

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Processo corrosivo de um trocador de calor na unidade de Hidrotratamento de uma Planta de Lubrificantes Naftênicos

Emanuel Santana da Costa^a, Cícero Roberto de Oliveira Moura^b, Gerardo Jesus Aracena Perez^c, Antenor Barra Dias Filho^d, José Augusto Ribeiro Ferraz^e

Abstract

This paper presents a practical case study of the corrosion process for industrial cooling water in a unit Hydrotreating (HDT) in a Production Plant of naphthenic lubricants, specifically in the tube bundle cooler end of the reactor effluent hydrotreating. The external corrosion deposits in the heat exchanger tubes, occasioned contained many holes in pipes leading to unscheduled shutdowns of the lubricants plant, leading to high maintenance costs, and losses loss of profits for the company. Corrective and preventive actions carried out over several years, will be presented to minimize the impacts of the corrosion process, through corrections in the corrosive medium, changing the material of the pipes and constructive change in the design configuration of the beam and shell of the heat exchanger with the involvement of a team of technical experts from various areas of knowledge such as industrial maintenance, inspection equipment, process engineering and materials engineering.

Keywords: corrosion by water, heat exchanger, hydrotreating.

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo de caso prático do processo corrosivo por água industrial de resfriamento em uma unidade de Hidrotratamento (HDT) em uma Planta de Produção de Lubrificantes Naftênicos, especificamente em feixe de tubos do resfriador final de efluente do reator de hidrotratamento. A corrosão sob depósitos externa nos tubos do trocador de calor, ocasionava furos constantes em diversos tubos levando a paradas não programadas da planta de lubrificantes, o que conduzia a custos elevados de manutenção, além de perdas de lucro cessante para a empresa. Serão apresentadas as ações corretivas e preventivas realizadas, ao longo de alguns anos, para minimizar os impactos do processo corrosivo, através de correções no meio corrosivo, mudança do material dos tubos e alteração construtiva na configuração de projeto do feixe e casco do permutador de calor, com o envolvimento de uma equipe de técnicos especialistas de várias áreas de conhecimento, como a manutenção industrial, inspeção de equipamentos, engenharia de processo e engenharia de materiais.

Palavras-chave: corrosão pela água, trocador de calor, hidrotratamento.

^a Especialista, Engenheiro de Produção Mecânica, Técnico de Inspeção Sênior - Petróleo Brasileiro S.A.

^b MSc. Gerente de Inspeção de Equipamentos - Petróleo Brasileiro S.A. / Instituto Federal do Ceará

^c MSc. Engenheiro de Equipamentos Sênior - Petróleo Brasileiro S.A.

^d Especialista, Engenheiro de Produção Mecânica, Técnico de Inspeção Pleno - Petróleo Brasileiro S.A.

^e Especialista, Engenheiro de Processamento Pleno - Petróleo Brasileiro S.A.

Introdução

A água é muito utilizada industrialmente em sistemas de refrigeração ou de geração de vapor. As causas de corrosão nos equipamentos nos quais se processam as trocas térmicas que mais frequentemente influenciam a ação corrosiva da água são: sais e gases dissolvidos, presença de ácidos e bases, materiais em suspensão, crescimento biológico e fatores operacionais tais como velocidade de circulação e temperatura do fluido⁽¹⁾.

Este trabalho apresenta um estudo de caso prático do processo corrosivo por água industrial de resfriamento em uma unidade de Hidrotratamento (HDT) em uma Planta de Produção de Lubrificantes Naftênicos, especificamente em feixe de tubos do resfriador final de efluente do reator de hidrotratamento.

O permutador de calor, em estudo, tem a função de resfriar os produtos provenientes dos reatores (R-231301 e R-231302) até uma temperatura média de 60°C. Ele trabalha do lado do casco a uma pressão máxima de operação de 4,5 kgf/cm² e as temperaturas de entrada e de saída são respectivamente 30°C e 43°C; e do lado dos tubos a uma pressão máxima de operação de 124,7 kgf/cm² e as temperaturas de entrada e de saída são respectivamente 150°C e 60°C.

Os dados principais da especificação de projeto mecânico do trocador de calor são mostrados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Dados principais da especificação de projeto mecânico do trocador de calor

Dados de Projeto	Casco	Tubo
Pressão de projeto (kgf/cm ²)	9,0	134,7
Temperatura de Projeto (°C)	71	180
Fluído	Água de resfriamento	Óleo Hidrogenado
Material	Aço Carbono SA-516 Gr. 60	Aço Inoxidável A-268-TP 405
Tubo (Diâmetro e Espessura)	¾" (19,5mm) e BWG-14 (2,1mm)	
Tipo de trocador	DEU	

O projeto original do trocador de calor P-231304 apresentava algumas deficiências que provocaram a formação de depósitos pelo lado externo dos tubos (água de resfriamento) como pode ser visto na Figura 1. A presença destes depósitos levava a um processo de corrosão severa nos tubos de aço carbono, tendo o feixe uma vida até a ocorrência do primeiro furo variando de 2 a 3 anos (1998 -2001).



Figura 1 – Depósitos sobre os tubos do trocador de calor (ano de 2003) ⁽²⁾.

A água de resfriamento utilizada nos processos da empresa é captada de poços subterrâneos. São aplicados inibidor de corrosão, dispersante e biocidas. Os principais parâmetros físico-químicos são: pH na faixa de 7,5 a 8; dureza na faixa de 100 - 150ppm Ca; teor de cloretos (Cl⁻) em torno de 300ppm; condutividade de 1500 - 2000 μ S; teor de sílica 150ppm e teor de ferro < 0,1ppm.

Metodologia

Estudos foram realizados com o intuito de melhorar as condições físicas e operacionais do equipamento. As modificações no equipamento passaram por análises de engenharia de processo, compreendendo parâmetros como velocidade do fluxo, a disposição de acessórios internos (chicanas) e até mesmo alterações na metalurgia do equipamento.

O resfriador final dos efluentes do reator da unidade de hidrotreatamento possuía feixe tubular em aço carbono com tempo médio entre falhas de 2 a 3 anos, devido à corrosão sob depósitos. Para evitar este problema foi efetuada uma modificação no projeto do equipamento conforme a seguir:

- Alteração do projeto do trocador de calor para *rod-baffle* para garantir fluxo longitudinal eliminando-se áreas de estagnação e transformar o casco para TEMA “F”, com chicanas longitudinais para aumentar a velocidade ($v > 1\text{m/s}$)
- Alteração do material do tubo de aço carbono para um Aço Inoxidável Ferrítico Tipo 405.

Baseado nestes dados, um novo equipamento foi adquirido em 2009 com as modificações propostas e instalado na parada de setembro de 2010. Os frutos destas alterações estão descritos por ordem cronológica e são apresentados no item a seguir.

Resultados e discussão

Apesar de implementadas as propostas no equipamento, houveram duas ocorrências de vazamentos no trocador de calor, em fevereiro de 2012 e setembro de 2012, conforme serão mostrados e descritos a seguir:

Em fevereiro de 2012 foram detectados traços de hidrocarbonetos na torre de resfriamento, realizados testes na água para indicação da possível origem, evidenciado um vazamento no trocador de calor, objeto deste trabalho. O equipamento foi aberto como pode ser visto na Figura 2.



Figura 2 – Feixe tubular após abertura do equipamento e casco lado interno ⁽²⁾.

Após abertura do trocador de calor foi pressurizado o feixe tubular e detectada a presença de um tubo furado como pode ser visto na Figura 3. Posteriormente, mas durante o teste hidrostático (TH), foram detectados mais 03 tubos furados no trocador de calor que foram plugueados. Devido à localização dos tubos e prioridade no retorno operacional da unidade, não foi possível remover esses tubos para análise.



Figura 3 – Tubo vazando durante o teste hidrostático do feixe tubular ⁽²⁾.

Após execução de limpeza do feixe com hidrojateamento, os tubos externamente se apresentavam sem a presença de danos detectáveis no exame visual, como pode ser visto na Figura 4. Nesta inspeção não houve evidências da presença de corrosão por pite, pelo outro lado, como a falha do tubo era pontual e interna, sem acesso a região do tubo furado, a falha foi imputada a corrosão interna provavelmente devido a sais de amônio - presentes no fluido do lado dos tubos (óleo hidrogenado).



Figura 4 – Feixe tubular sem presença de danos externos após limpeza ⁽²⁾.

Foi criado um grupo de estudo para análise da falha, contudo considerando que o problema era interno, foi verificado que a água para diluição de sais de amônio precisava de ajustes. O equipamento passou a operar com 04 tubos tamponados a partir de fevereiro de 2012, dentro dos limites das condições de projeto de processo.

Em setembro de 2012 novamente foram detectados traços de hidrocarbonetos na torre de resfriamento (originado pela diferença de pressão lado tubo - óleo com lado casco - água de resfriamento) e como na ocorrência anterior, o equipamento mostrou indícios da ocorrência de furo em tubos comprovada pela análise da água da torre de resfriamento e água de entrada e saída do trocador de calor.

Ao contrário da ocorrência anterior, o teste hidrostático foi iniciado pelo casco e verificado a presença de 06 tubos com evidências de furos.



Figura 5 – Espelho do permutador de calor com tubos plugueados ⁽²⁾.

Foi realizado ensaio por líquidos penetrantes na região de curvatura externa do feixe e na região de trechos retos tanto superior como inferior ao feixe, cujos resultados são mostrados nas fotografias 6 e 7. A Figura 8 mostra a região inferior da curvatura com presença de corrosão por pite.



Figura 6 – Feixe tubular com indicações no ensaio de LP – presença de pites na região inferior (fev/2012) ⁽²⁾.



Figura 7 – Detalhe do feixe tubular com indicações no ensaio de LP – presença de pites na região inferior (fev/2012) ⁽²⁾.

Adicionalmente foram removidas três curvas dos tubos para análise e suas indicações são mostrados na Figura 8.



Figura 8 – Detalhe do tubo 6 – presença de pites e corrosão na região inferior da curva em U (fev/2012) ⁽²⁾.

Na região superior da curva, no trecho reto superior e nem no trecho reto inferior não foi observada corrosão.

Foi realizada análise de liga com analisador portátil como pode ser vista na Figura 9, pode-se observar que o teor de cromo dos tubos fica situado no patamar inferior da especificação que é de 11,5% de cromo conforme a norma ASTM A-268 TP 405.

Conforme novo projeto do trocador de calor, com material dos tubos alterado para um material de aço inoxidável do tipo ferrítico similar ao TP-405. Foi realizada identificação positiva de material dos tubos e do espelho através de analisador de ligas OXFORD X-MET 3000. O material de construção dos tubos que está indicado no projeto e na marcação do fabricante dos tubos é o aço inoxidável ASME SA 268 TP-405, porém no analisador de ligas foi obtido como resultado o material aço inoxidável TP-410 (ver Figura 10). Após análise das tabelas de materiais da ASTM, observou-se que a diferença entre o TP-405 e o TP-410 é apenas referente ao teor de carbono, e que por limitação técnica do aparelho analisador de ligas, este não determina o percentual de carbono (pequeno número atômico). Portanto, os materiais são similares e adequados à aplicação.



Figura 9 – Identificação positiva de Materiais com analisador de ligas portátil EDX ⁽²⁾.

[ANALYSIS]

SS CHEM

Date: 1/1/04 2:03:57 AM

Analyte	Conc.	Analyte	Conc.
Ti	0.00%	V	0.00%
Cr	11.52%	Mn	0.03%
Fe	>87.16%	Co	0.00%
Ni	0.00%	Cu	0.00%
Nb	0.00%	Mo	0.00%
W	0.06%		

Reference: SS ID / SS 410

Figura 10 – Imagem da tela do aparelho analisador de ligas portátil EDX ⁽²⁾.

Ensaio de polarização realizados em laboratórios com a água de resfriamento na temperatura de 60°C indicaram a formação de pite nos aços ferríticos TP 405 e TP 430. O aço austenítico, duplex e aço carbono não apresentaram corrosão por pite.

Para o aço carbono foi estimada uma taxa de corrosão uniforme de 0,17 mm/ano, baseado em ensaio de polarização, sendo considerada uma taxa moderada, conforme classificação da NACE RP0775 (4). Para estimar a taxa de corrosão para o aço carbono, foram levantadas 3 curvas (Figuras 11 e 12):

- 1- Curva de resistência de polarização: traçada com variação de potencial de -0,010V a 0,010V em relação ao potencial de corrosão.
- 2- Curva catódica: traçada com uma variação de potencial de -0,200V em relação ao potencial de corrosão.
- 3- Curva anódica: traçada com uma variação de potencial de +0,200 V em relação ao potencial de corrosão.

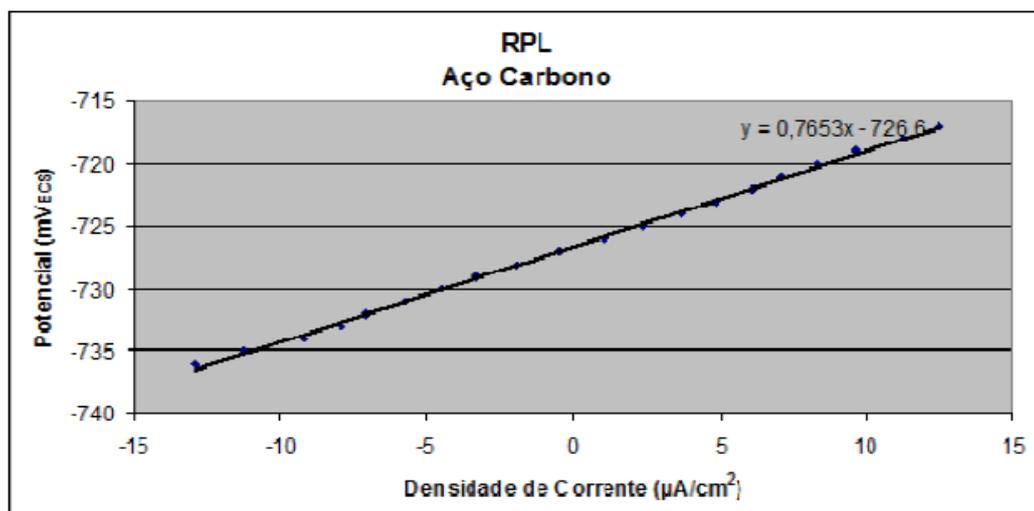


Figura 11 – Curva de resistência de polarização ⁽³⁾.

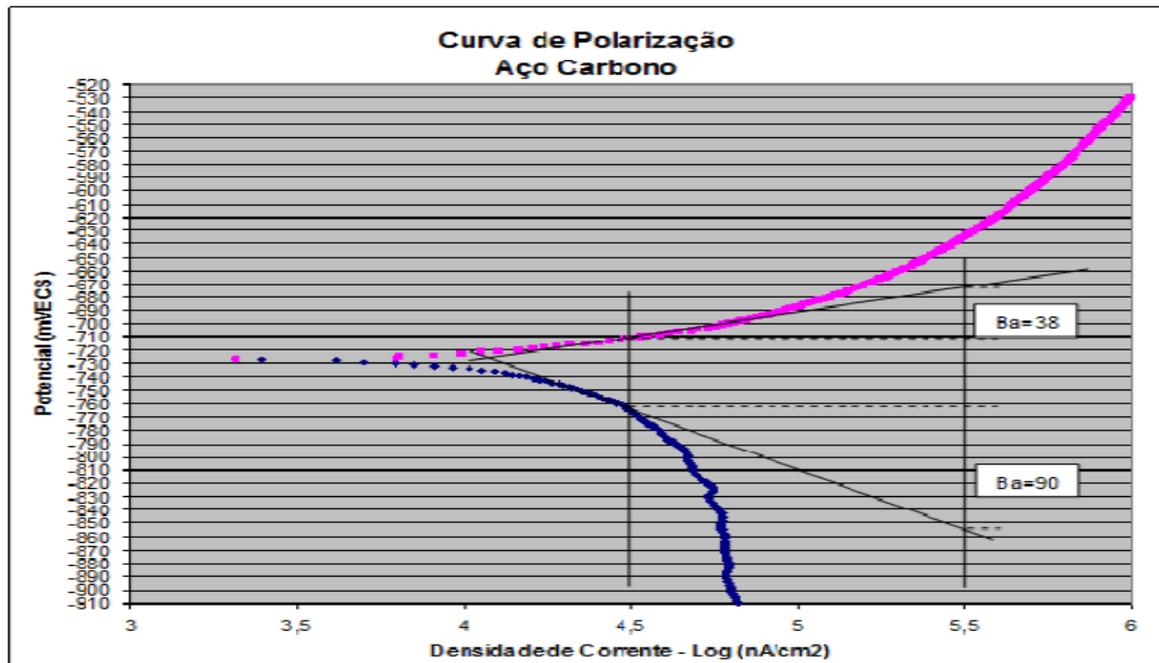


Figura 12 – Curva anódica e catódica ⁽³⁾.

Os pontos das curvas de polarização foram plotados em intervalos de 0,001V com velocidade de varredura de 0,00033 V/s. Esperou-se tempo de 1 hora para estabilizar o potencial de corrosão.

As taxas de corrosão foram calculadas segundo o método de resistência de polarização linear, baseado nos valores da resistência de polarização e coeficientes de Tafel, verificados nas curvas levantadas.

O aço inoxidável austenítico pode apresentar trincas por corrosão sob tensão na presença de tensões residuais trativas e teores de cloretos elevados em temperaturas acima de 50°C.

Baseado nestes resultados, o feixe de aço carbono que foi fabricado com tubos de 2,1mm apresenta uma vida estimada em 4,0 anos ⁽³⁾.

Pelas análises realizadas ficou caracterizado que o processo de formação de corrosão por pite nos tubos, que provocaram a falha:

- pelo lado externo nos tubos curvados;
- pelo meio da curvatura em direção à região inferior do tubo curvado;
- pelo lado da água de resfriamento e em temperatura mais baixas;

Não foi evidenciada a existência de pite no trecho reto superior e inferior nem na curvatura superior dos tubos.

O uso dos aços inoxidáveis AISI TP 405 apresentou corrosão por pite na condição de ensaio realizado, não sendo indicados como alternativa para o feixe tubular do permutador de calor.

O material definitivo do trocador de calor ainda encontra-se em análise baseado nos dados discutidos neste trabalho.

Conclusões

Este estudo de caso abordou de forma detalhada o processo corrosivo por água de resfriamento em feixe de tubos do resfriador final de efluente do reator de hidrotreatamento, evidenciando a corrosão sob depósitos externa nos tubos com constantes furos levando a paradas não programadas de uma unidade de lubrificantes. Foram apresentadas as ações corretivas e preventivas realizadas para minimizar os impactos do processo corrosivo, com correções no meio corrosivo (água), mudança do material dos tubos e alteração construtiva na configuração de projeto do feixe e casco do permutador de calor. Fica claro a necessidade de ampla atuação de técnicos especialistas de várias áreas de conhecimento, para evitar ou minimizar custos significativos em unidades de processo.

Referências bibliográficas

- (1) GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 2. ed. Guanabara Dois: Rio de Janeiro, 1982. 453p.
- (2) PÉREZ, Gerardo Jesus Aracena; DIAS FILHO, Antenor Barra; COSTA, Emanuel Santana. **Inspeção extraordinária da falha do P-231304**. Relatório de Inspeção Especial. Fortaleza, 2012. 10p.
- (3) LEAL, Murilo F.; PELLICCIONE, André S.; SOUZA, Eduardo Alencar de; CORREIA, Otávio C. **Ensaio de corrosão em água de resfriamento para seleção de material do permutador de calor P-231304**. Rio de Janeiro, 2013. 11p.
- (4) NACE RP0775. **Preparation, installation, analysis, and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations**. NACE: Houston, 2005.

* * *