

## **CORROSÃO POR CLORETOS EM SOLDAS DE COSTURA EM TUBOS DE RESFRIADOR A AR**

**André da Silva Pelliccione<sup>1</sup>, Edison Santos da Silva<sup>2</sup>, Jorge Luiz Rezende Galvão<sup>3</sup>, Luiz Antônio de Mello<sup>4</sup>, Marcio Humberto Silva Siqueira<sup>5</sup>, Milton Franco Moraes<sup>6</sup>**

**1 Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil, andre.pelliccione@petrobras.com.br**

**2 Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil, e-mail, edisonsilva@petrobras.com.br**

**3 Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil, jlrg@petrobras.com.br**

**4 Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil, luiz.mello@petrobras.com.br**

**5 Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil, mhssiqueira@petrobras.com.br**

**6 Íntegra, Rio de Janeiro, Brasil, Milton Franco Moraes - INTEGRA/RJ/Petrobras**

### **Resumo**

O presente trabalho apresenta um estudo de análise de falha ocorrido em um tubo aletado de um resfriador a ar ("air cooler") de uma unidade de hidrotreatamento (HDT) de querosene de aviação (QAV) ou Diesel. A falha se originou externamente na solda de costura longitudinal de fabricação do tubo por resistência elétrica. O tubo foi fabricado em aço inoxidável AISI 304 e possui aletas de alumínio. Foi realizada uma análise macroscópica da falha seguida de observação microestrutural via microscopia ótica. Os resultados indicaram que a falha do tubo ocorreu devido à susceptibilidade à corrosão por pites e sob tensão deste tipo de aço em presença de cloretos além da formação de célula oclusa causada pelo acúmulo de poeira e condensação de umidade entre as aletas. Foi recomendada limpeza periódica a fim de se evitar o acúmulo de particulados.

**Palavras-chave** - Corrosão, Solda, Falha, Cloreto

### **Abstract**

This paper describes a failure analysis performed in an air cooler tube of a hydrotreating refining unit. The failure originated at the external surface of longitudinal ERW seam weld of the tube. The tube material is AISI 304 with aluminum fins. Macroscopic and microscopic failure analysis have been performed. The results point out that the failure occurred due to susceptibility to pitting corrosion and stress corrosion cracking in the presence of chlorides. Another cause was crevice corrosion caused by dust deposition and moisture condensation between the fins. Periodic cleaning has been recommended in order to avoid particles accumulation.

**Key-words** - Corrosion, Welding, Failure, Chloride.

## 1. Introdução

Com a finalidade de melhorar a especificação da qualidade do diesel e querosene de aviação é realizado o processo de hidrotreatamento.

O trocador de calor tipo resfriador a ar, objeto de estudo, tem a função de resfriar a carga para sua condensação durante o processo.

O fluido circulante pelos tubos que pode ser diesel ou querosene de aviação entra a 180 °C e sai a 60 °C com uma pressão de 47 kgf/cm<sup>2</sup>. Em operação, verificou-se vazamento de produto. O material especificado dos tubos é o SA 249 Tp 304.

Durante a execução do teste hidrostático foi constatado que a água de teste continha 147 ppm de cloreto.

Para melhor detecção e avaliação da falha no campo, os tubos foram lavados externamente antes de serem enviados para análise.

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar as causas da falha observada no trecho de tubo onde ocorreu o vazamento.

## 2. Conteúdo

### 2.1 Inspeção Visual

**Trecho de tubo removido** - Verificou-se que na região externa do tubo onde ocorreu vazamento havia um ponto de corrosão. Fotos 1 e 2



Foto 1 – Trecho de tubo com ponto de corrosão na superfície externa.

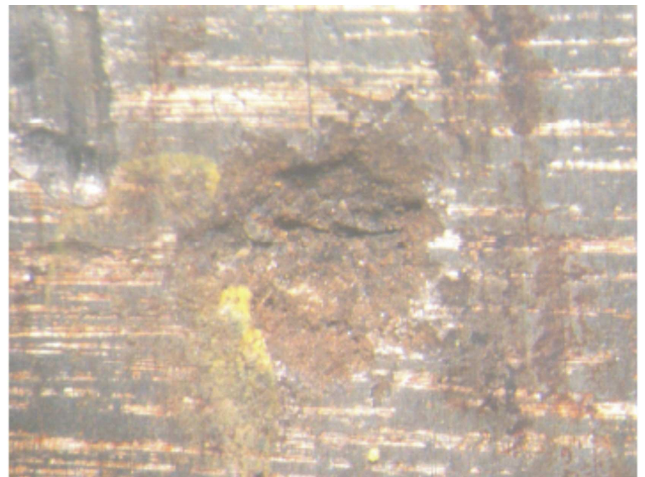


Foto 2 – Ampliação da foto anterior através de lupa estereoscópica, evidenciando o ponto de corrosão.

Após corte da seção longitudinal e observação da superfície interna, verificou-se que a falha ocorreu na região de costura do tubo (metal de solda). Fotos 3 e 4.



Foto 3 - Região interna do trecho de tubo, evidenciando a falha. Observa-se que a mesma ocorreu na região de costura do tubo



Foto 4 - Ampliação da foto anterior através de lupa estereoscópica.

### **3.2 Ensaio químico para identificação de cloreto.**

O ensaio consiste na adição de  $\text{AgNO}_3$  a 2 % sobre a superfície metálica de interesse. Os cloretos existentes na superfície do componente reagem com o nitrato de prata, tendo como produto de reação um precipitado de cloreto de prata de cor branca característica. O ensaio não evidenciou a presença de cloreto na superfície externa e interna dos tubos. Vale ressaltar que o ensaio utilizado é qualitativo e de acordo com a constante de solubilidade ( $K_s \text{ AgCl}$ ) do cloreto de prata, a precipitação ocorrerá somente quando a concentração de cloretos for superior a 0,5 ppm.

### **3.3 Identificação de Material**

Realizada análise por espectrometria de raios-x através do analisador de ligas Niton XLi 818 nos tubos enviados para análise sendo identificados como sendo AISI 304.

### 3.4 Metalografia

**Amostra transversal do tubo** - Sem ataque observou-se uma concavidade na superfície externa relativa ao ponto de corrosão. Em seu interior foram observadas duas trincas, sendo uma delas passante (foto 5).

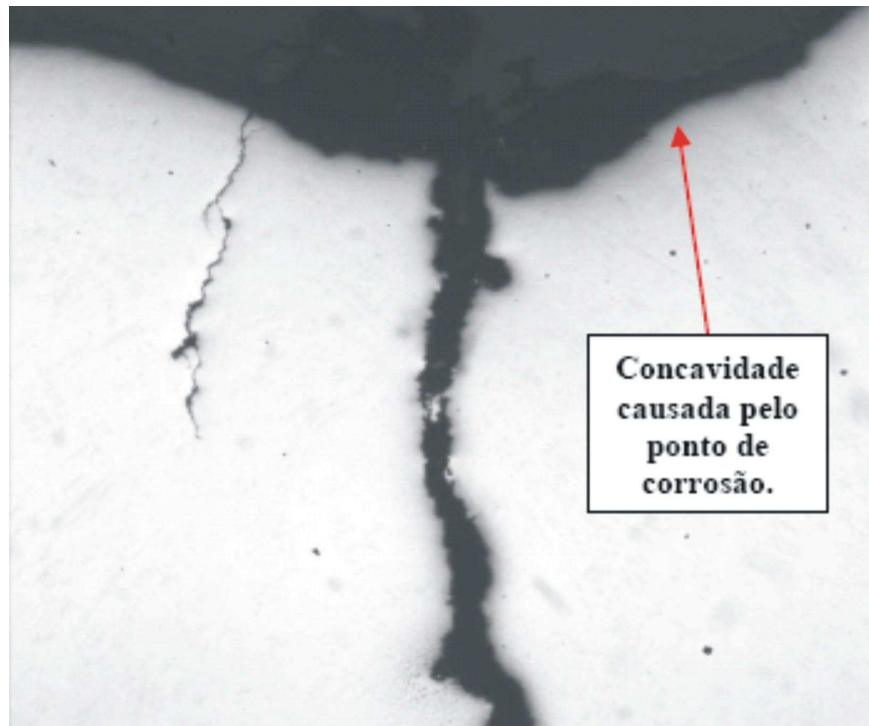


Foto 5 - Micrografia na região de falha evidenciando a face externa com ponto de corrosão. No seu interior observam-se duas trincas, sendo uma delas passante.  
Sem ataque – aumento de 85x.

Na superfície interna não foi observada concavidade, apenas a extremidade final da trinca passante oriunda da superfície externa.

Após ataque observou-se uma microestrutura de grãos equiaxiais de austenita com maclas de recozimento, característica de aço inoxidável austenítico. A propagação da trinca foi transgranular (foto 6).



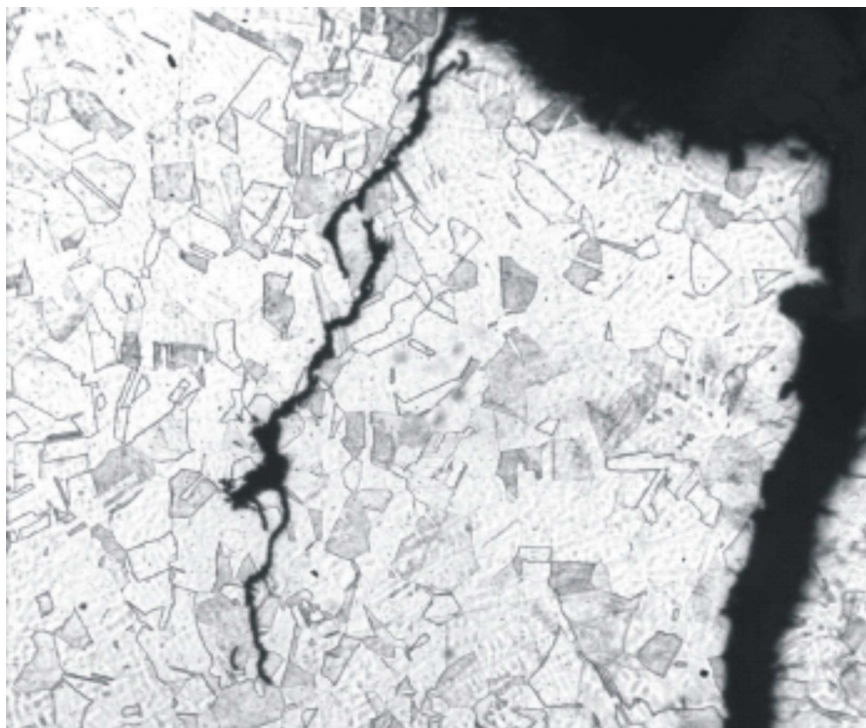


Foto 6 - Detalhe da trinca transgranular e microestrutura de grãos equiaxiais de austenita e maclas de recozimento. Ataque eletrolítico c/ ac. Oxálico 10% - Aumento de 170x.

### 3. Conclusão

- A falha originou-se a partir de um ponto de corrosão na superfície externa. Isso pode ser evidenciado pelo fato de que a superfície interna não apresenta concavidade devido ao ponto de corrosão e a externa apresenta, somado ao fato de que a partir da superfície externa observou-se uma trinca não passante e a partir da superfície interna não foi observada nenhuma trinca.
- A ocorrência da corrosão no metal de solda pode ser explicada devido esta região ser mais anódica em relação ao restante do tubo para o eletrólito em questão.
- As trincas iniciadas na superfície externa a partir do ponto de corrosão são fortes indícios da presença de cloreto, que pode provocar trincas de CST mesmo em concentração muito pequena (ppm).
- No teste com  $\text{AgNO}_3$  não foi evidenciada presença de cloreto devido à limpeza realizada nos tubos enviados para análise e/ou impossibilidade de detecção quando se tratar de teores de cloretos menores ou igual a 0,5 ppm (partes por milhão) na amostra analisada.
- Portanto, pelas evidências observadas, concluímos que a causa da falha foi devido a um ponto de corrosão iniciado na superfície externa que deu origem a uma trinca de CST passante. Este ponto de corrosão foi originado devido à corrosão sob depósito na região da solda ("crevice corrosion"), causada pelo acúmulo de particulados e condensação de umidade do ar, chuva, etc., durante a campanha da unidade. A aeração e/ou concentração diferencial oriunda da área de estagnação

sob o depósito na região entre as aletas e a dissimilaridade microestrutural entre a região de solda e o metal base, criaram uma zona anódica que contribuiu para a formação do ponto de corrosão.

É comum a iniciação de trincas de CST logo abaixo de pontos de corrosão. Isto se dá pela grande acidificação do interior da célula oclusa que favorece a CST mesmo para baixos valores de tensões. É sabido que a atmosfera da unidade onde ocorreu a falha possui microclimas com elevado teor de cloretos. Este eletrólito propicia a formação de corrosão localizada e trincas de CST em aços inoxidáveis austeníticos.

#### **4. Referências**

METALS HANDBOOK, VOL. 11, 9<sup>a</sup> EDITION.

METALS HANDBOOK, ATLAS OF MICROSTRUCTURES, VOL. 07, 8<sup>a</sup> EDITION.