

ANÁLISE DE FALHA EM VIRABREQUIM ¹

Odair José de Moraes²

Sandro Griza³

Telmo Roberto Strohaecker⁴

Resumo

Neste trabalho foi analisado um virabrequim utilizado em trator de baixo porte que falhou em serviço. O objetivo fundamental foi determinar as causas que levaram à ruptura. A metodologia utilizada consistiu de análise visual, análise da morfologia da fratura através de microscopia ótica e eletrônica de varredura, metalografia e análise química. A análise visual indicou que a fratura foi causada por fadiga, evidenciada pela presença de marcas de praia. A falha iniciou junto ao raio de concordância entre o moente e a palma com duas frentes de propagação. A microestrutura da amostra é formada por martensita revenida. Observou-se a presença de regiões com martensita não revenida coincidentes com o raio de concordância no lado da palma, próxima ao início da fratura. Esta alteração microestrutural é oriunda de um aquecimento localizado seguido de resfriamento rápido oriundo provavelmente do processo de retífica, por falta momentânea de refrigeração ou por severos parâmetros de retífica. Sugere-se que sejam controlados os parâmetros de retífica e que a camada temperada por indução seja deslocada para abranger todo o raio em direção à pista. Ao final da camada de indução existem tensões residuais positivas, portanto é aconselhável evitar seu posicionamento junto ao raio de concordância.

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

FAILURE ANALYSIS IN CRANKSHAFT

Abstract

In this work a crankshaft from a low load capacity tractor that failed in service was analyzed. The main objective was to determine the causes that led to the rupture in order to avoid new occurrences in the future. Standard failure analysis procedures were performed. The following tests were conducted: visual analysis, analysis of the morphology of the failure using optical microscope and scanning electron microscope, metallographic and chemical analysis. The visual analysis indicates that the fracture was caused by fatigue, confirmed by the presence of beach marks. The failure initiated next to the concordance between the pivot and the palm with two fronts of propagation. The microstructure of the sample is formed by tempered martensite. It was observed a presence of untempered martensite at a region adjacent to the initiation points. This microstructural alteration is originated from a local heating followed by fast cooling most probably during milling operations. One suggestion is to better control the milling parameters and to move the induction quenched layer in a way to embrace the entire radius in the direction of the rolling surface. At the end of the induction layer there are positive residual stresses, therefore practice advises to prevent its positioning at the concordance.

Key words: Crankshaft; Fatigue; Failure analysis.

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

² *Graduando, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS*

³ *Mestre em engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais (PPGEM) – UFRGS*

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

1 INTRODUÇÃO

Virabrequins são componentes que transformam o movimento de translação repetido dos cilindros em rotação. São tidos como o principal componente de um motor de combustão interna. Nos últimos tempos, muitos casos de falha em virabrequins foram verificados, apesar de ser um componente super dimensionado em termos de cargas estáticas.

Uma causa comum de falha é ruptura por fadiga, que ocorre devido às solicitações cíclicas. Em muitas situações verificam-se rupturas imprevistas, sem que o material tenha sofrido sobrecarga, surpreendendo os projetistas. Em serviço é comum a ocorrência de trincas nucleadas por fadiga junto a regiões de alta concentração de tensões como, por exemplo, nos filetes de rosca, raios de concordância, furos ou demais mudanças de seção que servem como concentradores de tensões. Sabe-se que problemas microestruturais oriundos da própria fabricação, tensões residuais, tensões de montagem entre outros fatores são responsáveis pela nucleação de trincas por fadiga o que leva o componente ao colapso.⁽¹⁾

Neste trabalho foi analisado um virabrequim utilizado em trator de baixo porte que falhou em serviço. Uma das suspeitas é que o raio de concordância entre o moente e a palma esteja incorreto, visto que a fratura nucleou nesta região.

O objetivo fundamental foi determinar as causas que levaram à ruptura em serviço do componente, no sentido de adquirir conhecimento para evitar novas ocorrências de falhas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para análise de falhas segue o proposto pela literatura.⁽¹⁻³⁾ Os ensaios realizados para determinar os fatores associados à ruptura do componente foram análise visual, análise da morfologia da fratura através da microscopia ótica e eletrônica de varredura, análise química e metalografia.

Para a análise da morfologia da fratura foi utilizada a técnica de inspeção visual com a ajuda de lupa de baixo aumento.

Uma amostra da fratura foi levada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) na tentativa de analisar detalhadamente a região de início da falha.

Foram retiradas amostras nas regiões críticas para a análise metalográfica. As amostras foram cortadas, embutidas, lixadas e atacadas quimicamente com o reagente nital 3% conforme as técnicas padrão.

A análise química foi realizada por espectrometria de emissão ótica. A Figura 1 mostra o virabrequim analisado e a Figura 2 a nomenclatura utilizada neste trabalho.



Figura 1. Imagem mostrando o virabrequim analisado.

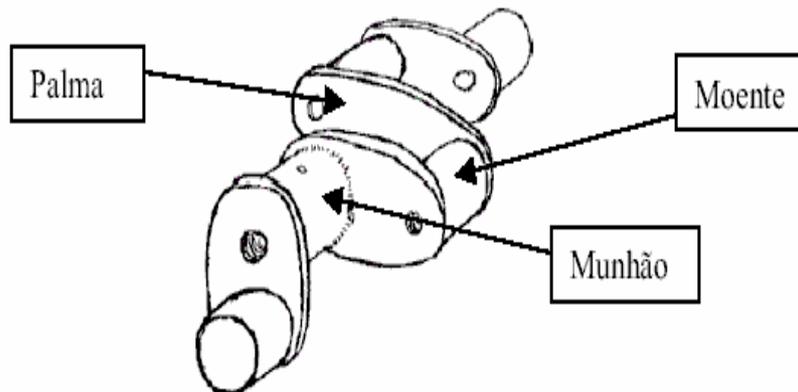


Figura 2. Imagem mostrando a nomenclatura utilizada neste trabalho. ⁽⁴⁾

3 RESULTADOS

Análise da Superfície Fraturada

A análise visual indicou que a fratura foi causada por fadiga, evidenciada pela presença de marcas de praia. A falha iniciou junto ao raio de concordância entre o moente e a palma com duas frentes de propagação, conforme Figura 3.

No microscópio eletrônico de varredura (MEV) observou-se um grande amassamento das superfícies de propagação sendo que a imagem não foi inserida neste estudo. O amassamento é comum em processos de ruptura por fadiga de alto ciclo quando sob razões de carregamento negativas e também é característico em rupturas de virabrequins porque eles podem continuar operando mesmo após a ruptura final, visto a grande restrição a translações imposta pelos mancais. ⁽⁴⁾

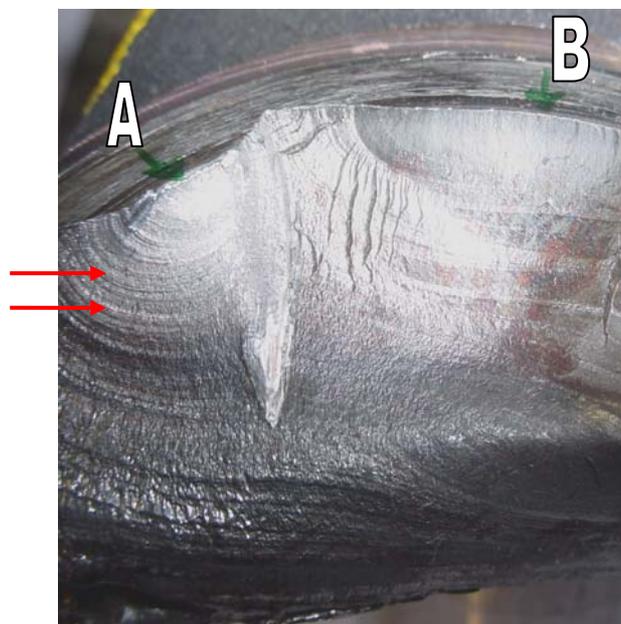


Figura 3. Imagem mostrando macrografia da superfície de fratura do componente com duas frentes de propagação (A e B) ambas tendo o ponto de início junto ao raio de concordância. As setas indicam as marcas de praia.

Análise Química

A análise química foi realizada por espectrometria de emissão ótica. A Tabela 1 mostra a média de três análises realizadas no material. A composição química do aço utilizado na fabricação do componente segue a especificação SAE 4140.

Tabela 1. Resultado da análise química.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Média	0,43	0,33	0,88	0,01	0,03	0,96	0,21
SAE 4140	0,38- 0,43	0,15- 0,35	0,75- 1	0,03máx	0,04máx	0,8- 1,1	0,15- 0,25

Caracterização Metalográfica

Para a realização da análise microestrutural uma amostra transversal à superfície de fratura, próxima a ponto de início da falha, foi retirada e preparada segundo procedimentos de embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com nital 3%. A microestrutura das amostras é formada por martensita revenida. Observou-se nas amostras A e B a presença de regiões com martensita não revenida coincidentes com o raio de concordância no lado da palma, próxima ao início da fratura (Figura 4). A martensita não revenida é caracterizada pela dificuldade de atacá-la com o reativo de nital, resultando em uma região clara facilmente distinta da martensita revenida. As duas amostras apresentaram inclusões de sulfeto de manganês classificadas como ASTM A3, série fina (Figura 5). Através da análise macrográfica foi observada a presença de defeitos de usinagem nos raios de concordância, criando canto vivo no lado da palma, o que pode agravar a concentração de tensões facilitando a nucleação de trincas por fadiga (Figura 6).



Figura 4. Micrografia mostrando a presença de martensita não revenida (camada com tonalidade clara) na região do raio de concordância.

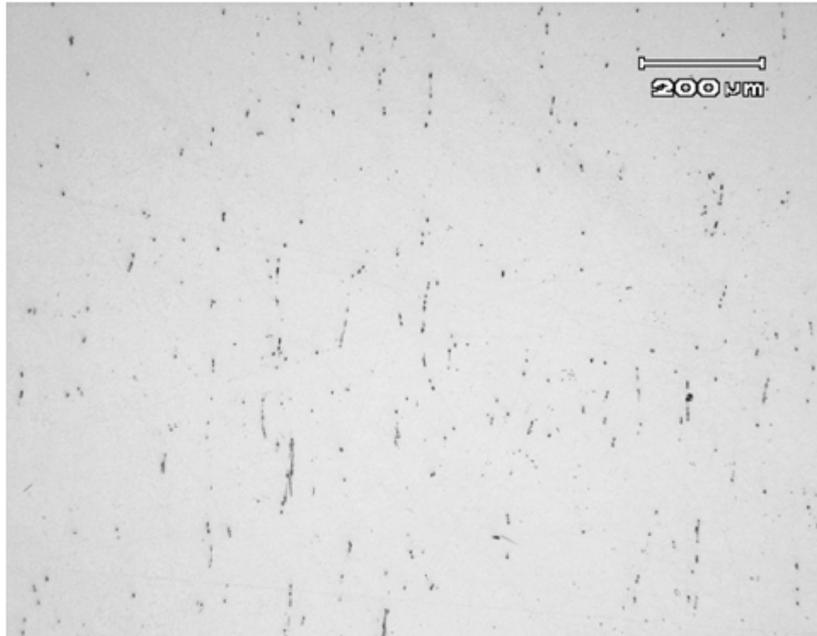


Figura 5. Micrografia mostrando a presença de inclusões de sulfeto de manganês ASTM A3 série fina.

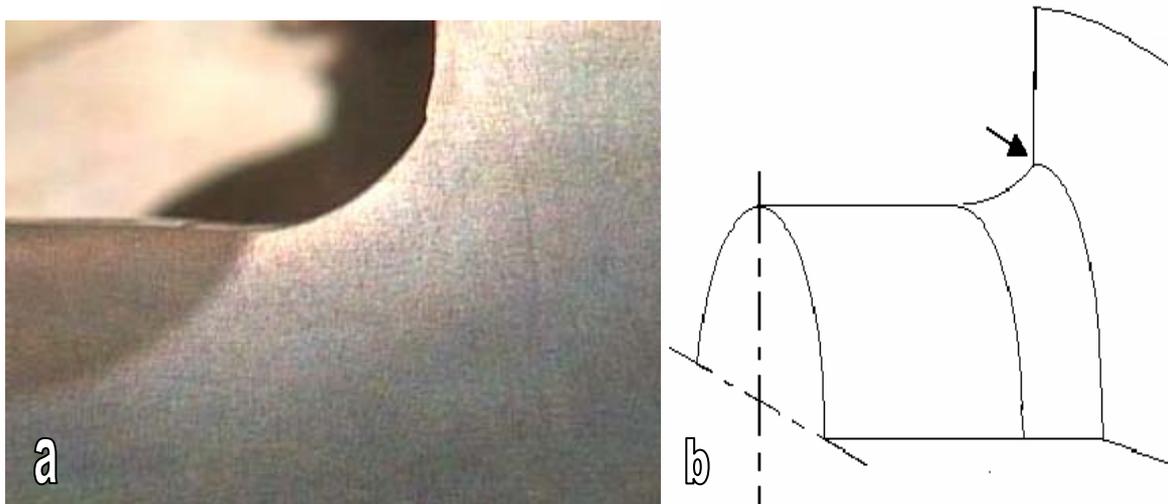


Figura 6. Defeitos do raio de concordância: (a) final da camada temperada por indução junto ao início do raio e o "canto vivo" no lado da palma, na região indicada no esquema em (b).

DISCUSÃO E CONCLUSÃO

Processos de fadiga mecânica,⁽⁴⁻⁸⁾ fadiga térmica⁽⁵⁾ e fadiga de contato⁽⁹⁾ são as principais causas de falha de virabrequins. Neste estudo foi verificado que os parâmetros de fabricação - processo de usinagem e tratamento térmico - tiveram influência na falha do componente.

As análises indicam que o componente sofreu ruptura por fadiga nucleada na região do raio de concordância entre o munhão e a palma. A usinagem do raio de concordância provocou um "canto vivo" no lado da palma que facilitou a falha por aumentar a concentração de tensões.

O processo de retífica, por sua vez, também influenciou o evento de falha. Em um recente estudo, Silva⁽⁵⁾ identificou um processo de fadiga térmica causado por

severos parâmetros de retífica como responsável pela falha de um virabrequim. Nosso estudo metalográfico mostrou que no componente há uma alteração na microestrutura numa região próxima ao início da fratura. A presença de martensita não revenida, fase de dureza elevada e muito frágil, facilita a nucleação de trincas de fadiga mecânica. Esta alteração microestrutural é oriunda de um aquecimento localizado seguido de resfriamento rápido associada a um processo de retífica, por falta momentânea de refrigeração ou, novamente, por severos parâmetros de retífica.⁽⁴⁾

Foi verificada uma concentração elevada de inclusões de sulfeto de manganês alinhadas, aflorando à superfície do raio de concordância, o que pode também contribuir para a nucleação de trincas.

Por fim sugere-se que sejam controlados os parâmetros de retífica e que se especifique a matéria prima com valores mais baixos de fósforo e enxofre (limitando a 0,02% em peso). Além disso, que a camada temperada por indução seja deslocada para abranger todo o raio em direção à pista, pois ao final da camada de indução formam-se tensões residuais positivas que podem facilitar a nucleação de trincas sendo, portanto, aconselhável evitar a coincidência do final da camada temperada por indução com o raio de concordância.

REFERÊNCIAS

- 1 Strohaecker, T. R., Reguly, A., Limberger, I., Griza, S., Macedo, M.L.K., Fadiga e Análise de Falhas, pp.76, Porto Alegre, UFRGS, 2004.
- 2 ASM Handbook, Metallografy and Microstructures, Volume 9. USA: ASM International,1995.
- 3 ASM Handbook, Fatigue and Fracture, Volume 19. USA: ASM International,1996.
- 4 Renck T., Griza S., Strohaecker, T. R., Análise de falha em virabrequins para motores diesel, 55^o Congresso ABM, pp.1273-1281, 2000.
- 5 Silva F. S., Analysis of a vehicle crankshaft failure, Engineering Failure Analysis 10, 605–616, 2003.
- 6 Pandey, R.K., Failure of diesel-engine crankshafts, Engineering Failure Analysis 10 165–175, 2003.
- 7 Zhiwei Yu, Xiaolei Xu, Failure analysis of a diesel engine crankshaft, Engineering Failure Analysis 12, 487–495, 2005.
- 8 Chien W.Y., Pan J., Close D., Ho S., Fatigue analysis of crankshaft sections under bending with consideration of residual stresses, International Journal of Fatigue 27, 1–19, 2005.
- 9 Bhaumik S.K., Rangaraju R., Venkataswamy M.A., Bhaskaran T.A., Parameswara M.A., Fatigue fracture of crankshaft of an aircraft engine, Engineering Failure Analysis 9, 255–263,2002.