

ANÁLISE DE FALHA EM MATRIZ DE FORJAMENTO NITRETADA¹

CÍNTIA ZIMMER²
AFONSO REGULY³

O desempenho de componentes em serviço depende de fatores que variam desde sua estrutura cristalina, negligência de projeto, uso inadequado bem como seu processo de fabricação.

Através de uma metodologia de ensaios e análises adquire-se conhecimento para prevenir ou evitar ocorrências de novas falhas.

Neste trabalho foi analisada a fratura de uma matriz de forjamento, fabricada a partir do aço SAE H13 tratada e revenida. Sendo uma ferramenta de alta solicitação e desgaste foi nitretada em banho de sal, com intuito de aumentar a vida útil, porém o resultado foi insatisfatório e ela acabou rompendo antes do tempo esperado.

Pela morfologia da fratura, fica evidente que a peça rompeu de forma frágil. A trinca teve início no canto de um dos rebaixos existente na ferramenta, partindo desde a camada nitretada até colapso final do componente.

Para execução do trabalho, um corpo de prova foi extraído da região de interesse e encaminhada ao Microscópio Eletrônico de Varredura, identificando os mecanismos da fratura. Após, a amostra foi preparada segundo procedimentos padrões de metalografia e realizados os ensaios de: metalografia, espectrometria de emissão ótica e ensaio de microdureza.

Pelos aspectos micrográficos, observou-se que uma grosseira rede de carbonetos foi formada na camada de difusão nos contornos de grão, acarretando em dureza elevada. No núcleo da matriz o material se apresentou com microestrutura, dureza, e composição química adequadas. A partir desses dados é permitido associar que o tratamento térmico superficial aplicado acabou introduzindo defeitos, propiciando assim o rompimento prematuro do componente.

Palavras-chave: Análise de Falha, Tratamento Térmico, Nitretação, Banho de Sal

1 - 60º Congresso Anual da ABM 24 a 27 de julho de 2006 – Rio de Janeiro - RJ

2 – *Cíntia Zimmer* – Aluna de Graduação e Bolsista de Iniciação Científica - Lamef – UFRGS

3 – *Afonso Reguly* – Professor Doutor – DEMET - UFRGS

1 - INTRODUÇÃO:

O desempenho de um metal em serviço depende de diversos fatores que podem variar desde sua estrutura cristalina até defeitos introduzidos através do seu processamento, podendo esses ser corrigidos e muitas vezes aprimorados por um tratamento térmico [5].

O enfoque principal do tratamento térmico do componente em estudo neste trabalho, uma matriz de forjamento, está centrado na taxa de desgaste por abrasão, caracterizado pelo atrito de elementos interfaciais entre as superfícies da matéria-prima e da matriz.

Com intuito de obter uma camada superficial mais resistente o componente foi nitretado com banho de sal, porém o desempenho da ferramenta não foi satisfatório e o componente acabou rompendo prematuramente.

Neste caso foram estudados os mecanismos da fratura juntamente com as propriedades específicas do tratamento térmico aplicado no componente em estudo.

1.1 - OBJETIVO:

Determinar as causas da falha de um componente rompido em serviço e através da análise metalográfica e determinar possíveis erros no tratamento térmico aplicado.

Para isso foram estudados os seguintes itens:

- a) Causa da falha.
- b) Ponto de origem da falha.
- c) Micromecanismos da fratura.

1.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

1.2.1 - AÇO FERRAMENTA:

Indicado para processos severos no que se refere à solicitação sobre o ferramental, exigindo alta performance em vida útil, está o aço ferramenta, que responde muito bem a nitretação, porém requer cuidado especial quanto à temperatura.

O aço-ferramenta, o qual é produzido e processado para atingir um alto grau de qualidade, é empregado na fabricação de matrizes, moldes, ferramentas de corte intermitente e contínuo, ferramentas para conformação de chapas, corte a frio e componentes de máquinas [1].

Este tipo de aço se caracteriza pela elevada dureza, resistência à corrosão e à abrasão, tem boa tenacidade e mantém as propriedades de resistência mecânica mesmo sob elevadas temperaturas. Essas características são obtidas com a adição de altos teores de carbono e de elementos ligantes tais como tungstênio, molibdênio, vanádio, manganês e cromo.

A composição química do aço SAE H13 segue na tabela abaixo [2].

Tabela 1 – Composição química do aço- ferramenta H13.

AISI/SAE	Elemento (%)					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
H13	0,32-0,45	0,80-1,20	0,20-0,50	4,75-5,50	1,10-1,75	0,80-1,20

1.2.2 - NITRETAÇÃO:

Denomina-se nitretação o tratamento termoquímico de endurecimento superficial, que pelo processo de difusão do nitrogênio monoatômico, proveniente de uma fonte (um gás, um sal, etc.) em contato com a superfície de metais, obtém-se uma camada dura. Essa camada é formada por nitretos metaestáveis em temperaturas na faixa de 490 - 570°C, podendo chegar em durezas superiores a 1100HV, resistente ao desgaste e à corrosão.

As variáveis controladoras do processo são: temperatura, pressão, composição da mistura e o tempo de processo.

Após o tratamento podem surgir defeitos indesejáveis como, por exemplo, o aparecimento de camada branca e precipitados em contorno de grão. Tais fatores favorecem a propagação de trincas térmicas, que são essencialmente fenômenos de superfície, acarretando na diminuição da vida útil do componente nitretado.

1.2.3 - NITRETAÇÃO EM BANHO DE SAIS:

É um processo em aços baixo carbono e aços ligados. Neste processo ocorre o enriquecimento tanto de carbono como de nitrogênio na superfície da peça.

Um banho comercial típico para nitretação líquida é constituído de uma mistura de 60 a 70% de sais de sódio e de 30 a 40% de sais de potássio. Os sais de sódio consistem de 96,5% NaCN, 2,5% Na₂CO₃, 0,5% NaCNO.

Os sais de potássio consistem de: 96% KCN, 0,6% K₂CO₃, 0,75% KCNO, 0,5% KCl. Neste processo, a relação entre cianeto e cianato é crítica, sendo a principal responsável pela ação de nitretação, pois de fato, nas temperaturas de nitretação, este cianato decompõe-se liberando carbono e nitrogênio que se difundem no ferro.

Nas temperaturas de nitretação somente o nitrogênio é mais ativo nessa ação de difusão, resultando na formação de maiores quantidades de nitretos do que carbonetos. Da camada de difusão é que se obtém as propriedades de dureza, devido à precipitação de nitretos finos e da resistência à fadiga, que torna os componentes nitretados em materiais de grande emprego na indústria.

Ele é utilizado preponderantemente em situações onde se requer uma pequena camada, basicamente para aumentar a resistência ao desgaste, pela dificuldade de se controlar a sua composição.

A nitretação em banho de sais tem a desvantagem ambiental, muito combatida no mundo atual por ser um processo poluente e tóxico.

1.2.4 - CAMADA BRANCA:

As camadas brancas são obtidas por processos de nitretação e são usualmente avaliadas através de metalografia. São constituídas de nitretos e carbonetos, na sua maioria FeN e Fe₃C e podem atingir uma espessura de 0,005 a 0,015 mm, conforme o tempo de operação, que varia de 60 a 180 minutos.

Estas fases são extremamente frágeis e aceleram o mecanismo de formação de trincas térmica.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS;

O componente em estudo trata-se de uma matriz de forjamento. O aço utilizado na fabricação do componente é similar ao SAE H13.

Para esta análise foram utilizadas técnicas de inspeção visual da superfície de fratura, microscopia eletrônica de varredura na superfície fraturada, metalografia, espectrometria de emissão ótica e ensaio de microdureza.

3 - RESULTADOS:

3.1 - Identificação dos Componentes:

As figuras 1 e 2 estão mostrando simultaneamente o componente ainda não utilizado em serviço e o componente fraturado em serviço.



Figura 1: Imagem mostrando o componente ainda não utilizado em serviço.



Figura 2: Imagem mostrando o componente fraturado recebido para análise.

3.2 - ANÁLISE DA SUPERFÍCIE FRATURADA:

O estudo da superfície de fratura consistiu em documentação fotográfica, identificação do ponto de início da falha e avaliação dos micromecanismos de fratura.

A análise visual 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 e clivagem no núcleo do material, como mostram as figuras de 5 a 7.



Figura 3: Imagem mostrando a superfície de fratura da matriz recebida para análise de falha. 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 indica o ponto de início da fratura.

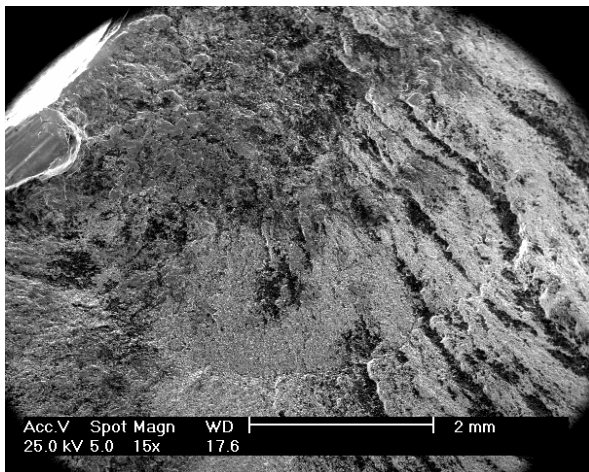


Figura 5: Imagem obtida em MEV mostrando a região de início da falha.

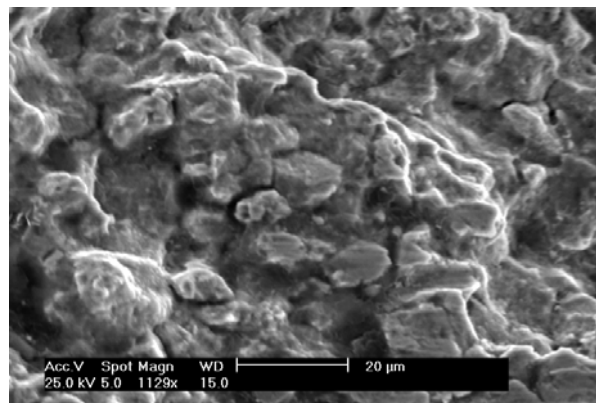


Figura 6: Imagem obtida em MEV mostrando o micromecanismo de fratura intergranular na região de início da falha.

3.3 - ANÁLISE QUÍMICA:

A análise química foi realizada por espectrometria de emissão óptica. A tabela 1 mostra a média de três análises realizadas no material da peça. O aço utilizado na fabricação do componente é similar ao SAE H13.

Tabela 2: 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
Especificação	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	B	Fe
Média	0,04	0,08	0,0	0,003	0,84	0,062	0,0	<0,001	0,0	90,82
Especificação	-	-	-	-	0,80- 1,20	-	-	-	-	Balanço

3.4 - CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA:

Para a análise microestrutural uma amostra transversal à superfície de fratura, próxima ao ponto de início da falha, foi retirada e preparada segundo procedimentos padrões de embutimento, lixamento, polimento e ataque químico com nital 3%. O componente apresenta uma camada nitretada, com zona de difusão de aproximadamente 10µm formada por martensita revenida, por carbonetos dispersos e por redes de precipitados nos contornos dos grãos. Observou-se ainda, 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:

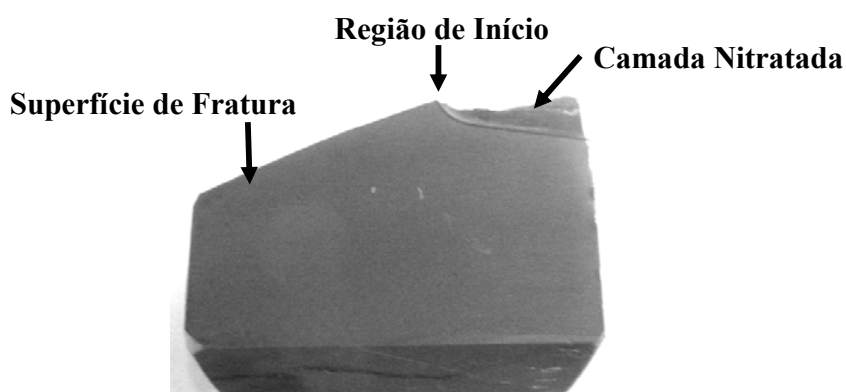


Figura 7: Macrografia da amostra preparada para análise metalográfica.

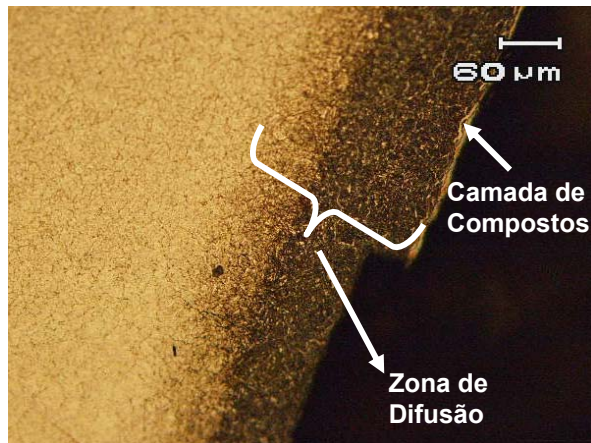


Figura 8: Imagens mostrando a microestrutura próxima da região de início da falha. Observa-se que na camada nitretada há presença de camada branca.

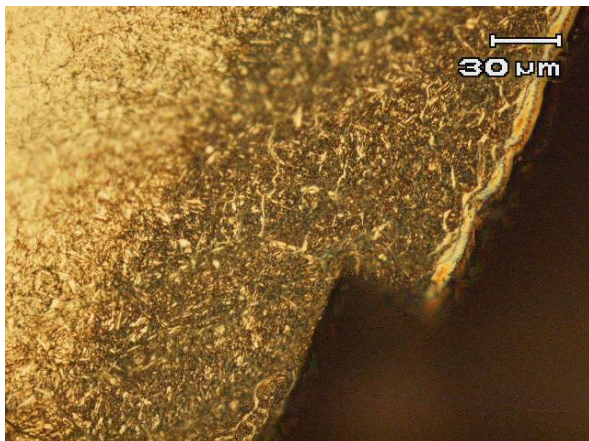


Figura 9: Imagem mostrando detalhe da camada nitretada.

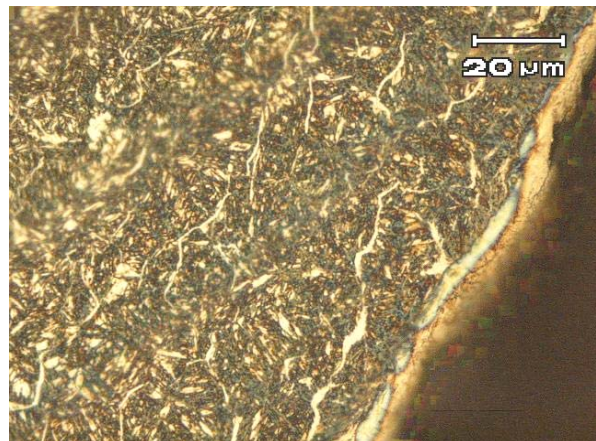


Figura 10: Imagem mostrando o aspecto da camada com precipitados demarcando contornos de grão.

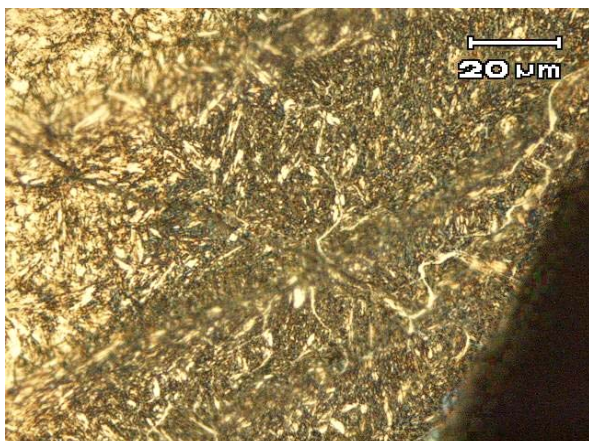


Figura 11: Imagem mostrando trincas presentes na zona de difusão.



Figura 12: Micrografia da região do núcleo da amostra.

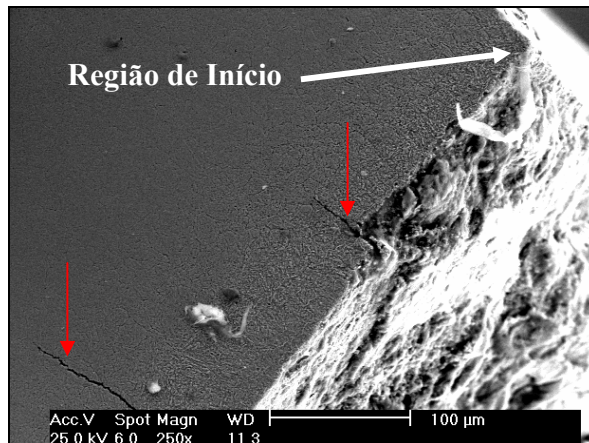


Figura 13: Imagem obtida em MEV mostrando a região de início da falha. As setas em vermelho indicam trincas secundárias observadas nessa região.

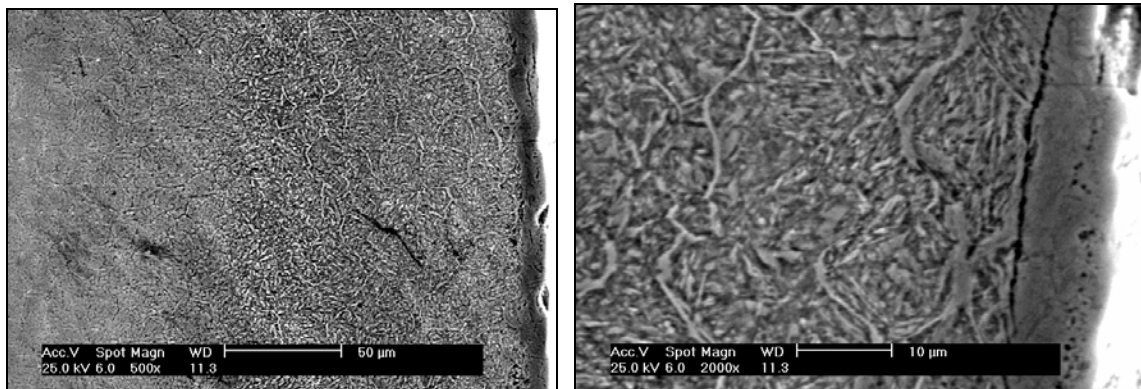


Figura 14: Imagens obtidas sem MEV mostrando a camada nitretada.

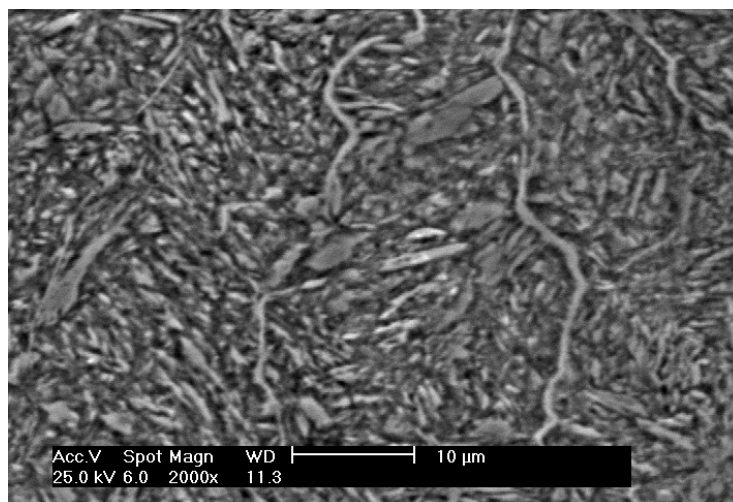


Figura 15: Imagem mostrando a presença de redes de precipitados nos contornos dos grãos.

ENSAIOS DE MICRODUREZA:

Um perfil de microdureza Vickers com carga de 100gf foi realizado na 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. O gráfico da figura 17 mostra o perfil de microdureza realizado sobre a amostra

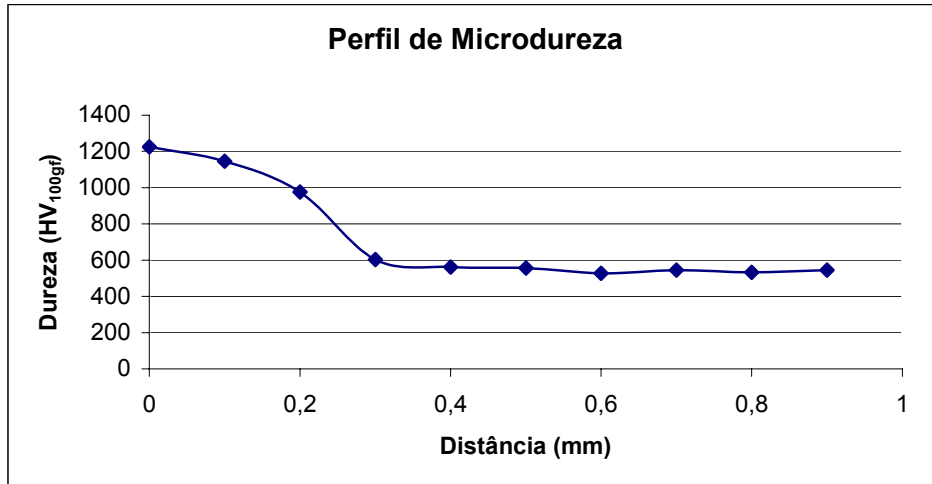


Figura 16: Gráfico mostrando os valores do ensaio de microdureza realizado.

CONCLUSÃO:

A ruptura da matriz ocorreu de maneira frágil, com a falha iniciando junto à camada nitretada, situada no canto de um dos rebaxos existente na ferramenta e propagando até o colapso do componente.

No material da matriz, aço similar ao aço ferramenta H13 não foi observado nenhuma desconformidade.

A camada de compostos observada, aliada à presença das redes de precipitados nos contornos dos grãos e a elevada dureza da camada nitretada, permite associar a falha prematura da matriz com problemas de tratamento superficial térmico da peça.

AGRADECIMENTOS

LAMEF

CNPQ

7 - BIBLIOGRAFIA:

[1] Home page:<http://www.metallica.com.br>

[2] Princípios de Tratamentos Térmicos – Telmo R. Strohaecker, Vitor J. Frainer
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[3] Simulação Termodinâmica dos Processos de Nitretação, nitrocarburação e carbonitretação gasosas - Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia - Carlos Eduardo Zoldan dos Santos / Porto Alegre (RS) 2003.

[4] ASM HANDBOOK, Metallografy and Microstructures. Volume 9. USA: ASM International, 1995.

[5] Metodologia de Análise de Falhas – Dissertação de Mestrado, Carlos Alberto Cassou - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[6] Fadiga e Análise de Falhas – Telmo R. Strohaecker, Afonso Reguly, Sandro Griza, Márcio Macedo - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

FAILURE ANALYSIS IN NITRIDING FORGING DIE

The components's performance depends of factors that can vary since structure that poduction.

With a methodology of analysis we can get acquirements to prevent or avoid futures failures.

This paper analyses a failure case in a forging die, produced by SAE H13 steel, treated and tempering. Forging die is a tool of high solicitation and wearing-way, so it was nitrated in salt bath to get more useful life, but the result was not satisfactory and it ruptured before of expected time.

Through fracture morphology, be evident that is fragile rupture. The crack starts from the corner of a lowering of the tool going since nitro-hardened till the fracture end.

The following techniques were used: macroscopic visual inspection, scanning electron microscope on failure surface, metallography, spectroscopy and microhardness test.

From the aspects micrografycs, was observe that a carbide net coarse was formed on the surface diffusion in the grains bondary, causing high hardness.

In the nucleus of the forging die the microstructure, hardeness and chemical testing was adequated.

With the results we can associate the failure case with the surfacing thermic treatment instead of to get better qualities (acabou) intoducing defects propitiating the breaking of the toll .

Key words: Failure analysis, Thermic treatment, Nitriding, Salt bath.