



CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE FALHA DO SEGMENTO DO EIXO DO MOTOR DO ROTOR DA MARIETTA

**Isaú de S. Alves Júnior^{1*}, Sandro Griza², Iris S. Santos³, Brenno L. Nasciement⁴,
Emanoel C. S. Barboza⁵ e José A. P. V. Santos⁶**

1 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE. Povoado Carlos Torres, Salgado, CEP 49390 - 000, SE.

isaujr@hotmail.com

2 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE. .

3 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

4 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

5 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

6 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE .

RESUMO

O processo de soldagem busca a união de metais, similares ou não, de forma permanente, com aplicação de calor ou pressão, com ou sem material adicionado. Apesar da solda propiciar vantagens que valoram seu uso, ela pode resultar em alterações microestruturais que comprometem a integridade e resistência do material. O presente estudo caracterizou e analisou o segmento fraturado em aço carbono de eixo do motor de máquina para escavação de mina subterrânea. O estudo seguiu a metodologia usual empregada em análise de falhas sendo realizada inspeção visual, macrografia da região fraturada e metalografia com reativo de Nital 2% próximo ao eventual cordão de solda e início da fratura. Na lateral do eixo, o ataque químico indicou distintas tonalidades que evidenciam a realização de cordões de solda longitudinais para reparo, bem como alteração microestrutural com formação de martensita devido ao aporte térmico da solda. A macrografia avaliou a morfologia de fratura. Na fratura foi verificado marcas de catraca (pequenas marcas radiais partindo da superfície), grande superfície lisa e pequena zona de fratura final mais rugosa diametralmente oposta as regiões de início, característica da fratura por fadiga. Assim, diante do evidenciado, conclui-se que o reparo por soldas reduziu a resistência a nucleação de trinca por fadiga, o que levou a falha devido a solicitações de flexão rotativa, produzindo grande superfície de propagação de fadiga até a ruptura final.

Palavras-chave: Eixo. Aço Carbono. Análise de falha. Solda. Fadiga.

INTRODUÇÃO

A operação de soldagem pode ser aplicada em diversos metais, sendo considerada um processo amplamente utilizado⁽¹⁾. Ela envolve um processo de combinação de diferentes materiais para criação de uma junta, seja para união ou reparo. Na metalurgia a soldagem é utilizada principalmente em estruturas de construção, equipamentos de mineração, pontes, navios e outros serviços afins⁽²⁾. Ela depende de uma série de variáveis como temperatura, tempo, eletrodo, entrada de energia e velocidade de soldagem para que ao final do processo possa ser obtido qualidade e desempenho adequado⁽¹⁾.

Quanto a soldagem de reparo, a literatura pontua que os estudos estão direcionados principalmente as alterações microestruturais⁽³⁾ mas, apesar dos inúmeros benefícios, os defeitos de soldagem são inevitáveis⁽⁴⁾. Assim como a soldagem, a soldagem de reparo também causa mudanças na tensão residual⁽³⁾. Nesse tipo de solda é esperado uma elevada rigidez de projeto e por consequência, tensões residuais de tração adicionais são iniciadas, podendo ser consideradas críticas quando combinado a uma microestrutura degradada⁽⁵⁾. Assim, a necessidade de prever a resistência mecânica dos componentes de engenharia corrobora para a análise da distribuição de tensões dentro da própria junta de soldagem⁽²⁾.

Tendo em vista a importância do processo de solda e falha por fadiga na indústria, cabe avaliar os efeitos da solda no comportamento em fadiga, pois o processo de soldagem pode resultar em uma perda de resistência à fadiga^(6, 7). Segundo a literatura, o desempenho em fadiga para soldagem de reparo varia de acordo com o material e o método de soldagem de reparo⁽³⁾. Contudo, as tensões relacionadas à solda na de reparo são geralmente maiores que na solda original, assim, a medida que o número de ciclos aumenta, a degradação da microestrutura é esperada⁽⁵⁾. Assim, a fim de melhorar a previsão da resistência em fadiga convém avaliar a resistência à fadiga em juntas soldadas⁽⁴⁾.

O processo de soldagem gera tensões residuais internas devido ao aquecimento e resfriamento local desigual da solda e do metal circundante. Diversos estudos revelam que as tensões de tração residuais de soldagem apresentaram efeito negativo no desempenho à fadiga, as quais afetaram o início e a propagação da trinca nas posições de concentração de tensão⁽⁸⁾. Enquanto que a microestrutura, superfície e defeitos de solda afetam a iniciação das trincas por fadiga, a propagação de trinca em juntas de solda é afetada negativamente pela concentração de tensões na interface, como por exemplo martensita/austenita, e positivamente pela microestrutura mista de ferrita poligonal-ferrita acicular e tamanho de grão⁽⁷⁾.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar o papel da solda na falha de um eixo de motor. Para tal foi realizado análise visual a fim de verificar e identificar o mecanismo de fratura e análise de microestrutura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O eixo do motor objeto do presente estudo conduzido para caracterização metalúrgica é ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Segmento fraturado do eixo do motor do rotor da máquina de escavação.

A preparação da superfície do eixo foi realizada através de lixamento até granulometria 1200 Mesh. Esta preparação foi feita ao longo de todo o perímetro do eixo, em uma faixa partindo logo abaixo da superfície de fratura. Após preparo, a superfície foi atacada com reativo de Nital 2% para revelar eventuais cordões de solda.

Ademais, foi realizada análise microestrutural através da preparação de uma amostra metalográfica longitudinal que passa por uma região de início da falha. A amostra foi preparada de acordo com procedimento padrão de lixamento e polimento e posteriormente atacada com reativo de Nital 2%. As imagens foram obtidas por meio de microscopia óptica (Zeiss Axio Scope A1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A macrografia da região analisada (Figura 2) permite avaliar a morfologia de fratura.



Figura 2: Macrografia da fratura do eixo, indicando morfologia de fadiga com presença de marcas de catraca, duas superfícies lisas de propagação de fadiga (setas pretas) e ruptura final (seta branca).

A fratura indica marcas de catraca (pequenas marcas radiais partindo da superfície) que indicam diversos sítios de nucleação de trincas. Ao menos dois planos distintos de propagação de fadiga foram identificados (setas pretas). A fratura propagou por fadiga – a qual é confirmada pela vasta superfície lisa, até atingir a pequena zona de fratura final mais rugosa e diametralmente oposta as regiões de início (seta branca). Esta morfologia indica que o eixo rompeu por fadiga devido a flexão rotativa, cuja tensão alternante era baixa (alto coeficiente de segurança para carga monotônica), mas suficiente para permitir a nucleação da trinca por fadiga (carga cíclica).

Na lateral do eixo, o ataque químico indicou distintas tonalidades que evidenciam a realização de cordões de solda longitudinais (Figura 3).



Figura 3: Vista lateral do eixo, onde as setas indicam evidências da presença de cordões de solda depositados longitudinalmente no eixo.

A análise microestrutural em plano perpendicular passando por um dos sítios de origem da falha, mostrou mudança microestrutural do metal de base na região afetada pelo calor da solda. A Figuras 4 apresenta em detalhes as microestruturas das regiões transformadas pela solda.

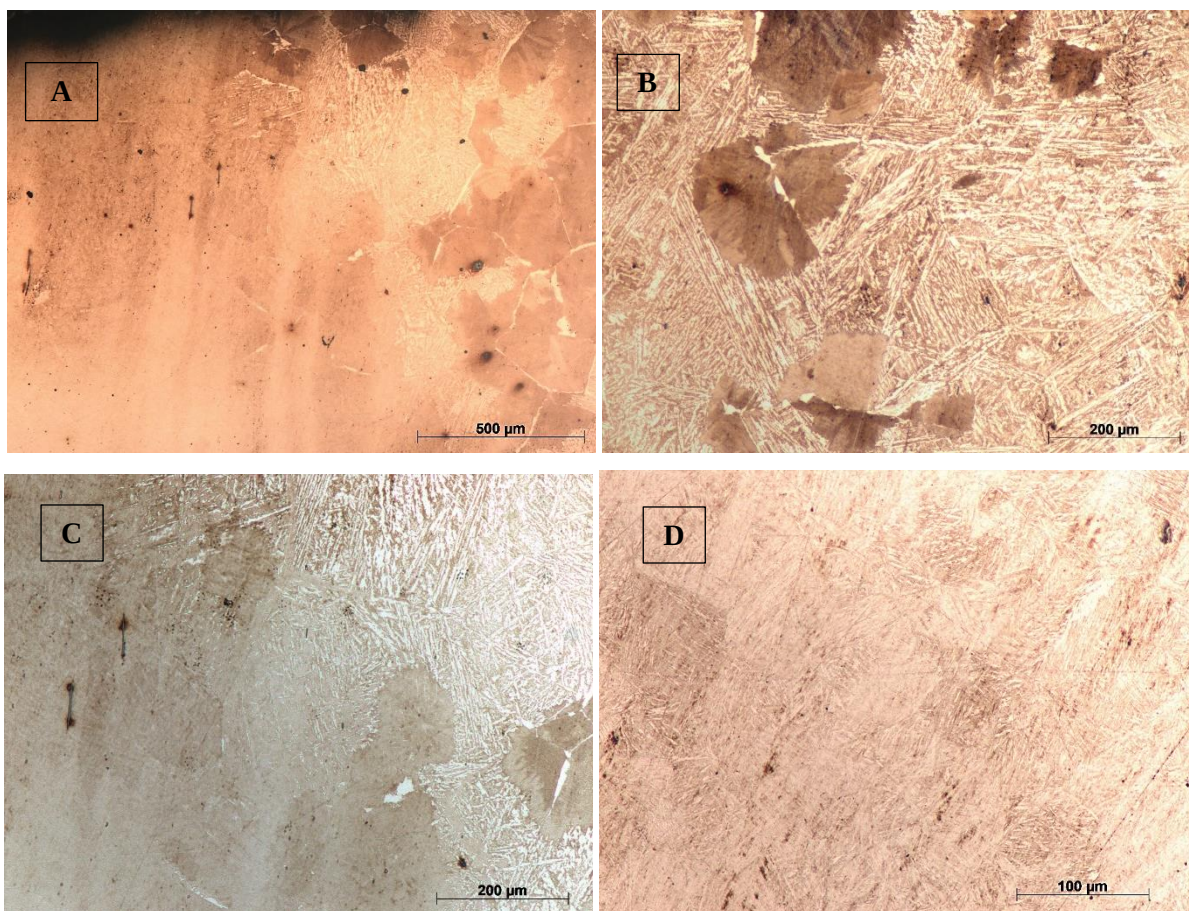


Figura 4. Região de metal transformado a baixa temperatura, a esquerda em (A) devido ao aporte térmico da solda. O núcleo do eixo contém grãos primários grosseiros delineados por ferrita pró-eutetóide e colônias de perlita fina, como podemos ver na região mais à direita da imagem (A). Transição

acompanhada de alteração microestrutural (B, C). Região de grãos aciculares de ferrita e carbonetos dispersos (D).

O eixo sofreu transformação a baixa temperatura (martensita) devido ao aporte térmico da solda (Figura 4-A). Logo em seguida nota-se uma região de transição microestrutural formada por ferrita acicular (Figura 4-B). Além da mistura de placas de martensita e grãos constituídos de ferrita acicular bem como de carbonetos dispersos, até atingir o núcleo (Figura 4-C), é perceptível grãos primários grosseiros compostos de colônias de perlita fina delineados por ferrita pró-eutetóide.

Resultado similar foi encontrado por Wang *et al*⁽²⁾ ao estudar a junta soldada de aço de médio carbono. No estudo a trinca por fadiga se iniciou principalmente nos defeitos de soldagem como porosidade e microestrutura heterogênea de baixa propriedade mecânica como a ferrita pró-eutetóide.

CONCLUSÕES

O eixo recebeu processo de solda através de deposições longitudinais de sucessivos cordões. O processo de solda empregado reduziu a resistência a nucleação de trinca por fadiga do eixo, o que resultou em falha devido a solicitações de flexão rotativa, a qual produziu vasta superfície de propagação de trinca por fadiga até a ruptura final.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES e FAPITEC pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. MURMU, S.; CHAUDHARY, S. K.; RAJAK, A. K. Effect of heat treatment on mechanical properties of medium carbon steel welds. *Materials today: proceedings*, v. 56, p. 964-970, 2022.
2. SAMADI, F.; MOURYA, J.; WHEATLEY, G.; KHAN, M. N.; NEJAD, R. M.; BRANCO, R.; MACEK, W. An investigation on residual stress and fatigue life assessment of T-shape welded joints. *Engineering Failure Analysis*, v. 141, 2022.
3. SEO, Jung-Won; KWON, Seok-Jin; LEE, Chan-Woo; LEE, Dong-Hyeong; GOO, Byeong-Choon. Fatigue strength and residual stress evaluation of repair welding of bogie frame for railway vehicles. *Engineering Failure Analysis*, v. 119, 2021.
4. SHEN, W.; QIU, Y.; XU, L.; SONG, L. Stress concentration effect of thin plate joints considering welding defects. *Ocean Engineering*, v. 184, p. 273-288, 2019.
5. AMADEUS, B.; DIRK, S.; ARNE, K.; THOMAS, K. Determination of residual stress evolution during repair welding of high-strength steel componentes. *Forces in Mechanics*, v. 6, 2022.
6. WANG, D. Q. Q.; YAO, D. D.; GAO, Z. B.; WANG, Q.; ZHANG, Z. F.; LI, X. W. Fatigue mechanism of medium-carbon steel welded joint: Competitive impacts of various defects. *International Journal of Fatigue*, v. 151, 2021.
7. HAN, Y.; ZHONG, S.; PENG, C.; TIAN, L.; SUN, Y.; ZHAO, L.; XU, L. Fatigue behavior of X65 pipeline steel welded joints prepared by CMT/GMAW backing process. *International Journal of Fatigue*, v. 164, 2022.
8. JIE, Z.; WANG, K.; LIANG, S. Residual stress influence on fatigue crack propagation of CFRP strengthened welded joints. *Journal of Constructional Steel Research*, v. 196, 2022.

MARIETTA ROTOR MOTOR SHAFT SEGMENT FAILURE CHARACTERIZATION AND ANALYSIS

ABSTRACT

The welding process seeks to join metals, similar or not, permanently, with the application of heat or pressure, with or without material added. Although welding provides advantages that enhance its use, it can result in microstructural changes that compromise the integrity and strength of the material. The present study characterized and analyzed the carbon steel fractured segment of a machine motor shaft for underground mine excavation. The study followed the usual methodology used in failure analysis, with visual inspection, macrography of the fractured region and metallography with 2% Nital reagent being performed close to the eventual weld bead and the beginning of the fracture. On the side of the shaft, the chemical attack indicated different shades that evidence the realization of longitudinal weld beads for repair, as well as microstructural alteration with formation of martensite due to the heat input of the weld. Macrography evaluated the fracture morphology. In the fracture, ratchet marks (small radial marks starting from the surface), large smooth surface and small final fracture zone, rougher diametrically opposite the initial regions, characteristic of fatigue fracture, were observed. Thus, in view of the evidence, it is concluded that the repair by welds reduced the resistance to fatigue crack nucleation, which led to failure due to rotational bending stresses, producing a large fatigue propagation surface until the final rupture.

Keywords: Axle. Carbon steel. Failure analysis. Weld. Fatigue.