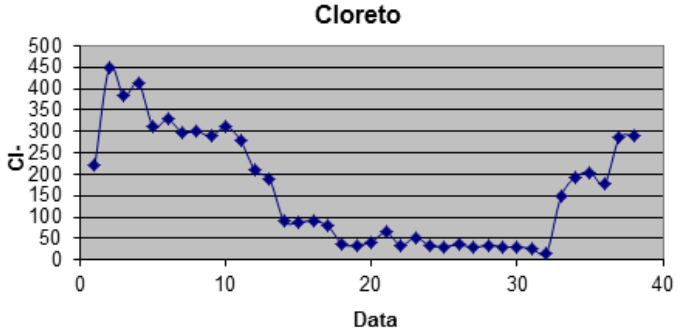


Gráfico 1 – Identificação de ppm de CL durante o período de 13/06/2014 a 23/10/2014.

Copyright © 2015 ISESC

Em resumo, a resistencia a corrosão de um material está relacionada a formação de um filme passivo que protege toda a superficie metalica. O processo de corrosão se iniciou no momento que ocorrreu a quebra dessa passividade devido a ação de ions agressivos provocados pela alta concentração de cloreto da água utilizada no trocador para eficiencia da troca térmica. Essa quebra da passividade foi seguida pela formação de uma célula eletrolitica onde o anodo é uma pequena area de metal ativo, e o catodo é toda a area do material passivo. A diferença de potencial dessa célula ativa-passiva conduz um elevado fluxo de corrente com rápida corosão na pequena área do anodo [7].

4. Conclusões

Através das análises dos resultados obtidos nos ensaios realizados da amostra do material da placa de troca térmica quanto suas propriedades físico/quimico, foi caracterizado o material A240-316L, conforme especificado no projeto do equipamento, eliminando a hipótese de material fora de especificação. Com a análise metalográfica pode-se observar a carcterização da corrosão por pite e obtenção das dimensões da poça do pite que em conjunto com a análise quimica dos componentes da água de refrigeração que apresentou elevações no teor de cloretos da água utilizada no processo de resfriamento, pode-se observar a corrosão eletroquimica por pite localizado, promovida pela desagregação localizada resultando em dissolução acelerada do metal subjacente.

5. Referências Bibliográficas

[1] GUT J. A. W. e PINTO J. M.; Conhecendo os trocadores de calor de placas Dep. de Eng. Química - Universidade de São Paulo,2010.

[2] GIRÃO I. F.; Centro Universitario da FEI; Projeto Caracterização da Resistencia a corrosão por pite em aço após soldagem,2006.

[3] NORMA ASTM A751, edição 11.

[4] NORMA ASTM G-46, edição 94 R2005

[5] METALS HANDBOOK Corrosion was published in 1987 as Volume 13 of the 9th.

[6] FRANKEL G. S.; Pitting Corrosion of Metals A Review of the Critical Factors; Journal of the Electrochemical Society, Vol. 145, No. 6, 1998, pp. 2186-2198.

[7] METALS HANDBOOK -Metals Handbook, vol.IX.

[8] MARCUS P. Localized corrosion (pitting): A model of passivity breakdown including the role of the oxide layer nanostructure. Corrosion Science, Université Pierre et Marie Curie. 2008.

[9] AULT J. P. Statistical Analysis of Pitting Corrosion in Condenser Tubes. ASTM STP 1300, American Society for Testing and Materials, 1997.

[10] DESENHO SP 1/15581-B Arranjo de placas e dimensões gerais do intercambiador de calor LR-405, n° SP 1/15581-B, aprovado em 17/10/2006 – APV South America.

Copyright © 2015 ISESC