

# ESTUDO DO CASO DE FRATURA DE UMA HASTE DE PISTÃO UTILIZADA NA INDÚSTRIA<sup>1</sup>

*Cynthia Gabriely Zimmer<sup>2</sup>  
Tiago Renck<sup>3</sup>  
Sandro Griza<sup>4</sup>  
Telmo Roberto Strohaecker<sup>5</sup>*

## **RESUMO:**

Neste trabalho analisou-se um caso de falha em serviço de uma haste de pistão pertencente a um compressor alternativo para gases que rompeu por fadiga. O objetivo desta análise é a determinação das prováveis causas que levaram a ruptura da haste e uma estimativa do tempo de propagação de trinca. A falha ocorreu por fadiga nucleada na região dos filetes de rosca. Foram utilizadas técnicas de inspeção visual macroscópica, microscopia eletrônica de varredura na superfície fraturada, metalografia, espectrometria, determinação de propriedades mecânicas e análise de projeto. O estudo indicou a presença de flexão além dos esforços de tração e compressão e um tempo de propagação curto que torna muito dispendiosa uma inspeção tão freqüente. Sugere-se a análise do alinhamento da haste visando evitar solicitações de flexão. Possíveis mudanças no processo de fabricação dos filetes de rosca, como, por exemplo, a troca do processo de usinagem por laminação ou rolamento seguido de um tratamento térmico local também podem melhorar o desempenho em fadiga do componente.

Palavras-chave: Análise de Falha, Fratura, Fadiga, Propagação de trincas.

1-60º CONGRESSO ABM, MINAS-CENTRO – Centro de Convenções e Feiras 25 a 28 de julho de 2005

2-Cynthia Gabriely Zimmer – Bolsista de Iniciação Científica – LAMEF UFRGS

3-Eng. Tiago Renck – Aluno de Pós-Graduação – PPGEM UFRGS

4-MSc. Sandro Griza – Professor Unissinos e aluno de Doutorado – PPGEM UFRGS

5-Prof. Dr. Telmo Strohaecker – Professor Coordenador do LAMEF - UFRGS

## **INTRODUÇÃO:**

O projeto convencional na engenharia baseia-se em evitar falhas sejam elas por sobrecarga, corrosão e etc., porém as falhas por fadiga muitas vezes surpreendem os projetistas. Em serviço é comum a ocorrência de trincas nucleadas por fadiga junto a regiões de altas tensões como, por exemplo, nos filetes de rosca, raios de concordância, furos ou demais alterações que causem concentração de tensões.

A mecânica da fratura quando aplicada à fadiga permite um melhor entendimento dos mecanismos e tempo de propagação de uma trinca de fadiga, desta forma podendo garantir para os novos componentes uma operação mais segura com estimativa de tempo de vida sem que ocorra falha catastrófica. Tendo assim um controle da propagação da fratura frente ao carregamento em serviço. Assim é possível prever intervalos necessários de inspeção para que o componente opere dentro dos limites aceitáveis de segurança.

Neste caso foram estudados os mecanismos da fratura juntamente com as propriedades específicas do componente.

## **OBJETIVO:**

Determinar as causas da falha de um componente rompido em serviço e através da mecânica da fratura determinar o tempo de propagação da trinca. Para isso foram estudados os seguintes itens:

- a) Causa da falha.
- b) Ponto de origem da falha.
- c) Modo de propagação da trinca.
- d) Tempo de propagação.

## **MATERIAIS E MÉTODOS:**

O componente em estudo trata-se de uma haste de pistão pertencente a um compressor alternativo para gases que rompeu em serviço. A haste é fabricada a partir do aço SAE 1045 temperado e revenido.

Para esta análise foram utilizadas técnicas de inspeção visual macroscópica, microscopia eletrônica de varredura na superfície fraturada, metalografia, espectrometria, ensaio de dureza e análise de projeto.

## **RESULTADOS:**

### Análise Macroscópica:

A análise visual da fratura possibilita identificar as seguintes evidências:

- Ruptura por fadiga com início localizado na região do fundo do primeiro filete de rosca.
- A superfície de fratura apresenta uma grande área de propagação da fadiga o que indica que o componente está submetido a baixo nível de sollicitação (figuras 1 e 2)
- O grande amassamento da superfície indica que o componente, mesmo após a ruptura, permaneceu trabalhando por algum tempo (figuras 1 e 2) A presença de

algumas lascas também indicam a permanência em trabalho por mais alguns ciclos (figura 2).

-A posição de início da falha ocorreu na região inferior, deslocado alguns graus do ponto central de acordo com a posição de montagem.



Figura 1 – Imagens mostrando uma das faces da fratura, onde ocorreram os lascamentos.

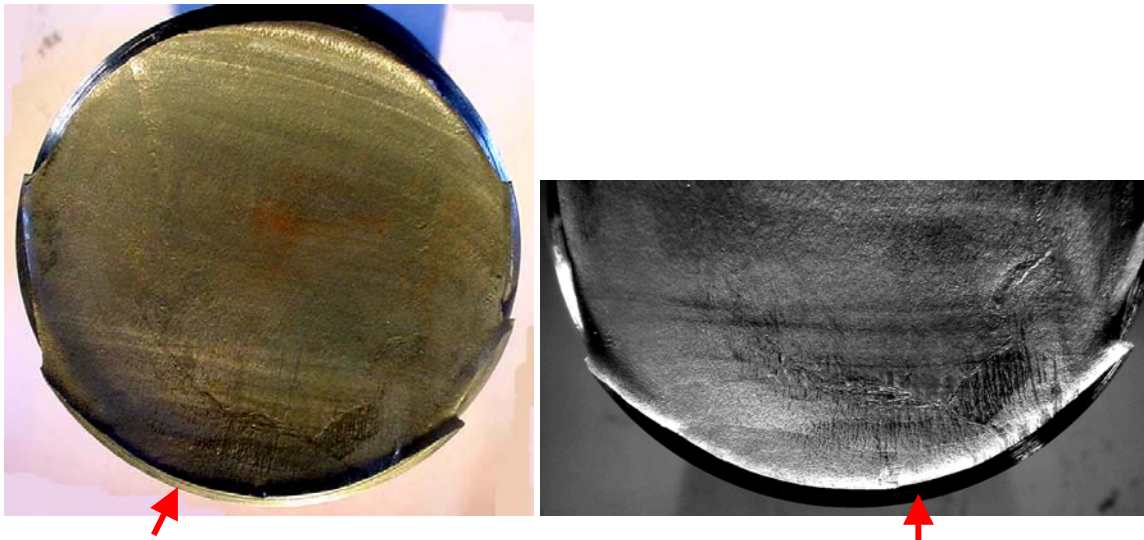


Figura 2 – Imagens mostrando a face oposta da figura1 em sua posição de trabalho e, em detalhe, a região de início da falha.

#### Análise Metalográfica:

A microestrutura apresentada pela amostra é basicamente perlítica e ferrítica na região da rosca. A figura 3 mostra, em detalhe, a microestrutura na região do fundo do filete onde não se observam marcas de deformação, o que indica que a rosca foi fabricada por processo de usinagem. A dureza nesta região é de 180HB.

A microestrutura do núcleo apresenta-se também perlítica e ferrítica (figura 4). O componente possui ainda uma camada endurecida e recoberta para evitar desgaste, como visto na figura 4. Esta região, que se encontra distante da região da ruptura não influenciando a mesma, é endurecida pois o componente trabalha guiado por mancais de deslizamentos..

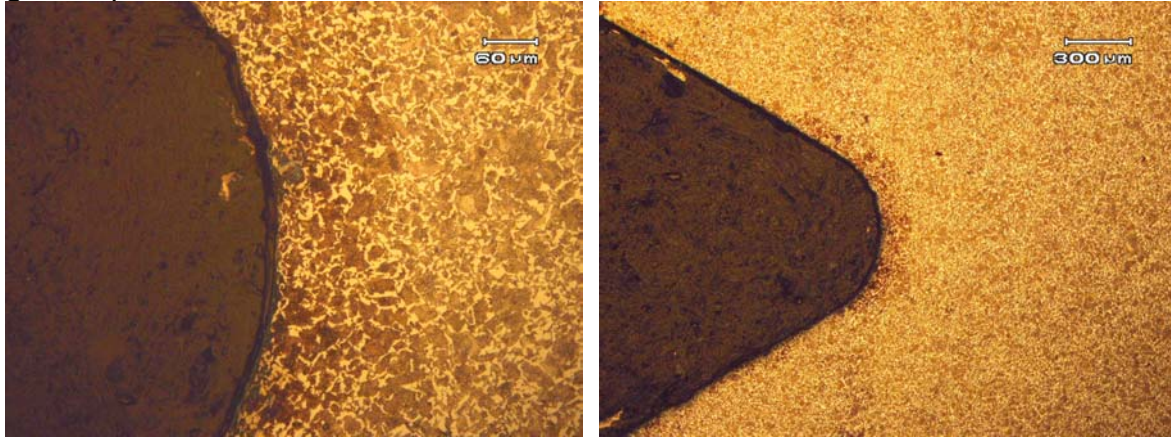


Figura 3 – Microestrutura perlítica e ferrítica da região do fundo do filete.

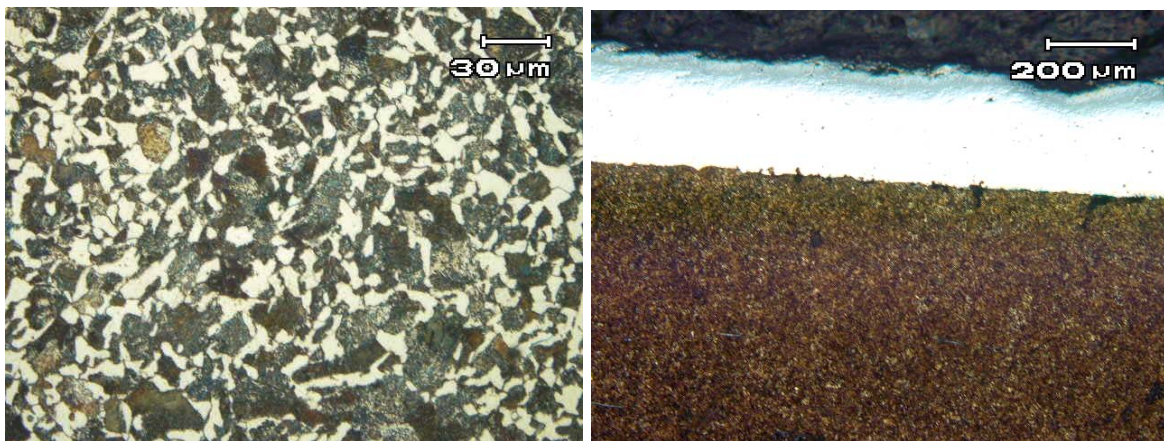


Figura 4 – Microestrutura do núcleo da haste à esquerda. Detalhe da região endurecida e revestida a direita.

#### Análise Química:

Uma análise química foi realizada para verificar se o material se encontra de acordo com o descrito pela norma SAE 1045. Os resultados da tabela 1 são uma média de três ensaios.

Tabela 1 – Análise química via Espectrômetro de Emissão Óptica

	C	Mn	Si	P	S	Cr
Haste	0,49	0,69	0,29	0,011	0,012	0,14
SAE 1045	0,43	0,60	-	-	-	-
	0,50	0,90	-	0,40	0,05	-

### Análise em Microscópio Eletrônico de Varredura:

Foi realizada uma análise na superfície da fratura em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para identificar micromecanismos de fratura. Na região inicial/central/final foram identificadas estrias de fadiga onde uma medição foi realizada.

O valor médio do intervalo entre cada estria de fadiga é de  $8 \times 10^{-8} \text{m/ciclo}$ . A superfície de fratura apresenta uma extensa área de propagação por fadiga, o comprimento máximo medido foi de  $66 \text{mm}$  antes da ruptura catastrófica. Sendo que cada estria representa um ciclo com a trinca propagando numa taxa de  $8 \times 10^{-8} \text{m/ciclo}$  e crescendo até o tamanho de  $66 \times 10^{-3} \text{m}$  quando rompeu catastróficamente, logo o número de ciclos (N) necessários para ruptura final é

$$N = \frac{66 \times 10^{-3} \text{m}}{8 \times 10^{-8} \text{m}} \text{ então } N=825000 \text{ ciclos.}$$

Sendo que o componente em questão trabalha á uma freqüência de 450 rpm (7,5Hz) o tempo de propagação resulta em aproximadamente 30 horas de trabalho.

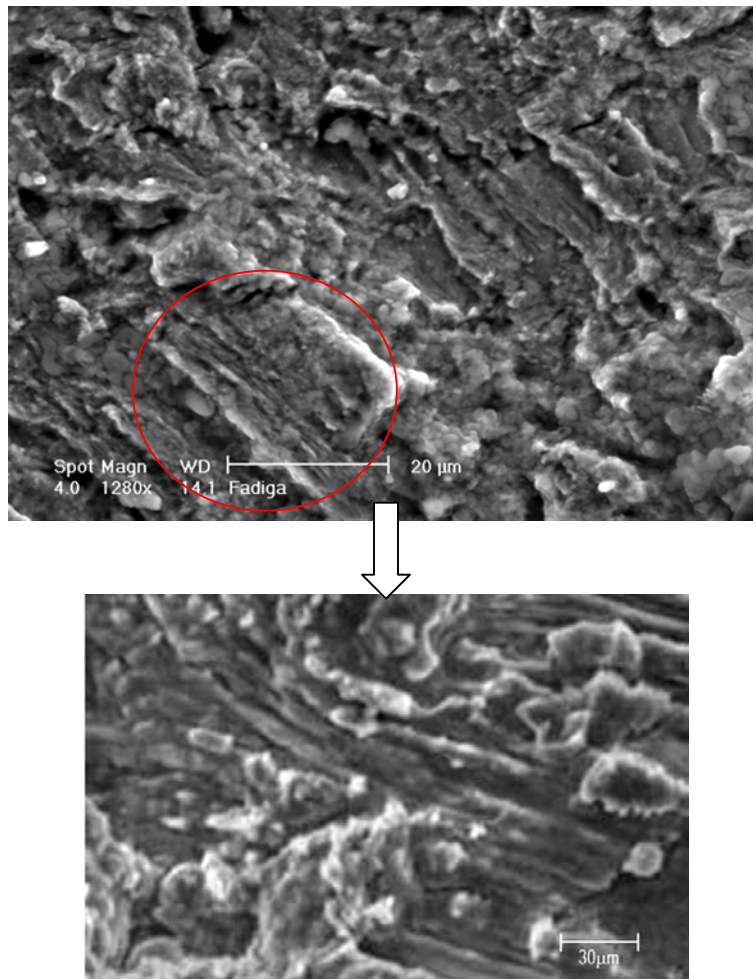


Figura 5 – Imagem em MEV mostrando a superfície de fratura com grande amassamento. Há indicativos de estrias de fadiga.

## **DISCUSSÃO:**

-Sugere-se analisar o posicionamento da região de início de fratura, pois há mais de uma ocorrência de fratura nas mesmas condições, segundo dados do solicitante. Isto indica que há uma maior sollicitação nesta região da haste. O fato da fratura ocorrer na mesma posição em mais de um caso é um sinal de possível desalinhamento do eixo ou mesmo picos de tensão no início da operação.

-O monitoramento das deformações em serviço seria uma técnica adequada para verificar tais fatores.

-A realização de inspeções para detecção de trincas fica impossibilitada devido ao curto espaço de tempo que a trinca necessita para propagar, até atingir o tamanho crítico, e ocorrer ruptura catastrófica. Isto acarretaria em uma inspeção diária, o que seria economicamente inviável.

-Uma tentativa de aumentar a resistência à nucleação de trincas nos filetes de rosca seria a fabricação dos mesmos a partir de laminação, ou mesmo o roletamento após a usinagem e tratamento térmico, pois introduziria tensões residuais compressivas na região crítica (fundo do filete) dificultando a nucleação.

## **CONCLUSÃO:**

O estudo indicou que houve falha por fadiga nucleada na região dos filetes de rosca.

O aspecto da fratura indica a presença de sollicitação de flexão unidirecional oriunda de um possível desalinhamento na montagem do componente somada aos esforços de tração e compressão.

O curto espaço de tempo que a trinca necessita para propagação inviabiliza a detecção por métodos de inspeção não destrutivos, sendo assim mais importante a prevenção de nucleação de trincas através de uma alteração no processo de fabricação do componente.

## **SUGESTÃO:**

A medição do espaçamento entre as estrias de fadiga foi de certa forma prejudicada devido ao grande amassamento da superfície de fratura. Como consequência o valor médio adotado para cálculo pode apresentar uma certa distorção que alteraria o cálculo do número de ciclos e o tempo de propagação. Com o objetivo de eliminar esta possível variação sugere-se a realização do levantamento de uma curva  $da/dN \times \log \Delta K$  que possibilitaria um cálculo mais preciso.

## **AGRADECIMENTOS**

LAMEF  
CNPQ

## **BIBLIOGRAFIA**

1 ASM HANDBOOK, FATIGUE AND FRACTURE Volume 19. USA: ASM International, 1996.

2 ASM HANDBOOK, Metallografy and Microstructures. Volume 9. USA: ASM International, 1995.

3 Strohaecker, T. R. Mecânica da Fratura. Porto Alegre, UFRGS, 2004.

### **ABSTRACT**

This paper has analyzed the fracture of an alternative compressor rod cracked by fatigue. The aim of this job is to determinate root causes of failure and estimate the crack growth rate for evaluating propagation time till fracture. The fracture occurred due to a fatigue crack nucleated at the thread root. The following techniques were used : visual inspection (macro), Scanning Electron Microscope (SEM) on fracture surface, metallographic investigation, chemical composition, hardness tests and project study. The analysis has show a portion of bending besides the push-pull forces expected and a short propagation time, wich makes not worth such a ndt (non destructive test) program to detect the crack. A study of alignment is recommended willing to avoid the bending forces. Changes in the manufacturing process of the thread, for an example rolling instead of machining and a surface heat treatment, can improve the component's fatigue life.

Keyword: Failure analysis, Fracture, Fatigue, Crack propagation