ISSN: 2594-6153

Análise de Falha em Eixo de Conjunto Motoredutor

Paulo Henrique Martins do Nascimento, Wallace Alfredo Travassos Junior, Dorotéa Vilanova Garcia

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: paulomartins.nasc@hotmail.com

Resumo: Este trabalho tem por objetivo determinar a causa que levou a falha de um eixo de conjunto motoredutor. A fratura do componente ocorreu durante a operação de transporte de farinha de trigo empacotada através de esteira transportadora. Os estudos foram empregados de acordo com as normas ABNT 15454:2007 e NBR 13284:1995, além das metodologias usuais utilizadas em análise de falhas, tais como Inspeção Visual Geral, Macrofractografia e Metalografia. Estabeleceram-se quais fatores foram mais relevantes e levaram a fratura do eixo, sendo que o fator preponderante está ligado à concentração de tensão acumulada principalmente no local de redução de diâmetro do eixo (canto vivo), devido à fabricação com raio de concordância inadequado, o que ocasionou em falha através do processo de fadiga.
Palavras-chave: Macrofractografia, metalografia, fratura, falha e fadiga.

Failure Analysis in a Axis of a Motor Driver Set

Abstract: This paper aims to determine the cause that led to the failure of a geared motor shaft. The fracture of the component occurred during the transport operation of packaged Wheat flour through conveyor belt. The studies were employed according to ABNT 15454: 2007 and NBR 13284: 1995 norms, as well as the usual methodologies used in fault analysis, such as General Visual Inspection, Macrofractography and Metallography. Which factors were most relevant and led to shaft fracture, and the predominant factor is linked to the accumulated stress concentration mainly at the shaft diameter reduction site (sharp corner), due to the manufacturing with inadequate radius of agreement, which caused failure through the fatigue process.
Keywords: Macrofractography, metallography, fracture, failure and fatigue.

Introdução

Eixo é o componente responsável pela transmissão de movimento e energia entre elementos de máquinas e são constantemente submetidos à esforços de flexão e torção de maneira combinada. Estes esforços geram concentrações de tensões em regiões críticas como em mudança de diâmetro da peça, em furos e rasgos de chavetas [1].

A análise de falhas é essencial para que se possa evitar ou prevenir fraturas em componentes críticos em processos industriais. A falha de um componente, equipamento ou estrutura, pode deixa-lo inutilizado, ou ser utilizado com segurança, mas não desempenha sua função de forma satisfatória, e também ao apresentar um uso inseguro devido à deterioração associada ao evento de falha [2]. Através de técnicas e metodologias em análise de falhas, pode-se determinar as causas que levaram a fratura de um componente. Inspeções visuais do mecanismo de falha são realizadas para extrair

ISSN: 2594-6153

informações da utilização do componente e compreender o evento, determinar a sequência de ocorrência de falha, localizar a origem da fratura e também detectar qualquer característica macroscópica que possa ser relevante [3]. Outra técnica consiste na macrofractografia, utilizada para a descrição da topografia da superfície de fratura com o objetivo de avaliar as causas e mecanismos da fratura ocorrida [2], como o local de nucleação da trinca e sua forma de propagação, e também os estágios de fratura dúctil e frágil sofridos pelo componente.

Uma metodologia bastante usual realizada no estudo metalográfico de aços é a análise de inclusões, que investiga o tipo e a quantidade de impurezas presentes no material e que provavelmente foram geradas no seu processo de fabricação, como exemplo, as inclusões de óxidos, que podem gerar trincas, esfoliações, comprometer o processo de fabricação e as propriedades mecânicas [4].

Objetivos: O principal objetivo deste trabalho é analisar a causa da fratura de um eixo do conjunto motoredutor que operava em uma unidade de empacotamento de farinha de trigo e contribuir para que falhas em processos iguais a este possam ser previstas e evitadas.

Material e Métodos

As propriedades microscópicas do aço foram analisadas seguindo as normas ABNT 15454/2007 [5] e NBR 13284/1995 [6], através da realização de um ensaio destrutivo do componente seguido por análise micrográfica em microscópio ótico, registro fotográfico e interpretação dos resultados. Para a realização da análise micrográfica, foi retirado uma amostra do material aplicando um corte na seção transversal e outra na longitudinal no menor diâmetro do eixo, realizado em máquina Policorte com discos abrasivos e refrigerado a água, para evitar tensões residuais ocasionadas por provável aquecimento do material durante a operação de corte. Após o corte, realizou-se o embutimento da amostra (transversal e longitudinal), em baquelite termofixo (fundido até por volta de 170º C e resfriado lentamente), resultando em um único corpo e facilitando o manuseio para a realização dos ensaios. Em seguida, foi realizado um desbaste grosso a seco com lixa nº 180 da amostra revestida com baquelite para retirar riscos e marcas profundas da superfície a ser analisada. Um lixamento minucioso foi realizado com lixas d'água nº 600, 400, 320 e 240 para melhor acabamento da amostra, variando a direção em 90º entre cada granulometria, até desaparecerem os traços da lixa anterior. O material passou por um processo de polimento, em equipamento giratório, com partícula de suspensão monocristalina de

diamante de 6μm. Por último, antes da análise micrográfica foi realizado um ataque químico com reagente (ácido nítrico e álcool etílico) nital 5%, aplicado na superfície de amostra para análise e classificação da composição do material e o tipo de aço que foi empregado na construção do eixo.

Resultados

Através da metodologia aplicada em mecânica de fratura e com a Lei de Paris Erdogan, que relacionam fatores de intensidade de tensão com crescimento de trincas, foi possível determinar o tempo de vida em fadiga de um componente, conforme equação 1:

$$N = \frac{a_f^{1-(\frac{m}{2})} - a_i^{1-(\frac{m}{2})}}{C\,(\frac{m}{2}-1)Y^m\ \Delta\sigma^m \pi^{(\frac{m}{2})}} \qquad (1)$$

Sendo:

N o número de ciclos; $\mathbf{a_f}$ o comprimento final da trinca em (mm); $\mathbf{a_i}$ o comprimento inicial da trinca em (mm); **m** é constante no valor igual a 3,00 para o material (Aço Ferrítico); **C** é constante no valor igual a $6{,}87 \times 10^{-9}$ em (mm/ciclo) para material (Aço Ferrítico); **Y** é constante vinculada à geometria do componente trincado. Para $R \geq 0$ o valor de **Y** é igual a 0,928, segundo equação de Walker para material Aço Estrutural Comum; $\Delta\boldsymbol{\sigma}$ é o resultado entre as diferenças $\boldsymbol{\sigma_{Máx}}$ - $\boldsymbol{\sigma_{Mín}}$.

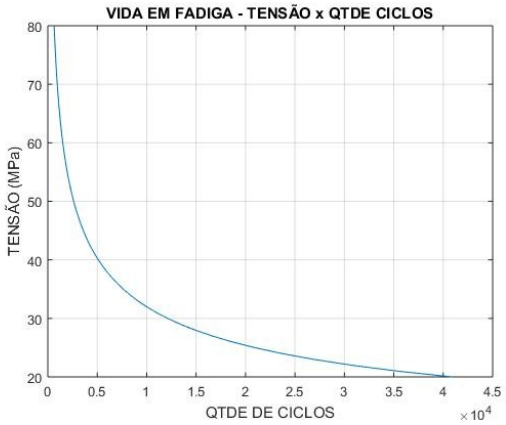


Tabela 1 - Vida em Fadiga - Tensão versus Quantidade Ciclos
(considerando $\mathbf{a_0}$ = 5 mm; $\mathbf{a_f}$ = 10 mm; $\boldsymbol{\sigma_{Mín}}$ = 20 MPa e $\boldsymbol{\sigma_{Máx}}$ = 80 MPa)

A Tabela 1, representa a simulação do acompanhamento do tempo de vida em fadiga em ciclos, em função de valores de tensões aplicadas, de um eixo após um processo de nucleação de uma trinca, com simulação realizada em MatLab (software de alta performance voltado para cálculos numéricos). Observou-se em microscópico ótico a microestrutura do material, classificada como perlita bandeada, conforme Figuras 1 e 2. O grau de bandeamento da perlita, indicado pelas setas da Figura 2, é uma

característica determinada por três fatores: a velocidade de resfriamento após re-austenização, distância entre as bandas e o tamanho de grão.

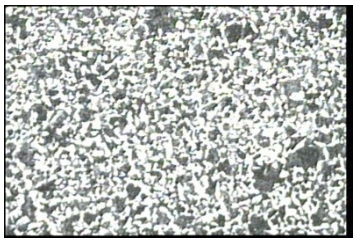


Fig. 1 - Perlita bandeada. Seção longitudinal (ampliação de 100x)
Fonte**:** microscópio óptico

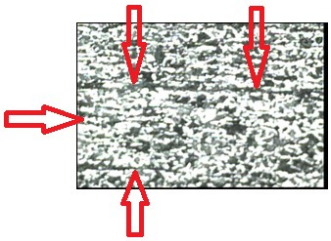


Fig. 2 - Perlita bandeada – Seção transversal (ampliação de 100x)
Fonte**:** microscópio óptico

A difusão do carbono no aço é atribuída à velocidade de resfriamento do material, em que o grau de bandeamento se torna mais característico quando se diminui o tempo de resfriamento após a austenização. A distância entre as bandas de segregação é diretamente relacionada ao tamanho de grão austenístico, e ambos são dependentes da velocidade de solidificação, deformação e tratamento térmico **[7]**. Na Figura 3 podem ser observadas algumas marcas que nos permitem realizar uma análise macrofractográfica e determinar a causa que levou a ruptura do eixo.



Fig. 3 - Superfície de fratura da área de maior diâmetro do eixo. Fonte**:** Autor

Supõe-se que devido à aplicação de tensões de carregamentos cíclicas, o início do processo de fratura ocorreu na superfície lisa (deformação dúctil), mais ou menos na direção 5h (referência relógio de ponteiros), devido à nucleação de uma trinca que se propagou em direção a uma superfície mais grosseira (deformação frágil). Na parte superior do lado esquerdo, mais ou menos na direção 11h, o avanço da fratura é indicado por uma superfície com "marcas de praia" que se desloca em direção ao centro onde é a área final da fratura que apresenta textura áspera. Nesta área, em materiais dúcteis normalmente se forma um lábio de cisalhamento com inclinação aproximadamente 45º em direção ao esforço exercido pelo eixo **[8]**, situação que ocorreu no eixo analisado. Todas estas características apresentadas pela superfície

indicam que a falha ocorreu por fadiga, em que o processo de fratura se inicia em concentradores de tensão, como cantos vivos, entalhes, inclusões da metalurgia, combinados com a aplicação de cargas dinâmicas e após algum tempo de trabalho do componente.

Discussão

Na análise metalográfica foi aplicado o método de análise de inclusões realizado em microscópio óptico para determinar a quantidade de impurezas presente no material. Como se pode observar na figura 1, em comparação com a figura 2, o material apresenta inclusões de óxidos que podem ter sido geradas durante o seu processo de fabricação:

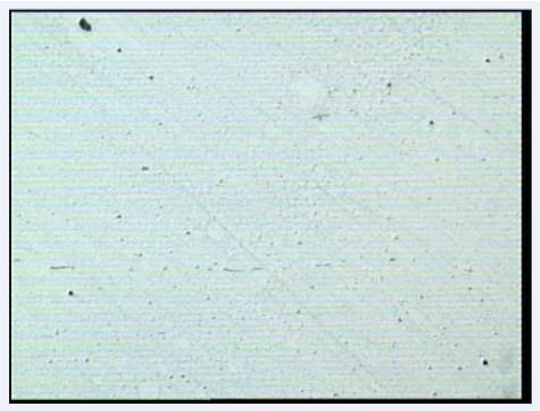


Fig. 4 - Análise de Inclusões. Fonte**:** microscópio óptico.

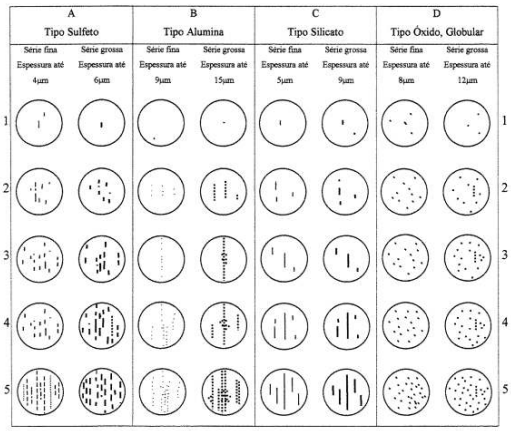


Fig. 5 - Classificação das inclusões. Fonte: [9]

Conclusões

Concluiu-se que devido à forma irregular de projeto e desenvolvimento do raio de concordância do eixo acarretou na formação de um concentrador de tensão, e devido à torção e flexão geradas pelo movimento giratório do componente, fragilizaram o eixo que não suportou valores acima da metade do seu limite de resistência e falhou pelo mecanismo de fratura por fadiga.

Referências

1. Fernandes, BS; Carneiro, DOL; Lima, TN; Silva, AS; Griza, S. Análise de falha de eixo de bomba.
2. Morais, WA. Guia para a execução de análise de falhas.
3. Morais, WA. Análise de falhas mecânicas.
4. Bartosiaki, GB. Caracterização de inclusões não metálicas de óxidos no aço SAE 52100 [trabalho de diplomação]. Porto Alegre: Escola de engenharia, UFRGS; 2013.
5. ABNT 15454:2007.
6. NBR 13284:1995.
7. Ogata, PH. Caracterização microestrutural do aço para tubo API 5L-X65 em diferentes regiões da chapa como laminada e após austenitização e resfriamento sob

diversas taxas de resfriamento.
8. Dowling, NE. Comportamento mecânico dos materiais: análises de engenharia aplicadas a deformação, fratura e fadiga. Tradução: Willy Ank de Morais. 4. ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2018.
9. Murta, MCJ. Análise de inclusões não metálicas em aço por espectrometria de emissão óptica associada ao sistema Spark-DAT [dissertação de mestrado]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG; 2013.