



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE DE FALHA DE UM PINO DE FIXAÇÃO DO ÊMBOLO DE UMA MÁQUINA DESENFORNADORA DE COQUE

Geraldo Rossoni Sisquini, sisquini@npd.ufes.br¹
Temístocles de Sousa Luz, tluz@ct.ufes.br¹
Jerfson Pereira de Almeida, jerfaero@yahoo.com.br¹

¹DEM/CT/UFES, Av. Fernando Ferrari, 514 – Bairro: Goiabeiras – Vitória – ES – CEP: 29075-910

Resumo: *A análise de falhas consiste em identificar as causas de uma falha, e propor recomendações para evitar que a falha volte a acontecer. A falha de um componente mecânico pode ter várias conseqüências. Pode ocasionar apenas a simples parada do equipamento para troca do componente, mas também pode ter conseqüências gravíssimas, como um grande acidente ambiental ou até mesmo a perda de vidas humanas. Nesse trabalho, são apresentados os conceitos envolvidos na análise de falhas e a metodologia utilizada numa siderúrgica capixaba. Ao final, será apresentada a aplicação dessa metodologia a um caso real de falha. A falha analisada será a fratura do pino de fixação do êmbolo da Máquina Desenfornadora de Coque.*

Palavras-chave: *Análise de Falha; Fratura, Fadiga, Máquina Desenfornadora de Coque, Siderurgia.*

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas atividades realizadas pelos engenheiros de manutenção, uma das mais importantes é a Análise de Falhas de Componentes Mecânicos. Resumidamente, a Análise de Falhas consiste em identificar as causas de uma falha, e propor recomendações para evitar que a falha volte a acontecer. A falha de um componente mecânico pode ter várias conseqüências. Pode ocasionar apenas a simples parada do equipamento para troca do componente, mas também pode ter conseqüências gravíssimas, como um grande acidente ambiental ou até mesmo a perda de vidas humanas.

A falha de materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável e é responsabilidade do engenheiro antecipar e planejar considerando possíveis falhas e, no caso de uma falha ocorrer, avaliar a sua causa e então tomar as medidas de prevenção apropriadas contra futuros incidentes. Falha de acordo com a norma NBR 5462 de 1994 é a cessação da função requerida de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho definido (ASM Metals Handbook, Volume 11, 2002; Callister, 2008; Das, 1997).

2. COQUERIA

A coqueria é a área dentro de uma usina siderúrgica onde se localiza o equipamento que sofreu a falha que analisaremos neste trabalho. A coqueria é a unidade industrial destinada a transformar o carvão mineral em um produto denominado coque. O coque é produzido através da destilação de mistura de carvões em Baterias de Fornos. No processo de coqueificação, há geração de gases que, após resfriamento e tratamento, são enviados para distribuição e utilização na usina, principalmente nas Centrais Termelétricas. O coque é enviado para os Altos-Fornos, onde exerce dupla função: fonte térmica do processo e agente redutor dos óxidos de ferro (minérios, pelotas, sinter).

A coqueria possui alguns equipamentos para manuseio do carvão mineral e do coque. São eles:

- Locomotivas elétricas, para mover os carros guias;
- Carros guias, para transporte do coque;
- Carros de carregamento, para preencher os fornos com carvão;
- Máquinas desenformadoras de coque, para retirada do coque dos fornos, mostrada na Fig. (1). É o equipamento que sofreu a falha que iremos analisar neste trabalho. Esse equipamento será detalhado mais adiante.



Figura 1. Máquina Desenformadora de Coque.

A Máquina Desenformadora de Coque (MDC) é o equipamento responsável pela retirada do coque dos fornos, após o término da coqueificação. Essa operação é chamada de desenformamento. Nota-se na Fig. (1), pelo automóvel posicionado abaixo da MDC, que se trata de um equipamento de grande porte.

Após o término da coqueificação em um dos fornos, a MDC desloca-se sobre trilhos e é posicionada em frente ao forno que deve ser descarregado. A MDC possui um dispositivo que abre a porta do forno de um lado, enquanto a porta do outro lado é aberta pela Guia de Coque. Após a abertura das portas do forno, o êmbolo da MDC é acionado, empurrando o coque para o outro lado do forno, fazendo-o cair na Guia de Coque.

A Figura (2) mostra o detalhe do pino montado na viga empurradora e na cabeça do êmbolo. É possível observar que a fixação do pino é feita através de um flange na parte superior e de cunhas na parte inferior. Essas cunhas eliminam as folgas entre as partes, e tracionam o pino. As cunhas também têm a função de absorver as cargas de flexão geradas no desenformamento e transmiti-las para a viga empurradora, evitando que as mesmas sejam transmitidas para o pino, que é mais sensível a essas cargas.

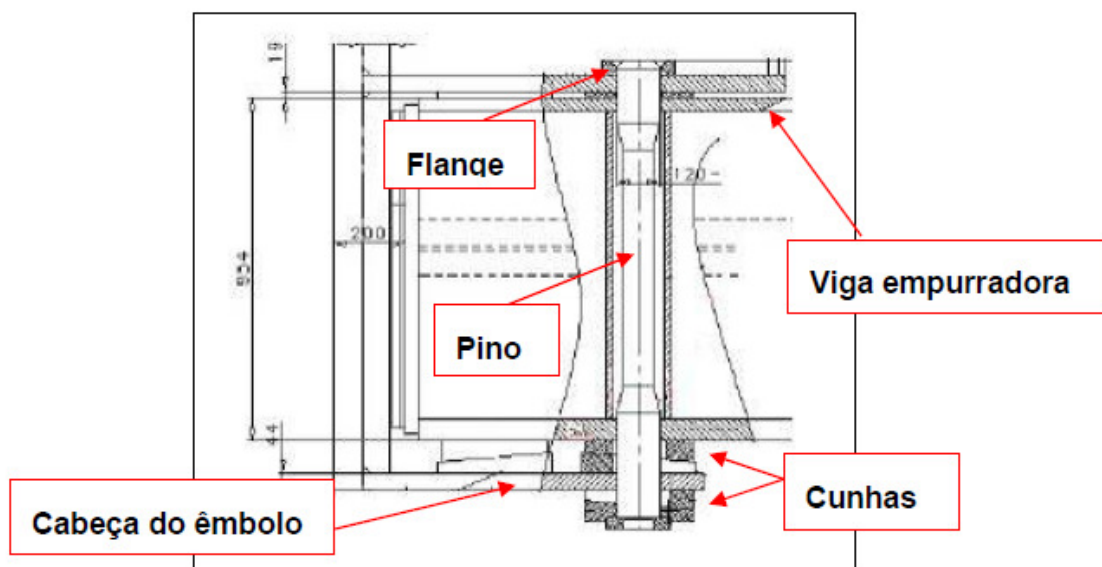


Figura 2. Detalhe da montagem do pino no conjunto do êmbolo.
Fonte: Arquivos da Usina Siderúrgica.

A Figura (3) mostra o desenho do pino, com suas principais medidas. É possível observar que há mudanças de seção, que são pontos de concentração de tensão, fator preocupante quando há cargas de flexão. Segundo informações do pessoal de manutenção do equipamento, essa mudança de seção serve para facilitar a montagem do pino. Também podemos observar que o flange é separado do pino, sendo unidos através de solda.

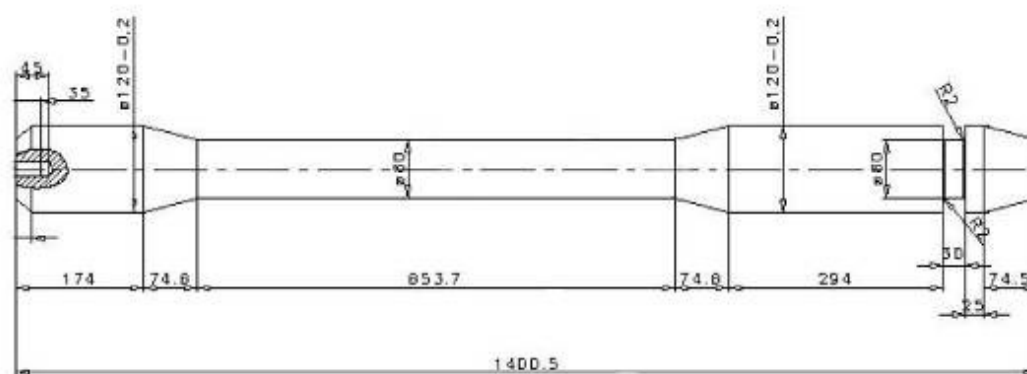


Figura 3. Pino de fixação da cabeça do êmbolo na viga empurradora.
Fonte: Arquivos da Usina Siderúrgica.

Também analisando os desenhos, foi possível observar como é o funcionamento do êmbolo. A Fig. (4) mostra o êmbolo em três instantes do desenformamento: antes de entrar no forno, dentro do forno e fora do forno no lado oposto. Após o término do desenformamento, a MDC se desloca para o próximo forno a ter o coque desenformado, onde a operação se repete. Na usina siderúrgica em questão, cada uma das MDC's desenforma em média cerca de 70 fornos por dia.

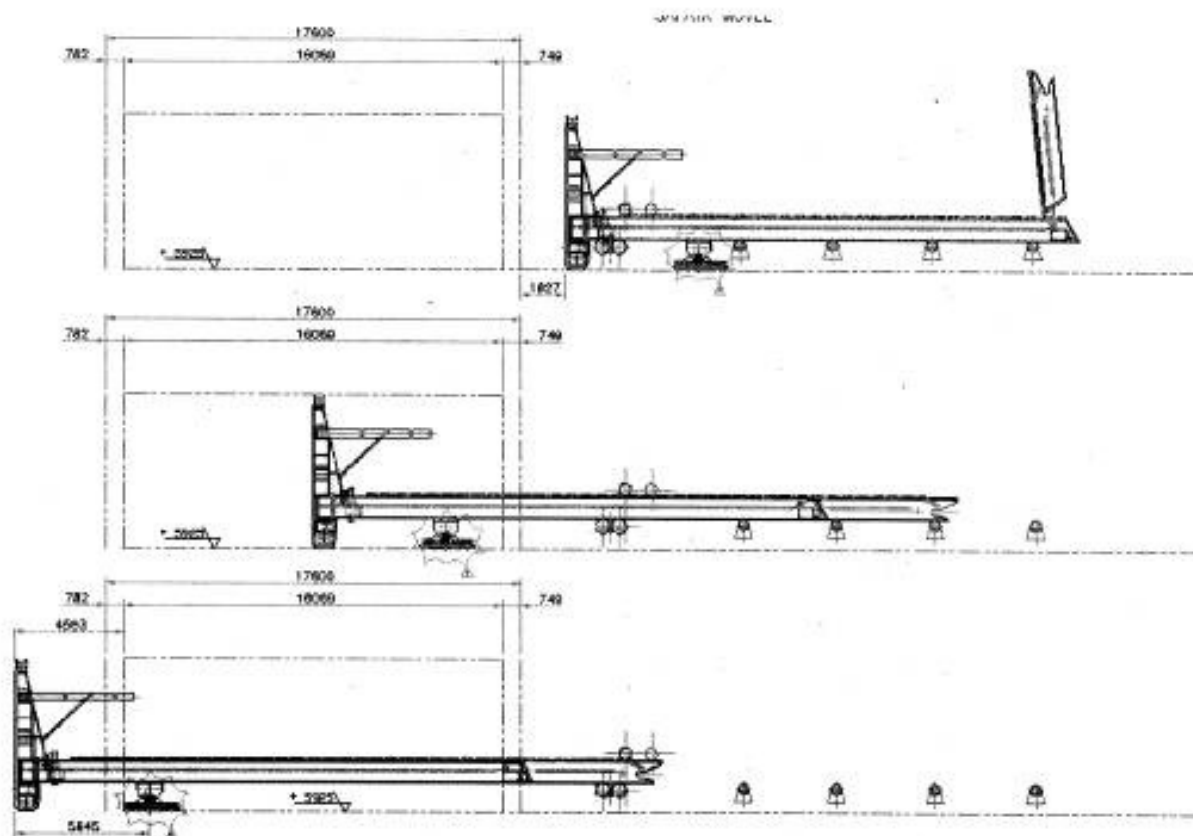


Figura 4. Êmbolo em três posições durante o desenformamento.
Fonte: Arquivos da Usina Siderúrgica.

3. ANÁLISE VISUAL DO COMPONENTE

Na análise visual da Fig. (5) observa-se que a fratura ocorreu na mudança de seção, região de concentração de tensões. Essa região é a mais susceptível à fratura. Observa-se também o flange soldado no pino.

A Figura (6) mostra a seção de fratura do pino. Percebe-se que a falha tem características de fratura por fadiga devido à flexão reversa com concentração de tensão moderada e carga de alta intensidade (ASM Metals Handbook, Volume 11, 2002; ASM Metals Handbook, Volume 12, 1992). Isso é observado devido à presença de *marcas de praia* nos dois lados e seção de ruptura final no centro da peça de cerca de 50% da área total do pino (Godefroid, 2005). Não foi observada corrosão na superfície do pino, nem qualquer marca que pudesse indicar algum tipo de impacto que pudesse funcionar como concentrador de tensão e iniciador da fratura. Assim, após análise visual e dos desenhos, a principal hipótese levantada foi a de fratura por fadiga devido à flexão reversa. Essa linha de investigação será seguida nas etapas seguintes.



Figura 5. Pino fraturado enviado para análise.

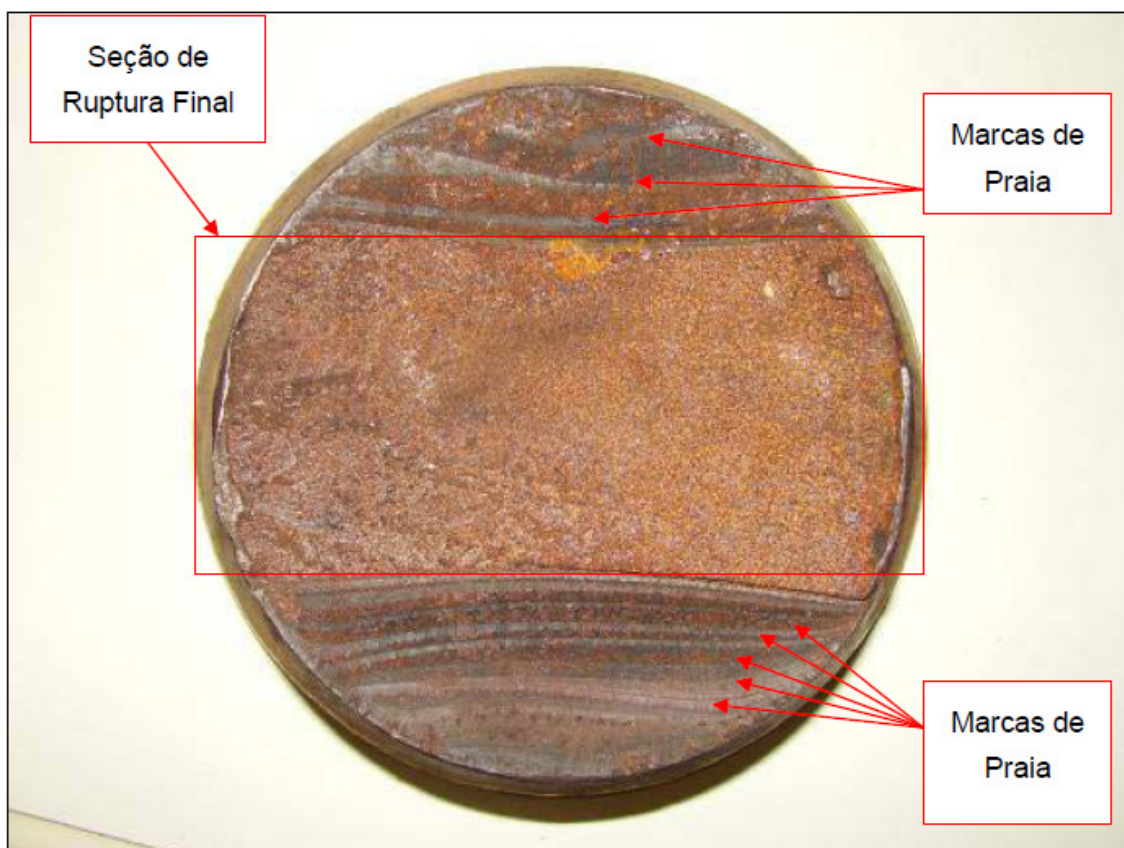


Figura 6. Superfície de fratura do pino.

4. VISITA À ÁREA PARA COLETA DE INFORMAÇÕES

O pessoal da manutenção da área informou que o pino que falhou faz parte de uma série de melhorias implementadas no Sistema de Desenformamento das MDC's. Essas melhorias foram implementadas em 2004, e o equipamento estava em operação desde essa data sem a ocorrência de falhas deste tipo.

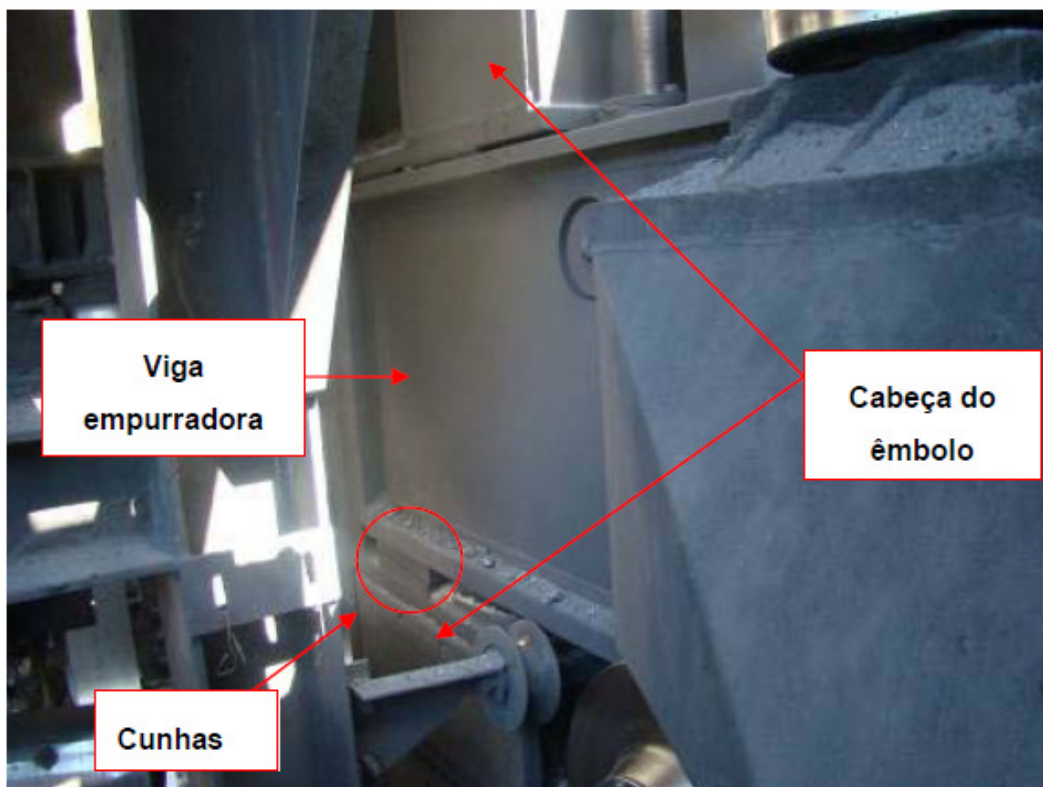


Figura 7. Cabeça do êmbolo montada na viga empurradora.



Figura 8. Porta de entrada de um forno da coqueria.

Durante a visita, o inspetor da área informou que frequentemente ocorre acúmulo de sedimentos (grafite) nas paredes do forno, e que esses sedimentos são retirados pelo êmbolo da MDC, causando assim esforços não previstos no projeto. Também foi possível observar que há folgas nas cunhas de fixação do pino. Esse fato é muito relevante para a análise, já que essas folgas fazem com que o pino absorva as cargas de flexão geradas no desenformamento, sendo que o mesmo não foi projetado para sofrer esse tipo de carregamento. A Fig. (7) mostra a cabeça do êmbolo montada na viga empurradora. O pino que falhou passa por dentro da viga e da cabeça, sendo fixado pelas cunhas, que também são mostradas na figura.

A Figura (8) mostra a entrada do forno, onde é possível observar a presença de material aderido à parede, o que causa esforços no conjunto não previstos no projeto. Esse material contribui para o aumento das cargas de flexão na cabeça do êmbolo. Como as cunhas que fixam a cabeça encontravam-se folgadas, esse esforço de flexão era transmitido para o pino. Isso reforça a hipótese de falha por fadiga devido à flexão reversa.

5. ANÁLISE QUÍMICA

O Método de Espectrografia foi usado para identificação da composição química de amostras retiradas do pino fraturado. O resultado da análise foi o seguinte:

Tabela 1. Composição química do pino fraturado.

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Al	% Cu	% Ni	% Cr	% Mo	% Sn
0,497	0,203	0,68	0,023	0,019	0,030	0,190	0,065	0,140	0,016	0,021

A composição química encontrada indicou um aço similar ao SAE 1045, conforme mostra a Tab. (2), que é o material especificado no projeto. Nota-se a presença de alguns elementos de liga, como cobre e cromo, porém em concentração baixa, o que indica ser um desvio de fabricação, sem maior influência nas propriedades do material.

Tabela 2. Composição típica do aço SAE 1045.

%C	%Mn	%P	%S
0,43-0,50	0,60-0,90	< 0,04	< 0,05

6. MICROGRAFIA ÓPTICA

As amostras foram cortadas, embutidas em Baquelite, lixadas, polidas e atacadas com uma solução de Nital a 2%. Após essa preparação, foram observadas ao microscópio, para identificação e avaliação da sua microestrutura.

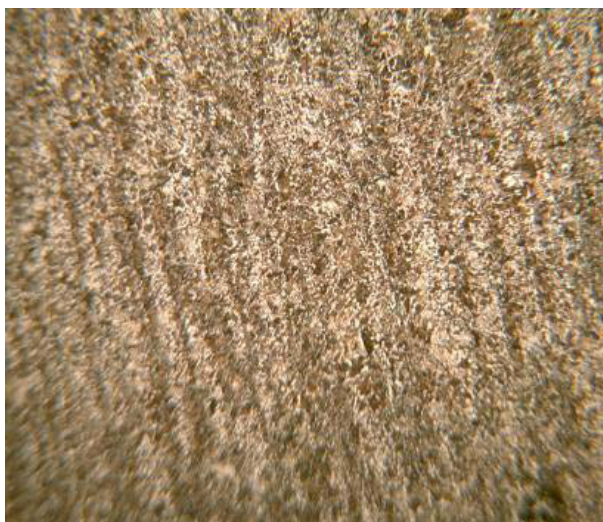


Figura 9. Microestrutura do pino fraturado (aumento 50x).

A microestrutura das amostras do pino foi observada tanto na seção transversal quanto na longitudinal. Na seção longitudinal, com aumento de 50 vezes, observa-se que os grãos estão alinhados em uma direção, conforme mostra a Fig. (9). Esse alinhamento indica que o material foi forjado antes de ser usinado, que é a melhor forma de fabricar peças desse tipo para obtenção de propriedades mecânicas superiores.

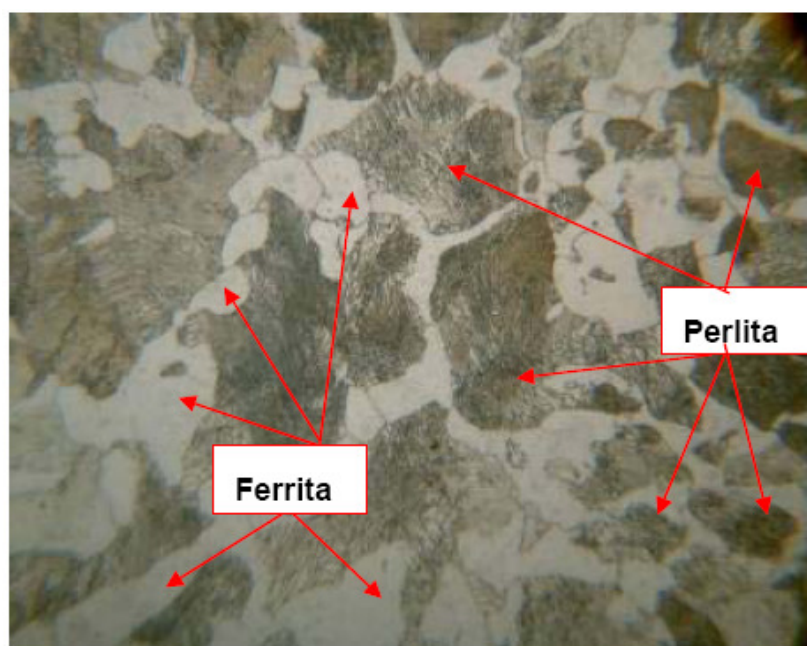


Figura 10. Microestrutura do pino fraturado (aumento 1000x).

Na seção transversal, utilizando um aumento maior (1000 vezes), observa-se que a microestrutura é composta de ferrita (parte clara) e perlita lamelar (parte escura), que é a microestrutura esperada para este tipo de aço. Isso pode ser observado na Fig. (10).

7. DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS RAÍZES

Com base nas observações realizadas, podemos concluir que o pino de fixação da cabeça do êmbolo da MDC falhou por fadiga devido à flexão reversa, em região de média concentração de tensão e carga de alta intensidade (altas tensões nominais). A principal evidência que permite essa conclusão é o aspecto macroscópico da fratura (ASM Metals Handbook, Volume 12, 1992). O mecanismo de fadiga foi causado pelo afrouxamento das cunhas de fixação do conjunto, que levou a transferência dos esforços de flexão para o pino, esforços esses não previstos no projeto. Dessa forma, a causa raiz da falha é o afrouxamento das cunhas de fixação do pino no conjunto.

8. RECOMENDAÇÕES DE MELHORIAS

Com a causa da falha identificada, podemos recomendar algumas melhorias para evitar a recorrência desse tipo de falha. Com base nas informações levantadas neste trabalho podemos citar as seguintes recomendações:

- Alterar o projeto do conjunto, melhorando o sistema de fixação dos componentes, para evitar a transferência de cargas de flexão para o pino;
- Eliminar ou reduzir a redução de diâmetro do pino entre os pontos de fixação, flange e cunhas, conforme mostra a Fig. (2). O objetivo é eliminar ou reduzir a concentração de tensão, isto evitaria ou reduziria a chance de haver fratura por fadiga;
- Modificar o material do pino de fixação da cabeça do êmbolo. A alteração do material do pino permite selecionarmos um material com melhor resistência à fadiga e melhor tenacidade à fratura.

No caso da alteração de material, recomendamos a troca do material do aço de SAE 1045 para SAE 4140, na condição temperado e revenido. A Tab. (3) mostra o limite de resistência e a tenacidade à fratura dos aços SAE 1045 e SAE 4140. O SAE 4140 possui mais resistência mecânica e maior tenacidade à fratura que o SAE 1045. Dessa forma, a trinca de fadiga demorará mais tempo para se iniciar e propagar, garantindo assim menor possibilidade de falha do componente. Vale observar que os valores do SAE 4140 são para a condição de temperado e revenido, que é a condição mais usual desse tipo de aço (ASM Metals Handbook, Volume 20, 1997).

Tabela 3. Comparação entre os aços SAE 1045 e SAE 4140.

TIPO DE AÇO	RESISTÊNCIA MECÂNICA [MPa]	TENACIDADE À FRATURA [MPa.m ^{1/2}]
SAE 1045	580~650	35~44
SAE 4140*	900~950	50~87
*Temperado e Revenido		

Além da troca do material, outra recomendação importante é aumentar a frequência de inspeção do conjunto, com o objetivo de identificar e corrigir as folgas das cunhas no menor tempo possível, evitando assim um menor período de exposição do pino às cargas de flexão causadas por essa folga. Como não há como estimar o tempo em que as outras máquinas operaram com as cunhas de fixação folgadas, é recomendado a troca preventiva dos pinos das mesmas, para evitar que a mesma falha ocorra nas outras MDC's.

A questão da alteração de projeto demanda maior tempo de estudo do equipamento, além de contatos com o fornecedor do mesmo, para avaliar essa possibilidade. Além disso, ocasionaria um tempo maior de parada do equipamento, para implantação do novo projeto. Também seria necessário avaliar o custo-benefício dessas modificações.

9. REFERÊNCIAS

- ASM Metals Handbook, Volume 11, **Failure Analysis and Prevention**, ASM International, 1 edition, 2002.
 ASM Metals Handbook, Volume 12, **Fractography**. ASM International, 2 edition, 1992.
 ASM Metals Handbook, Volume 20, **Materials Selection And Design**, ASM International, 1 edition, 1997.
 Callister, William D., **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**, 7. ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.
 Das, A. K., **Metallurgy of failure analysis**, 1 edition, New York: McGraw-Hill, 1997.
 Godefroid, Leonardo B., **Análise de Falhas**, São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia (ABM), Materiais e Mineração, 2005.