

FRATURAS EM PEÇAS DE AÇO: ESTUDO DE CASOS¹

*Raimunda Figueiredo da Silva Maia*²

*Darci Augusto Moreira*³

*Letícia Pereira Lira*⁴

*Eduardo Carvalho Pinto*⁵

*Fernando Antonio de Sá*⁶

Resumo

Neste trabalho realiza-se uma análise dos fenômenos causais que levaram ao colapso um eixo de virabrequim e uma haste de fixação, ambas de aço de médio carbono, que trabalhavam sob diferentes solicitações. Com o intuito de revelar a causa da fratura, foram utilizadas técnicas de inspeção visual macroscópica e microscópica – via Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) – de corpos de prova retirados das peças por cortes transversais da superfície fraturada. Os resultados das amostras indicaram que as peças sofreram fratura por fadiga, devido à presença de variações abruptas no ângulo de usinagem, que induziram concentrações de tensões.

Palavras-chave: Fadiga; Fratura; Falha.

FRACTURES IN STEEL PIECES: CASES STUDY

Abstract

In this work takes place an analysis of the causal phenomena that provokes collapse a crankshaft axis and a fixation trunk, both of medium carbon steel, which worked under different physical stress. With the intention of revealing the cause of the fracture, techniques of inspection visual sweeping electronics macroscopic and microscopic were used – at Scanning Electron Microscope – on specimens gotten from pieces for traverse cuts of the fractured surface. The results of the samples indicated that the pieces suffered fracture for fatigue, due to the presence of variations abrupt in the machined angle, which induced concentrations of tensions.

Key words: Fatigue; Fracture; Failure.

¹ *Contribuição técnica apresentada no 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *MSc Especialista Químico Industrial*

³ *MSc Especialista Engenharia Civil*

⁴ *Graduanda em Engenharia Mecânica*

⁵ *Graduando em Engenharia Mecânica*

⁶ *Doutor*

1 INTRODUÇÃO

Em conseqüência de um considerável número de falhas catastróficas de peças ou componentes, os engenheiros – que designam a utilização dos materiais – perceberam a necessidade de um estudo mais detalhado do problema, que às vezes se torna inevitável. [DIETER, 1976].

A ocorrência de falhas, normalmente, é resultado de descontinuidades na estrutura da peça, introduzidas nos processos de fabricação ou de manufatura da mesma. As descontinuidades podem variar desde micro lacunas, rachaduras de têmpera, dobras de superfície, defeitos de usinagem ou inclusões não-metálicas [NORTON, 2004] que atuam como iniciadores de fratura [BAPTISTA, 2002].

A análise das causas de falhas pode ser feita através de interpretações e caracterização da superfície fraturada, que se apresenta como um mapa topográfico que frequentemente revela a história dos eventos que precedem à falha [CETLIN, sd]. A importância da análise e determinação da causa da fratura de um componente em serviço é a maneira de evitar no futuro que ocorra novos colapsos [IPOHORSKI, 2004]. Nesse sentido o objetivo principal deste trabalho é apresentar um estudo de caso que levou ao colapso dois componentes que trabalham submetidos a diferentes solicitações e foram fabricados por diferentes processos.

Um dos estudos de casos trata da espinha dorsal dos motores alternativos, que é o eixo de manivelas ou virabrequim. Ele está sujeito à maioria das forças exercidas pelo motor. As manivelas são feitas forjando-se protuberâncias em um eixo antes dele ser trabalhado. Os eixos de doze manivelas são utilizados nos motores em linha de doze cilindros.

O virabrequim transforma o movimento alternativo de vaivém dos êmbolos em movimento giratório pelas manivelas. Em cada manivela é ligada uma biela. Entre as manivelas ficam os munhões. Os munhões são as peças que se apóiam nos mancais. Os mancais são lubrificados, de tal maneira que o virabrequim praticamente “flutua” num banho de óleo. Raramente, um virabrequim quebra.

Neste caso, o motor a diesel iniciou seu trabalho e teve a primeira parada para a manutenção de 1500 horas, e a seguir reiniciou seu serviço, vindo a ter a fratura de seu virabrequim antes de 15000 horas de trabalho.

O segundo estudo trata da fratura da haste do peso de cobertura de uma compactadora, de uso industrial, tendo esta após ter trabalhado durante um ano e seis meses, sofreu colapso no final deste período. A haste do peso de cobertura é um componente mecânico vital de uma *compactadora de uso industrial*. Esta máquina é composta por uma tampa e uma haste fixada a um peso de seis toneladas, e sob estes componentes gira e vibra uma mesa com três recipientes que recebem um material pastoso. Tal material é carregada até à mesa do equipamento, que gira para posição de compressão durante 50 segundos, vibrando simultaneamente.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento consistiu da avaliação fractográfica executada no local onde ocorreu a fratura, com a repetição da análise de amostras codificadas de acordo com a Figura 1, que apresenta na letra (a) a codificação do virabrequim e na letra (b) a codificação da haste de cobertura.

As análises foram caracterizadas com: i) fotografias; ii) fotomacrografias; iii) micrografia por microscopia eletrônica de varredura (MEV); iv) análise qualitativa e

semi-quantitativa de composição por espectroscopia de massa e espectroscopia por espalhamento de energia dispersiva de raios-X (EDS). Os corpos de prova foram retirados por cortes transversais á superfície fraturada.

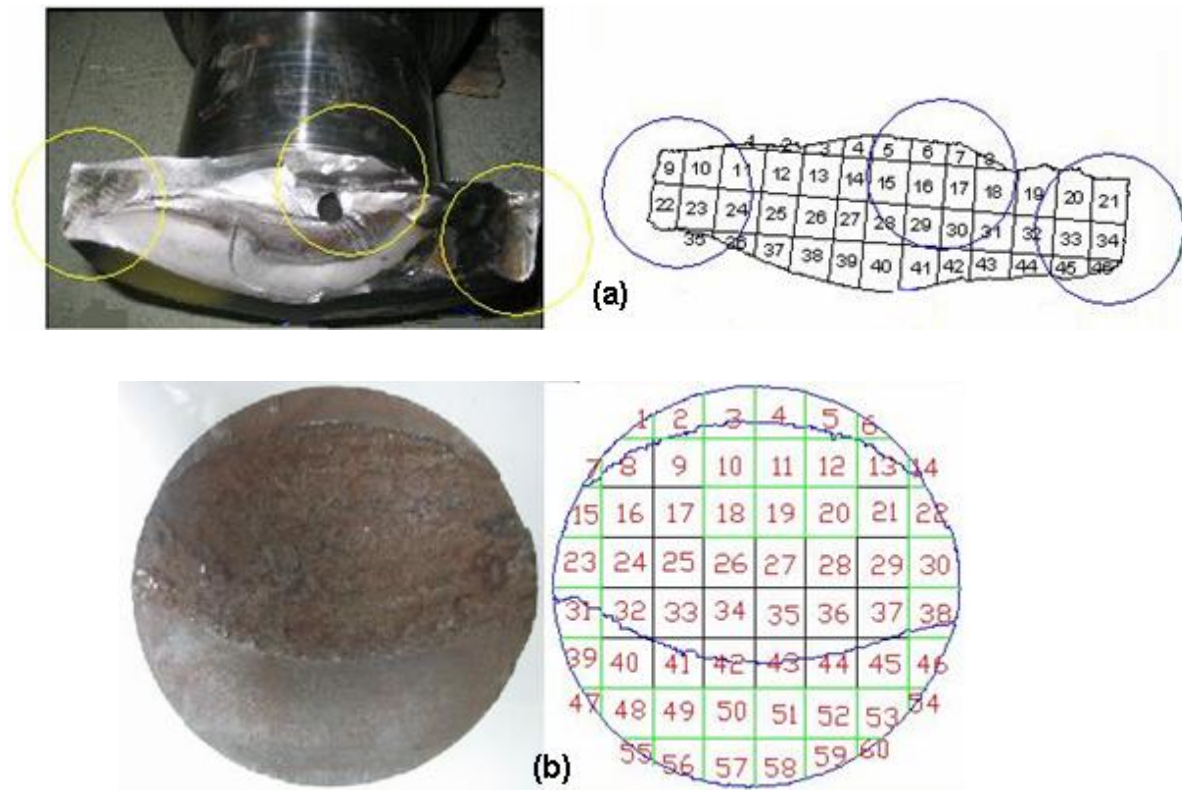


Figura 1. (a) codificação do virabrequim; (b) a codificação da haste de cobertura.

2.1 Preparo das Amostras

A fratura foi investigada qualitativamente por fotografia de alta velocidade, registrada em diversos ângulos para garantir a eternização da superfície fraturada.

Da superfície fraturada foram retiradas amostras para análise química, via espectrometria de massa e através de espectroscopia por espalhamento de energia dispersiva de raios-X (EDS), permitindo assim análises localizadas qualitativa e semi-quantitativa dos elementos.

Para as análises microestruturais, as amostras foram limpas em ultra-som e preparadas segundo os padrões metalográficos para avaliação de microscopia eletrônica de varredura.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Resultados das Análises Químicas

Os resultados das análises apresentadas a seguir são médias de leituras realizadas para as amostras em questão. As leituras foram retiradas por espectroscopia de massa.

Tabela 1. Análise da Composição Química – ACQ

	C	Mn	Si	P	S	Outros	Fe
virabrequim	0,4972	1,30	0,2602	-	-	<0,02	resto
haste	0,51	0,73	0,206	0,0204	0,0096	<0,002	resto
SAE 1045	0,43 -0,50	0,60-0,90	0,15-0,30	0,40	0,05	<0,02	resto

Via espectroscopia de ressonância.

3.2 Morfologia da Superfície Fraturada

A utilidade de uma fractografia esta relacionada à gama de informação que é permitido obter [IPOHORSKI, 2004] das superfícies fraturadas que geram marcas características específicas, inerentes a cada material e esforço pelo qual a peça foi solicitada.

3.2.1 Aspecto macrográfico

No caso da fratura do virabrequim sua superfície se apresenta com aspectos distintos, uma superfície plana (Figura 2 (a)) em quase toda a sua totalidade, caracterizando que nesta área a fratura consumiu baixa energia para efetuar sua propagação [TELELMAN, 1967; WALL, 2002] que produziu marcas paralelas á direção da propagação da trinca, assumindo forma de raio caracterizando fratura por clivagem que ocorreu devido à fratura acelerada e instável [TELELMAN, 1967].

As marcas de forma semi-elíptica, presentes na extremidade superior direita, indicam o sentido da propagação da trinca (Figura 2(b)) [TELELMAN, 1967]. Evidenciando que a fratura se propagou da extremidade externa superior direita em direção ao centro da peça, provocando a redução da espessura da mesma até o ponto em que sua seção transversal não suportou a tensão de solicitação aplicada e sofreu o colapso.

A região circulada na Figura 3 (a) apresenta outro aspecto de fratura, de aparência fibrosa resultado do coalescimento de micro vazios [ANDERSON, 1995] referente à superfície produzida por elevado consumo de energia [WALL, 2002] durante a propagação da trinca correspondente à última resistência da peça.

A fratura que ocorreu na haste de cobertura apresenta aspecto semelhante à fratura do virabrequim, quanto ao aspecto macrográfico, apresentando igualmente dois aspectos distintos, um plano de aparência polida correspondente as partes superior e inferior da amostra (Figura 3(b)), somando aproximadamente 40% do total de sua área, e outra região de aparência granular, relativa a 60% de sua área total. A área de aparência polida possui marcas que se assemelham aos galhos de uma árvore que se propagam em diferentes níveis, guiados por filetes da trinca proveniente da superfície externa da peça [TELELMAN, 1967].

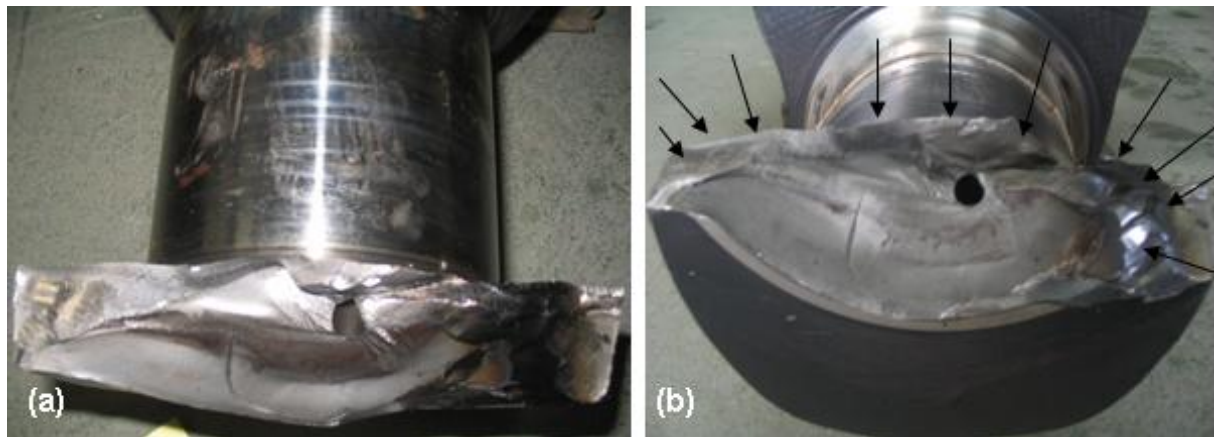


Figura 2. (a) Aspecto geral da superfície fraturada; (b) detalhe da superfície fraturada mostrando o aspecto semi-elíptico da fratura indicado por setas.

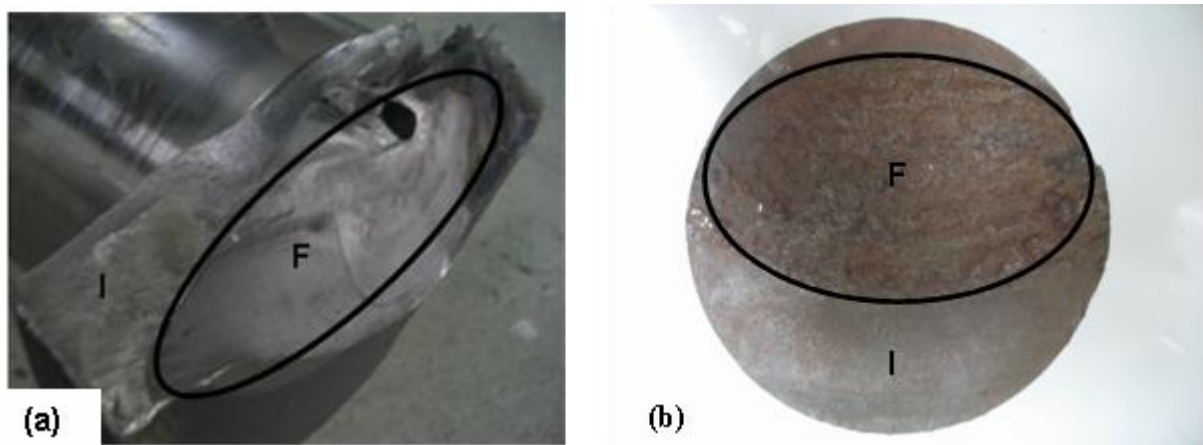


Figura 3. (a) Foto indicando o aspecto fibroso correspondente a última resistência do material.

A região de aparência granular circutada na Figura 4 indica o local onde a fratura consumiu maior energia na sua propagação [WALL, 2002], semelhante ao ocorrido no caso do virabrequim, que teve como sua última região de resistência o centro da peça.

3.2.2 Aspecto micrográfico

Apoiado ao julgamento realizado pela macrografia das peças ambas as fraturas foram divididas em início da fratura e final da fratura como mostra a Figura 3 (a) e (b) indicado pelas letras I (início da fratura) e F (final da fratura) respectivamente.

Em ambos os casos, a fratura inicial possui a aparência da superfície fraturada relativamente lisa em comparação com o final da fratura, caracterizando fratura por clivagem [SUN, 2004] mecanismo esse responsável por fratura rápida que ocorreu através da separação de planos cristalográficos bem definidos [IPOHORSKI, 2004].

A Figura 4 apresenta o aspecto das “marcas de rios” exibindo uma morfologia de planos fraturados intergranular [XU, 2005] que assumem a direção de planos paralelos adjacentes ao grão com ângulos de orientação finita, convergindo no sentido da propagação da trinca [ANDERSON, 1995] que no caso da Figura 5 seguiu da extremidade superior da amostra para a extremidade inferior da amostra, que corresponde à área 18 no mapeamento da Figura 1(a) e área 55 na Figura 1(b).

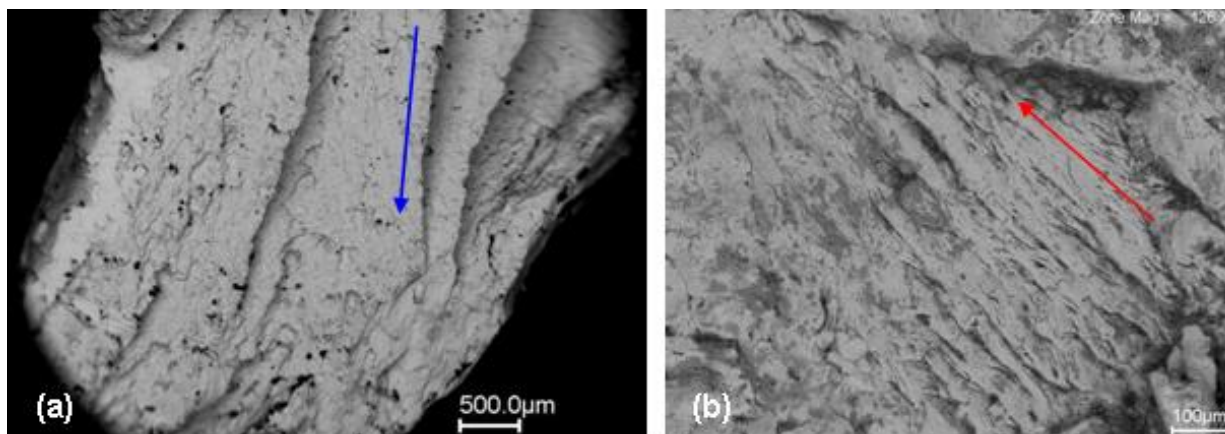


Figura 4. Detalhe das marcas de rio encontradas nas peças analisadas, (a) virabrequim e em (b) a haste de cobertura.

A Figura 5 mostra detalhes da superfície extremamente lisa da fratura que percorreu rigorosamente o plano dos contornos de grãos, caracterizando fratura intergranular [TELELMAN, 1967] que ocorreu em quase toda superfície fraturada de ambas as peças.

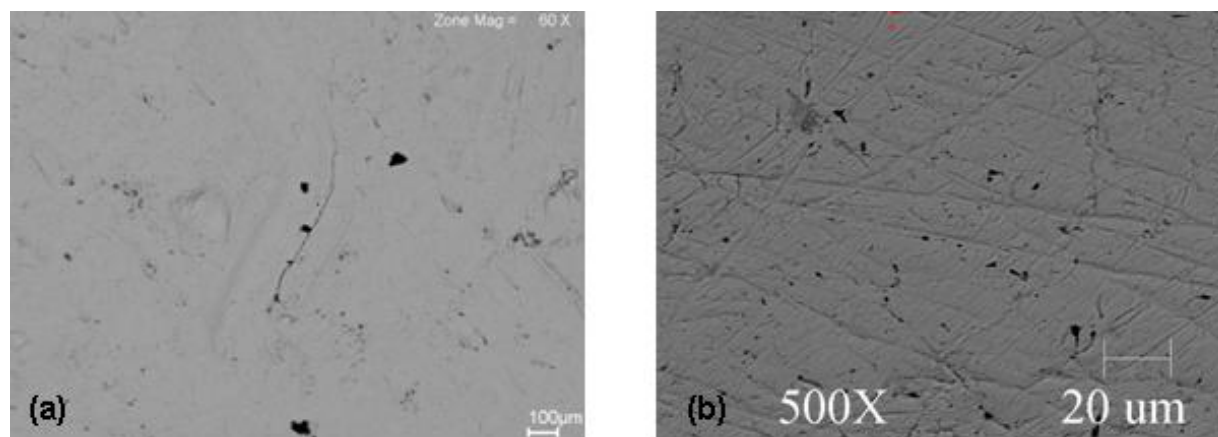


Figura 5. (a) Fratura correspondente à área 22 no mapeamento da Figura 1(a), (b) fratura correspondente à área 49 no mapeamento da Figura 1(b) lado esquerdo da superfície fraturada.

A Figura 6(a) mostra a área 31 correspondente ao mapeamento da Figura 1(a), em 6 (b) área 11 do mapeamento da fratura apresentada na Figura 1(b), ambas correspondentes ao final da fratura que consumiu elevada energia para se propagar [WALL, 2002].

O detalhe mostra uma superfície de aspecto multifacetado, ocorrendo tipicamente em materiais poli cristalinos, assemelhando-se a línguas, resultantes do percurso da trinca relativamente curto ao longo de planos diferenciados em relação ao plano principal de clivagem [Cetlin, sd], morfologia encontrada em ambas as amostras.

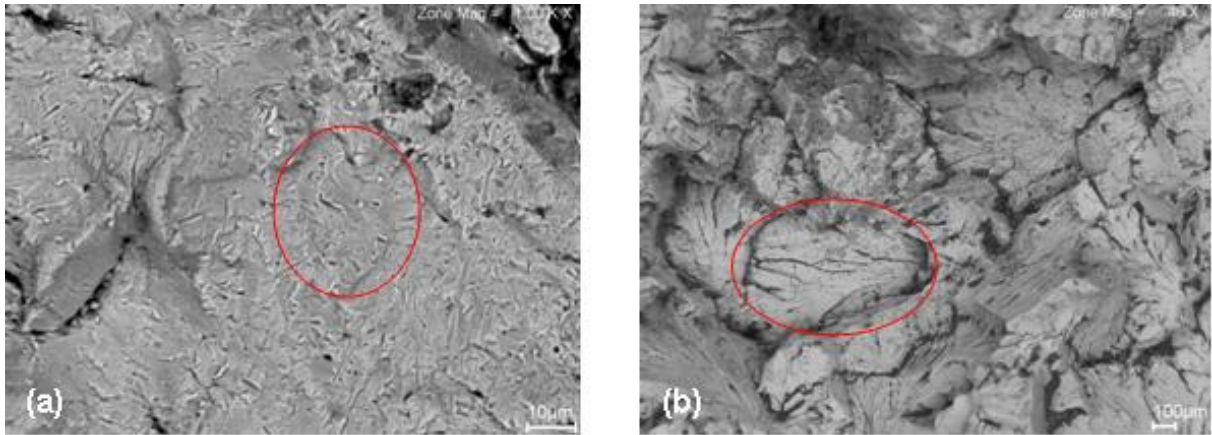


Figura 6. Microscopia detalhando as formas semelhantes as línguas (a) área 31 da Figura 1(a) e (b) área 11 do mapeamento da Figura 1(b).

4 ANÁLISE DA CAUSA DA FRATURA

Pela observação macrográfica e exame micrográfico realizados nas seções, os fatos conduzem a presença de defeito na usinagem (degrau de descontinuidade do material) detalhado na Figuras 7 (virabrequim) e 8 (haste de cobertura), o que gerou as concentrações de tensões em uma região de exigência extrema de esforço, para ambas as peças, esse quadro propicia a iniciação de micro-trincas nessa região que se propagam por toda seção transversal das peças em análise.



Figura 7. Defeito de usinagem apresentado no eixo de virabrequim evidenciado pela seta.

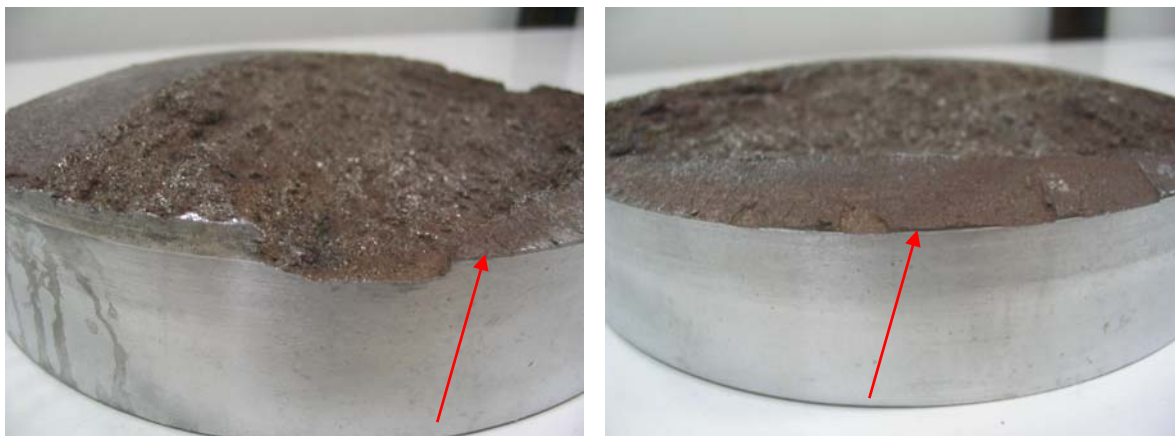


Figura 8. Defeito de usinagem apresentado na haste de cobertura evidenciada pela seta.

5 CONCLUSÃO

Embora cada peça analisada tenha sido solicitada por esforços distintos, a morfologia macroscópica e a micrografia da superfície fraturada em ambas situações são similares, apoiadas que são nos resultados: i) da análise química semiquantitativa e qualitativa que certificam o material ser isento de discrepâncias metalúrgicas, ii) as observações fractográficas, conduziram para que a presença de um defeito de usinagem ter ocasionado a concentração de tensões que provocaram o início de trincas na região extremamente exigidos, acarretando o agravamento na continuidade do trabalho levando o colapso total das peças em estudo. No caso virabrequim o colapso ocorreu antes de 15.000 horas de trabalho e no caso da haste de cobertura ocorreu em 13.080 horas de trabalho.

Agradecimentos

Polido engenharia

REFERÊNCIAS

- 1 ANDERSON, T.L, **Fracture Mechanics Fundamentals and Applications**, CRC Press Inc London Tokyo, pg. 271, 1995.
- 2 BAPTISTA , André Luis de Brito. **Aspecto metalúrgico na avaliação da usinagem de aços**. Revista Escola de Minas. v.55. nº 2, p.1-12, 2002.
- 3 CETLIN, P. R. **Análise de Fratura** Associação Brasileira de Metais Sd.
- 4 CHENG .W.C, Lin, Y.C Liu, C.F, **The fracture behaviors in Fe-Mn-Al alloys during quenching processes**, Materials Science and Engineering A, 343 pg28-35, 2003.
- 5 IPOHORSKI, M. **Fractografia eletrônica: su contribución al análisis de fallas**. Revista SAM. Asociación Argentina de Materiales V1. nº2, p 1-17, 2004.
- 6 NORTON, R.L., **Projetos de Máquinas uma Abordagem Integrada**, 2 ed Porto Alegre Bookman cap6, 2004.
- 7 SUNA, Yahong, et al. **Fatigue behavior and fractography of laser-processed hot work tool steel**. Vacuum v 73, 655–660, 2004
- 8 TANAKA, K., Akiniwa, Y. Kato, T. Mikuriya, T. **Fatigue crack propagation from a precrack under combined torsional and axial loading**, Fatigue Fract Engng Mater Struct, 28 73-82, 2004.
- 9 TETELMAN, A.S. and A.J. Mc Evily, **The Mechanics of Fracture**, John Wiley & Sons, Inc New York, pg 40 – 99, 1967.
- 10 WALL, Ola. **Dynamic crack propagation in large steel specimens**. Engineering Fracture Mechanics 69 (2002) 835–849
- 11 WAHAB, M.A., Saba, B.M, Raman, A. **Fracture mechanics evaluation of a 0.5Mo carbon steel subjected to high temperature hydrogen attack**. Journal of Materials Processing Technology (2004) 938–944
- 12 XU, Xiaolei, Yu, Zhiwei. **Failure analysis of GCr15SiMn steel bearing sleeve**. Engineering Failure Analysis p,1-9 2005