

ROMPIMENTO DO EIXO DE SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA MÁQUINA INJETORA TERMOPLÁSTICA: UM ESTUDO DE CASO

AXIS BREAKING OF HYDRAULIC SYSTEM OF INJECTION THERMOPLASTIC MACHINE: A CASE STUDY

Ronaldo César Coelho¹

RESUMO

As empresas exigem que as ações de correções sejam cada vez mais eficazes, atuando nas causas raízes e não só focadas nas recuperações do estado de funcionamento de seus equipamentos. A ferramenta de análise de falha, apoiada nos estudos metalográficos, tem sido bastante utilizada no levantamento das referidas causas raízes, em equipamentos críticos e primordiais aos processos produtivos. Este artigo faz um estudo de caso da ruptura de eixo do comando hidráulico de um equipamento industrial de injeção termoplástica. Partiu-se de uma introdução e fundamentação teórica, posteriormente fez-se a descrição das condições de uso e serviço do equipamento, análises preliminar, química e metalúrgica, propriedade mecânica e, por fim, a conclusão.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Falha; Exame Metalúrgico, Químico e Mecânico.

ABSTRACT

Companies require that the actions of corrections need to be increasingly effective, acting in the root causes and not only focused on the recovery of the state of their equipment running. The failure analysis tool, supported by metallographic studies, has been widely used in the survey of these root causes, critical equipment and primary production processes. This article is a case study of the breakdown of the shaft of a hydraulic equipment industrial thermoplastic injection. We started from a theoretical introduction and later became the description of the conditions of use and service of equipment, preliminary analysis, chemistry and metallurgy, mechanical properties and finally the conclusion.

KEYWORDS: Failure Analysis; Metallurgical, Chemical and Mechanical Examination.

1 – INTRODUÇÃO

O intuito deste trabalho é analisar criticamente o eixo rompido e levantar as possíveis causas que levaram ao rompimento do mesmo e, conseqüente, parada do equipamento.

Esta peça trabalha acoplada ao sistema hidráulico de dosagem e mistura do cabeçote de injeção da máquina modelo 150t, fabricante Bottemfeld, 1996, e sobre o eixo são aplicadas forças alternadas de compressão e tração.

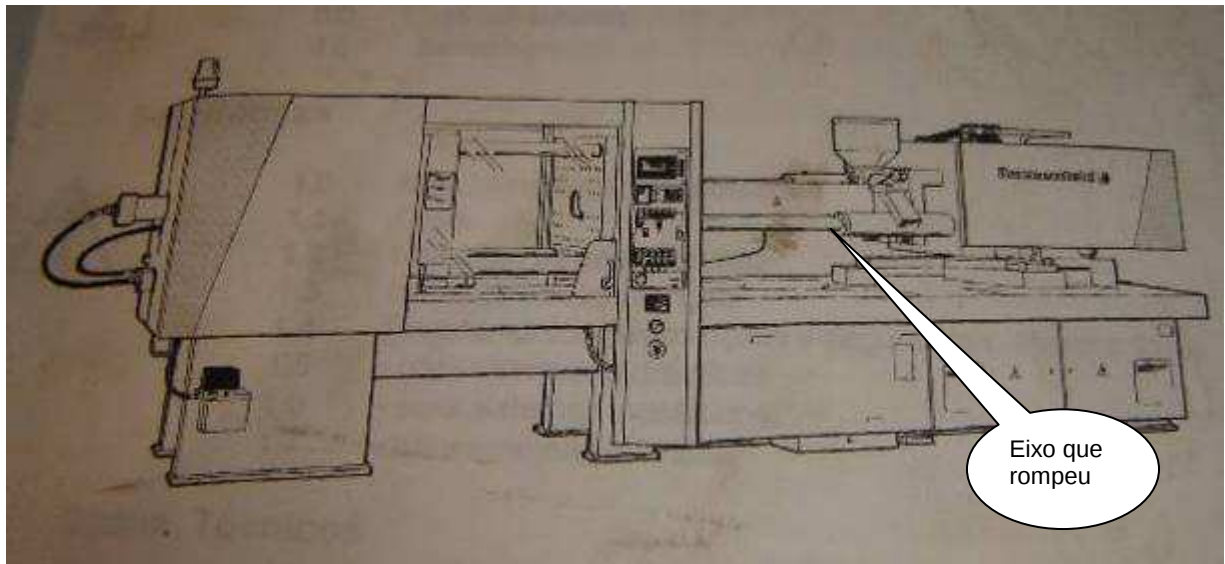
¹ Mestre em Engenharia de Produção e graduado em Engenharia Industrial Mecânica pela Universidade de Itaúna. Especialista em Engenharia de Qualidade pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Professor da Fundação Educação de Divinópolis e do Centro de Ensino Superior de São Gotardo.

Neste trabalho, utilizou-se a metodologia descrita na apostila “Curso – ABM, desenvolvido pelo grupo de estudo sobre fratura de matérias da escola de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto” (Goldefroid *et al*, 2004).

Trata-se de uma parada inesperada de um meio produtivo devido à ruptura do eixo do sistema hidráulico de uma máquina injetora termoplástica responsável pela produção de vários componentes para indústria de automobilística. Além do impacto de custo de hora parada de máquina, podendo provocar desabastecimento de componentes à montadora Fiat Automóveis. Este componentes destinam-se à montagem do painel frontal do veículo Pálio, sendo um sistema de abastecimento *just time*.

Há necessidade urgente de restabelecer o funcionamento do equipamento e posteriormente identificar as causas prováveis que levaram à parada do mesmo para atuar preventivamente promovendo maior disponibilidade da máquina.

Exame visual realizado na superfície da fratura identificou: marca de trinca antiga e de fratura recente. Sendo que a ruptura foi provocada, provavelmente, pelo cisalhamento. Verificou-se, também, que parte do eixo se encontrava empenado.



1 – Ilustração do equipamento objeto de estudo (Injetora termoplástica modelo 150 toneladas)

2 – FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

Segundo Wulpi, 1993 (apud Godenfoild 2004), o mais importante passo para realizar uma análise de falha é não fazer nada, exceto estudar visualmente as evidências disponíveis a respeito dos itens mostrados na tabela abaixo.

Falha	1. Referência do questionado (nome, departamento, endereço, etc.).	Condições da falha	5. Condições de operação.
	2. Descrição da falha a cargo do questionado.		6. Ambiente de utilização.
	3. Registro da falha “ <i>in loco</i> ”.		7. Geometria e projeto.
	4. Aspecto do componente falhado.		8. Fabricação e processamento.
			9. Partes adjacentes.
			10. Montagem.
			11. Anexos.

2 – Informações a serem buscado no início de uma análise de falha segundo Wulpi (1993)

Os tipos e quantidade de informações levantadas dependerão de vários fatores, especialmente a experiência do analista. O mais importante é preparar um questionário ou *check list* de itens que deverão ser observados e analisados *in loco* e efetuar os devidos registros.

Outro fato importante é que o analista possa reportar à outra pessoa, que seja conhecedora do equipamento que apresentou a falha. Este diálogo, em parte, além de fornecer informações importantes, poderá orientar em como obtê-las e dar maior agilidade ao processo.

O registro fotográfico é um documento muito importante em qualquer análise de falha, é primordial o maior número possível de detalhes. Podem ocorrer que em algumas falhas, não seja possível que os analistas façam este registro, seja por circunstância de perigo ou empecilho de manter o cenário inalterado ou, até mesmo, por que a falha ocorreu há muito tempo. Neste caso, pode-se trabalhar em dois pontos: recolher os registros feitos pelo pessoal do local ou recolher o maior número possível de amostras, conjugado com a averiguação das condições iniciais da falha.

Informações sobre o componentes ou estrutura falhada, quanto ao seu projeto original como material, desenho, construção ou fabricação, montagem

funcionamento e desempenho esperado, permite ao analista desenhar um cenário do que poderia ser esperado, das condições de solicitação e do desempenho do equipamento ou peça que falhou. Deve-se atentar especialmente para especificações do projeto e possíveis alterações, que costumeiramente são a causa primária da falha.

O recolhimento das informações dos processos é fundamental, como: tipo de processamento mecânico, tratamento térmico e químico e condições ambientais.

Os registros das condições normais do local onde ocorreu a falha e dados históricos de falhas anteriores, assim como, as comparações destes dados com aqueles recolhidos durante a análise, podem ser essenciais para a compreensão da falha.

A análise macroscópica, aspecto visual da região problemática, objetiva uma compreensão geral, auxiliando na localização da origem e na determinação da sequência falha, além de detectar quaisquer características macroscópicas relevantes.

Uma vez ocorrida a falha é importante fazer um exame mais detalhado do componente, a remoção desta parte defeituosa para análises laboratoriais deve seguir normas (manuseio), preparos de amostras de acordo com equipamento a ser estudado, preparo de corpos de provas específicos e outras cuidados de forma a não mascarar o resultado e seguir um padrão de referências que será julgado mediante as prescrições técnicas dos produtos.

Um componente falhado ou fratura normalmente não se apresenta limpo, precisamos ter o cuidado na remoção da sujeira permitindo o acesso da região sem perda de evidências. Em ordem decrescente de uso: água, querosene, detergente, sabões, solventes em geral, soluções ácidas, álcool, acetona e vernizes são meios de limpeza, porém, é recomendável consultar a bibliografia especializada antes da limpeza.

Podem ser utilizados ensaios não destrutivos na detecção da falha, como líquido penetrante, radiografia, ultra-som, medição experimental de tensões, estanqueidade, correntes parasitas, partículas magnética, termográfica

infravermelha, dentro outros. Os seus usos dependerão da disponibilidade dos equipamentos de ensaios e da coerência do teste com o problema a ser analisado.

A disponibilidade de equipamentos de alta tecnologia pode ter resultados precisos e rápidos, a exemplo de análise metalográfica e do exame de fratura com auxílio do microscópio eletrônico de varredura. Agilizando e facilitando o processo de estudo da falha.

O diagrama causa e efeito é uma ferramenta bastante utilizada nas investigações das causas. Também conhecido por “espinha-de-peixe” (pelo seu formato), ou ainda por Diagrama de Ishikawa, em homenagem ao seu inventor Dr. Kaoru Ishikawa. É uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre o problema a ser solucionado (efeito) e os fatores (causas) do processo que podem provocar o problema. O Diagrama de Causa e Efeito, além de sumarizar as possíveis causas do problema, também atua como um guia para a identificação da causa fundamental do problema e para a determinação das ações que deverão ser adotadas (REYES & VICINO, 2010).

3 – METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido sob a forma de um estudo de caso, cujo objeto é a análise da superfície da região rompida de eixo de sistema hidráulico de um equipamento de injeção termoplástico. Utilizando-se a metodologia proposta por Godefroid et al, (2004).

A análise foi realizada utilizando técnicas de exame macro e micro da superfície de fratura, ensaio de tração e metalografia, para levantamento de dados que identificam as prováveis causas que levaram à ruptura do eixo.

Posteriormente, identificar nos *Handbook* de análise de falha, situações semelhantes e, a partir, desta bibliografia comparativa, identificar a causa raiz que levou a ruptura do eixo.

As análises micro e macro, o ensaio mecânico, e as análises químicas do material foram realizados em laboratório especializados e com instrumentos calibrados.

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número II Jul-dez 2010	Trabalho 05 Páginas 77-91
http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia	periodicoscesg@gmail.com	

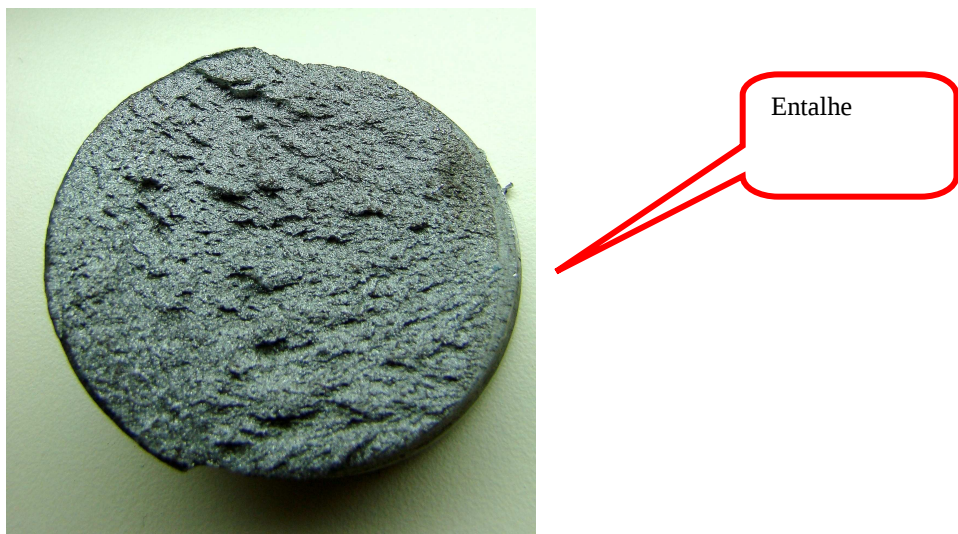
4 – RESULTADOS ENCONTRADOS

4.1 – Descrição do Componente, da Falha e das Condições de Serviços

É a segunda vez que se registra esta falha, sendo que a primeira ocorreu após sete anos de uso e a segunda três anos após o reparo. Este eixo trabalha em um sistema hidráulico composto de dois cilindros, que são responsáveis pela compressão do material dentro da cavidade do molde, conforme parâmetro de processo imposto no equipamento de injeção termoplástica.

Na Figura 3 mostra-se os aspectos geral da superfície fraturada, também pode-se ver o início de um entalhe radial, evidenciando redução do diâmetro do eixo e outra região marcada de uma ruptura frágil, demonstrando que o eixo partiu bruscamente naquela área.

Conforme figura 4 também se pode perceber o empenamento do grupo de eixo que estavam trabalhando no equipamento



3 – Aspecto geral da superfície da fratura.



4 – Vistas parciais do eixo rompido.

4.2 – Dados do Equipamento

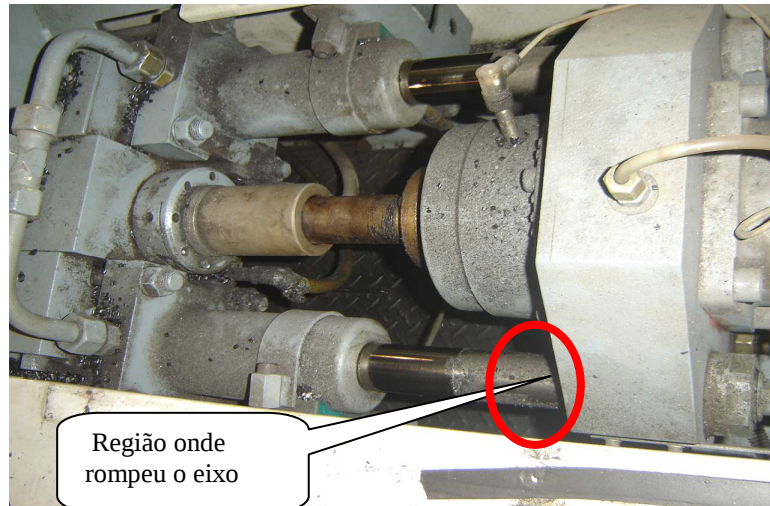
Injetora horizontal

Ano de fabricação: 1996

Pressão máxima da bomba hidráulica: 150 Bar

Pressão normal de trabalho: 100 bar.

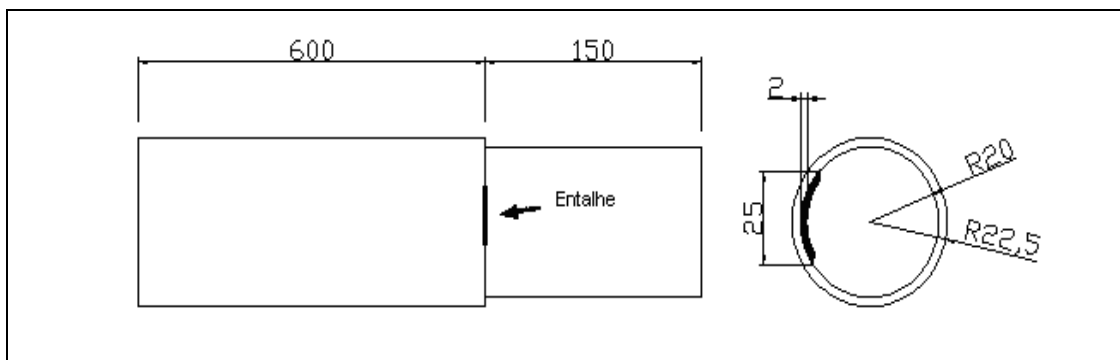
Diâmetro interno do cilindro hidráulico: 100 mm



5 – Foto do sistema hidráulico do equipamento.

4.3 – Análise Preliminar

Pode-se perceber um entalhe radial em um dos quadrantes do eixo, com uma profundidade aproximada de dois mm, também observou que esta marca é antiga e levou à fragilização do restante do corpo do eixo.



6 – Representação esquemática da localização, aspecto esquemático da fratura

O material do eixo SAE 1045, na região com diâmetro de 45 mm, é tratado com um banho níquel-cromo, para facilitar o trabalho dentro da câmara do cilindro hidráulico.

4.4 – Análise Química

Os elementos foram analisados por espectrometria ótica e os resultados apresentados na Tabela abaixo. Observa-se que todos os elementos estão dentro da especificação do material SAE 1045, conforme o resultado da análise encontrada, sendo assim o material do eixo não foi responsável pela falha no eixo.

Elementos	Teor (%) Especificado		Resultados das Análises	
	Mín.	Máx.	Mín	Máx
Ferro	98,51	98,98	98,52	98,53
Carbono	0,42	0,50	0,492	0,493
Manganês	0,60	0,90	0,594	0,594
Fósforo	0,00	0,04	0,016	0,016
Enxofre	0,00	0,05	0,025	0,028

7 – Composição química do aço SAE 1045 e das análises realizadas pelo laboratório Interblast

4.5 – Propriedades Mecânicas

Retirou-se da extremidade rompida um corpo-de-prova (CP), para ensaio de tração. O CP foi extraído próximo da superfície do eixo e os resultados obtidos, foram comparados com as propriedades mecânicas do aço SAE 1045 na condição “normalizado”.

Propriedade	Normalizado	Obtido
		CP 1
Limite de Resistência (MPa)	585	710
Limite de Escoamento (MPa)	200	387
Alongamento (%) em 50 mm	30	21,8

8 – Propriedades mecânicas obtidas e comparadas com as propriedades do material (SAE 1045).

Conclui-se que o material apresenta as propriedades mecânicas de um aço SAE 1045 na condição “normalizado”.

4.6 – Caracterização do Carregamento e Análise Estrutural do Eixo

Os dados do equipamento:

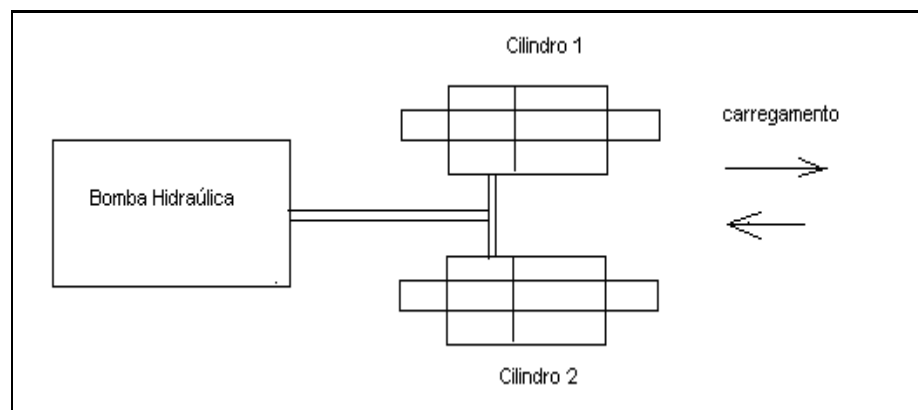
Pressão da bomba hidráulica.

Máximo: 150 bar

De trabalho: 100 bar

Diâmetro interno do cilindro: 100 mm

Diâmetro do eixo: 45 mm



9 – Esquema do sistema hidráulico

Cálculo da exigência de força do sistema hidráulico.

$$A = \frac{\pi}{4} [100^2 - 45^2] \quad A = 6.263,55 \text{ mm}^2$$

$$P = 10 \text{ MPa} \Rightarrow F = A \times P \Rightarrow 6.226,55 \times 10^{-6} (\text{m}^2) \times 10 \times 10^6 \Rightarrow F = 62,64 \text{ KN}$$

$$\sigma_{\text{eixo}} = \frac{62,64 \times 10^3}{\frac{\pi \cdot 45^2}{4}} \Rightarrow 39,38 \text{ MPa}$$

Conclui-se que a carga exigida pelo sistema é bem inferior aos limites de resistência e escoamentos do material utilizado. O sistema está bem dimensionado.

4.7 – Exame macro

A superfície de fratura, Figura 10 apresenta-se “linhas radiais e fratura 45°, graus indicando ser uma fratura frágil. Porém, podem-se observar marcas de usinagem deixada pela ferramenta de corte, indicando que esta marca prova a fragilização do eixo e a formação de trinca que provocou o rompimento da peça.

a)



Abaixo detalhe
desta região

b)

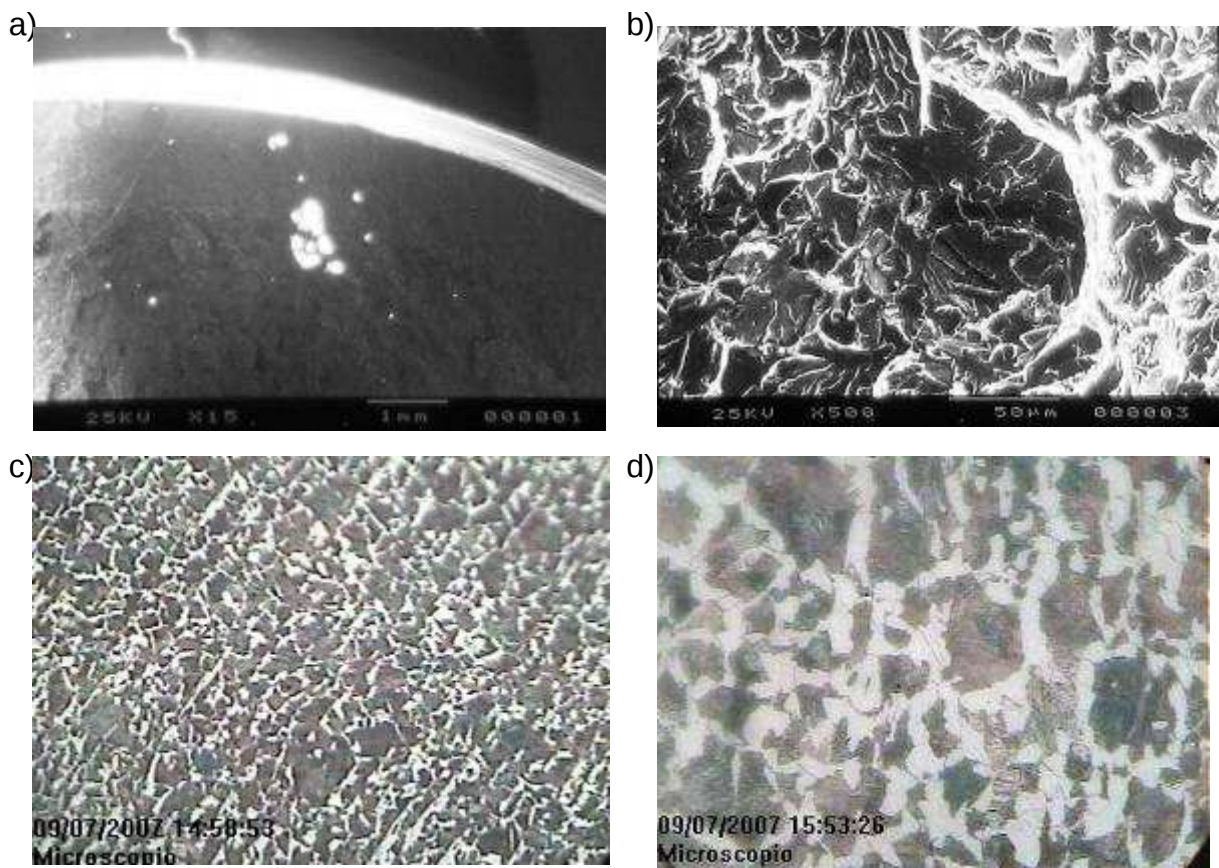


10 – Aspectos Visuais da superfície da fratura

4.8 – Exame por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microscópio Eletrônico:

O exame da superfície de fratura, através do MEV, conforme figura 11, verifica a presença de inclusões, porém a mesma não influenciou, sendo que a figura 10b revela marca de clivagem. Confirmando o mecanismo de fratura indicado pela análise macro.

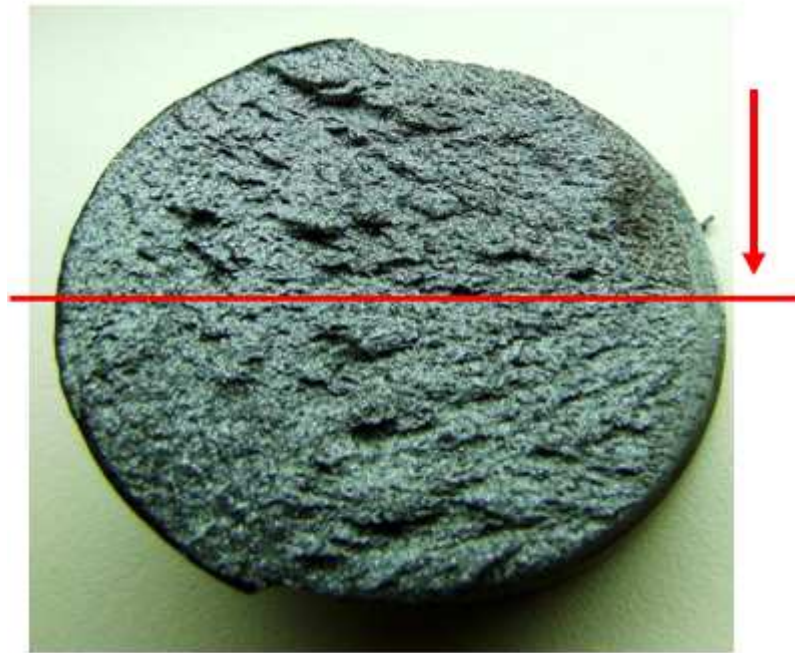
Já no exame feito pelo microscópio, sendo que a superfície foi tratada com reativo nital 2%, nas figuras 11a com aumento de 100 vezes e 11d com aumento de 400 vezes, observa-se a presença predominante de perlita e ferrita indicando que se trata de um aço normalizado tipo 1045, confirmando o indicado na análise química.



11 – Exame da superfície de fratura no Microscópio Eletrônico de Varredura e no eletrônico

Sendo que parte fraturada foi cortada em sentido transversal, conforme indicação da figura 12, para verificar se houve ataque de corrosão de liquido na região do entalhe que proporcionou a fratura. Esta região foi levada ao microscópio. Conforme figura 11b, não foi encontrado nenhum ataque na região. Confirmando mais uma o mecanismo de fratura indicado pela análise macro.

a)



b)



12 – Exame da superfície da região cortada transversal à fratura no microscópio eletrônico

5 – CONCLUSÃO

Observou-se que a trinca teve início na região onde tinha um entalhe deixado pela usinagem e este entalhe foi o mecanismo causador da falha.

Recomendações para evitarem a falha e aumentar a resistência do eixo:

Oficializar um desenho do eixo, aumentando o raio de concordância se possível e melhorar o acabamento superficial na região do raio de concordância, introduzindo nota para evitar ranhuras radiais deixadas pela ferramenta de corte, e não retificar a região de encontrado dos dois diâmetros.

6 – BIBLIOGRAFIA

ASM International. *ASM Handbook of Case Histories in Failure Analysis*. Vol. 1 & 2. ASM, 2002.

BRESCIANI FILHO, Ettore. *Seleção de Materiais Metálicos*. Campinas: Unicamp, 1986.

FERRARESI, Dino. *Usinagem dos Metais: Fundamentos da Usinagem dos Metais: Volume 1*. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

GOLDEFROID, Leonardo Barbosa *et al.* *Análise de Falha*. Belo Horizonte: ABM, 2004.

GUESSER, Wilson Luiz. *Propriedades Mecânicas dos Ferros Fundidos*. São Paulo: Edgar Blucher, 2009.

NUNES, Laerce de Paula; KREISCHER, Anderson Teixeira. *Introdução à Metalúrgica e aos Materiais Metálicos*. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

REYES, Andrés; VICINO, Silvana. *Diagrama de Ishikawa*. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>. Acesso em 20 de novembro de 2010.

RIBBE, Alberto Paulo *et al.* *Corrosão e Tratamentos Superficiais dos Metais*. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1971.

Revista Brasileira de Gestão e Engenharia – ISSN 2237-1664 Centro de Ensino Superior de São Gotardo	Número II Jul-dez 2010	Trabalho 05 Páginas 77-91
http://www.periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia	periodicoscesg@gmail.com	

SANTOS, Rezende Gomes dos. *Transformações de Fases em Materiais Metálicos*. Campinas: Unicamp, 2006.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <http://www.etfce.br/pesquisa/dippg/metodologia/>. Acesso em 8 Ago. 2010.

SOUZA, Sérgio Augusto. *Ensaaios Mecânicos de Materiais Metálicos*. 5ª ed. São Paulo. Blucher, 1982.

VAN VLACK, Lawrence H.. *Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais*. São Paulo: Blucher. 1970.