

Copyright 2010, ABRACO Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010. As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

# Análise de Falha de Tubos de Aço Carbono ASTM A – 178 Gr Utilizados em Feixes Tubulares

Moreto, J. A<sup>1</sup>\*, Bose Filho, W. W<sup>2</sup>, Spinelli, D<sup>3</sup>, Ruchert, C. O. F. T<sup>4</sup>.

#### Abstract

The present work aimed to investigate the possible causes of failure occurred in carbon steel tubes ASTM A-178 Gr used in tube bundles. The work followed the usual methodology employed in failure analysis, including macrographic and photographic analysis, chemical analysis, optical microscopy, stereomicroscope and technical evaluation. The results show that tube 1 didn't fail by superheating but by localized thinning wall from abrasive/corrosive process in the external side by solid particle impact. The tube 2 (cracked) failed by two mechanisms: erosion by solid particle, wear process with steam jet at high temperature and speed by flow lines typical of wear process, causing thickness reduction and consequently the rupture due to the internal pressure.

Key-words: Tube bundles, erosion, corrosion, wear.

#### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo investigar as possíveis causas que levaram à fratura dos tubos de aço carbono ASTM A-178 Gr utilizados em feixes tubulares. O trabalho seguiu a metodologia usual empregada em análise de falhas, incluindo análises macrográficas do componente e fotográfica, análise química, microscopia ótica, análise em esteriomicroscópio e avaliação técnica. Os resultados mostram que o tubo 1 não falhou por superaquecimento e sim por perda de espessura localizada da parede proveniente de um processo abrasivo/corrosivo no lado externo pelo impacto de partículas sólidas. O tubo 2 (trincado) falhou por dois mecanismos: erosão por partículas sólidas e pelo processo de desgaste por jato de vapor a alta temperatura e velocidade pelas linhas de fluxo típicas deste processo de desgaste, ocasionando uma grande perda de parede e conseqüentemente a ruptura por não suportar a pressão interna.

Palavras-chave: Feixes tubulares, erosão, corrosão, desgaste.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais – SMM/EESC/USP.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística (SMM) da Escola de Engenharia (EESC) de São Carlos/USP.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística (SMM) da Escola de Engenharia (EESC) de São Carlos/USP.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística (SMM) da Escola de Engenharia (EESC) de São Carlos/USP.

## Introdução

Este artigo trata de Análise de Falhas de tubos de aço carbono utilizados em feixes tubulares. A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), é uma metodologia que objetiva avaliar e minimizar riscos por meio da análise das possíveis falhas (determinação da causa, efeito e risco de cada tipo de falha) e implantação de ações para aumentar a confiabilidade.

O principal objetivo da análise de falhas é evitar novas falhas. A investigação deve determinar as causas básicas da falha e essa informação deve ser utilizada para permitir a introdução de ações corretivas e/ou preventivas que impeçam a recorrência do problema.

Esta dimensão da qualidade, a confiabilidade, tem se tornado cada vez mais importante para os consumidores, pois, a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência técnica e totalmente coberta por termos de garantia, causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Além disso, cada vez mais são lançados produtos em que determinados tipos de falhas podem ter conseqüências drásticas para o consumidor. É importante salientar que em muitos dos casos, o custo de uma manutenção preventiva ou até mesmo preditiva é inferior ao custo de uma manutenção corretiva, portanto, em termos econômicos é de suma importância evitar a parada de equipamentos.

A função do componente ou do equipamento deve ser considerada na análise, uma vez que conceituamos falha como a ocasião em que o componente ou equipamento não é mais capaz de executar a sua função com segurança. Analisar uma falha é interpretar as características de um sistema ou componente deteriorado para determinar porque ele não mais executa sua função com segurança.

Uma análise de falhas que não serve de subsídio para um conjunto de ações corretivas tem utilidade nula. Por outro lado, se não for possível determinar as causas físicas da falha não será possível introduzir melhorias no sistema.

Outro fator importante a se considerar refere-se à erosão, a qual pode ocorrer: por escoamento de fluidos, partículas sólidas contidas em líquidos ou gases, partículas líquidas contidas em líquidos ou gases e por jatos de líquidos ou de gases.

Deve-se observar que erosão – corrosão é resultado da ação combinada da erosão mecânica com a corrosão, podendo ser considerada como uma corrosão acelerada por erosão mecânica do filme protetor, sendo mais severo em meios bi ou multifásicos.

### **Experimental**

- Registro fotográfico e análise macrográfica;
- Análise química;
- Análise metalográfica;
- Análise em estereomicroscópio;
- Avaliação técnica.

### **Resultados e Discussões**

### Registro fotográfico e análise macrográfica

Foram realizados registros fotográficos durante a parada da caldeira para manutenção, onde foram observados vários pontos de vazamento. Foram também realizados registros fotográficos com intuito de evidenciar a integridade do tubo e mostrar as possíveis causas da falha. A Figura 1 apresenta dois tubos falhados como recebidos que foram utilizados nesta análise. As setas e o círculo amarelo mostram a região da trinca passante no tubo 2 no sentido longitudinal.



**Figura 1.** Imagem onde mostram os dois pedaços de tubos como recebidos e sendo preparados para análise. As setas e o circulo amarelo mostram a região da trinca passante no sentido longidudinal.

A **Figura 2** mostra o feixe de tubos na região de ligação com o balão da caldeira. É possível notar uma diminuição da parede dos tubos na interface tubo/balão, seta vermelha.



**Figura 2** – (A) Imagem d o feixe de tubos na região de ligação com o balão da caldeira e (B) imagem em maior aumento do tubo fraturado.

A **Figura 3A** mostra detalhe da trinca vista na parede interna do tubo 2. Nota-se uma intensa oxidação em torno da região da trinca e linhas de fluxo oxidadas na orientação radial, seta azul, proveniente possivelmente de escape de gases a alta pressão. Não foi observada na parede interna do tubo nenhuma incrustação proveniente de deficiência do tratamento da água. A **Figura 3B** apresenta as linhas de fluxo de desgaste erosivo muito possivelmente

provocado pelo fluxo de vapor incidindo na superfície do tubo e conseqüentemente provocando um desgaste pelo mecanismo de erosão, na parede externa do tubo.



Figura 3 – Imagem mostrando detalhe da trinca vista na parede interna do tubo 2.

A **Figura 4** mostra a seção radial do tubo 1, evidenciando a região onde ocorreu a perda localizada da parede, seta vermelha. Apesar do tubo 1 possuir um acentuado desgaste na parede externa não foram visualizados linhas de fluxo que pudesse caracterizar a ocorrência de desgaste erosivo por vapor portanto sendo possivelmente devido ao impacto de partículas abrasivas sólidas.



**Figura 4** – Seção radial do tubo 1, evidenciando a região onde ocorreu a perda localizada de parede, seta vermelha.

### Análise química (% em peso)

A Tabela 1 apresenta a composição química (% em peso) de uma amostra do tubo 2. A análise química foi realizada por meio da técnica de espectrometria de emissão ótica.

	С	Si	Mn	Р	S	Ni	Cu	AI	Fe
Tubo 2	0,09	0,02	0,53	0,012	0,011	0,02	0,01	0,054	Base
ASTM A178/A	0,06- 0,18	*	0,23- 0,63	0,035 máx	0,035 máx	NI	0,25	*	Base

**Tabela 1.** Análise química (% em peso).

NI = Não informado na norma ASTM A178 grau A

Segundo a norma ASTM A178 grau A os elementos químicos carbono, manganês, fósforo e o enxofre estão todos em conformidade.

#### Análise Metalográfica

As amostras selecionadas para a análise metalográfica foram retiradas dos tubos 1 e 2. O preparo da superfície da amostra para observação por microscopia ótica foi realizado de acordo com a Norma ASTM E3-95. O ataque químico utilizado foi Nital 2%. A Figura 5 apresenta uma fotomicrografia do tubo 1 na orientação transversal localizado distante da região onde ocorreu a perda da parede externa. Nota-se uma microestrutura típica de aço comum de baixo carbono no estado recozido, constituída de uma matriz com grãos ferríticos equiaxiais e com poucas regiões perlíticas (áreas escuras). Um processo corrosivo é notável na superfície externa do tubo.



**Figura 5** - Fotomicrografia de uma amostra do tubo 1 na orientação transversal localizado distante da região onde ocorreu a perda da *parede externa*. Ataque Nital 2%. 200X.

A **Figura 6** apresenta uma fotomicrografia de uma amostra do tubo 1 na orientação transversal localizado na região central da parede. Nota-se uma microestrutura típica de aço de baixo carbono composta por uma matriz ferrítica com regiões de perlita.



**Figura 6**– Fotomicrografia de uma amostra do tubo 1 na orientação transversal localizado na região central da parede. Ataque Nital 2%. Aumento 200X.

Na região da perda da parede interna nota-se uma microestrutura típica de aço baixo carbono composta por uma matriz ferrítica com regiões de perlita. É possível observar uma descarbonetação e crescimento dos grãos na superfície devido ao processo de fabricação do tubo, vide **Figura 7**.



**Figura 7** – Fotomicrografia de uma amostra do tubo 1 na orientação transversal localizado na região da perda da *parede interna*. Ataque Nital 2%. Aumento 200X.

A **Figura 8** apresenta fotomicrografia de uma amostra do tubo 2 na orientação transversal localizado na região da perda da parede externa. Nota-se uma microestrutura típica de aço de baixo carbono composta por uma matriz ferrítica com regiões de perlita. Pode-se observar um discreto aumento dos grãos ferríticos na superfície externa (colisão de vapor em altas temperaturas).



**Figura 8** – Fotomicrografia de uma amostra do **tubo 2** na orientação transversal localizado na região da perda da parede externa. Ataque Nital 2%. Aumento 200X.

A **Figura 9** apresenta fotomicrografia de uma amostra do tubo 2 na orientação transversal localizado na região central da parede. A microestrutura revelada é típica de aço de baixo carbono constituída por uma matriz ferrítica com regiões de perlita.



**Figura 9** – Fotomicrografia de uma amostra do tubo 2 na orientação transversal localizado na região central da parede. Ataque Nital 2%. Aumento 200X.

A **Figura 10** apresenta fotomicrografia de uma amostra do tubo 2 na orientação transversal localizado na região da perda da parede interna. A microestrutura revelada é típica de aço de baixo carbono constituída por uma matriz ferrítica com regiões de perlita. É possível observar uma descarbonetação e crescimentos dos grãos na superfície.



**Figura 10 -** Fotomicrografia de uma amostra do tubo 2 na orientação transversal localizado na região da perda da parede interna. Ataque Nital 2%. Aumento 200X.

As microestruturas de ambos os tubos analisados são similares e típicas de aço de baixo carbono, constituída por uma matriz de grãos ferríticos e poucas regiões de perlita. Nota-se claramente a existência de um processo intenso de descarbonetação na superfície da parede interna dos tubos analisados, com crescimento de grãos e ausência quase total do microconstituinte perlita.

# Análise em estereomicroscópio

A **Figura 11** apresenta imagem realizada em estereomicroscópio. É possível observar o detalhe da trinca na parede externa do tubo 2. Nota-se uma intensa oxidação na região da trinca e linhas de fluxo oxidadas na direção radial, proveniente possivelmente do escape de gases a alta pressão. Não foi observado na parede interna do tubo a existência de incrustações sólidas proveniente de tratamento inadequado de água.



**Figura 11** – Imagem realizada em estereomicroscópio onde mostra detalhe da trinca vista na parede externa do tubo 2.

### Conclusões

- Não foram observadas incrustações sólidas ocasionado pela deficiência do tratamento da água, que pudessem justificar um superaquecimento localizado devido a dificuldade de troca de calor. Além disso, microestruturalmente não foi observado o esboroamento do microconstituinte perlita que evidenciasse o superaquecimento.

- É possível observar ao longo de toda a parede interna dos tubos analisados uma descarbonetação e crescimento dos grãos ferríticos inerente ao processo de fabricação do tubo. Não foi verificada descarbonetação na superfície da parede externa dos tubos 1. No tubo 2 foi observado ligeira descarbonetação na parede externa possivelmente devido a colisão de vapor em altas temperaturas.

- O tubo 1 não falhou por superaquecimento e sim por perda de espessura localizada da parede proveniente de um processo abrasivo/corrosivo no lado externo pelo impacto de partículas sólidas.

- O tubo 2 (trincado) falhou por dois mecanismos: Erosão por partículas e pelo processo de desgaste por jato de vapor a alta temperatura e velocidade evidenciado pelas linhas de fluxo típicas deste processo de desgaste, ocasionando uma grande perda de parede e conseqüentemente a ruptura por não suportar a pressão interna. A erosão por colisão de líquidos em tubos ocorre quando a velocidade do fluxo excede 2.1 m/s.

- No lado externo dos tubos observaram-se a presença de pites de corrosão isolados e corrosão generalizada, e no tubo 2 a presença de grande e profundos pites próximas à falha.

### Agradecimentos

Os autores expressam os seus agradecimentos ao Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC – USP pelo uso de seus equipamentos e instalações.

#### **Referências bibliográficas**

Advanced materials and processes, Vol 159, n12, dec 2001, pp.52. ASM Metals Handbook. Fatigue and Fracture, vol.19, Pp 203-204, 1996. SHADLEY, J.R., et al. Erosion-Corrosion of a Carbon Steel Elbow in a Carbon Dioxide Environment. Corrosion, v. 52, n. 9, p. 714-723, 1996.

\* \* \*