

SOARES; Felipe Medina ¹, PIMENTA; André Rocha ², JUNIOR; José Mauro Moraes³

RESUMO

1. RESUMO

Foi realizada análise fractográfica de tirantes de fixação de calhas vibratórias a vibradores, responsáveis pela transferência de materiais granulados de elevações superiores a níveis inferiores na aciaria da Ternium do Brasil. Os tirantes fraturaram em serviço, e a análise realizada no presente trabalho foi fundamental para a análise de falhas para determinação da causa raiz. Na caracterização do material foi realizada análise química e micrográfica. Trata-se de um aço médio carbono (~0,46%p) com alto teor de Mn e S, e microestrutura de ferrita próeutetóide e perlita com grande quantidade de inclusões de MnS dispersas na matriz. A macrofractografia mostrou uma superfície típica de fratura por fadiga, mostrando que a trinca nucleou próxima à superfície, a partir do fundo do filete da rosca do tirante, que agiu como concentrador de tensões. A micromorfologia da região de propagação da trinca de fadiga é de fratura transgranular e considerável quantidade de trincas secundárias seguindo a trilha das inclusões. A micromorfologia da região de fratura catastrófica mostra a ocorrência de fratura dúctil, com a presença de pequenos e grandes *dimples*, muitos com inclusões em seu interior. Enfim, o mecanismo principal de fratura do material foi por fadiga, que provavelmente foi facilitada pela presença de um concentrador de tensões e pela quantidade massiva de inclusões não metálicas.

2. ABSTRACT

Fractographic analysis were carried out of tie rods of vibrating discharge chutes, responsible for the transfer of granulated materials from higher elevations to lower levels in Ternium do Brasil steelmaker. The pieces were fractured in service, and the analysis carried out in the current work were fundamental for the failures analysis to determine the root cause of fracture. To characterize the material, chemical and micrographic analysis were performed. It is a medium carbon steel (~0.46%w) with a high amount of Mn and S, and with microstructure of proeutectoid ferrite and perlite with a large amount of MnS inclusions dispersed in the matrix. The macrofractography showed a typical fatigue fracture surface, showing that the crack occurred close to the surface, starting from the bottom of the screw thread, which acted as a stress concentrator. The micromorphology of the fatigue crack propagation region shows a transgranular fracture and considerable amount of secondary cracks following the path of inclusions. The micromorphology of the fast fracture region shows a ductile fracture, with the presence of small and large dimples, many with inclusions in its interior. Finally, the main mechanism for fracturing the material was fatigue, which was probably facilitated by the presence of a stress concentrator and by the massive amount of non-metallic inclusions.

3. INTRODUÇÃO

Calhas vibratórias são componentes responsáveis por transferir materiais granulados de elevações superiores a níveis inferiores. Após a ignição do conversor, na aciaria, materiais escorificantes como cal e fluorita, são carregados por meio de

¹ Ternium, felipe.medina@ternium.com.br

² IFRJ, andre.pimenta@ifrrj.edu.br

³ UFF, josemoraes@id.uff.br

silos montados sobre o conversor. Esses materiais, com peso conhecido, são liberados gradualmente para o interior do conversor por intermédio de calhas vibratórias que adicionam os materiais nas quantidades e momento certos.

As calhas são fixadas aos vibradores por tirantes metálicos, que devem suportar seu peso juntamente com as vibrações do conjunto em serviço. Porém, alguns tirantes de calhas vibratórias da aciaria da Ternium do Brasil, localizada em Santa Cruz - RJ, começaram a apresentar falhas periodicamente, resultando na constante necessidade de manutenção corretiva e, conseqüentemente, em significativas perdas financeiras e de produtividade, além de exposição dos funcionários a riscos. Para determinação da causa raiz das falhas, que é vital para prevenção de novas ocorrências, faz-se necessária uma investigação detalhada, uma análise de falhas. Quando há fratura do material a fractografia é uma das etapas mais importantes da análise de falhas, e esta etapa é o escopo do presente trabalho.

Etimologicamente a palavra fractografia deriva do latim e do grego; “fracto” do latim fractus, que significa fratura, e “grafia” do termo grego grapho, que significa tratamento descritivo. A fractografia consiste basicamente na utilização de técnicas de estereomicroscopia e de microscopia óptica e eletrônica para avaliação de superfícies fraturadas de materiais metálicos. Os termos macrofractografia e microfractografia são frequentemente utilizados para distinguir imagens de baixa ampliação ($\leq 25X$) das obtidas por microscopia (ASM HANDBOOK, 1987).

Uma superfície de fratura é um registro detalhado do histórico de falhas da peça, contendo evidências do histórico de carregamento, efeitos ambientais e qualidade do material. O intuito da fractografia é analisar as características da superfície fraturada e tentar relaciona-las às causas e/ou mecanismos básicos da fratura (ASM HANDBOOK, 1987). “A fractografia é sem dúvida a ferramenta mais valiosa disponível para o analista de falha.” (PARRINGTON, 2002).

O objetivo do presente trabalho foi a realização de uma análise fractográfica da superfície fraturada de tirantes de fixação de vibradores a calhas vibratórias da aciaria da Ternium do Brasil. O intuito foi identificar a origem da fratura, o mecanismo principal de fratura e possíveis descontinuidades no material que possam contribuir para que a fratura viesse a ocorrer.

4. METODOLOGIA

Amostras dos tirantes fraturados foram preparadas para análise química e caracterização microestrutural do material, pois estas informações não estão especificadas no projeto do equipamento, e são importantes para a análise da fratura. A análise química foi realizada em dois pontos de uma superfície planificada e lixada, por intermédio de um espectrômetro de emissão óptica da Thermo Scientific, modelo 4460, do laboratório da Ternium do Brasil, localizada no Rio de Janeiro. Para caracterização microestrutural a mesma superfície foi lixada com lixas d'água na seguinte sequência de granulometria: #220, #400, #600, #800, #1000 e #1200. Em seguida foi polida com pasta de diamante de 1 μm e 0,5 μm , nesta sequência. Após polimento a superfície foi atacada com nital 5%, por 10 segundos, para revelação da microestrutura. A análise foi realizada num microscópio óptico da marca Zeiss, modelo M2m, do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) campus Paracambi.

Na superfície fraturada primeiramente foi realizada análise macrofractográfica, para identificação de características superficiais que possam auxiliar na determinação do mecanismo de fratura predominante. A análise foi realizada a olho nu e por intermédio de um estereomicroscópio da marca Zeiss, modelo Stemi 508, da Universidade de São Paulo (USP) campus Lorena.

Na sequência foi realizada análise microfractográfica utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de bancada da marca HITACHI, modelo TM3000, equipado com detector de elétrons retroespalhados (BSE) e sistema de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), do Instituto Federal do Rio de Janeiro

¹ Ternium, felipe.medina@ternium.com.br

² IFRJ, andre.pimenta@ifrj.edu.br

³ UFF, josemoraes@id.uff.br

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A composição química (elementos principais além do Fe) do aço dos tirantes está apresentada na Tabela 1. Trata-se de um aço com médio carbono, e consideráveis teores de manganês e enxofre.

Tabela 1 – Resultado da análise

química dos tirantes

A Figura 1 mostra a micrografia do material. Conforme a Figura 1 (b) o material tem microestrutura composta basicamente de ferrita e perlita fina. A Figura 1 (a) mostra que o material possui numerosas inclusões distribuídas na matriz, que a análise por EDS em MEV mostrou se tratar de sulfeto de manganês (MnS). A microestrutura está coerente com a análise química do material, mostrada na Tabela 1.

Figura 1 - Micrografia do tirante (a) sem ataque químico (b) com ataque de Nital 5% por 10 s.

A Figura 2 mostra a macromorfologia de uma superfície fraturada, Figura 2 (a) obtida por câmera fotográfica digital e a Figura 2 (b) por estereoscopia digital. Trata-se de uma macromorfologia típica de fratura por fadiga, que geralmente ocorre em três estágios: nucleação da trinca (estágio I), que se propaga na maior parte de seu comprimento (estágio II) e segue para uma fratura catastrófica (estágio III) (ASM HANDBOOK, 1987). O resultado é coerente por se tratar de um componente que trabalha sob carregamento cíclico.

É possível observar que a trinca nucleou próximo à superfície, a partir do fundo do filete da rosca do tirante, ponto fraco do material. A geometria desta região a torna um concentrador de tensões que contribui para nucleação de trincas por fadiga (PELLICCIONE et al., 2014). Além disso, esta região pode conter tensões residuais do processo de fabricação por usinagem, que também pode contribuir para a nucleação de trincas (PARRINGTON, 2002). Após nucleação a trinca se propagou na direção perpendicular à tensão de tração principal, até que a área da seção transversal crítica fosse atingida e o componente fraturasse de forma catastrófica.

Figura 2 - Macrofractografia de tirantes falhados. (a) visão global obtida por câmera fotográfica digital (b) região de fratura obtida por estereoscopia.

A Figura 3 mostra as micromorfologias da região de propagação da trinca por fadiga e da região de fratura catastrófica, examinadas por MEV. Não foi possível identificar na análise a localização exata da nucleação da trinca por fadiga, e não foi constatada a presença de estrias de fadiga na região de propagação da trinca.

Na Figura 3 (a), correspondente à região de propagação da trinca de fadiga, é possível ver uma fratura transgranular, além de considerável quantidade de trincas secundárias seguindo a trilha das inclusões. A presença massiva de inclusões pode contribuir para a redução da resistência à fadiga do material. Ensaios de fadiga mostram que trincas formadas em inclusões podem aparecer quase no início do ensaio e são observáveis bem antes das linhas de escorregamento. Além disso, as inclusões podem contribuir para a propagação das trincas, que podem saltar facilmente de uma inclusão para outra (ATKINSON; SHI, 2003; HEED-HILL, 1982).

A micromorfologia da região de fratura catastrófica, Figura 3 (b), mostra a presença de pequenos e grandes dimples, mostrando a ocorrência de uma fratura dúctil. É possível identificar as inclusões de MnS no interior dos dimples. Esta região é a última a fraturar, e se rompe por causa do aumento da tensão resultante no material devido à redução da seção transversal da peça com a propagação da trinca de fadiga. A sobrecarga do material provoca a nucleação de microvazios entre as

¹ Ternium, felipe.medina@ternium.com.br

² IFRJ, andre.pimenta@ifrj.edu.br

³ UFF, josemoraes@id.uff.br

inclusões e a matriz, local de descontinuidade de tensão localizada. Na medida que a deformação do material aumenta, ocorre o coalescimento de microvazios e crescimento de vazios, formando a superfície fraturada (ASM HANDBOOK, 1987).

Figura 3 - Microfractografia por MEV de um tirante falhado. (a) região de propagação da trinca por fadiga (estágio II); (b) região de fratura catastrófica (estágio III).

6. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o mecanismo atuante na fratura do componente estrutural analisado foi fadiga. A rosca usinada nos tirantes certamente contribuiu para nucleação das trincas por fadiga. Além disso, a grande quantidade de inclusões pode ter contribuído não só para a nucleação da trinca por fadiga, mas também para sua propagação. Cabe à análise de falhas, que será realizada posteriormente se alicerçando no presente trabalho, determinar a causa raiz da fratura do componente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASM HANDBOOK. **Fractography**. Vol. 12, ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA, 1987.
- ATKINSON, H. V.; SHI, G. **Characterization of inclusions in clean steels** a review including the statistics of extremes methods. Progress in Materials Science, Vol. 48, p. 457-520. 2003.
- PARRINGTON, R. J. **Fractography of Metals and Plastics**. Practical Failure Analysis, Vol. 2, N. 5, 2002.
- PELLICCIONE, A. S., MORAES, M. F., GALVÃO, J. L. R., MELLO, L. A., SILVA, E. S. **Análise de falhas em equipamentos de processo**: mecanismos de danos e casos práticos. 2ª Edição, Rio de Janeiro: Interciências, 2014.
- REED-HILL, R. E. **Princípios de Metalurgia Física**. 2ª Ed, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1982.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ternium do Brasil por possibilitar a realização do presente trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Análise fractográfica, , tirantes, fadiga

¹ Ternium, felipe.medina@ternium.com.br

² IFRJ, andre.pimenta@ifrj.edu.br

³ UFF, josemoraes@id.uff.br