

ANÁLISE DE FALHA EM MATRIZ DE FORJAMENTO ¹

Daniel Rodrigues²

Telmo Roberto Strohaecker³

Resumo

Este trabalho tem por objetivo determinar as causas da falha de uma matriz de forjamento nitretada que falhou em serviço de forma prematura. O trabalho foi desenvolvido através da metodologia recomendada para análise de falhas. Com a finalidade de determinar a origem da trinca, uma inspeção em lupa de baixo aumento foi realizada sobre a superfície de fratura. A região de início da falha foi removida e os micromecanismos de fratura foram analisados em um Microscópio Eletrônico de Varredura. O estudo teve continuidade com caracterização microestrutural da região de início da falha, determinação da composição química do aço utilizado na fabricação do componente e obtenção das durezas da camada tratada e do núcleo da peça. A análise da superfície de fratura indicou que o início da falha se situava no canto de um dos rebaixos existente na ferramenta e que a ruptura da matriz ocorreu de maneira frágil, com a falha iniciando junto à camada nitretada e propagando até o colapso do componente. A camada de compostos observada, aliada à presença de redes de precipitadas nos contornos dos grãos e à elevada dureza da camada nitretada permite associar a falha prematura da matriz com problemas oriundos do tratamento térmico da peça.

Palavras-chave: Falha; Tratamento térmico, Nitretação.

FAILURE ANALYSIS IN FORGING MATRIX

Abstract

The present work aims to determine the causes of failure of a nitrided forging matrix that has failed prematurely in service. The work was carried out through the recommended methodology for failure analysis. Aiming to determine the fracture origin a stereoscope inspection of the fracture surface was performed. The region fracture initiation was removed and the fracture micro-mechanisms were determined by SEM analysis. The study continued with the microstructural characterization of the failure initial site, the determination of the matrix chemical composition and the hardness testing in the nitrided case and in the core of the component. The fracture surface analysis indicated that the initiation site was situated at one of the matrix shoulders and that the matrix failure development was in a brittle manner, initiating at the nitrided layer and propagating until component collapse. The observed composite layer with carbide precipitations at grain boundaries the elevated hardness of the nitrided layer enable to associate the matrix premature failure to problems derived from the matrix heat treatment.

Key words: Failure analysis; Heat treatment; Nitriding.

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

² Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) - UFRGS

³ Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais (PPGEM) – UFRGS

1 INTRODUÇÃO

Apresentando uma grande aplicação industrial, a nitretação é amplamente utilizada na indústria de ferramentas e de componentes de máquinas que são submetidos a alguma forma de desgaste durante sua vida útil. O tratamento de nitretação é largamente utilizado em ferramentas para trabalho a frio e a quente, em moldes utilizados para injeção de polímeros e materiais metálicos e em muitos componentes que necessitam de propriedades tribológicas otimizadas. A importância da nitretação em aços ferramenta reside no fato de proporcionar ao material, características importantes como, alta dureza superficial e resistência ao desgaste, redução do coeficiente de atrito seco, introdução de tensões residuais de compressão na superfície, baixa variação dimensional e possibilidade de ser aplicado no final de um processo de fabricação.⁽¹⁾ No entanto, problemas originados durante essa etapa podem acabar comprometendo o desempenho do componente em serviço.

A falha de componentes mecânicos e estruturas vêm ocorrendo desde os mais remotos tempos e a muitos têm sido observadas pelo homem. A finalidade da análise de fratura é indicar os motivos pelo qual a falha ocorreu. Conhecendo o motivo que levou o componente à falha, pode-se, então, chegar ao objetivo principal que é adquirir conhecimento para evitar novas ocorrências de falhas. A análise das causas de falhas pode ser realizada através da interpretação e caracterização morfológica da superfície da fratura, a qual é capaz de revelar a história dos eventos que precederam à falha. Considera-se um componente ou estrutura com falha quando este fica completamente inutilizado, quando pode ainda ser utilizado, mas não é mais capaz de desempenhar suas funções satisfatoriamente ou quando uma série de deteriorações o torna inseguro para continuar a ser utilizado. Na maioria das vezes as falhas estão relacionadas a negligência do projeto, à fabricação ou ao uso dos componentes.⁽²⁻⁴⁾

Este trabalho tem por objetivo determinar as causas da falha de uma matriz de forjamento nitretada que falhou em serviço de forma prematura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através da metodologia recomendada para análise de falhas.⁽²⁻⁴⁾ Com a finalidade de determinar a origem da trinca, uma inspeção em lupa de baixo aumento foi realizada sobre a superfície de fratura. A região de início da falha foi então removida e os micromecanismos de fratura foram analisados em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). O estudo teve continuidade com caracterização microestrutural da região de início da falha, determinação da composição química do aço utilizado na fabricação do componente e obtenção das durezas da camada tratada e do núcleo da peça.

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 análise química foi realizada por espectrometria de emissão ótica. Um perfil de microdureza Vickers com carga de 100gf foi realizado sobre a mesma amostra preparada para a análise metalográfica. As endentações partiram da superfície da peça, da região da camada nitretada, em direção ao núcleo da amostra.

A Figura 1 mostra a matriz analisada e a Figura 2 apresentada a superfície de fatura do componente que falhou.



Figura 1. Imagem mostrando a matriz de forjamento que falhou em serviço.

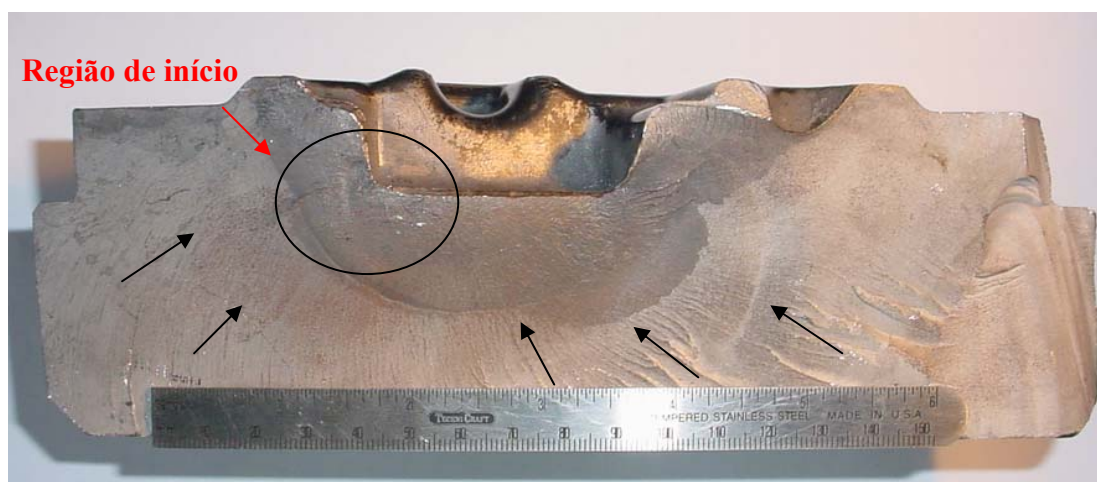


Figura 2. Imagem mostrando a superfície de fratura do componente analisado. As setas indicam as linhas radiais convergindo para a região de início da falha.

3 RESULTADOS

Análise Da Superfície Fraturada

A análise em lupa de baixo aumento mostrou que a região de início da falha se situava no canto de um dos rebaixos existente na ferramenta, conforme imagens apresentadas nas Figuras 3 e 4. A análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) mostrou o micromecanismo de fratura intergranular na região de início da falha, conforme Figura 5.



Figura 3. Imagem mostrando a superfície de fratura da matriz. Em detalhe a região de início da falha.

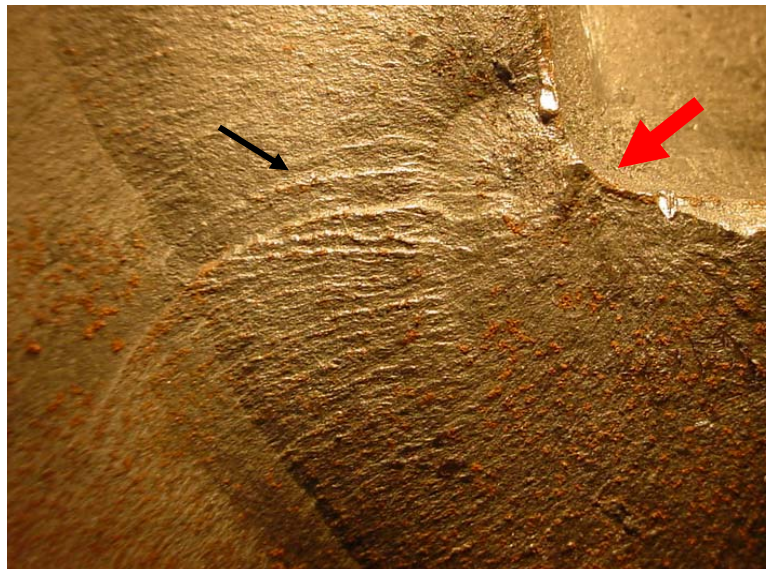


Figura 4. Imagem mostrando, em maior aumento, a região de início da falha. A seta em vermelho representa o ponto de início da fratura e a seta em preto indica uma das linhas radiais convergindo para o início da falha.

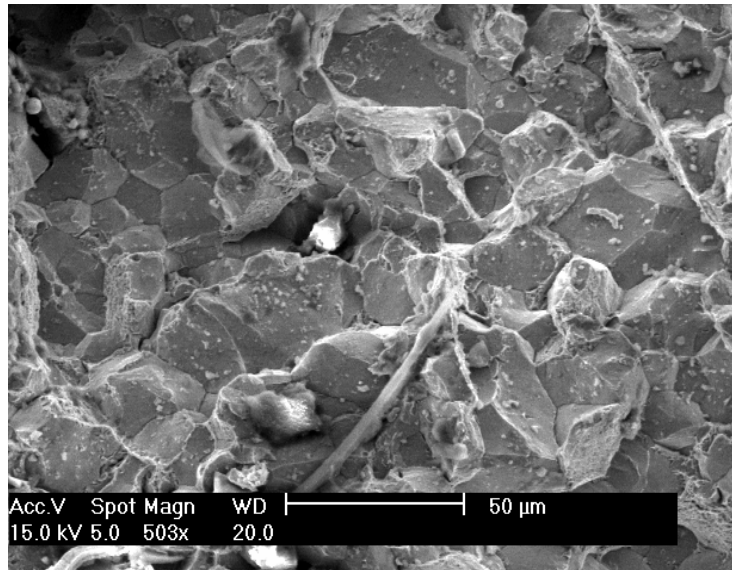


Figura 5. Imagem obtida em MEV mostrando o micromecanismo de fratura intergranular na região de início da falha.

Análise Química

A composição química do aço utilizado na fabricação do componente é similar a do aço ferramenta SAE H13 (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado da análise química

| COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA) | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|----------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al |
| Média | 0,46 | 0,94 | 0,31 | 0,016 | 0,002 | 5,06 | 1,17 | 0,15 | 0,03 |
| SAE H13 | 0,32-0,45 | 0,8-1,25 | 0,20-0,60 | 0,03máx | 0,03máx | 4,75-5,50 | 1,10-1,75 | - | - |

| COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA) | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|-----|-------|-----------|-------|-----|--------|---------|
| | Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Pb | Sn | Fe |
| Média | 0,04 | 0,08 | 0,0 | 0,003 | 0,84 | 0,062 | 0,0 | <0,001 | 90,82 |
| SAE H13 | - | - | - | - | 0,80-1,20 | - | - | - | Balanço |

Caracterização Metalográfica

O componente apresenta uma camada nitretada, com zona de difusão de aproximadamente 300µm formada por martensita revenida, por carbonetos dispersos e por redes de precipitados nos contornos dos grãos. Observou-se ainda, na superfície da peça a presença de uma camada de compostos (camada branca). O núcleo do material é formado por martensita revenida e por carbonetos dispersos na matriz. As imagens a seguir mostram os resultados da análise:

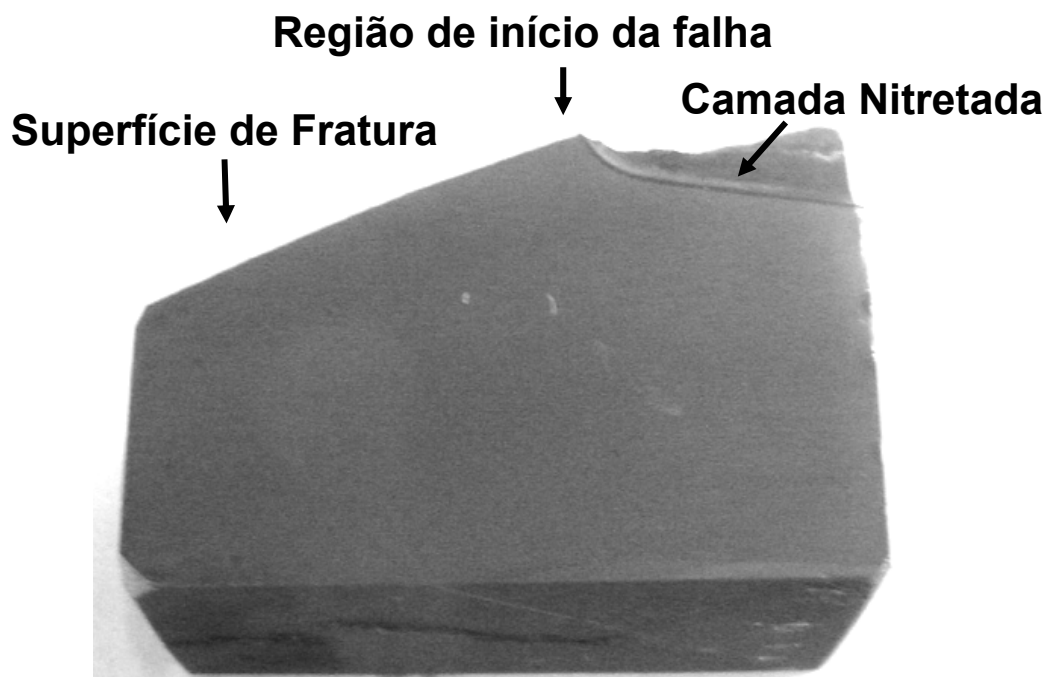


Figura 7. Macrografia da amostra preparada para análise metalográfica.

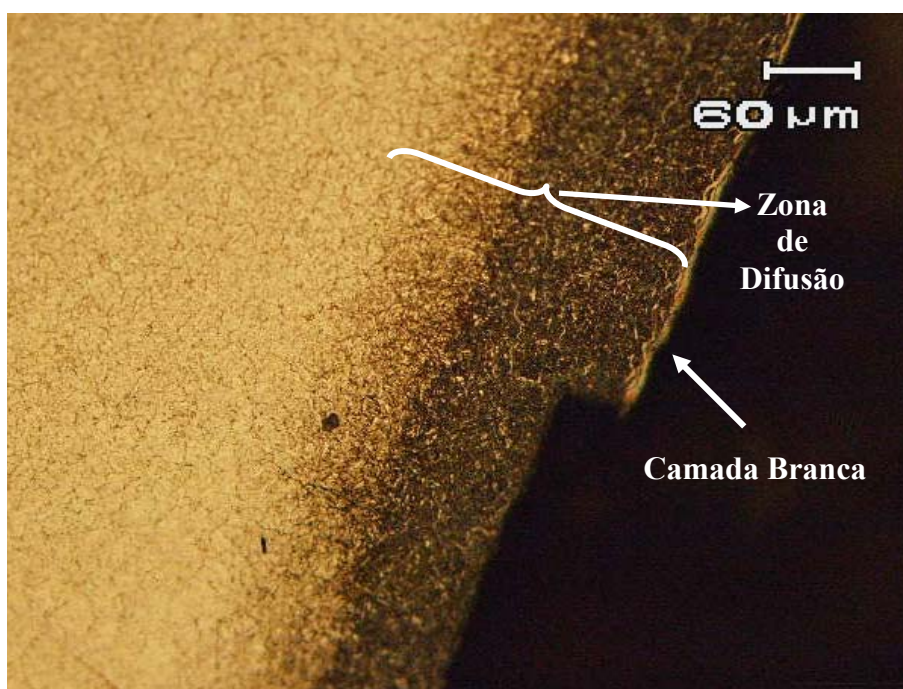


Figura 8. Imagem mostrando a microestrutura próxima à região de início da falha. Observa-se a presença de camada branca.

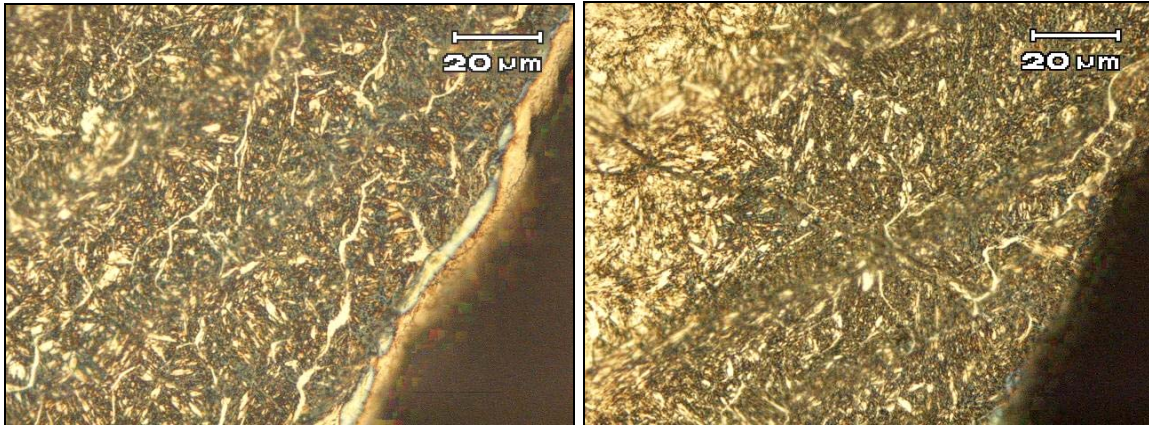


Figura 9. Imagens mostrando a camada nitretada. Observam-se redes de precipitados ao longo da zona de difusão

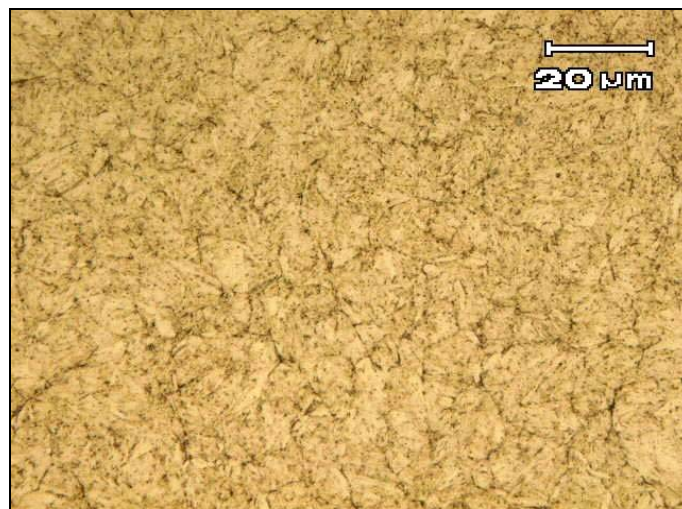


Figura 10. Micrografia da região do núcleo da Matriz. Microestrutura formada por martensita revenida e por carbonetos dispersos na matriz.

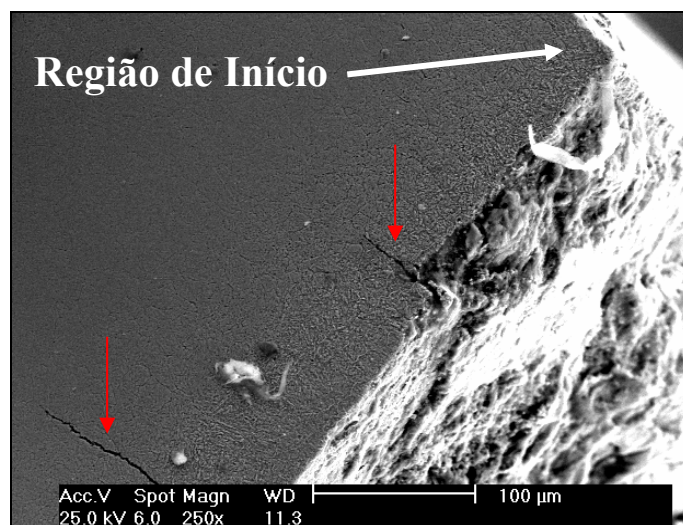


Figura 11. Imagem obtida em MEV mostrando a região de início da falha. As setas em vermelho indicam trincas secundárias observadas nessa região.

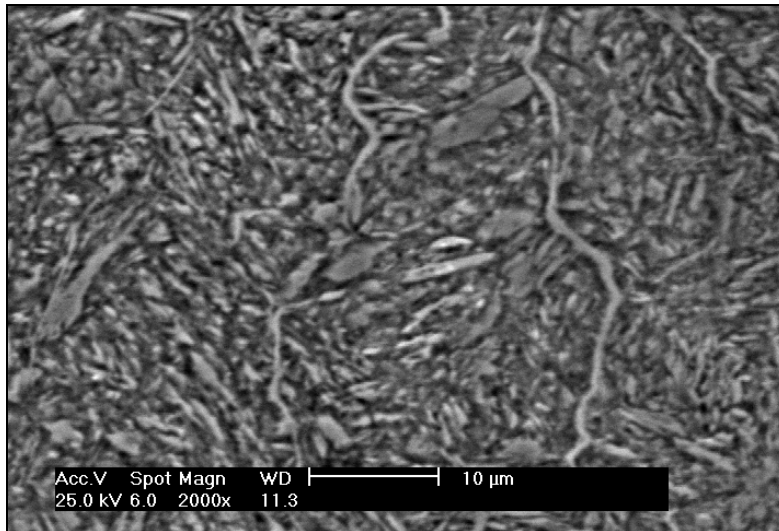


Figura 12. Imagem obtida em MEV mostrando as redes de precipitados presentes ao longo da camada nitretada.

Ensaio de Microdureza

O gráfico da Figura 13 mostra o perfil de microdureza realizado sobre a amostra. Observa-se que a zona de difusão possui aproximadamente 0,3mm e que a dureza do núcleo da material é de 565HV, em média.

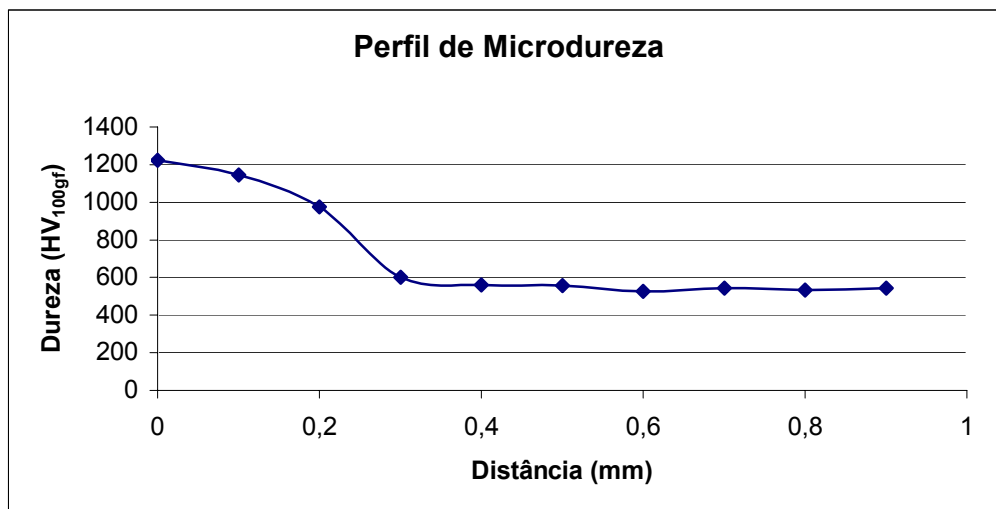


Figura 13. Gráfico mostrando os valores do ensaio de microdureza realizado.

4 DISCUSSÃO

Pela aparência topográfica da trinca, devido à convergência das linhas radiais, tudo indica que a peça rompeu por uma trinca que iniciou no canto de um dos rebaixos existente na ferramenta, junto à camada nitretada, e que propagou até o colapso final. Na análise em MEV foi observado micromecanismo de separação intergranular sobre a superfície de propagação e principalmente na região de início da falha.

Através dos aspectos micrográficos, observou-se que na região da camada de difusão, grosseiras redes de carbonetos foram formadas nos contornos dos grãos do material. Tal fato deve estar relacionado com possíveis erros originados durante a etapa de tratamento térmico da matriz⁵. Para evidenciar o laudo da falha, sugere-se um levantamento de dados sobre a operação do tratamento térmico utilizado pelo fabricante. Fatores como temperatura e tempo são essenciais na execução de um tratamento térmico ideal.

5 CONCLUSÃO

De acordo com as análises realizadas durante o estudo pode concluir que:

A ruptura da matriz ocorreu de maneira frágil, com a falha iniciando junto à camada nitretada e propagando até o colapso do componente.

- A camada de compostos observada, aliada à presença das redes de precipitadas nos contornos dos grãos e à elevada dureza da camada nitretada permite associar a falha prematura da matriz com possíveis erros ocorridos durante o tratamento térmico da peça.
- A composição química do material utilizado na fabricação do componente é similar a do aço ferramenta SAE H13.
- O processo de nitretação à que a peça foi submetida para adquirir propriedades superficiais superiores e apropriadas para sua aplicação não foi efetiva e vida útil da ferramenta foi aquém da esperada.

REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, S.D. Tratamento duplo de envelhecimento de nitretação por plasma pulsado em um aço ferramenta endurecível por precipitação. Dissertação de Mestrado, São Paulo, 1999.
- 2 CELTIN, P. R., SILVA, P. S. Análise de fraturas. Associação Brasileira de Metais ABM, São Paulo, 1979.
- 3 STROHAEKER, T. R. Fadiga e análise de falhas, Porto Alegre, 2004.
- 4 CASSOU, C, A., Metodologia de Análise de Falha, Dissertação de Mestrado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 1999.
- 5 Kwietniewski et al, Nitrided layer embrittlement due to edge effect on duplex treated AISI M2 high-speed steel, Surface and Coatings Technology 179 (2004) 27–32.
- 6 da S. ROCHA, Influência do Estado Superficial Prévio na Nitretação a Plasma do aço AISI M2, Tese de Doutorado, PPGEM, UFRGS, Porto Alegre, 1999.
- 7 STROHAEKER, T. R. Mecânica da Fratura, Porto Alegre, 2005.