

ANÁLISE DE FALHA DE EIXO DE BOMBA*

Bruno Souza Fernandes¹
Diógenes Oliveira Lima Carneiro²
Tiago Nunes Lima³
Abraão Santos Silva⁴
Sandro Griza⁵

Resumo

Eixos são componentes utilizados para transmissão de movimento e energia em máquinas. Os eixos são sujeitos à fadiga, visto que são submetidos a esforços combinados de flexão e torção cíclica. No presente estudo foi feita a análise de falha de eixo de uma bomba de alimentação de ureia fundida de uma fábrica de fertilizantes. Foram realizadas inspeção visual, fractografia, metalografia. A falha foi associada à concentração de tensões no raio da chaveta e ranhuras de usinagem, o que causou a fadiga.

Palavras-chave: Análise de falha; Eixo; Fadiga.

FAILURE ANALYSIS OF A PUMP SHAFT

Abstract

Shafts are components used for transmission of movement and energy in machines. Shafts are subjected to fatigue, as they are subjected to combined bending and cyclic torsion. In the present study we investigate the failure of a shaft used in a molten urea feed pump from a fertilizer plant. Visual inspection, fractography, metallography were performed. The failure has been associated with stress concentrations in the shaft key and in machining grooves, causing fatigue.

Keywords: Failure analysis; Shaft; Fatigue.

¹ Graduando em Engenharia de Materiais, bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

² Graduado em Engenharia de Materiais, concursado, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

³ Graduando em Engenharia de Materiais, bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

⁴ Graduado em Engenharia de Materiais, concursado, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

⁵ Professor Doutor, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O eixo tem a importância de transmitir movimento e energia entre elementos de máquinas tais como engrenagens, polias, volantes, manivelas. Os eixos são submetidos à esforços de flexão e torção de maneira combinada, gerando concentrações de tensões em regiões críticas tais como mudanças de diâmetro, furos e rasgos de chavetas. Concentrações de tensões são prejudiciais para a vida útil do componente que sofre cargas cíclicas, pois isto pode acelerar a falha por fadiga [1].

Nas bombas centrífugas o eixo é o componente responsável pela transferência de energia do motor (ou turbina) para o impelidor, também conhecido como rotor. Durante a operação, o eixo das bombas centrífugas geralmente sofre degradação como resultado de corrosão e/ou degradação mecânica, usualmente na forma de falha por fadiga. Em muitos casos a corrosão antecede a falha por fadiga e pode atuar acelerando os ciclos de fadiga [2].

A falha mecânica pode ocorrer por várias razões. Algumas falhas são induzidas por cavitação, instabilidade hidráulica, ou outros problemas relacionados ao sistema. Outras são resultado direto da manutenção inadequada. Problemas de manutenção incluem: lubrificação inadequada, desalinhamento, desequilíbrio, o vazamento de vedação, e uma variedade de outras situações que, periodicamente, afetam a confiabilidade da máquina [3].

Em plantas de processo industrial é fundamental garantir a confiabilidade dos equipamentos utilizados, de forma a assegurar o controle e estabilidade da planta, reduzir os custos com manutenções e paradas não programadas, além de evitar acidentes com danos materiais e à vida. Todo equipamento industrial, seja de grande ou pequeno porte, está sujeito a falhar ao longo de sua vida útil. Por isso é necessário adotar medidas de prevenção e acompanhamento. Ainda assim, caso uma falha venha a ocorrer é importante conhecer o seu mecanismo e a origem, de forma a adotar medidas preventivas que evitem novos casos, aumentando assim a confiabilidade do equipamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo o procedimento adotado por LANCHETA *et al* [4] e Göksenli [5], neste trabalho foi desenvolvida inspeção visual com registro de condições da peça após a fratura por fotografias. Foi feita metalografia seguindo as normas ASTM E3-01 [6] e ASTM A262 [7]. A metalografia foi feita através de um corte transversal passando pela região identificada como de início de fratura. A análise microestrutural foi realizada em microscópio Carl Zeiss Axio SCOPE A1.

Foram realizadas análises de superfície de fratura em microscópio eletrônico de varredura, conduzidas através de um microscópio eletrônico de varredura Modelo Jeol MEV JCM-5700 Carry Scope.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Inspeção Visual e Fractografia

Foi notado que a fratura desenvolveu-se de forma helicoidal, um aspecto que poderia, a princípio, sugerir uma fratura frágil devido à sobrecarga de torção [8]. A Figura 1 (a) mostra a imagem ampliada da região do rasgo de chaveta. As setas indicadas por “1” mostram o caminho de propagação da trinca no plano de máxima tensão cisalhante. As setas indicadas por “2” mostram a trajetória de propagação da trinca a um ângulo de aproximadamente 45° em relação à orientação longitudinal, seguindo a direção do plano de máxima tensão normal. A Figura 1 (b) mostra a presença de marcas de usinagem e mordeduras nas duas arestas do rasgo de chaveta, levando a supor um esforço de torção alternada provocada pela inércia de movimento do rotor numa redução brusca da rotação da máquina. A Figura 2 mostra a superfície de fratura, que apresenta processos de fadiga por torção.

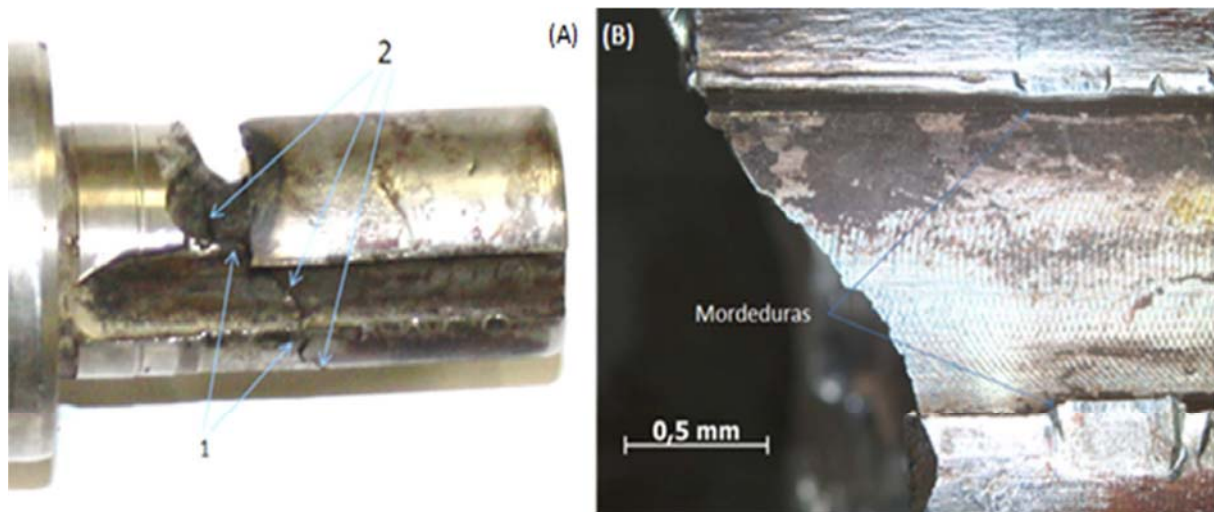


Figura 1: Detalhe da região de raso da chaveta. (A) direção de propagação da trinca. (B) marcas de usinagem e depressões (mordeduras) na superfície.

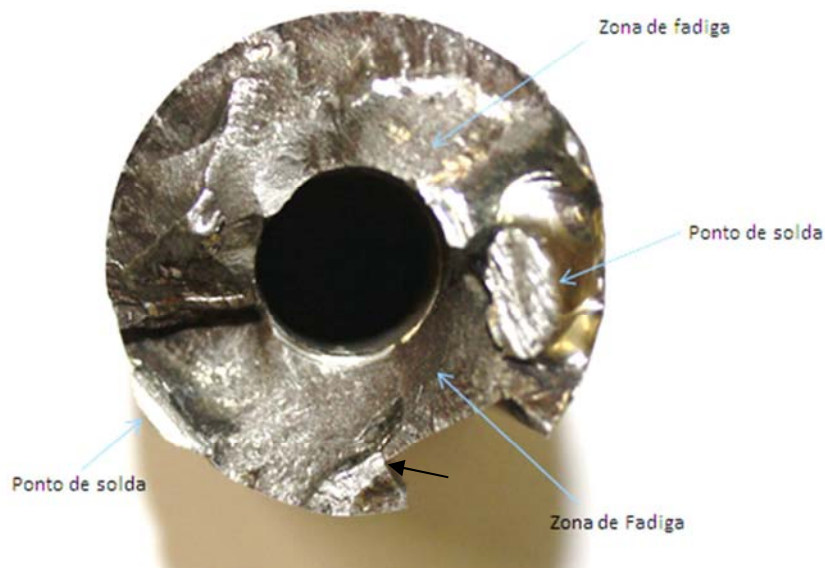


Figura 2: Superfície de fratura do eixo. Apresenta as marcas de solda e zona de fadiga.

Há a presença de superfícies lisas e cumes, além de uma extensa zona de propagação partindo de vários pontos. A Figura 3 apresenta detalhes dos aspectos macroscópicos de fratura que permitem verificar o processo de fadiga.

Nota-se a presença de superfície lisa, comum nos processos de fadiga [9, 10] e uma trinca secundária vista na Figura 3. Mais sinais macroscópicos de fadiga são a grande zona de propagação lisa e as marcas dentadas (*ratched mark*) encontradas nas paredes do eixo. A presença das marcas dentadas sugere a influência de um momento fletor e evidencia que a fratura ocorreu em múltiplas origens [9]. A presença de diversas reentrâncias, semelhantes a degraus e a não visualização de uma área de ruptura final sugere que a falha ocorreu devido à alta concentração de tensão e baixa carga externa.

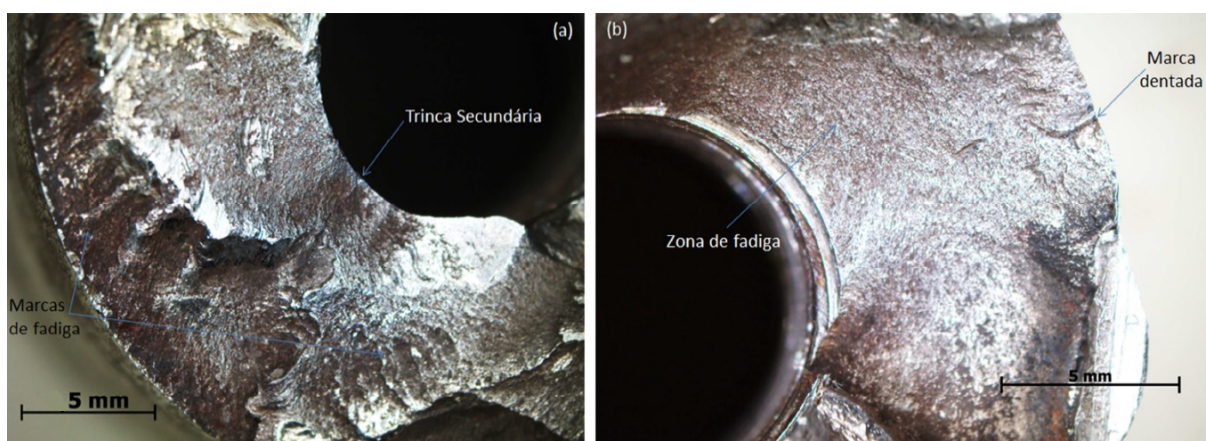


Figura 3: Superfície de fratura do eixo. A seta preta indica marcas de fadiga junto ao raio da chaveta, marcas de praia, marcas de dentada e zona de fadiga.

3.2 Metalografia

Os exames metalográficos (Figura 4) revelaram uma microestrutura típica do aço inoxidável austenítico 316 [11]. Nota-se a presença de carbeto e pequenas maclas de recozimento (*annealing twins*) o que sugere uma estrutura CFC [12]. Não há indícios de sensibilização ou corrosão intergranular.

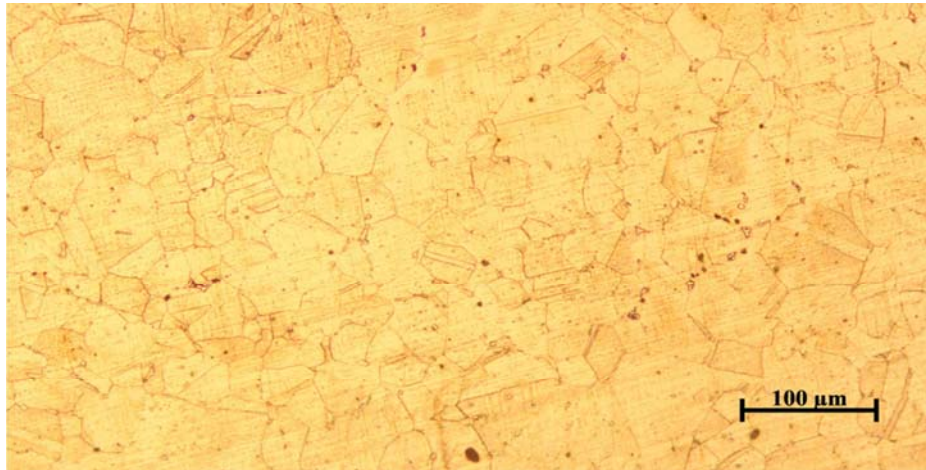


Figura 4: Microestrutura do eixo, típica do aço AISI 316.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelaram mais detalhes da superfície de fratura. A Figura 5 mostra um degrau (*ratched mark*) na região de nucleação da trinca no raio da chaveta e a presença de mais marcas de fadiga oriundas da concentração de tensões nas ranhuras superficiais de usinagem já citadas. Essas marcas encontradas são também chamadas de “ratched marks” e são consideradas como evidências de início de processos de fadiga.

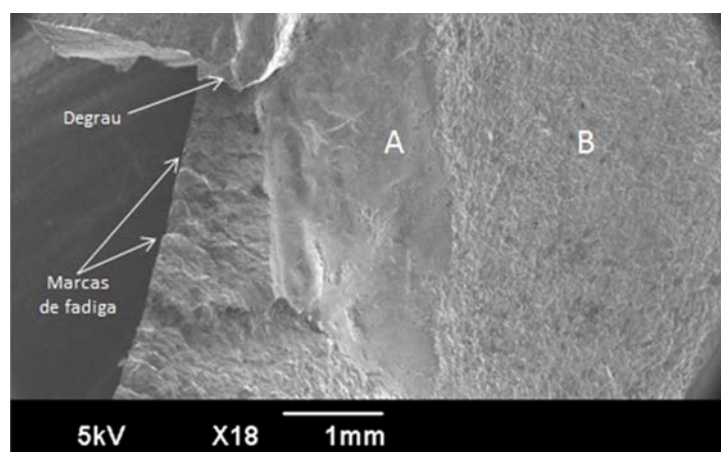


Figura 5: Degrão na região de início da trinca e marcas de fadiga.

As marcas de fadiga tornam-se ainda mais evidentes sob a ampliação do microscópio eletrônico. Através da ampliação das zonas “A” e “B” da Figura 5 percebem-se claramente as estrias de fadiga na região de fratura (Figura 6).

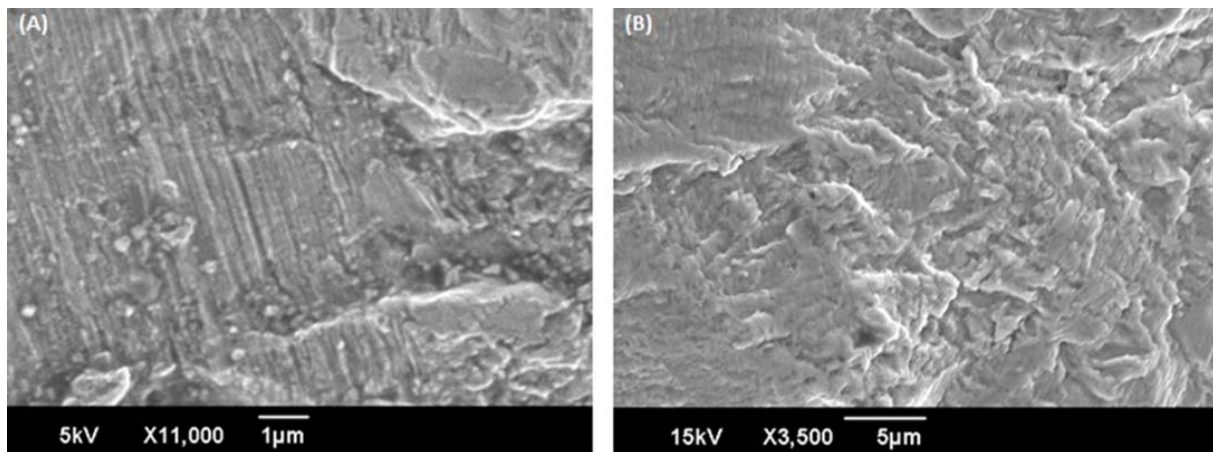


Figura 6: Estrias de fadiga em ampliação das zonas respectivas (A) e (B) da Figura 5.

4 CONCLUSÃO

O eixo falhou pelo mecanismo de fratura por fadiga de flexão rotativa, cujas trincas nuclearam a partir de diversas origens, tais como as ranhuras de usinagem, se propagando na direção perpendicular a tensão máxima de tração, formando um ângulo de 45° em relação ao sentido longitudinal do eixo, produzindo aspecto helicoidal de fratura.

O aspecto rugoso da chaveta, com marcas de usinagem profundas determinam um aumento da concentração de tensões, além disso, os imprevistos de solicitações, vibrações, excentricidades do eixo são exemplos de fatores que reduzem a resistência a fadiga e acarretar a falha do material. O raio de curvatura da chaveta também deve ser considerado um fator de concentração de tensões que pode favorecer a fadiga.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências Capes, Cnpq e Finep.

REFERÊNCIAS

- 1 Pan H. L., Tang S.H., Hao J.W. "Failure analysis of a rotating cantilever shaft in chloride corrosive environment". Engineering Failure Analysis 13, pp 646–655, 2006.
- 2 Berndt F. Bennekoum Van A. "Pump shaft failures: A compendium of case studies". Engineering Failure Analysis 8, pp 135-144, 2001.
- 3 Bachus, Larry; Custodio, Angel. Know And Understand Centrifugal Pumps. Elsevier, 2003.
- 4 Lancha A.M., Serrano M., Briceno Gomez D. "Failure analysis of a condensate pump shaft". Engineering Failure Analysis 6, pp 337-353, 1999.
- 5 Göksenli A. Eryürek I.B. "Failure analysis of an elevator drive shaft". Engineering Failure Analysis 16, pp 1011-1019, 2009.
- 6 ASTM E3-01. Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM International, 1999.
- 7 ASTM A262. Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels. ASTM International, 2008.
- 8 ASM Metals Handbook. Volume 11, Failure Analysis and Prevention. 10th Edition Metals Handbook, 2002.
- 9 Liu A. F. Mechanics and Mechanisms of Fracture: An Introduction. ASM International, 2005.



- 10 ASM Metals Handbook. Vol. 19. Fatigue and fracture. Metals Park (OH): American Society for Metals, 1996.
- 11 ASM Metals Handbook. Vol. 09. Metallography And Microstructures. Metals Park (OH): American Society for Metals, 1996.
- 12 Hasse F., Ulla Å. Physics of Functional Materials. Wiley. 2008.