

ANÁLISE DE FALHA EM HASTE DE BOMBEIO MECÂNICO USADA EM UNIDADE DE BOMBEIO DE PETRÓLEO ¹

Andréa S. Pinheiro²
Angélica Gilksana S. de Lima³
Darlan Emanuel S. dos Santos⁴
Francisco Antônio Vieira⁵
Maxymme Mendes de Melo²

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar falha catastrófica em haste de bombeio usada em sistema de elevação artificial e verificar se o material usado na fabricação se enquadra na especificação do elemento mecânico. O início do estudo foi feito por macroanálise da haste fraturada, buscando identificar pontos característicos indicadores de falhas como: estricção, alongamento, marcas diversas de deformação, defeitos pontuais, corrosão, processo de fabricação. O material da haste foi identificado por FRX. Para caracterização microestrutural e contagem de carbono, foi realizada metalografia quantitativa. Realizou-se ensaio de Dureza Rockwell C e para avaliação da superfície de fratura, utilizou-se microscopia eletrônica de varredura. A haste estudada é constituída de aço baixa liga sendo classificado como AISI 4140 normalizado, com dureza média de 33,5 HRC, de acordo com o especificado para a operação. A superfície de fratura apresentou indícios da presença de descontinuidade interna (poros), remanescente do processo de fabricação da mesma. O processo de propagação de trinca que provocou o dano mecânico foi nucleado pela presença de defeitos pré-existentes (descontinuidades), originados, provavelmente, durante o processo de soldagem por fricção da haste de bombeio.

Palavras-chave: Análise de falha; Haste de bombeio mecânico; Soldagem.

FAILURE ANALYSIS IN SUCKER ROD PUMP USED IN OIL MECHANICAL PUMPING UNIT

Abstract

The present work has as objective the analysis of catastrophic failure in sucker rod pump used in the system of artificial rise and to verify if the material used in its manufacture fits the specification of the mechanical element. The beginning of the study was done using the macroanalysis of the broken sucker rod pump, seeking to identify highly characteristic points of imperfections such as: reduction of area, strain, diverse marks of deformation, punctual defects, corrosion, and problems in the manufacture process. The material of the sucker rod pump was identified by XRF. For both the microstructural characterization and carbon counting a quantitative metallography was carried through. For hardness evaluation, Rockwell C hardness test was used and for the evaluation of the fractured surface scanning electronic microscopy was used. The studied sucker rod pump is constituted of a low alloy carbon steel classified as a normalized AISI 4140, with average hardness of 33.5 HRC which is in accordance with the specified value for the operation. The fractured surface presented indications of the presence of internal discontinuity (pores), remainder of the process of the sucker rod's manufacture process. The process of crack propagation that triggered the mechanical damage was nucleated by the presence of preexisting defects (discontinuities), originated, probably, during the process of friction welding the sucker rod pump.

Key words: failure analysis; sucker rod pump; welding.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² MSc – Pesquisador do Laboratório de Ensaios de Materiais do CTGÁS. Natal/RN.

³ Técnico – Pesquisador do Laboratório de Ensaios de Materiais do CTGÁS. Natal/RN.

⁴ Eng – Pesquisador do Laboratório de Ensaios de Materiais do CTGÁS. Natal/RN.

⁵ DSc – Pesquisador do Laboratório de Ensaios de Materiais do CTGÁS. Natal/RN.

1 INTRODUÇÃO

Numa Unidade de Bombeio, UB, utilizada para bombear petróleo até a superfície, a haste de bombeio mecânico é uma das principais peças da estrutura e que necessitam de uma boa resistência mecânica à tração, flexão e à fadiga. A necessidade de todas essas características se dá pelo fato de sua constante movimentação de descida-subida, onde tem acoplada em sua extremidade outras diversas hastes, o que provoca um esforço de tração constante, mesmo quando o equipamento se encontra parado.

Quando uma haste de bombeio fratura, diversos são os problemas. O custo para “pescar” a haste que fraturou e caiu no poço, muitas vezes é elevadíssimo. O tempo que se leva desde a fratura de uma haste até sua substituição e normalização do processo de bombeamento, na maior parte dos casos é muito longo. Além desses ainda há a questão de segurança, custo de material e mão de obra que, juntando tudo, pode se tornar um custo enorme para a empresa.

Diante disso, avaliar o modo de falha de uma haste de bombeio que rompe em operação, é de fundamental importância, de modo que, sua prevenção ou até mesmo, previsão de falha possa ser algo programado, evitando paradas desnecessárias, que quando ocorrem, geram grandes prejuízos.

O presente estudo tem como objetivo analisar a falha de uma haste de bombeio que fraturou enquanto a UB estava em funcionamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Identificação e Determinação do Material

A haste em estudo foi submetida a uma macroanálise preliminar a fim de verificar seu estado geral. Com objetivo de se identificar o material da haste, inicialmente foi feita a análise da microestrutura por metalografia e análise da composição química.

Para determinar a microestrutura do material da haste, a amostra passou por procedimento comum de metalografia, sendo: cortada, lixada, polida e atacada com Nital a 2%. Para determinação do teor de carbono a estrutura observada foi analisada por software para a contagem de grãos.

A Composição Química foi determinada pela técnica semiquantitativa de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva.

Em seguida foi realizado ensaio de Dureza Rockell C na seção transversal da amostra da haste em estudo, de acordo com a norma NBR NM 146 – 1.

2.2 Microanálise da Superfície de Fratura

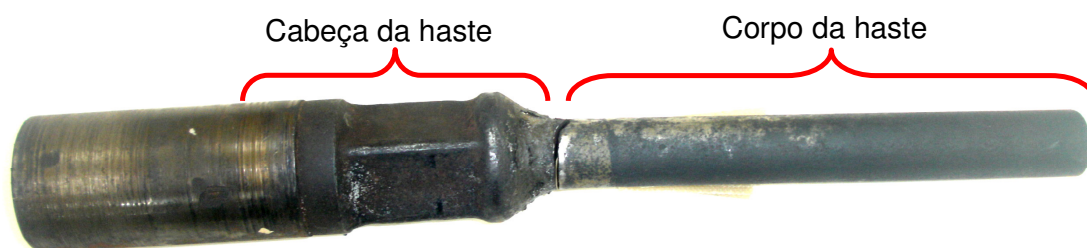
A microanálise da superfície de fratura foi realizada com o objetivo de se avaliar em detalhe o comportamento da fratura em regiões específicas e com isso, identificar o tipo de fratura e as possíveis causas do rompimento da haste de bombeio.

A região fraturada da haste foi seccionada e devidamente limpa em ultra-som, sob imersão de éter de petróleo. Em seguida analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3 RESULTADOS

3.1 Macro-Análise Preliminar

A Figura 1 apresenta o estado geral da parte da haste submetida ao presente estudo. Nos detalhes das Figuras 2 e 3, são apresentadas a região onde ocorreu a fratura. Pode-se observar que na região onde houve o rompimento, não se verifica a ocorrência de estricção e alongamento, afastando a possibilidade de rompimento da peça por sobrecarga mecânica lenta e progressiva. Por outro lado, é possível visualizar, na Figura 2, uma região com brilho metálico mais acentuado, logo no início da região da fratura, do lado do corpo da haste. Ao se avaliar o diâmetro nessa região, conforme está apresentado na Figura 3, é possível notar que a mesma possui um diâmetro maior que o restante do corpo da haste, indicando que a fratura se deu antes do final do raio de concordância entre a cabeça e o corpo. Zonas de concordâncias são usadas para minimizar acúmulos de tensão, que facilitam ruptura.



Fonte: CTGÁS

Figura 1: Aspecto geral da haste analisada.



Fonte: CTGÁS

Figura 2: Detalhe da região da fratura.



Fonte: CTGÁS

Figura 3: Detalhe da diferença de diâmetro entre a região da fratura e a haste.

Além da fratura e a região onde ocorreu a falha, é possível identificar outros detalhes, como:

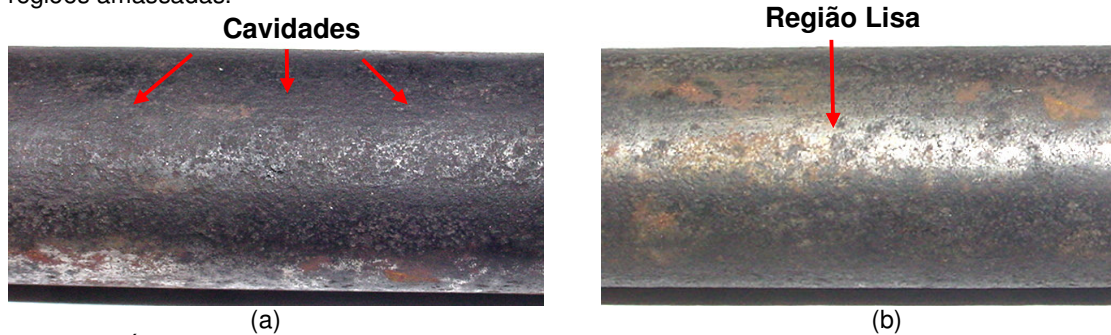
- o nó da haste não apresenta em seu raio de concordância, curvas regulares, indicando que seu processo de fabricação não foi por usinagem, com possibilidade de um forjamento na cabeça e soldagem entre ela e o corpo da haste;
- além da irregularidade, é possível observar regiões amassadas (Figura 04), provocadas, possivelmente, por choques de algum outro elemento mecânico em serviço;

- verificam-se ao longo do corpo da haste inúmeras irregularidades (cavidades), no que se refere à topografia, talvez provocadas por erosão (Figura 5a). Contudo, há algumas poucas regiões que ainda conservam a superfície lisa (Figura 5b).



Fonte: CTGÁS

Figura 4: Zona de concordância entre a cabeça e o corpo da haste de bombeio apresentando regiões amassadas.



Fonte: CTGÁS

Figura 5: (a) Região da haste rica em crateras; (b) região da haste onde ainda se pode verificar parte da superfície lisa.

3.2 Identificação do Material da Haste

A Tabela 1 apresenta a composição química da haste em estudo. De acordo com o resultado, o aço da haste é confeccionado a partir de um aço baixa liga AISI 4140, em concordância com a norma API 11B.

Obteve-se, como resultado do ensaio de dureza o valor de 33,5 HRC.

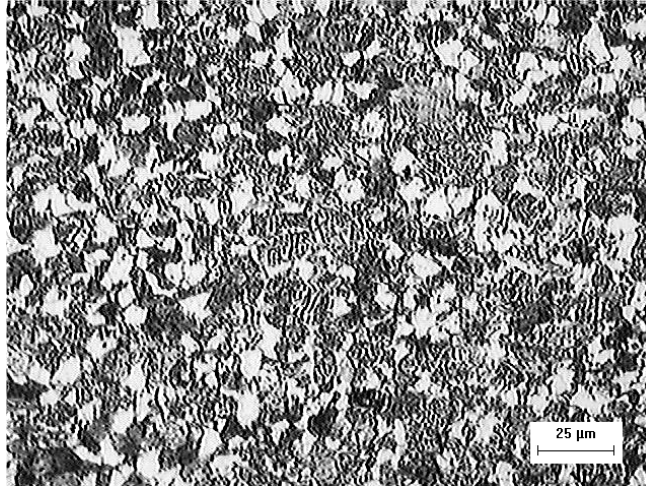
A Figura 6 apresenta a micrografia de uma região da haste utilizada para contagem de carbono.

Tabela 1. Composição química de uma amostra da haste em estudo.

Composição Química (%)						
C *	Cr	Mn	Si	Mo	S	P
0,40	1,10	0,74	0,35	0,20	0,04	0,03

* Teor de carbono avaliado por metalografia ($\pm 0,03\%$).

Fonte: CTGÁS



Fonte: CTGAS

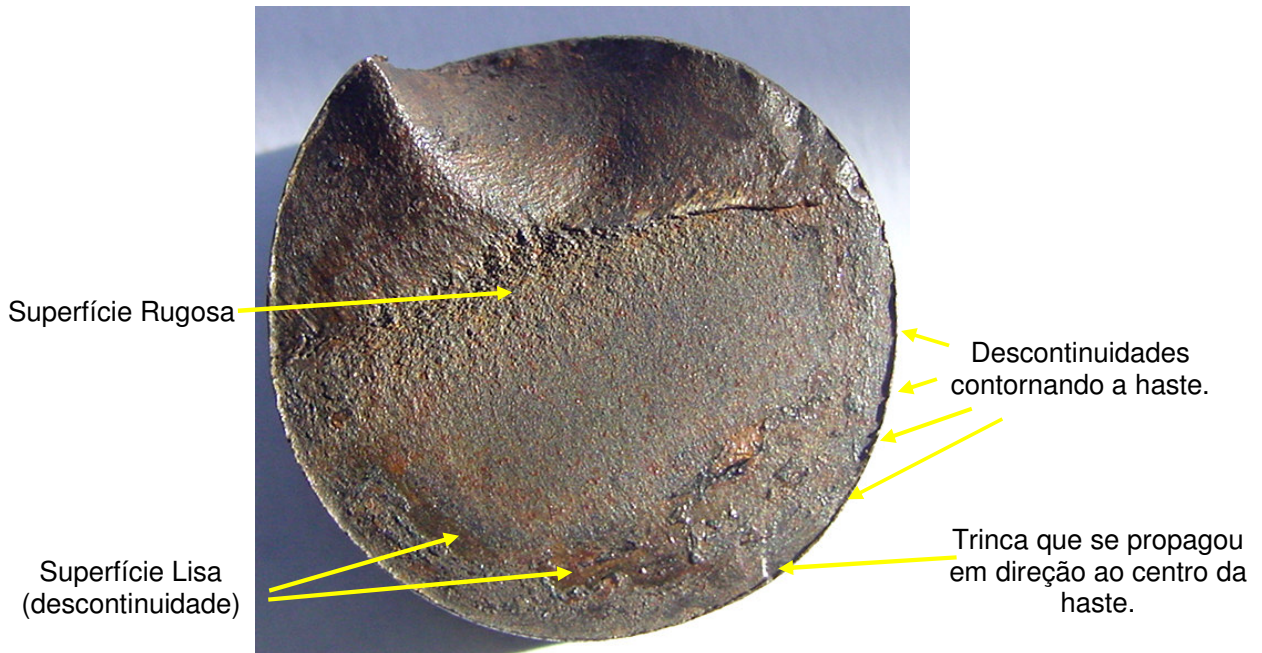
Figura 6: Micrografia óptica da superfície polida e atacada da seção transversal da haste em estudo (200X).

3.3 Estado Geral da Superfície de Fratura

A Figura 7 apresenta o estado geral da superfície de fratura da haste em estudo, no lado do corpo, onde a sua topografia se apresenta com característica de uma fratura por fadiga mecânica de baixo ciclo, iniciada a partir de uma trinca formada na borda (Figura 8).

Além da trinca, pode-se notar que a superfície de fratura apresenta-se, em algumas partes próximas à borda, com um aspecto mais liso e rico em descontinuidades. Também se observa, ao longo da circunferência da haste, uma descontinuidade, com aparência de camada superficial. As partes mais avermelhadas que são observadas nessa região indicam ruptura do material por descontinuidade do material. A coloração avermelhada é também um indício de região com maior oxidação. Normalmente as regiões mais oxidadas são aquelas que primeiramente se romperam e, portanto, ficaram expostas por maior tempo a agentes agressivos, sofrendo a oxidação.

É possível observar que o rompimento final gerou uma superfície típica de fratura dúctil. Essa deformação plástica ocorreu devido à trinca ter atingido um tamanho crítico, e por a haste continuar em operação, uma sobre-tensão é ocasionada em virtude da redução da seção transversal da mesma, provocando a separação das duas superfícies de modo brusco.

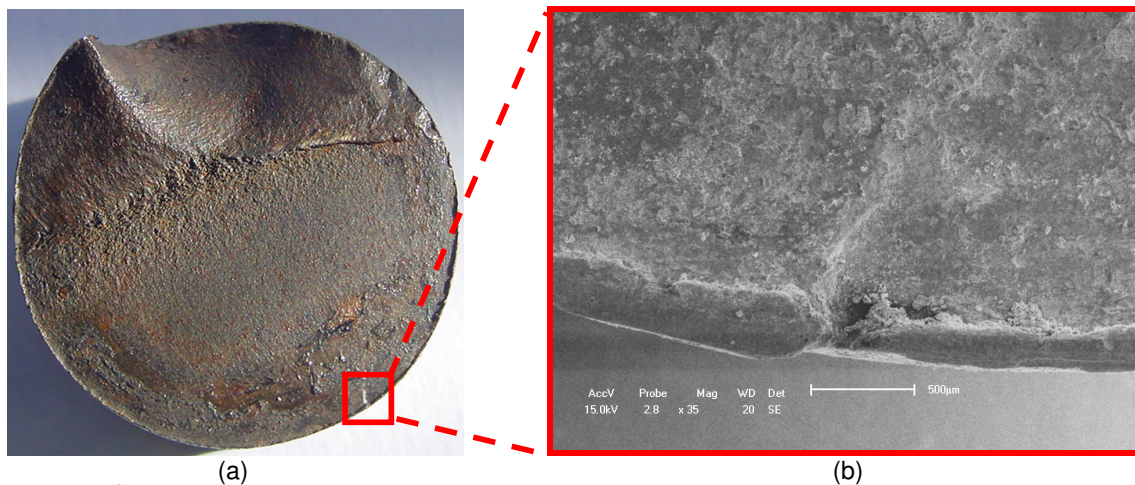


Fonte: CTGÁS

Figura 7: Fractografia da superfície fraturada na região do corpo da haste.

3.4 Microanálise da Superfície de Fratura

A Figura 8 apresenta em detalhe o surgimento da trinca, que se propagou, levando a haste à fratura.



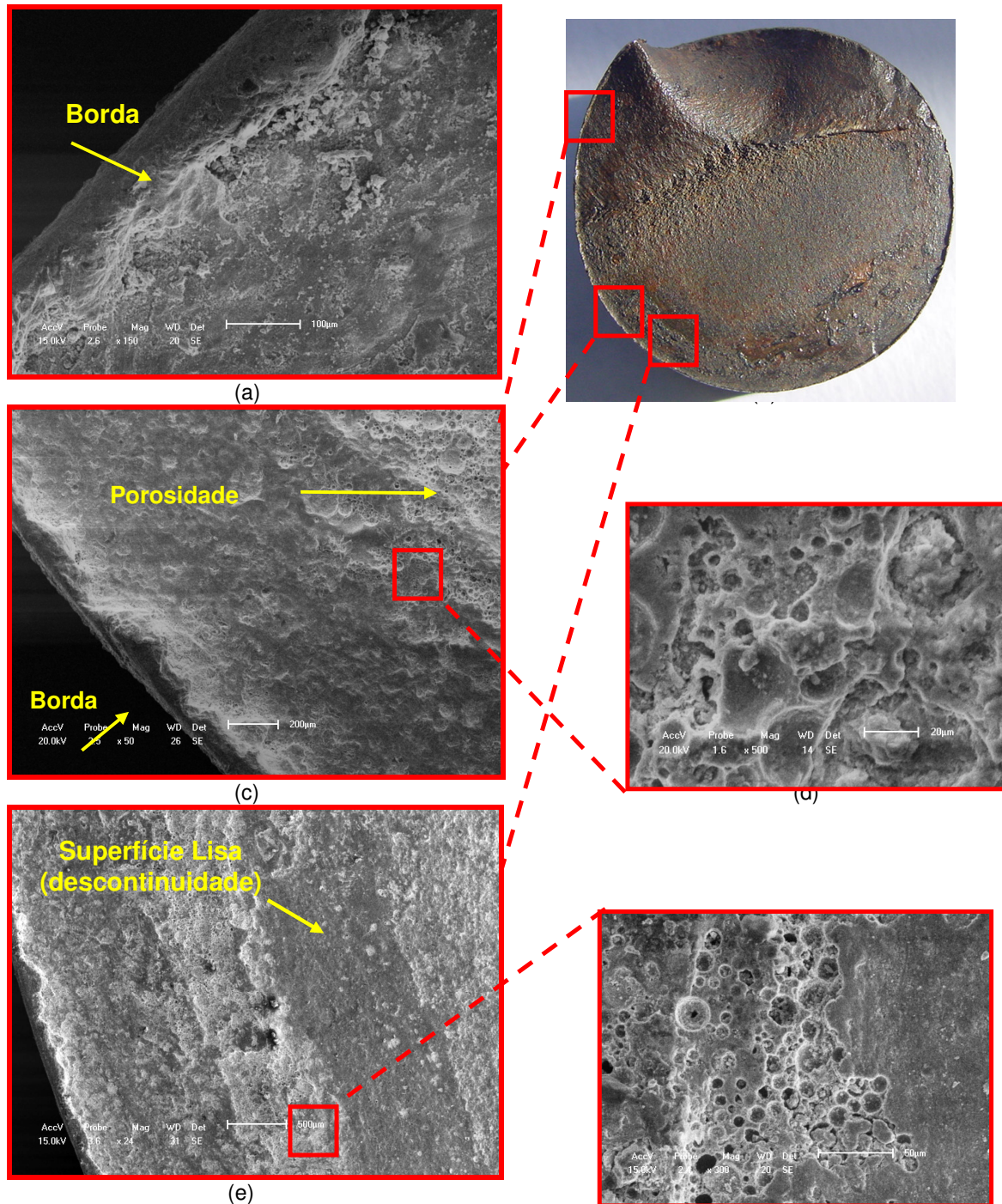
Fonte: CTGÁS

Figura 8: Fractografia da superfície fraturada na região do corpo da haste(a) com detalhe do início da trinca por MEV (b).

Como dito anteriormente, nota-se que ao redor da superfície de fratura da haste há uma descontinuidade com aparência similar à de uma camada superficial ao longo de sua circunferência, conforme se pode verificar com mais detalhe na Figura 9. Contudo, por análise química comprovou-se que não há nenhuma camada

de proteção na haste, e que a superfície tem a mesma composição que a região interna.

Também é possível notar a existência de regiões com elevado grau de porosidade, além da existência de regiões com grandes discontinuidades. Hastes desse tipo normalmente têm suas partes fabricadas separadamente. Para união da cabeça ao corpo, normalmente se utiliza um processo de soldagem por fricção.



Fonte: CTGÁS

Figura 9: Características microscópicas da superfície de fratura. (a) detalhe da borda; (b) aspecto geral; (c) detalhe da borda com presença de porosidade; (d) poros; (e) detalhe da borda com discontinuidades; e (f) detalhes de poros ao lado de descontinuidade.

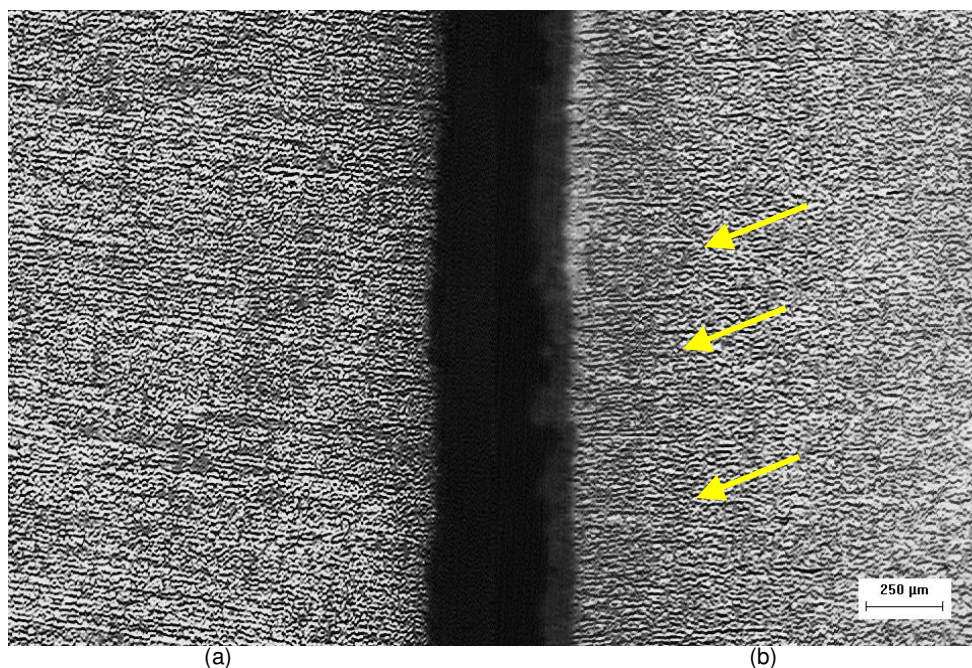
4 DISCUSSÃO

Diante de uma haste que apresentava características como composição química, microestrutura e dureza, compatíveis com o tipo de material indicado na norma API, passou-se a considerar a hipótese de que a falha poderia ter ocorrido devido a possíveis desvios no processo de fabricação.

4.1 Avaliação da Possibilidade de Soldagem

Essa avaliação ocorreu com a intenção de verificar a possibilidade de a haste de bombeio ter sido fabricada por algum processo de soldagem entre o corpo e a cabeça, e com isso detectar se a fratura se deu na região da possível solda. Essa hipótese foi levantada em virtude da grande formação de poros; do mecanismo de propagação da trinca e da existência de regiões com aspectos de descontinuidades. Para realizar essa constatação, realizou-se metalografia nas duas extremidades fraturadas, e observadas uma ao lado da outra.

A Figura 10 apresenta micrografia da seção longitudinal nas extremidades fraturadas, onde (a) representa o lado do corpo e (b) o lado da cabeça da haste. É possível notar que no lado (b) há uma interface, indicada pelas setas, que separa duas microestruturas com orientação de grãos distintas, o que indica que o corpo da haste foi unido à sua cabeça, provavelmente por processo de soldagem por fricção. Entretanto, não é possível a identificação de uma zona termicamente afetada (ZTA), devido, provavelmente, ao posterior tratamento térmico de normalização que a mesma foi submetida. Contudo, é possível verificar que na parte fraturada do corpo da haste (a), há uma orientação dos grãos de perlita e ferrita (normalmente gerada do processo de fabricação de perfis cilíndricos) enquanto que não há de forma tão acentuada na parte da cabeça (b).



Fonte: CTGÁS

Figura 10: Micrografia das seções longitudinais das duas partes fraturadas da haste lado a lado, mostrando suas respectivas microestruturas (50X).

4.2 Fatores que Levaram a Haste à Fratura

Diversos fatores são o que normalmente podem levar um material a falhar, sejam eles de especificação errada, manuseio inadequado, sobrecarga mecânica ou outros fatores ambientais, falta de manutenção. Apesar disso, no caso específico, nenhum desses fatores foi detectado, levando a conclusão desse estudo para a existência de defeitos no material que, embora estivesse bem especificado, apresentava aspectos claros de um processamento ineficiente, verificados a partir da análise fractográfica.

A existência de poros e regiões de grandes discontinuidades indicaram que o processo de soldagem não foi suficientemente eficaz, de modo a criar um bom contato entre as partes unidas, cabeça-corpo. Com a união entre as partes prejudicada, o elemento, quando em serviço, acaba por ter sua vida útil reduzida.

Ensaio por ultra-som, no caso específico, poderiam ter detectado a existência de vazios e discontinuidades entre o corpo e a cabeça da haste após o processamento de soldagem por fricção.

5 CONCLUSÃO

A haste estudada, sob o ponto de vista da composição química, dureza e microestrutura, está de acordo com a especificação adequada, sendo constituída de um aço baixa liga AISI 4140 normalizado, com dureza média de 33,5 HRC.

A superfície de fratura da haste em estudo apresenta indícios concretos da presença de descontinuidade interna (poros), remanescente do processo de fabricação da mesma.

O processo de propagação de trincas que provocou o dano mecânico foi nucleado pela presença de defeitos pré-existentes (descontinuidades), originados provavelmente, durante o processo de soldagem por fricção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CTGÁS por fornecer o Laboratório de Ensaio de Materiais para realização desse estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 CALLISTER JR, WILLIAM D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 5ª Ed. LTC – Rio de Janeiro/RJ, 2002.
- 2 METALS HANDBOOK. Fatigue and fracture. 2. ed., v. 19, American Society for Metals. USA, 1997.
- 3 METALS HANDBOOK. Fractography. 2. ed., v. 12, American Society for Metals. USA, 1992.
- 4 LEE, YOUNG-LI; PAN, J.; HATHAWAY, R.B.; BARKEY, M.E. Fatigue testing and analysis: theory and practice. Butterwerth Heinemann. USA, 2005.
- 5 METALS HANDBOOK. Principles and Procedures of Fractography. American Society for Metals. USA.
- 6 METALS HANDBOOK. Failure Analysis and Prevention. v. 11, American Society for Metals. USA, 2002.
- 7 ASM INTERNATIONAL. Handbook of case histories in failure analysis. v. 1 e 2, online.
- 8 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Metalografia e Análise de Falhas. César R.F. Azevedo e Tibério Cescon. São Paulo – 2004.