

ANÁLISE DE FALHA EM EIXO AUTOMOTIVO ¹

Julio Rosa ²
Afonso Reguly ³

Resumo

O objetivo deste trabalho é o de investigar as causas de um acidente rodoviário utilizando técnicas de análise de falha em um eixo automotivo. As possíveis causas de caráter metalúrgico ou mecânico que possam ter levado o componente a ruptura foram investigadas através de documentação fotográfica análise fractográfica em lupa de baixo aumento e em microscópio eletrônico de varredura (MEV), análise química, exame metalográfico e ensaio de microdureza. Os resultados indicam que o eixo rompeu devido à presença de um cordão de solda executado de maneira equivocada. O processo e procedimentos de soldagem utilizados incentivaram um processo de fadiga por flexão alternada levando o componente ao colapso.

Palavras chave: Eixo automotivo; Fadiga; Soldagem; Análise de falha.

FAILURE ANALYSIS IN AN AUTOMOTIVE SHAFT

Abstract

The aim of this work is to investigate the causes of the fracture of an automobile shaft which culminate in a road accident. Using a failure analysis approach, the investigation examined the accident photos and also carried out fractography using scanning electronic microscope (SEM), chemical analysis, metallography and microhardness measurements. The results indicated that the shaft has collapsed due to a reverse bending fatigue process triggered by an improper weld fillet present near the bearing ring.

Key words: Failure analysis; Automotive shaft; Fatigue; Weld defect.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico – PPGEM – UFRGS.

³ Engenheiro Metalúrgico, Prof. Dr. PPGEM – UFRGS.

1 INTRODUÇÃO

Os eixos automotivos são responsáveis pela transmissão de rotação e potência às rodas do veículo. Tais eixos estão submetidos a esforços de torção e flexão; e sujeitos a falhas por fadiga devido à natureza de sua operação.

As falhas por processo de fadiga podem ser incentivadas por inconformidades no design do componente, defeitos de fabricação ou erro montagem e manutenção do conjunto onde o eixo trabalha. Inconformidades de caráter metalúrgico, como a presença de microestruturas que ajam como concentradores de tensões ou contribuam para a diminuição de ductilidade e resistência do material, também promovem fraturas por fadiga no componente.^[1-3]

Este trabalho visa investigar as prováveis causas de um acidente rodoviário. Durante uma viagem o condutor de uma caminhonete ouviu um forte estrondo e, em seguida, perdeu o controle do veículo o que acarretou em um grave acidente com sérios danos pessoais e perda total do automóvel. Constatou-se, posteriormente, que o eixo traseiro do veículo estava quebrado. O componente foi enviado ao Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF-UFRGS) para análise de falha, afim de que se pudessem identificar fatores mecânicos ou metalúrgicos que tenham contribuído para a fratura do eixo. De acordo com o condutor o acidente ocorreu 10 meses após um conserto em uma folga entre o eixo e o sistema de rolamentos.

A Figura 1 mostra a peça recebida para análise, enquanto um desenho esquemático de um conjunto eixo-roda é mostrado na Figura 2.



Figura 1 – Fotografia mostrando o componente recebido para análise.

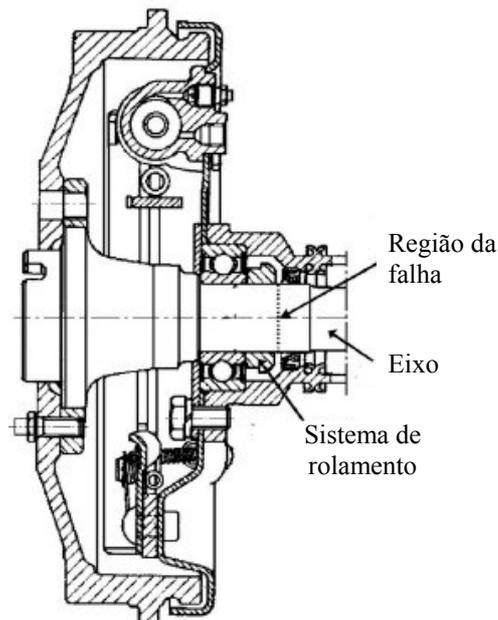


Figura 2 – Desenho esquemático da configuração de um sistema eixo-roda.

2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1 Análise Fractográfica

A superfície de fratura foi analisada em lupa de baixo aumento e suas características foram registradas com uma máquina fotográfica digital. Foi realizada análise fractográfica em microscópio eletrônico de varredura (MEV) com o intuito de se identificar micromecanismo de falha.

2.2 Análise Química

Uma amostra retirada do eixo foi submetida à análise química em um espectrômetro de emissão óptica marca Spectro modelo Spectrolab.

2.3 Análise Metalográfica

Para análise metalográfica foi retirada uma amostra, a partir de um corte longitudinal, junto a um dos pontos de início da falha. O corpo de prova foi preparado de acordo com procedimentos padrões de metalografia (embutimento, lixamento, polimento e ataque químico). O reagente utilizado para o ataque químico foi nital 2%. A amostra foi analisada em lupa de baixo aumento e microscópio ótico.

2.4 Ensaio de Microdureza

A amostra metalográfica foi submetida a um ensaio de microdureza. O ensaio foi conduzido em um microdurômetro calibrado em escala Vickers com carga de 100gf.

3 RESULTADOS

A fratura apresenta características de uma falha por fadiga, o que é evidenciado pela presença de marcas de praia (beach marks) em sua superfície. Dois pontos de nucleação da falha podem ser verificados em regiões diametralmente opostas da superfície de fratura, como mostra a Figura 3, verifica-se ainda a presença de óleo e corrosão generalizada.



Figura 3 – Fotografia mostrando a superfície de fratura do eixo onde é possível observar a ocorrência de marcas de praia e identificar as regiões de início da falha (círculos). Os pontos “A” e “B” se refere às regiões analisadas em MEV.

Observa-se a presença de um cordão de solda que unia dois segmentos do eixo. As características do referido cordão indicam a utilização de solda manual com eletrodo revestido. A região da solda apresenta trincas e marcas de superaquecimento em todo o seu perímetro. As trincas se propagam em direção à superfície do eixo, onde se verificam escoriações (Figura 4). Durante o corte do eixo, com intuito de selecionar áreas para as análises fractográfica e metalográfica, verificou-se a presença de um anel externo ao segmento 1 do eixo, como mostra a Figura 5.



Figura 4 – Fotografia mostrando o cordão de solda e a incidência de trincas e escoriações na parede do eixo.

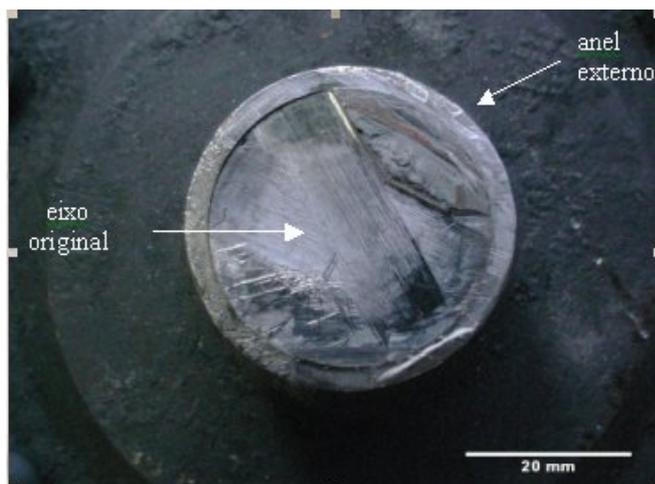


Figura 5 – Fotografia mostrando a presença de um anel externo ao segmento 1 do eixo analisado.

As regiões de início da falha apresentam-se bastante amassadas, por isto a análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV) contemplou os pontos “A” e “B” da Figura 3. As fractografias obtidas revelam a presença de fratura intergranular na superfície de fratura, como mostra a Figura 6. Em virtude das condições da amostra não foi possível a visualização de estrias de fadiga.

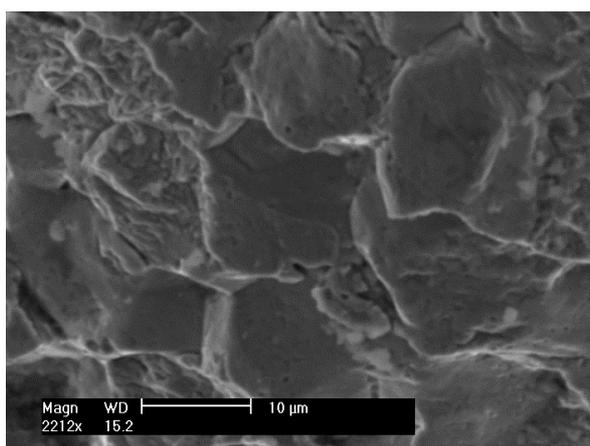


Figura 6 - Fractografia mostrando a ocorrência de fratura intergranular na superfície de fratura do eixo.

A Tabela 1 apresenta o resultado da análise química. O material analisado possui composição similar a um aço estrutural ASTM A304 com teor de Mn abaixo do especificado.

Tabela 1 – Resultado da análise química

Elemento(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni
Amostra	0,43	0,27	1,32	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,005	<0,005
ASTM A304	0,37-0,44	0,15-0,35	1,45 -2,05	<0,04	<0,03	<0,2	<0,35	<0,06	<0,25

A análise da amostra metalográfica em lupa de baixo aumento indica a presença de trincas na zona afetada pelo calor (ZAC) da solda (Figura 7).

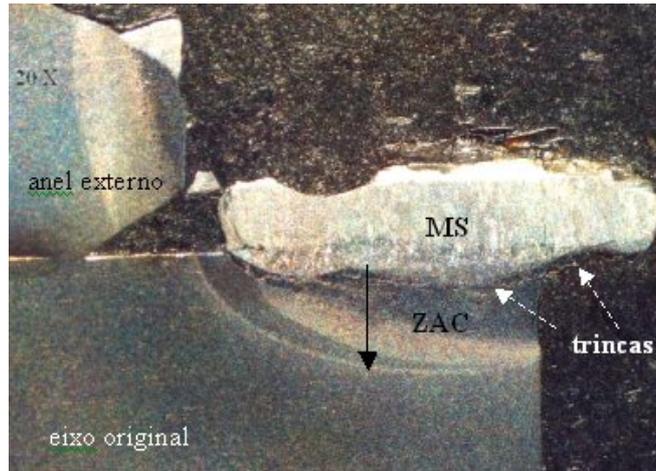


Figura 7 – Macrografia da região de início da falha. Observa-se a ocorrência de trincas na interface entre o metal de solda (MS) e a ZAC. As flechas tracejadas indicam as trincas e a flecha cheia indica a direção do perfil de microdureza.

O eixo original possui tratamento superficial de têmpera por indução, apresentando microestrutura martensítica na superfície e ferrita e perlita no núcleo. As Figuras 8, 9 e 10 mostram a microestrutura na região da ZAC, onde ocorrem às trincas, observa-se, além da estrutura martensítica, a natureza intergranular das trincas e a presença de inclusões alongadas.

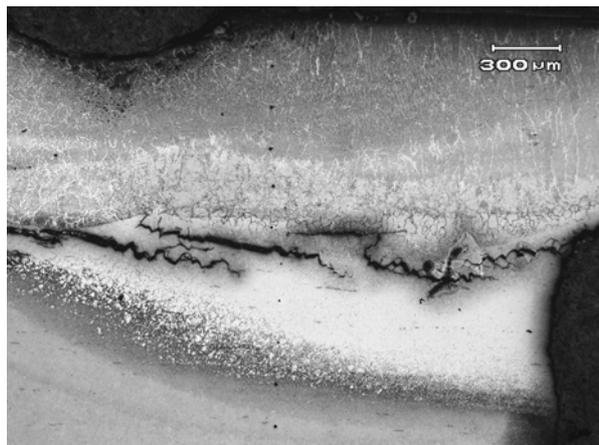


Figura 8 – Micrografia da região de início da falha mostrando a existência de trincas na ZAC.

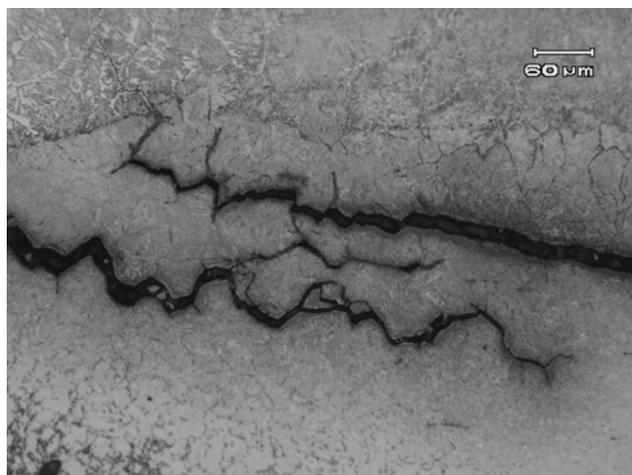


Figura 9 – Micrografia da região de início da falha mostrando a existência de trincas na microestrutura martensítica da ZAC.

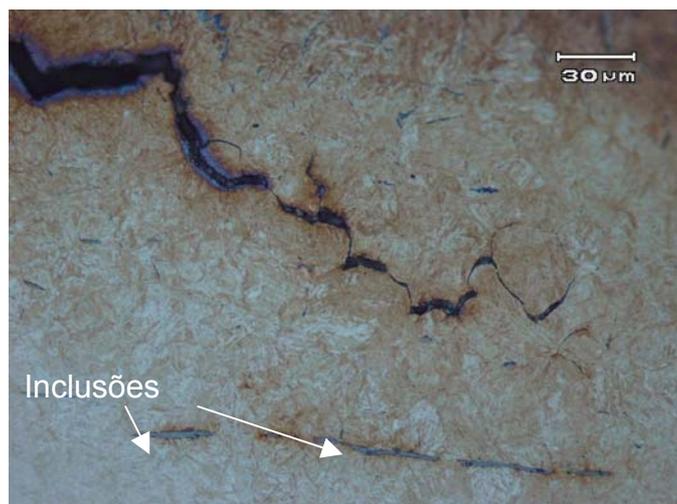


Figura 10 – Micrografia da região de início da falha. Detalhe mostrando a presença de inclusões, estrutura martensítica e a natureza intergranular das trincas na ZAC.

Para análise dos resultados do ensaio de microdureza foram elaborados perfis para medir as variações de dureza na região de início da falha (perfil A) e numa região distante do início da falha (perfil B). O perfil A inicia no metal de solda, enquanto o perfil B inicia no anel externo (Figura 7). Ambos terminam no eixo original, as endentações são espaçadas em 0,2mm. A Figura 11 mostra os perfis obtidos, indicando picos de dureza acima de 500 HV na região da ZAC

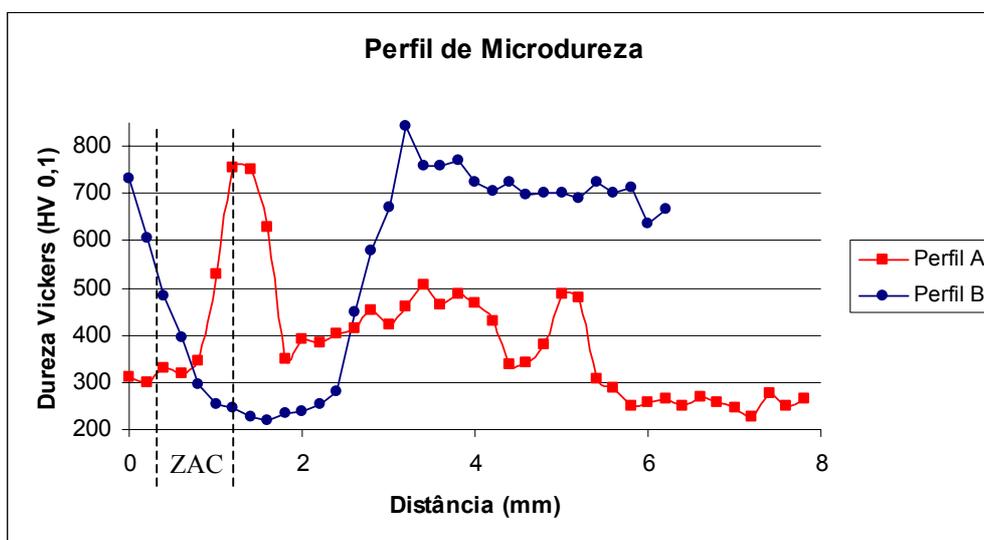


Figura 11 - Perfil de microdureza.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Há indícios de que o eixo original tenha sido cortado e um anel externo colocado na região onde havia desalinhamento (espaço entre o eixo e o sistema de rolamentos), em seguida os dois segmentos do eixo foram unidos por solda com eletrodo revestido.

O ciclo térmico gerado durante a soldagem provoca transformações metalúrgicas que podem ser nocivas à integridade da junta. Tais transformações induzem o surgimento de tensões residuais que, associadas à alta dureza na ZAC promovem a nucleação de trincas induzidas pelo hidrogênio (TIH). O hidrogênio

pode ser introduzido na solda a partir da atmosfera, óleo na junta ou do eletrodo revestido.^[4,5]

Os micromecanismos de fratura intergranular e clivagem são característicos da TIH, no entanto as solicitações cíclicas, inerentes a um eixo automotivo, incentivaram a propagação das trincas pelo processo de fadiga por torção e flexão alternada.^[1,6] A utilização de pré-aquecimento da junta, aumento da energia de soldagem^[7] ou solda com proteção gasosa (TIG ou MIG) são consideradas boas práticas na soldagem de aços de alta temperabilidade, como o analisado, pois diminuem a suscetibilidade de TIH nestes materiais. Além disso, os procedimentos de soldagem em componentes de alta responsabilidade, como um eixo automotivo, devem ser projetados e executados por pessoal tecnicamente capacitado.^[8] Contudo, para o caso investigado seria mais sensata a substituição do eixo.

5 CONCLUSÕES

O eixo rompeu devido a um processo de fadiga por flexão alternada. O mecanismo de falha foi incentivado, de maneira determinante, pela presença de trincas decorrentes de um cordão de solda executado de maneira equivocada.

REFERÊNCIAS

- 1 Silva, F.S Analysis of a vehicle crankshaft failure. Engineering Failure Analysis 10 (2003) 605-616.
- 2 Asi, Osmar. Failure of rear axle shaft of an automobile. Engineering Failure Analysis 13 (2006) 1293-1302.
- 3 Wulpi, D.J. Failure Analysis and Prevention. ASM Metals Handbook Vol. 11. 1986.
- 4 Bhole, S.D et al. Influence of GTA welding thermal cycles on HSLA-100 steel plate. Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 35 (pp. 151-158), 1996.
- 5 Easterling, K. Introduction to the Physical Metallurgy of Welding. Butterworths Monographs in Materials (pp. 9 –15), 1983.
- 6 Handbook of case in failure analysis Vol. 2 ASM International, 1992.
- 7 Silva, C.L.J et al. Fissuração pelo hidrogênio “trincas a frio”. www.infosolda.com.br/artigos/metsol07.pdf, 2003.
- 8 Lant, T. et al. Review of weld repair procedures for low alloy designed to minimize the risk of future cracking. International Journal of Pressure Vessels and Piping 78 (2001) 813-818.