

ANÁLISE DE FALHA EM TUBO DE CALDEIRA AQUATUBULAR ¹

*Simone Kessler de Barros²
Cássio Barbosa²
Ibrahim de Cerqueira Abud²
Jôneo Lopes do Nascimento²
Walter Ferreira Filho²*

Resumo

Caldeiras, em geral, estão sujeitas a condições ambientais agressivas, por isso, faz-se necessário o controle de alguns parâmetros, tais como: qualidade da água de alimentação, quantidade e tipos de aditivos utilizados na água da caldeira e das condições de operação do equipamento (pressão e temperatura). A falta de controle desses e de outros parâmetros pode acarretar, por exemplo, a queda de rendimento da caldeira por aumento do consumo de combustível, a perda de eficácia deste equipamento ou ainda, a ocorrência de ruptura de componentes, podendo causar acidentes graves. Este trabalho propõe-se a analisar a falha em um tubo da parede lateral de uma caldeira, tipo aquatubular, de um porta-aviões, ocorrida durante uma prova de mar. O material da tubulação, segundo informações preliminares, é o aço ASTM 192, adequado para este tipo de aplicação. Através de análise microestrutural em regiões relevantes para estudo da falha do tubo em questão, e de algumas informações sobre as condições de operação do equipamento, procurou-se avaliar a causa do rompimento da tubulação, que havia sido trocada apenas 50 horas antes do acidente. Foi verificado que as incrustações e os pites de corrosão nas paredes do tubo, aliados às alterações microestruturais foram as prováveis causas do rompimento do tubo. Concluiu-se também que a falha sob investigação não teve qualquer relação com o processo de fabricação do tubo ou com a qualidade do material que o constitui.

Palavras-chaves: Análise de falha; Caldeira; Aços; Microestrutura.

FAILURE ANALYSIS OF ACQUA TUBULAR BOILER TUBE

Abstract

In general boilers are subjected to aggressive environmental conditions and, for this reason, one needs to control some parameters such as: quality of input water, amount and types of addition agents used in the water and operational conditions of the equipment (pressure and temperature). The lack of control of these and other parameters can cause loss of performance of the boiler by increase of fuel consumption loss of efficiency or even rupture of components, causing severe accidents. This work has as purpose the failure analysis in a pipe of the lateral wall of a boiler, known as aqua tubular, of a flattop boat during a test in sea. The material of the pipes, according to preliminary information, is ASTM 192 steel, which is adequate for this kind of application. Through microstructural analysis in important regions for the study of this failure and earlier information about equipment operation the cause of rupture of the pipe, which as changed only 50 hours before the accident, was analyzed. It was observed that incrustations, corrosion pits in the walls of the pipe, high temperatures together with microstructural changes were the probable causes of the pipe rupture. One also concluded that the analyzed failure had no relation with the quality of the material or the fabrication process of the component.

Key words: Failure analysis; Boiler; Steels; Microstructure.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Instituto Nacional de Tecnologia (INT), Avenida Venezuela, 82, sala 626, Rio de Janeiro, CEP 20.081-312, skessler@int.gov.br*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caldeiras Aquatubulares

As caldeiras tipo aquatubular foram projetadas frente à necessidade de acompanhar a evolução dos processos industriais e suas demandas, tais como: maior rendimento, menor consumo, rápida geração e grandes quantidades de vapor. Este tipo de caldeira é caracterizado pela circulação da água dentro de tubos, os quais se situam fora dos tubulões da caldeira (tambor), constituindo com estes um feixe tubular. Os gases provenientes do combustível queimado numa fornalha circulam na parte externa dos tubos,⁽¹⁾ operam a média e alta pressão, resultando em alta produção de vapor. As caldeiras aquatubulares são as mais comuns em se tratando de plantas termelétricas ou geração de energia elétrica em geral, exceto em unidades de pequeno porte. A pressão de trabalho de caldeiras deste tipo pode chegar a 26 MPa, ou seja, superior à pressão do ponto crítico.⁽²⁾

1.2 Acidentes em Caldeiras

Quando a alimentação de geradores de vapor é feita com água bruta, ou seja, água que contém sais dissolvidos, pode acarretar dois tipos principais de degradação: a incrustação e a corrosão. A degradação devido a esses fatores pode ser evitada quer eliminando-se as substâncias nocivas contidas na água bruta por tratamentos prévios através de métodos físicos, químicos ou ainda, físico-químicos, quer seja através de tratamento anticorrosivo interno ou condicionamento, introduzindo-se nas caldeiras substâncias capazes de tornar a água inofensiva.⁽³⁾

Alguns objetivos desses tratamentos são relatados a seguir:

- reduzir a dureza da água, a fim de evitar a formação de incrustações ou depósitos sobre as superfícies de aquecimento, os quais, pela sua má condutibilidade calorífica, promovem falta de refrigeração das paredes dos tubos, elevando localmente a temperatura e, como consequência, a deformação e o rompimento dos mesmos, ocorrendo a formação do chamado “joelho” ou “laranja” nos tubos;⁽¹⁾
- eliminar os gases dissolvidos, especialmente o dióxido de carbono e o oxigênio, que provocam corrosão nas superfícies internas das caldeiras; e
- conferir à água de alimentação da caldeira uma alcalinidade que evite a corrosão interna das caldeiras.

1.3 Corrosão em Caldeiras

De forma geral, os fatores que podem acelerar o processo de corrosão em caldeiras são: pH ácido; concentrações diferenciais de oxigênio que podem causar corrosão por aeração diferencial; concentração de sais ácidos ou de cloretos em geral, dissolvidos na água de caldeira e elevadas concentrações de hidróxido de sódio (aditivo utilizado para elevar o pH da água de caldeira).

A corrosão pode aparecer uniformemente, porém, na maioria das vezes, aparece na forma localizada – corrosão por pite ou alvéolo. A corrosão localizada representa uma condição bastante preocupante, pois põe em risco o desempenho de tubos, ainda que novos ou relativamente novos.

O aço carbono é o material adequado para a composição da parte estrutural de caldeiras, pois, mesmo sabendo-se que ele é instável em contato com a água em temperaturas elevadas,⁽⁴⁾ forma-se um filme protetor de magnetita, Fe_3O_4 , nas condições de operação de caldeiras. Porém, tubos falhados em decorrência do

processo corrosivo mostram espessos depósitos de magnetita não protetora sobre ou junto às falhas, enquanto o aço ao lado se mantém em condições normais de trabalho.

2 MATERIAL E PROCEDIMENTO

O tubo de caldeira sob investigação é constituído por um aço carbono comum com traços de cromo, níquel e molibdênio, enquadrado na norma ASTM A 192-02;⁽⁵⁾ sua composição química e os valores sugeridos pela norma mencionada encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação entre a composição química do aço do tubo da caldeira sob investigação e aquela especificada pela norma ASTM A 192-02

Elementos	Composição Química do Aço do Tubo de Caldeira	Especificação ASTM A 192-02 (%)
Carbono	0,12	0,06 a 0,18
Manganês	0,38	0,27 a 0,63
Fósforo	0,015	0,035 máx.
Silício	0,26**	0,25 máx.
Enxofre	*	0,035 máx.
Cromo	Traços	-
Níquel	Traços	-
Molibdênio	Traços	-

* Não determinado. ** O teor de silício não se enquadra na especificação da norma ASTM A 192-02, entretanto, esse desvio não compromete o desempenho do equipamento em questão.

A caldeira é do tipo aquatubular e as condições de operação apresentadas foram: a água que circula no corpo da caldeira possui pH básico a uma pressão de 45bar e temperatura de 450°C. Foi verificada a contaminação da água por cloretos (provavelmente, provenientes de água do mar), além da constatação da presença de sais nas paredes do tubo. O tempo de uso do tubo em questão foi de apenas cinquenta horas (até o rompimento).

As três amostras analisadas foram retiradas de seções do tubo da parede lateral de uma caldeira de um porta-aviões, todas fabricadas com aço ASTM A192, sendo que uma amostra apresentou fratura (rompida durante prova de mar), conforme mostra a Figura 1.

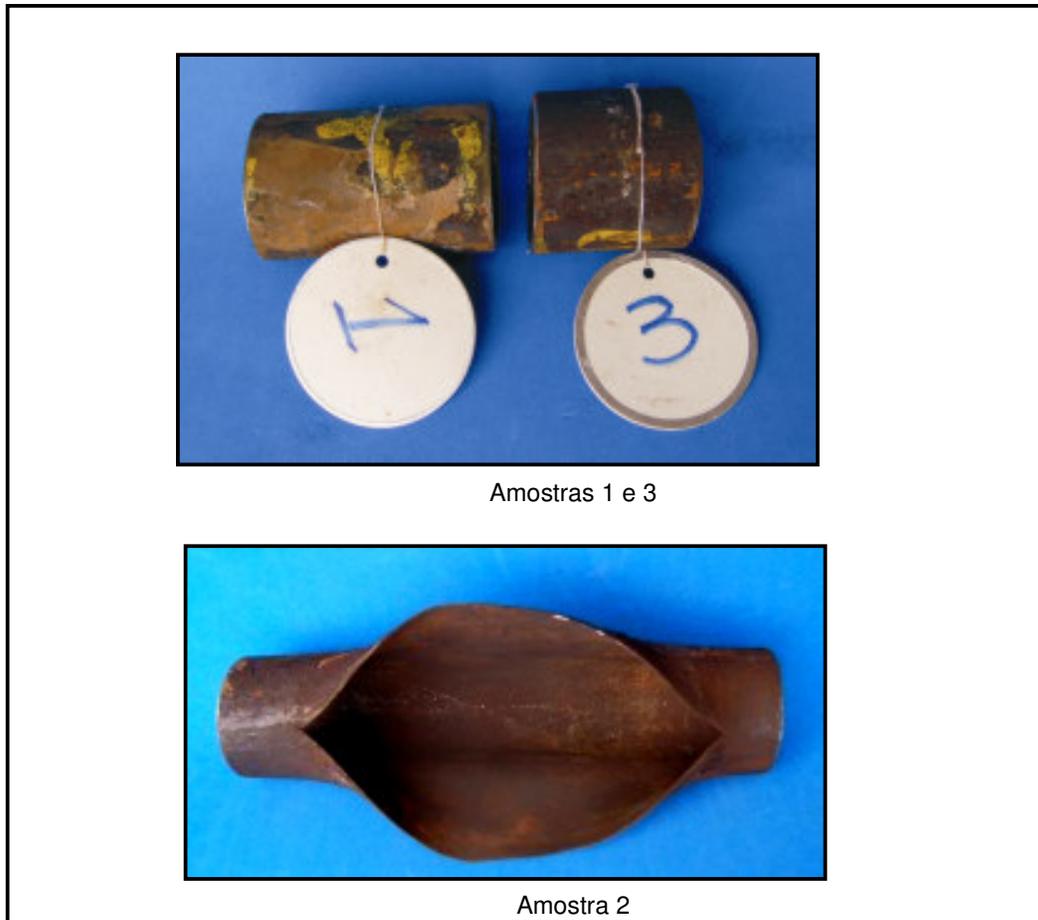
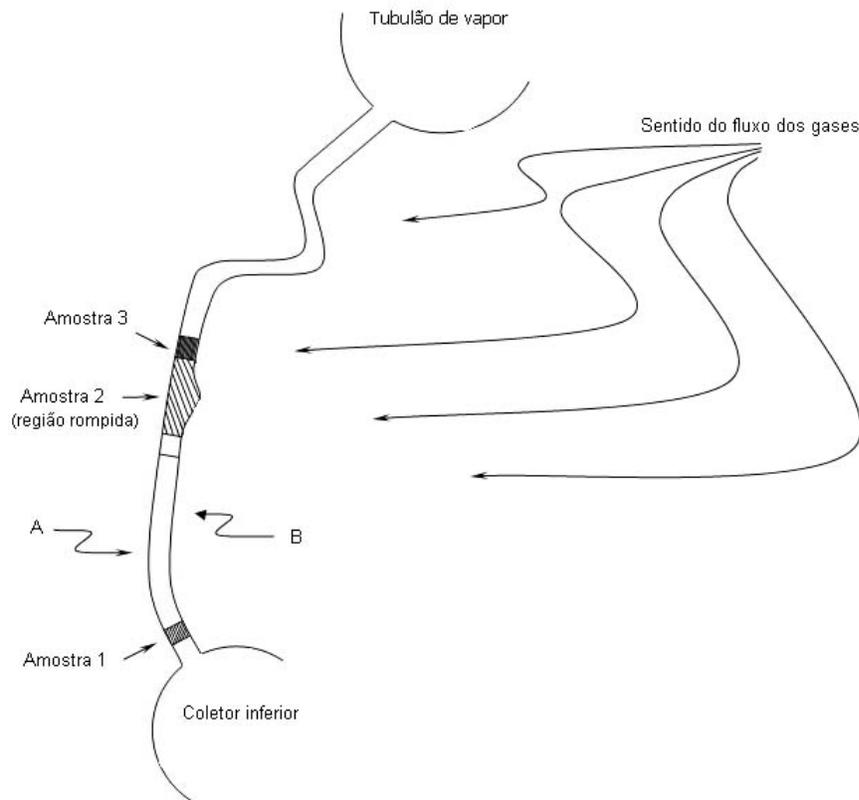


Figura 1- Material como recebido: Amostra 1 (seção do tubo afastada do local da fratura); Amostra 2 (seção fraturada do tubo); Amostra 3 (seção do tubo próxima ao local da fratura).

2.1 Análise Metalográfica

Foram comparadas, através de análise metalográfica, regiões das três amostras retiradas do tubo da parede lateral da caldeira sob investigação, recebidas para verificação do efeito do tempo de serviço do tubo em estudo e da temperatura dos gases quentes, provenientes da queima na caldeira, que atingem essas regiões.

A Figura 2 ilustra, esquematicamente, as regiões de onde foram retiradas cada amostra.



A - Lado da parede do tubo não exposta ao fluxo dos gases.

B - Lado da parede do tubo exposta ao fluxo dos gases.

Figura 2 – Desenho esquemático que indica as regiões de onde foram retirada as amostras 1, 2 e 3.

3 RESULTADOS

Em inspeção visual, observou-se que as amostras 1, 2 e 3, mostradas na Figura 1, apresentam diferentes aspectos em termos de oxidação. A amostra 1 (seção do tubo afastada do local da fratura) apresentou-se bastante oxidada de maneira uniforme. Já as amostras 2 (seção fraturada do tubo) e 3 (seção do tubo próxima ao local da fratura) mostraram, ambas, um aspecto não uniforme: os lados das seções do tubo voltados ao fluxo de gases quentes estavam bem mais oxidados do que aqueles não expostos diretamente ao fluxo.

A Figura 3 mostra uma microestrutura representativa da amostra 1, uniformemente composta por ferrita e perlita bandeada. A amostra 2, referente à parede externa da região não exposta diretamente ao fluxo dos gases quentes, também apresentou uma microestrutura composta por ferrita e perlita bandeada, porém a fração volumétrica de perlita era claramente maior comparada com a amostra 1, como indicado na Figura 4. Com a fratura, a parede interna (que não foi fraturada) antes não exposta ao fluxo de gases quentes passou a receber diretamente esse fluxo. Conseqüentemente, nesse local, pode-se perceber que a perlita começou a perder o aspecto lamelar característico (início de transformação da perlita), passando a apresentar uma estrutura predominantemente bainítica, evidenciada na Figura 5. Nesta região também foi observada, de acordo com a

Figura 6, a ocorrência de pites. Ainda na amostra 2, a região da borda da fratura apresentou microestrutura composta por martensita e bainita (Figura 7). A Figura 8 revela que a borda da fratura não apresenta nenhum tipo de segregação. A Figura 9 indica que a amostra 3 apresentou como microestruturas predominantes martensita, bainita e ferrita com precipitação de carbonetos nesta região exposta diretamente ao fluxo de gases quentes. Do mesmo modo, na amostra 3 também foram observados pites.



Figura 3 - Amostra 1 (longe da fratura / oxidação acentuada em toda a seção do tubo). Parede Externa. Microestrutura: ferrita e perlita (100x).

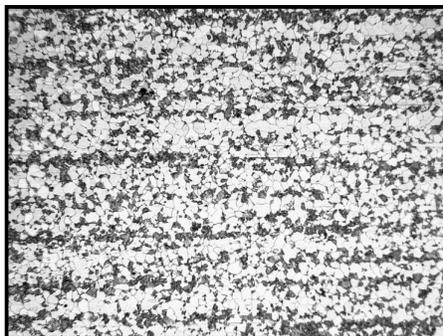


Figura 4 - Amostra 2 (área da fratura / oxidação não acentuada). Parede externa do lado não exposto ao fluxo de gases quentes. Microestrutura: ferrita e perlita (100x).

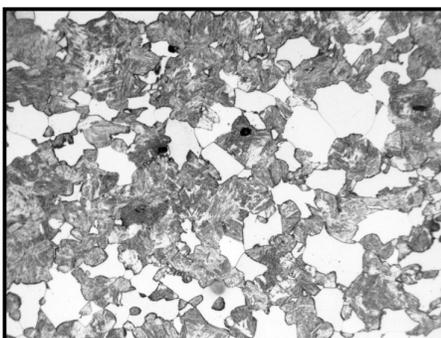


Figura 5 - Amostra 2: Parede interna, oposta ao lado fraturado, exposta ao fluxo de gases quentes após a fratura. Detalhe da microestrutura: ferrita e perlita (500x). Início de transformação da perlita.

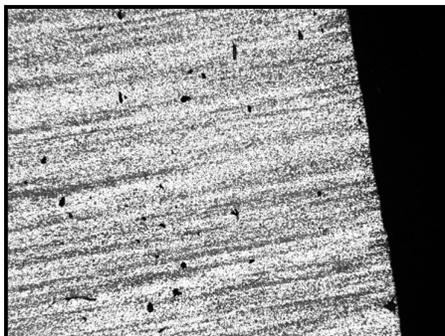


Figura 6 - Amostra 2 (área da fratura): Parede interna do lado exposto ao fluxo de gases quentes a partir da fratura. Ocorrência acentuada de pites. Aspecto geral (25x).

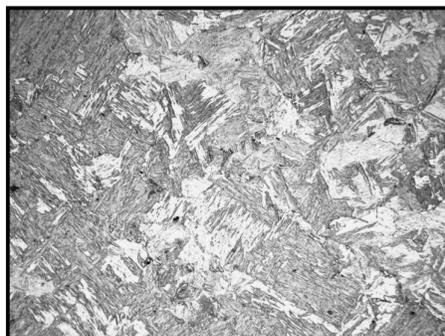


Figura 7 - Amostra 2 (área da fratura): Parede interna fraturada, exposta ao fluxo de gases quentes. Detalhe da microestrutura predominante: martensita, bainita e ferrita com precipitação de carbonetos (250x). Observa-se presença de pites.



Figura 8 - Amostra 2 (região da fratura): Parede interna, próxima a borda da fratura. Aspecto geral - 50x. Observada a ocorrência de pites e a não ocorrência de segregação.



Figura 9 - Amostra 3 (área próxima à da fratura / oxidação acentuada): Parede interna do lado exposto ao fluxo de gases quentes (250x). Detalhe da microestrutura predominante: martensita, bainita e ferrita com precipitação de carbonetos.

4 DISCUSSÃO

De acordo com dados complementares, o tubo de caldeira sob investigação é constituído por um aço carbono comum com traços de cromo, níquel e molibdênio. A caldeira é do tipo aquatubular e as condições de operação apresentadas foram: a água que circula no corpo da caldeira possui pH básico, opera a uma pressão de 45bar e temperatura de 450°C. Foi verificada a contaminação da água por cloretos, além da constatação da presença de sais nas paredes do tubo. O tempo de uso do tubo em questão foi de apenas cinquenta horas, portanto foi descartada a possibilidade de ocorrência de envelhecimento microestrutural nas amostras investigadas. Entretanto, as alterações microestruturais, que ocorreram no material, levaram à formação de uma microestrutura mista de martensita e bainita, que, segundo Pickering,⁽⁷⁾ é frágil.

A partir das observações feitas, aliadas às informações de operação da caldeira, mencionadas anteriormente, pode-se dizer que:

A tubulação apresentou corrosão do tipo localizada, na forma de pites e alvéolos, a qual ocorre quando o filme de magnetita (Fe_3O_4) apresenta descontinuidades. Houve também a ocorrência de incrustações nas tubulações das caldeiras que, conforme suas naturezas químicas, podem ser extremamente isolantes e acarretar falta de refrigeração das paredes dos tubos, ocorrendo elevação da temperatura localmente, e como conseqüência, a deformação e o rompimento do tubo. No caso da formação de sais ácidos, além de promover a falta de refrigeração, esses sais podem se hidrolisar sob descontinuidades, produzindo condições localizadas de baixo pH, enquanto a água da caldeira mantém-se alcalina. Onde o pH for baixo, o filme de magnetita protetora será dissolvido e o metal propriamente dito, atacado. Também, elevados teores de cloreto na água podem concentrar-se pontualmente, viabilizando a produção de ácido clorídrico e, conseqüentemente, a corrosão do metal. Os pites formados atuam como concentradores de tensão, levando à redução da seção resistente e conseqüente à falha por sobrecarga.

5 CONCLUSÃO

A realização de ensaios metalográficos em diversas partes do tubo da caldeira aquatubular evidencia que além, das alterações microestruturais, as incrustações devido à presença de cloretos na água e os pites de corrosão nas paredes do tubo, foram as prováveis causas da falha do tubo da parede lateral de uma caldeira de um porta-aviões, uma vez que atuaram como concentradores de tensões e reduziram a seção resistente do componente, acarretando falha por sobrecarga.

REFERÊNCIAS

- 1 “Corrosão” - Vicente Gentil. Editora LTC, Rio de Janeiro – 4ª edição, 2003.
- 2 - Wikipédia, a enciclopédia livre da WEB - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Caldeira>. Acesso em fevereiro de 2008.
- 3 “Manual de Corrosão e Tratamentos de Águas de Caldeiras”. Instituto Nacional de Investigação Industrial – Laboratório de Eletroquímica e Corrosão. Lisboa, 1976.
- 4 ASM HANDBOOK – Failure Analysis and Prevention. ASM International, Metals Park. Volume 11, 2002.

- 5 Norma ASTM A192 / A192M – 2002: “Standard Specification for Seamless Carbon Steel Boiler Tubes for High-Pressure Service”.
- 6 ASM HANDBOOK – Corrosion. ASM International, Metals Park. Volume13, 9 ed., 1987.
- 7 “Physical Metallurgy and the Design of Steels” - F.B. Pickering - Applied Science Publishers Ltd., London, 1978.