

ANÁLISE DE TRINCAS EM TUBOS CURVOS ¹

*Daniel Rodrigues²
Leoneros Acosta Barbosa²
Júlio Endress Ramos³
Diógenes Savi Mondo³
Telmo Roberto Strohaecker⁴*

Resumo

O objetivo desse estudo é determinar as causas da formação de trincas em tubos curvos utilizados no transporte de fluídos sob elevada pressão. A metodologia empregada na identificação das trincas ao longo dos tubos desenvolveu-se inicialmente através de ensaios hidrostáticos seguidos de inspeção e identificação das regiões trincadas por ensaio não destrutivo de ultra-som. Após identificação dessas regiões, os tubos foram submetidos a ensaios hidrostáticos de explosão com posterior avaliação e caracterização das regiões rompidas. As regiões que falharam em ensaio foram removidas e avaliadas por meio de análise microestrutural e análise química via microsonda acoplada a um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). A análise das trincas evidenciou em suas extremidades, em regiões próximas e também afastadas das mesmas a presença da liga cobre-estanho nos contornos dos grãos do material. O molhamento metalúrgico da liga Cu-Sn fragilizou o material proporcionando a evolução das trincas.

Palavras-chave: Análise de falha; Fragilização por metal líquido; Corrosão sob tensão; Corrosão sob fadiga.

FAILURE ANALYSIS IN A PIPELINE CURVE

Abstract

The objective of this work is to determine the causes of the formation of cracks in a pipeline curve. The regions that had failed in test were removed and evaluated with metallography and EDS analysis in Scanning Electronic Microscope. The analysis of cracks evidenced the presence of a copper alloy in its surface. The copper alloy liquid-metal embrittlement facilitated the crack initiation and growth.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) - UFRGS*

³ *Graduando em Engenharia Mecânica – UFRGS*

⁴ *Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM) – UFRGS*

1 INTRODUÇÃO

A integridade de dutos de aço submetidos a elevadas pressões está diretamente ligada às características do material escolhido, ambiente ao qual será exposto, das etapas de fabricação e do correto dimensionamento do projeto. No entanto, a inspeção periódica por métodos de ensaios não destrutivos também é necessária para que se evite a falha catastrófica desses componentes. O ensaio de ultra-som é um dos ensaios mais utilizados, pois possibilita a localização de trincas, sem danos ao componente e pode ser realizado em campo sem prejudicar o funcionamento dos mesmos. Quando são encontrados defeitos em tubulações, além de se tomar as medidas necessárias para o reparo dos defeitos é de suma importância a realização de um estudo investigativo apontando as causas das falhas, para que novas ocorrências de defeitos não sejam observadas.

Neste trabalho está descrito o estudo desenvolvido em alguns dutos curvos que foram reprovadas em ensaio hidrostático de qualificação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Visando testar a confiabilidade de um sistema de dutos curvos utilizados no transporte de fluidos que operam sob pressão realizou-se sobre as curvas, conforme a Figura 1, um ensaio hidrostático com pressurização ao óleo. As curvas reprovadas no teste foram inspecionadas pelo ensaio não destrutivo de ultra-som, onde se procurou identificar e delimitar na superfície das peças as trincas existentes. A Figura 2 mostra uma das regiões onde o ensaio foi desenvolvido.



Figura 1. Imagem mostrando uma das curvas analisadas.



Figura 2. Imagem mostrando a região onde foi realizado o ensaio de ultra-som em uma das curvas.

Procurando estudar o comportamento desses defeitos frente a solicitações maiores de pressão, os dutos foram submetidos a um ensaio hidrostático de explosão. O procedimento de montagem do ensaio está mostrado no esquema da Figura 3 e o sistema foi confeccionado por soldadores qualificados de uma empresa prestadora de serviços no pólo petroquímico de Triunfo – RS. A pressurização (com óleo) foi realizada por uma bomba hidráulica Enerpac com capacidade de 70MPa (700bar) de pressão que o foi acompanhada durante o ensaio por um transdutor HBM de 50MPa (500bar) com precisão de 0,1% (fundo de escala). Aparência final do sistema está mostrada na Figura 4.

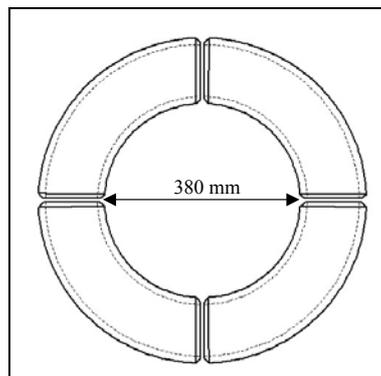


Figura 3. Esquema de montagem do sistema para o teste hidrostático.



Figura 4. Aparência final do sistema pronto para o ensaio.

Após ensaio de explosão, partes da curva que continham trincas passantes foram resfriadas em nitrogênio líquido e submetidas a esforços de flexão até a exposição da região por onde os defeitos propagaram. Essas regiões foram analisadas em uma lupa de baixo aumento e em microsonda EDS acoplada a um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Após a análise topográfica destas superfícies de fratura, regiões dos dutos que também continham trincas passaram por caracterização metalográfica seguidas de uma avaliação por EDS das regiões comprometidas. Para a realização da caracterização metalográfica amostras em sentido transversal à região das trincas foram retiradas e preparadas segundo procedimentos de embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com reagente Nital 3%. As micrografias foram realizadas em Microscópio Ótico Olympus BX60M.

O material utilizado na fabricação dos tubos foi avaliado por Espectrometria de Emissão Ótica.

3 RESULTADOS

Análise da Superfície das Trincas

A análise em lupa de baixo das regiões que falharam no ensaio estão mostradas na Figura 5. A Figura 6 apresenta uma visão geral da superfície de fratura após a abertura das trincas. A análise da superfície de fratura indicou a presença de três regiões distintas. Uma região de coloração mais escura com profundidade média de até 3mm, uma região de coloração intermediária indicando a zona de propagação do defeito durante o ensaio hidrostático e uma região mais clara resultante da abertura da trinca após o resfriamento em nitrogênio líquido. Análises via EDS da região mais escura mostraram a presença de altos teores de cobre e estanho nesta região.



Figura 5. Macrografias mostrando uma das regiões analisadas

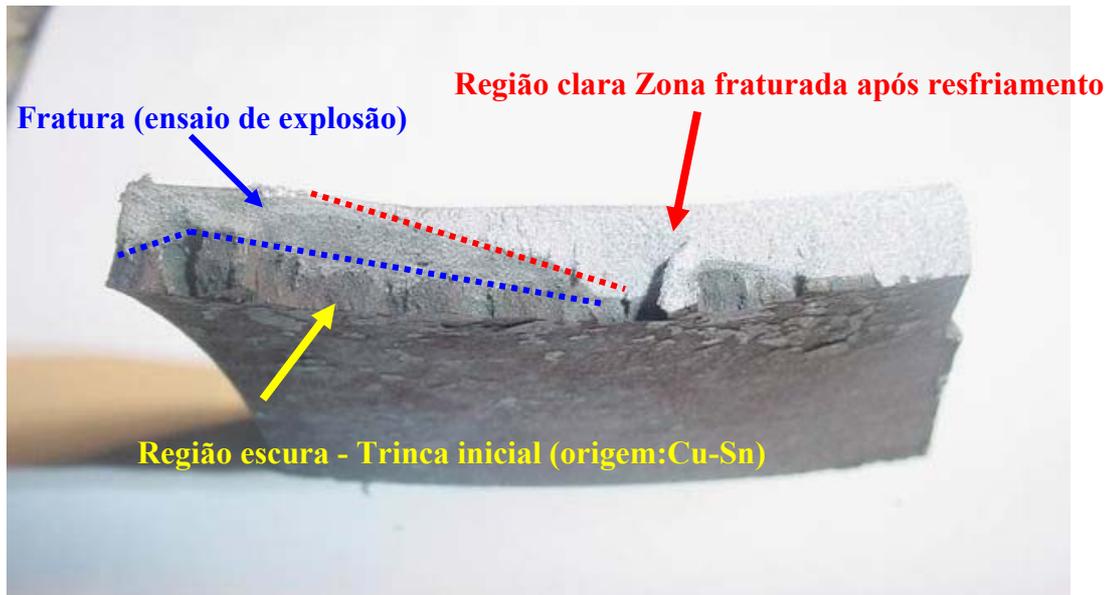


Figura 6. Macrografia mostrando vista lateral de uma das superfícies de fratura do duto.

Caracterização Microestrutural

A microestrutura da peça é formada por perlita e ferrita e as trincas encontradas estão mostradas nas Figuras 7 a 10. Observou-se nas extremidades das trincas, em regiões próximas e também afastadas das mesmas a presença de molhamento metalúrgico nos contornos de grão do material. A análise desse material por EDS, em microscópio eletrônico de varredura (MEV), indicou que o mesmo se tratava de uma liga cobre-estanho. As Figuras 11 e 12 mostram os espectros de frequência das análises por microsonda realizadas juntamente com as respectivas regiões de análises.

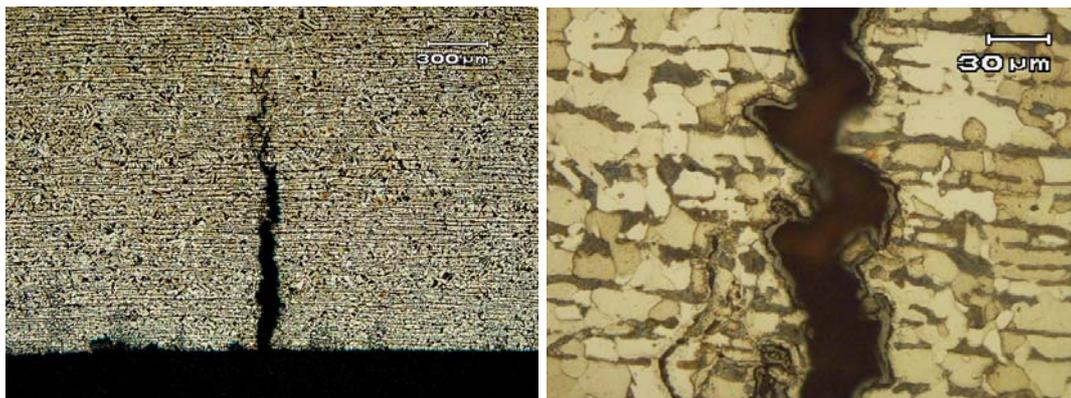


Figura 7. Micrografias mostrando a trinca de maior profundidade analisada.

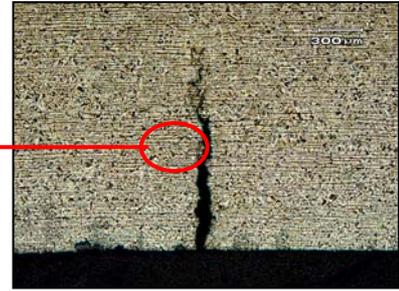


Figura 8. Imagem mostrando a presença da liga de cobre nos contornos dos grãos distantes da trinca.

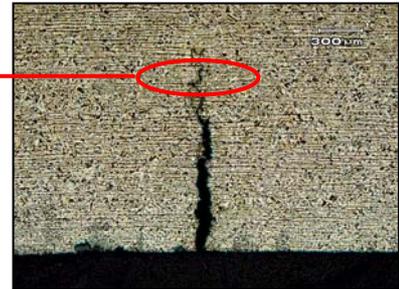
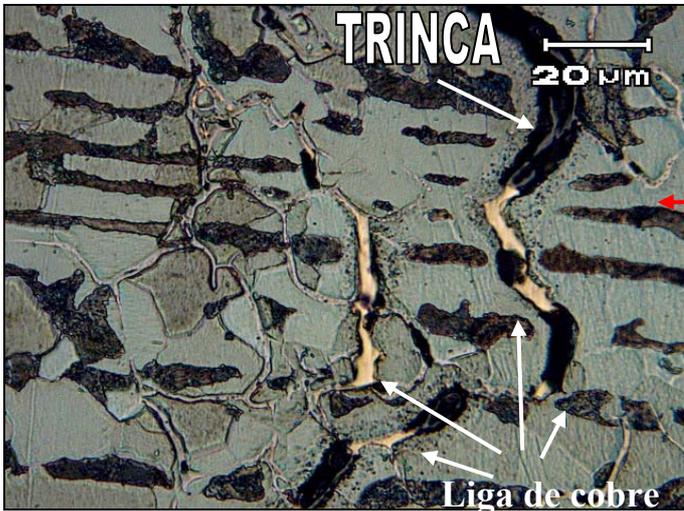


Figura 9. Micrografia mostrando liga de cobre nos contornos dos grãos e também dentro da trinca.

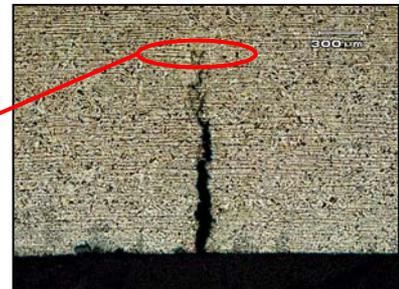
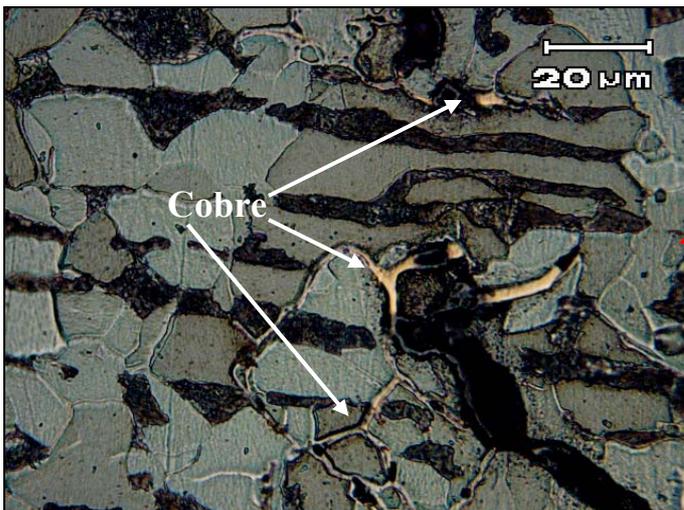


Figura 10. Imagem mostrando cobre presente em trincas intergranulares.

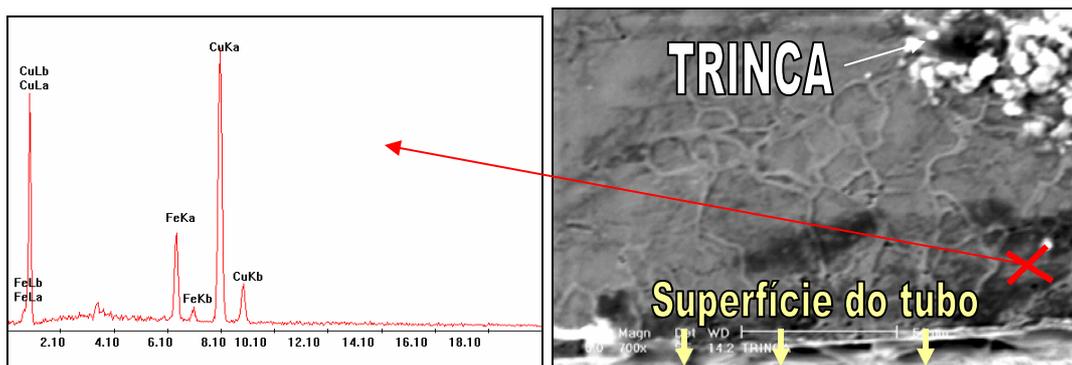


Figura 11. Espectro de frequência por microsonda realizada próxima de uma das trincas. O X em vermelho mostra o ponto onde a análise foi realizada na peça. Observou-se a presença de cobre nos contornos dos grãos do material.

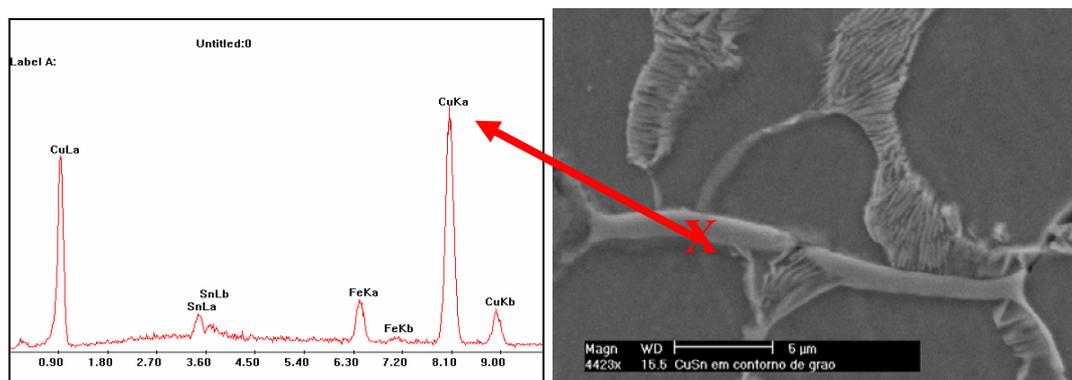


Figura 12. Espectro de frequência por microsonda realizado próximo de uma das trincas. O X em vermelho mostra a região da análise na peça. Observou-se a presença da liga cobre - estanho na análise.

Análise Química

A Tabela I mostra os resultados obtidos na análise química do material dos dutos por espectrometria de emissão óptica.

Tabela I. Resultados da análise química

Elementos	(%)
C	0,201
Si	0,205
Mn	0,504
P	0,0066
S	0,0053
Cr	0,0304
Al	0,0071
Cu	< 0,001

4 DISCUSSÃO

A fragilização por metal líquido nos contornos de grão de materiais metálicos pode facilitar o processo de corrosão pura ou à corrosão associada à tensão. A deterioração localizada gerada pelo processo corrosivo funciona como ponto de iniciação de uma trinca, que pode resultar em diminuição da

tensão de ruptura e a possível fratura, sem nenhuma, ou muito pequena deformação plástica, em tensões abaixo da tensão de escoamento do material.

No caso de dutos submetidos à pressão hidrostática, um simples ponto de nucleação de trinca pode acarretar em explosão catastrófica podendo provocar danos ambientais graves. Portanto o componente deve ter constantemente monitorada sua integridade estrutural, através de métodos não destrutivos.

Vários mecanismos foram propostos pela literatura para explicar o enfraquecimento de uma liga por metal líquido, o mais aceito ainda é o de que as ligações interatômicas do sólido são enfraquecidas no vértice da trinca.

5 CONCLUSÃO

A análise por microsonda indicou a presença de uma liga cobre-estanho no material dos tubos. A caracterização microestrutural demonstrou o molhamento metalúrgico da liga Cu-Sn nos contornos dos grãos.

Não são admissíveis componentes comprometidos com ligas de cobre em contorno de grão devido à possibilidade de evolução de trincas por fadiga, por corrosão sob-tensão e por corrosão sob-fadiga.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do CNPq e da CAPES, através da concessão de bolsas de mestrado e doutorado, ao apoio do CNPq pela concessão de bolsa de graduação e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Agradecemos também ao Laboratório de Metalurgia Física, desta mesma universidade, pelo apoio e disponibilidade de suas instalações para desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 CASSOU, C, A., **Metodologia de Análise de Falha**, Dissertação de Mestrado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 1999.
- 2 STROHAEKER, T. R. **Fadiga e análise de falhas**, UFRGS, Porto Alegre, 2004.
- 3 STROHAEKER, T. R. **Mecânica da Fratura**, UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- 4 SHIGLEY J. E., Mischke C. R., **Mechanical Engineering Design**, 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 2001.
- 5 METAL HANDBOOK, **Failure analysis and Prevention**. 8.ed V.10, American Society for Metals ASM, 1975. 604p.
- 6 Gentil, V, Corrosão, LTC Editora, Rio de Janeiro, 2003.