

METODOLOGIA DE ESTUDO DE CILINDROS ACIDENTADOS
NA ÁREA DE LAMINAÇÃO A FRIO⁽¹⁾

Paulo Sérgio Juste⁽²⁾

Vivek Brata Dutta⁽³⁾

Omar Silva Junior⁽⁴⁾

R E S U M O

Os acidentes com cilindros são inevitáveis em laminação, levando as indústrias siderúrgicas a desenvolverem pessoal e recursos para a sua análise. Este trabalho apresenta a metodologia adotada pela USIMINAS no estudo de cilindros acidentados, visando definir responsabilidades pelo acidente e proporcionar meios de atuação nas suas causas. Procura-se dar ênfase à importância das informações fornecidas pela área de laminação e controle, no desenvolvimento das investigações em laboratório.

-
- (1) - Trabalho a ser apresentado no XIV Simpósio da COLAM/ABM; Guarujá, SP; outubro de 1978.
- (2) - Membro da ABM. Técnico em metalurgia da Unidade de Pesquisa de Produtos do Centro de Pesquisas da USIMINAS; Ipatinga-MG.
- (3) - Membro da ABM. Engenheiro metalúrgico da Unidade de Pesquisa de Produtos do Centro de Pesquisas da USIMINAS; Ipatinga-MG.
- (4) - Membro da ABM. Engenheiro metalúrgico; Chefe da Seção de Laminação a Frio da USIMINAS; Ipatinga-MG.

1. INTRODUÇÃO

Ao se especificar determinado cilindro para um laminador, são feitos estudos cuidadosos das condições de trabalho, seleção de fabricante e análise de performance de cilindros similares em outros laminadores, buscando garantias para sua utilização. Todavia, apesar de todo o cuidado, acidentes ocorrem, acarretando perda de produção e, muitas vezes, perda total do cilindro. Tais acidentes podem ter origem tanto em falhas operacionais, quanto em deficiências de fabricação.

Estes fatos levam as indústrias siderúrgicas a desenvolverem pessoal e recursos, orientados para a análise do acidente, na procura de suas causas, proporcionando meios de atuação sobre elas.

Este trabalho apresenta a metodologia de estudo aplicada pela USIMINAS na definição de causas e responsabilidades, dando enfoque à importância dos dados de acompanhamento da "vida" de um cilindro, no desenvolvimento da investigação.

2. DESENVOLVIMENTO

Em laminação a frio, os cilindros de trabalho do trem contínuo atuam sob condições mais severas, recaindo sobre eles a grande maioria dos acidentes. Baseado nisto, este trabalho se orienta nestes cilindros, embora o procedimento de estudo possa ser estendido aos cilindros de encosto e laminador de encruamento.

2.1 - Tipos de Acidentes

Os acidentes com cilindros de laminação podem, em geral, ser assim agrupados:

- Desprendimento de pedaços (spalling)

- a - pequenas áreas na superfície da mesa (fig. 1);

- b - grandes áreas, desenvolvidas longitudinalmente ao comprimento da mesa (fig. 2);
 - c - grandes áreas, desenvolvidas circunferencialmente à mesa (fig. 3);
 - d - pequenas áreas nas bordas da mesa (fig. 4).
- Trincas
 - a - superficiais (fig. 5);
 - b - sub-superficiais (fig. 6).
 - Rupturas
 - a - na mesa (fig. 7);
 - b - no munhão (fig. 8).

2.2 - Análise do Acidente

Acidentes com cilindros de laminação são provocados, ou por anormalidades operacionais, ou por deficiências de fabricação, ou ainda por ambos. Desta forma, sua análise torna-se delicada, já que a conclusão do estudo pode ser atingida tanto de forma desfavorável à operação ou à fabricação. Estes aspectos exigem portanto uma análise imparcial, de modo que os verdadeiros motivos sejam definidos e sua correção procurada, a fim de se evitar repetições.

A análise de um acidente pode ser dividida em três etapas, designadas como:

- a) "in loco";
- b) Ensaio de laboratório;
- c) Interpretação dos dados.

A análise "in loco" registra o acidente e busca detalhes macroscópicos que orientem a análise de laboratório.

A cada dia, novos recursos são desenvolvidos e utilizados na inspeção de cilindros acidentados, dentre os quais, hoje, na USIMINAS podemos lançar mão de:

- LÍQUIDO PENETRANTE (color check) - O ensaio com líquido penetrante é realizado em toda superfície do cilindro, procurando revelar defeitos, principalmente trincas, não verificados diretamente.

- ULTRA-SOM - Este ensaio revela presença de defeitos internos, sua extensão e profundidade e muitas vezes, a profundidade da camada endurecida ou coquilhada. O ensaio em cilindros de ferro fundido requer maiores cuidados de forma a reconhecer interferências secundárias.

- ATAQUE ÁCIDO - Revela além de presença de trincas (com melhor resolução que o líquido penetrante), regiões termicamente afetadas. As soluções e sequência de ataque são diferentes para cilindros de aço e de ferro fundido.

- Cilindro de aço

1 - Limpeza da superfície

2 - Ataque por fricção com HNO_3 (50% em água) por 1 minuto

3 - Lavagem com água e secagem

4 - Ataque com HCl (50% em água)

5 - Lavagem com água e secagem.

- Cilindros de ferro fundido

1 - Limpeza com água fervente

2 - Secar rapidamente com ar quente

3 - Ataque por fricção com nital (10 a 15%) por 1 minuto

4 - Lavagem com água fervente e secagem com ar quente

Repetir os itens 3 e 4 no mínimo duas vezes

5 - Ataque por fricção com HCl (50% em água)

6 - Lavagem com água fervente e secagem com ar quente.

- DUREZA ESCLEROSCÓPICA - Revela variações de dureza na superfície e interior do cilindro.

Estes ensaios, conforme já foi dito, orientarão a análise em laboratório, a partir da amostragem.

- AMOSTRAGEM - Sempre que possível, a amostragem é dirigida para os pontos julgados origem do defeito. Nos casos de ruptura, os cilindros são também amostrados na superfície, sub-superfície e centro, sobre as faces da fratura.

- ENSAIOS - Algumas características básicas de um cilindro, como micro estrutura, distribuição de dureza e nível de inclusões são fixadas pelo fabricante. Assim, o primeiro passo da investigação em laboratório é checar estas propriedades através de

- microscopia ótica - a observação sem ataque metalográfico verifica a existência e classifica microtrincas, inclusões, porosidades e grafita, enquanto que a observação após o ataque revela a estrutura metalográfica do material, suas fases, forma e distribuição;

- microscopia eletrônica de varredura - permite a determinação do tipo de fratura, direção de propagação das trincas, presença de inclusões e porosidades e análise química pontual;

- análise de dureza - confirmação da dureza escleroscópica medida "in loco";

- em casos especiais, pode-se ainda contar com o apoio de microsonda eletrônica, difratômetro de raios X e análise química convencional.

É natural que tais recursos mencionados, e outros ainda, sejam aplicados ou não, em função de cada caso particular.

2.3 - Estudo dos Casos Particulares

2.3.1 - Desprendimento de pedaços "Spalling"

Este tipo de acidente, de características mostradas nas figuras 1, 2, 3 e 4, ocorre quando uma parte do cilindro desprende-se, geralmente durante operação, podendo ser provocado tanto por falhas operacionais quanto por deficiência de fabricação.

a) Devido à fabricação

- 1 - Existência de trincas por têmpera.
- 2 - Tensões residuais elevadas.
- 3 - Inclusões e porosidades em níveis elevados.
- 4 - Estrutura metalográfica inconveniente:
 - altos teores de austenita residual
 - carbonetos aciculares
 - grafita do tipo E.
- 5 - Camada endurecida ou coquilhada demasiadamente finas.

b) Devido à operação

- 1 - Ocorrências sucessivas de pequenos acidentes como deslizamento, colamento, etc.
- 2 - Chances de laminação muito prolongadas (especialmente em cilindros de encosto).
- 3 - Chanfros incorretos nas bordas da mesa.
- 4 - Retificações insuficientes após a chance de laminação.
- 5 - Trincas por acidentes não removidas totalmente na retífica.
- 6 - Trincas sub-superficiais nucleadas por tensão de cisalhamento durante acidente.
- 7 - Ocorrência de regiões termicamente afetadas, gerada por acidentes e não totalmente removidas pela retífica.

Definidas as razões mais prováveis para um "spalling", os dados que nos permitirão enquadrá-las nos casos específicos são

a - Ficha de controle do cilindro

Esta ficha descreve as retificações executadas, tonelagem laminada por utilização, as anormalidades ocorridas durante a vida do cilindro e sua localização e fornece outros dados que permitem a visualização da performance do cilindro.

A presença ou não de anormalidades operacionais anteriores a um "spalling" e as retificações executadas naquelas ocasiões , já permitem uma avaliação inicial a favor ou contra a operação ou a fabricação.

b - Resultados do ensaio por ultra-som

O ensaio de ultra-som define a existência ou não de trincas relacionadas com o "spalling" e, neste caso, a sua localização e profundidade.

Muitas vezes o levantamento do perfil de uma trinca dá uma indicação do local de sua nucleação, facilitando a amostragem para os ensaios de laboratório.

O ensaio de ultra-som pode revelar ainda a profundidade da camada endurecida ou coquilhada, fator este relacionado com a ocorrência de "spalling".

c - Ensaio com líquido penetrante

A iniciação para um "spalling" pode se dar na superfície ou no interior do cilindro. No primeiro caso, o fenômeno parte da nucleação, durante a operação, de uma trinca não removida posteriormente pela retífica. O ensaio com líquido penetrante permite a visualização de tais trincas e, neste caso, a análise da trinca é complementada pelo ensaio de ultra-som. A comprovação de iniciação do "spalling" na superfície do cilindro quase sempre elimina, do fabricante, a responsabilidade pelo acidente.

d - Microscopia ótica

A presença de anormalidades estruturais como inclusões, porosidades, carbonetos aciculares, alta porcentagem de austenita residual, grafita do tipo E, constituem zonas de acúmulo de tensões que podem originar o processo de "spalling". Estas informações podem ser obtidas pela análise metalográfica, a partir de uma amostragem conveniente.

e - Microscopia eletrônica de varredura

A análise das características das superfícies de ruptura, através da microscopia eletrônica de varredura permite muitas vezes a determinação da direção de propagação das trincas, fato este de grande importância para a definição do acidente.

Em alguns casos, o estudo das estriações de fadiga permite ainda a avaliação da época em que se iniciou o processo de "spalling" e com isto sua relação ou não com acidentes anteriores.

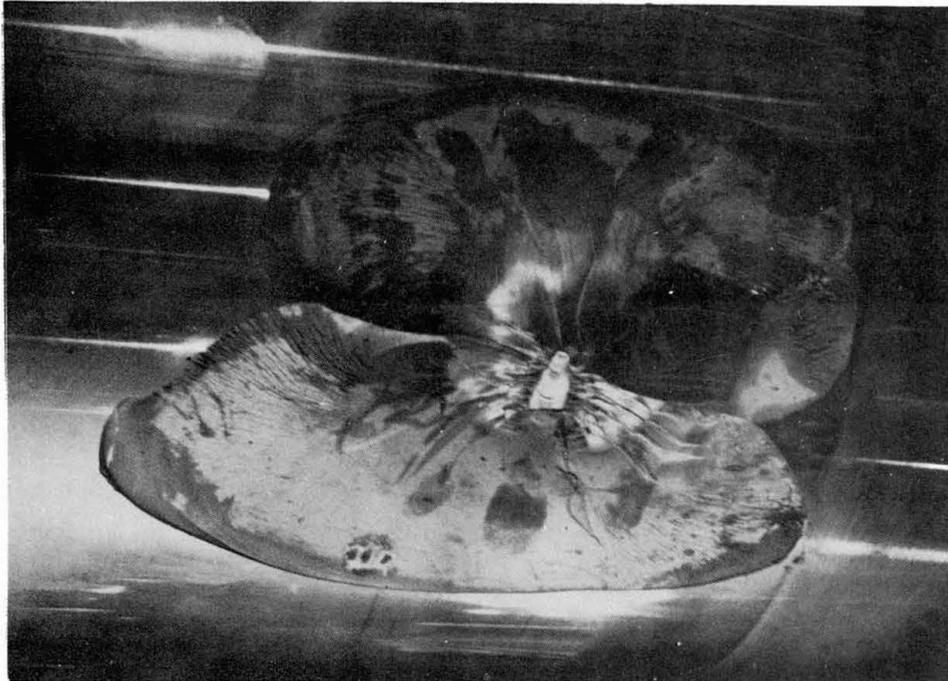


FIGURA 1 - "Spalling" de pequenas proporções. O ensaio de ultrassom não revelou extensão interna.

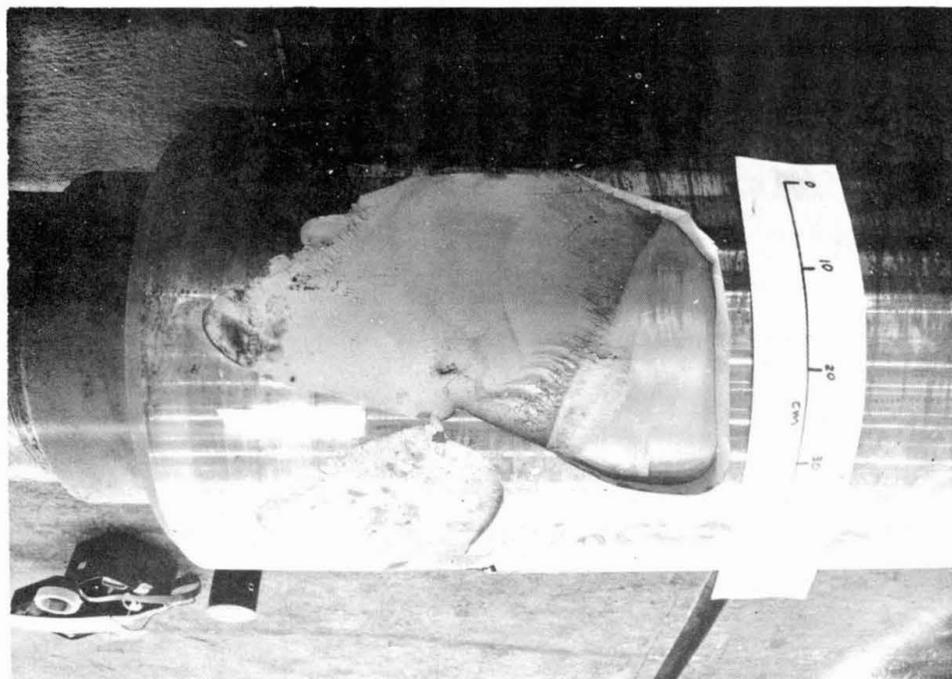


FIGURA 2 - "Spalling" de grandes proporções. O ensaio de ultra - som revelou regiões internas trincadas e não desprendidas.

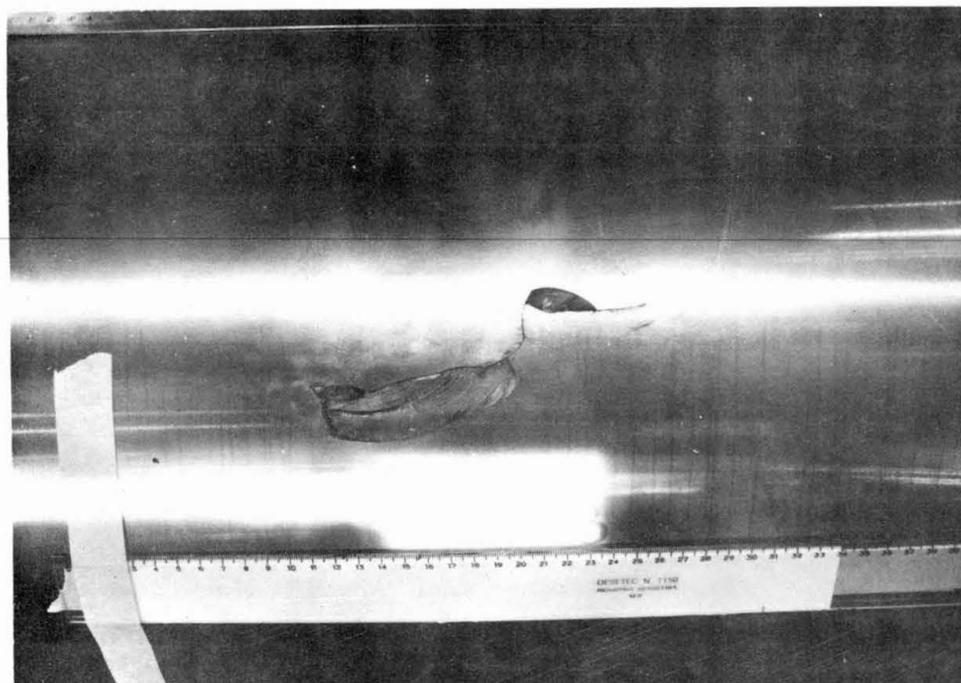


FIGURA 3 - "Spalling" de pequenas proporções. O ensaio de ultra - som revelou que a propagação se deu em faixa estreita, circundando o cilindro.

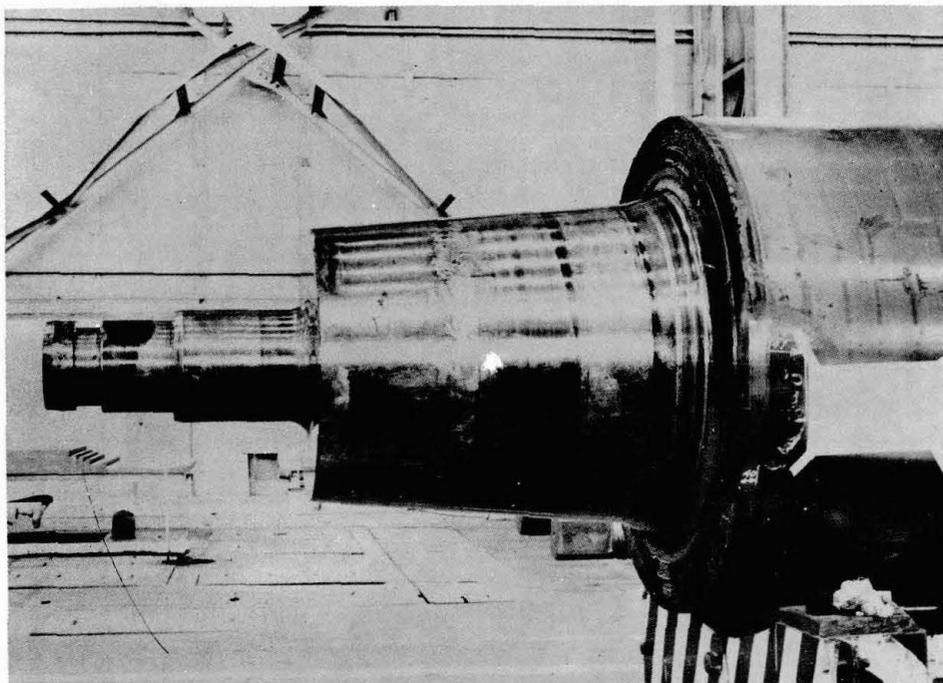


FIGURA 4 - "Spalling" de pequenas proporções na borda da mesa do cilindro.

2.3.2 - Trincas

As trincas, verificadas nos cilindros de laminação são superficiais ou sub-superficiais, conforme mostrado nas figuras 5 e 6. As primeiras são facilmente detectáveis a olho nu, através de líquido penetrante ou de ensaio ácido. Porém, as trincas sub-superficiais apresentam dificuldades, em alguns casos, para sua detecção e localização através de ultra-som. Desta forma, a ficha de controle do cilindro se constitui na ferramenta de estudo mais importante. Cilindros que tenham sofrido acidentes tais como colamento, sobrecarga, deslizamentos, devem após retífica, ser cuidadosamente inspecionados porque uma pequena trinca sub-superficial, quando não detectada pode provocar uma ruptura na mesa ou "Spalling". Torna-se portanto necessário que os cilindros tragam nas fichas de controle, um registro pormenorizado dos acidentes sofridos.



FIGURA 5 - Trinca nucleada na superfície do cilindro

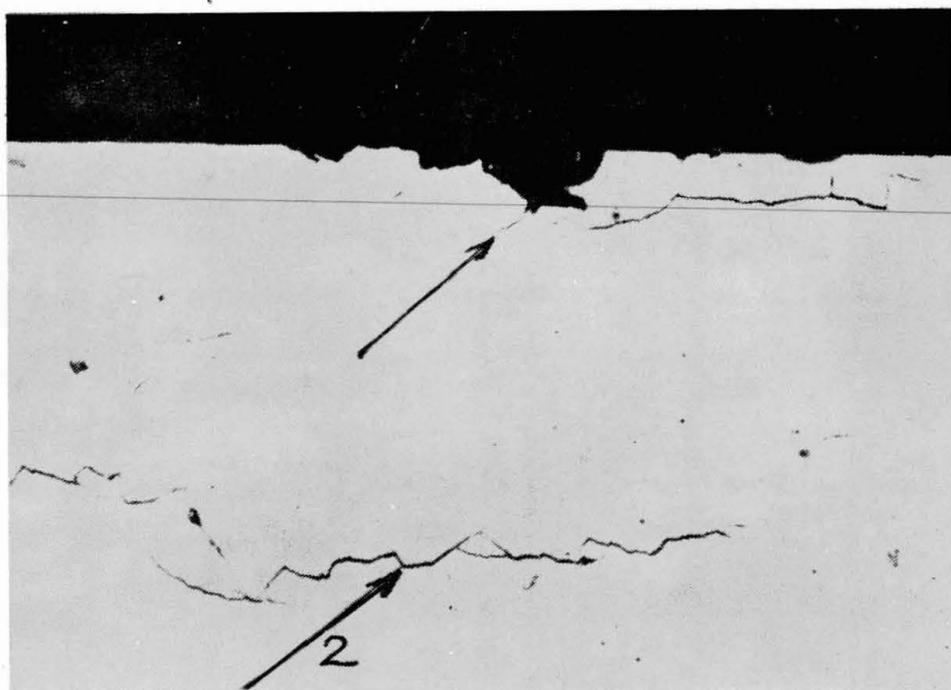


FIGURA 6 - Trinca nucleada sub-superficialmente.

2.3.3 - Rupturas

As figuras 7 e 8 exemplificam casos comuns de ruptura. Geralmente os cilindros que apresentam ruptura, seja no munhão, seja na mesa, têm seu estudo concluído de forma mais imediata, pelo número menor de hipóteses para justificar o acidente.

As razões para ruptura podem tanto se situar em deficiências na fabricação, quanto em falhas operacionais, e são rapidamente detectáveis pela análise da ficha de controle do cilindro e investigação metalográfica.

- Na fabricação

- a) elevada dureza no núcleo do cilindro;
- b) elevada profundidade da camada endurecida ou coquilhada;
- c) inclusões não metálicas e segregação no núcleo do cilindro;
- d) defeitos de fundição.

- Na operação

- a) sobre-carga;
- b) choques mecânicos.

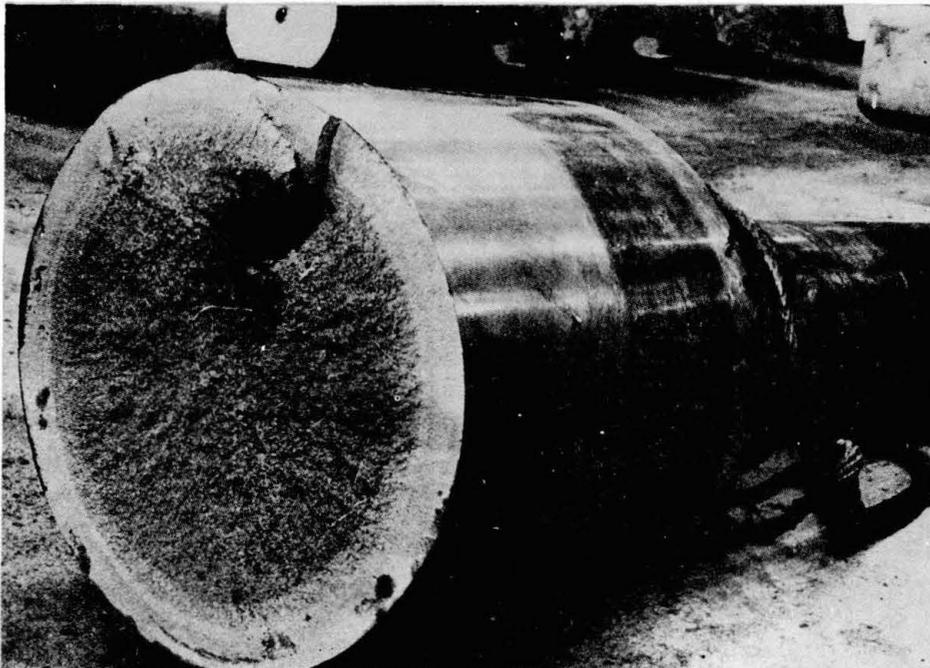


FIGURA 7 - Ruptura na mesa do cilindro provocada por defeito interno.

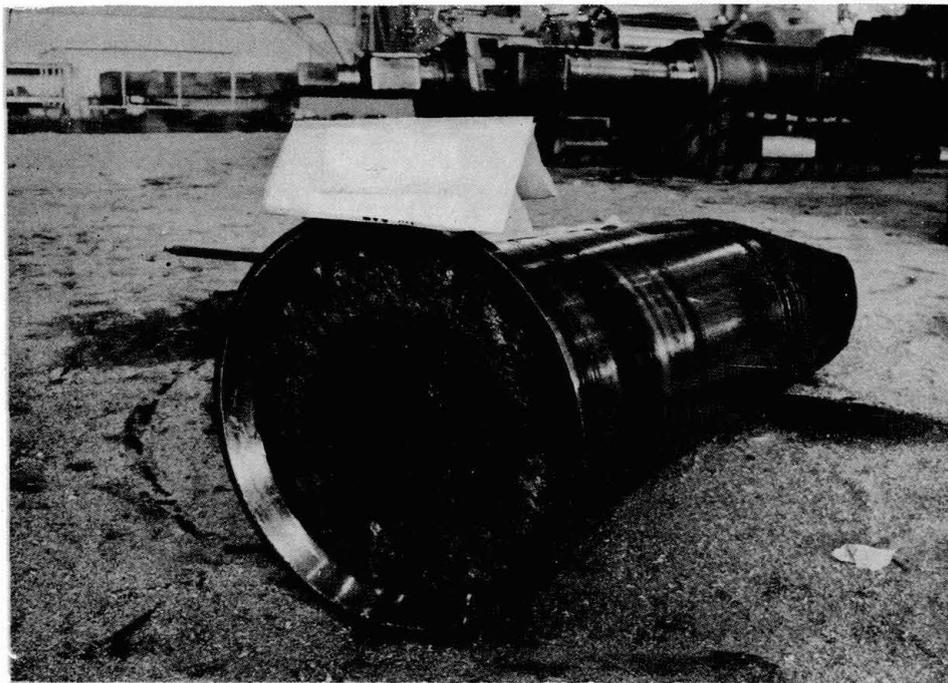


FIGURA 8 - Ruptura no munhão provocado por falha de operação.

3. IMPORTÂNCIA DA FICHA DE CONTROLE DOS CILINDROS

A metodologia de estudo descrita mostra que o registro de dados durante a "vida" do cilindro constitui fator essencial na definição das causas de um acidente; assim, torna-se necessário sua elaboração de forma mais completa e precisa possível.

Para que se possa manter um registro preciso, é fundamental estabelecer padrões que orientem a atuação sobre os cilindros, após acidentes operacionais e após chances normais de operação.

Acidentes operacionais como colamento, marcãs, etc. podem ter sua extensão de gravidade facilmente avaliadas e acompanhadas, através do uso correto dos ensaios com líquidos penetrante, ácidos e ultra-som, orientando os serviços de retífica e eliminando a possibilidade da relação destes acidentes com acidentes posteriores.

O registro de cada uma destas fases garante a posição do usuário perante o fabricante e facilita a investigação em laboratório.

4. EXEMPLO DE UM CILINDRO ESTUDADO

O cilindro em estudo trabalhava na 5ª cadeira do trem contínuo de laminação a frio, quando apresentou lascamento de grandes proporções, antes que atingisse 17% de sua vida útil. Além do lascamento verificou-se, em outra região, porém no mesmo diâmetro, uma pequena trinca longitudinal. O ensaio com líquido penetrante não revelou outras trincas. A figura 9 esclarece a situação superficial do cilindro.

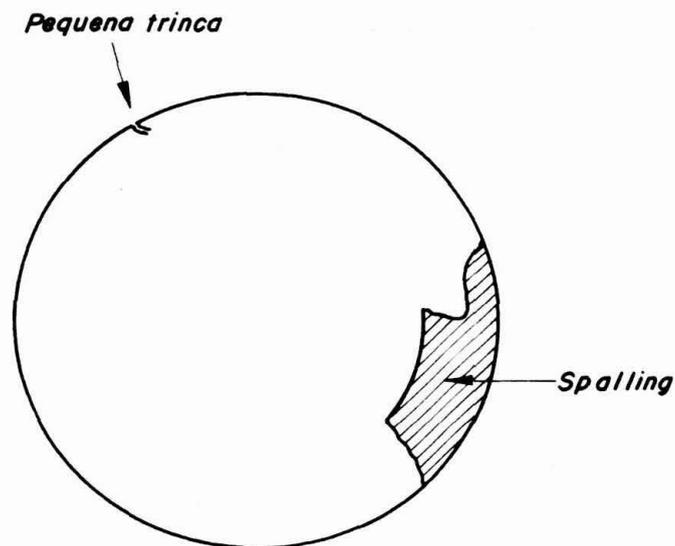


FIGURA 9 - Situação superficial do cilindro acidentado

O levantamento do perfil do desprendimento, feito por ultrassom, revelou-o contornando todo o cilindro, conforme mostra a figura 10.

Associando os aspectos mostrados nas figuras 9 e 10 pode-se elaborar uma primeira hipótese para a iniciação do desprendimento na superfície do cilindro, excluindo do fabricante a responsabilidade para o acidente. Mas, como a ficha de controle do cilindro não acusava nenhum acidente que pudesse ter provocado a trinca superficial e ainda, conhecendo o sentido de rotação do cilindro, o sentido de propagação da trinca deveria ser o contrário ao do hipoteticamente formulado, optou-se pela complementação do desprendimento através de rebaixamento do diâmetro com re

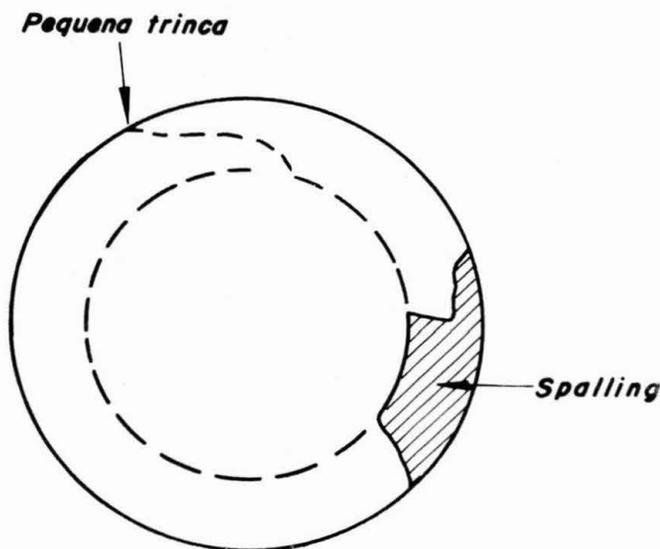


FIGURA 10 - Perfil do desprendimento levantado por ultra-som

tífica, faceando os contornos obtidos pelo ensaio de ultra-som . Verificou-se que o início do processo de fadiga deu-se não na superfície mas a aproximadamente 11 mm dela e em vários pontos próximos entre si. Estes pontos, analisados por microscopia eletrônica de varredura, apresentaram grandes aglomerações de carbonetos irregulares. As figuras 11 e 12 mostram pontos de iniciação da fadiga e o esquema de sua propagação.

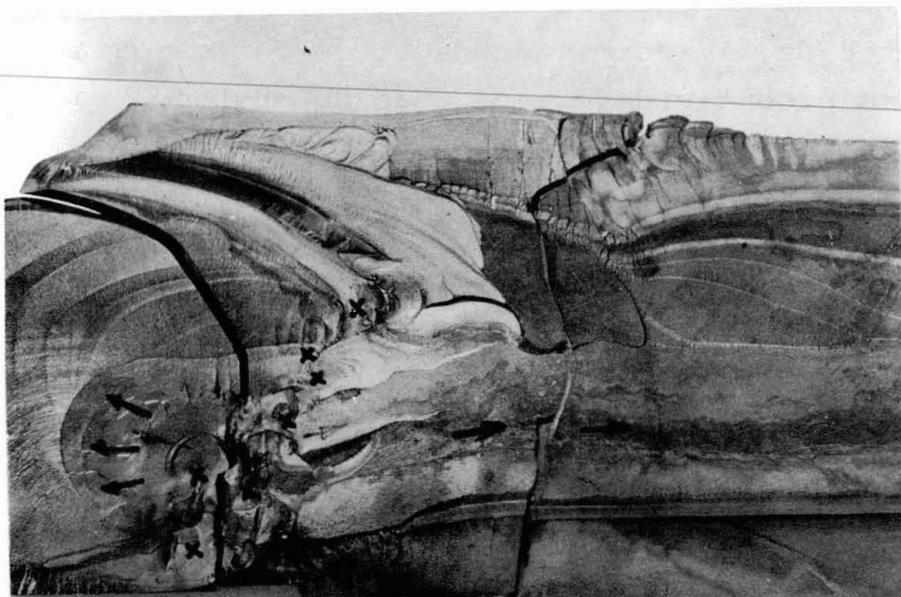


FIGURA 11 - Pontos de nucleação do processo de fadiga, a aproximadamente 11 mm de profundidade

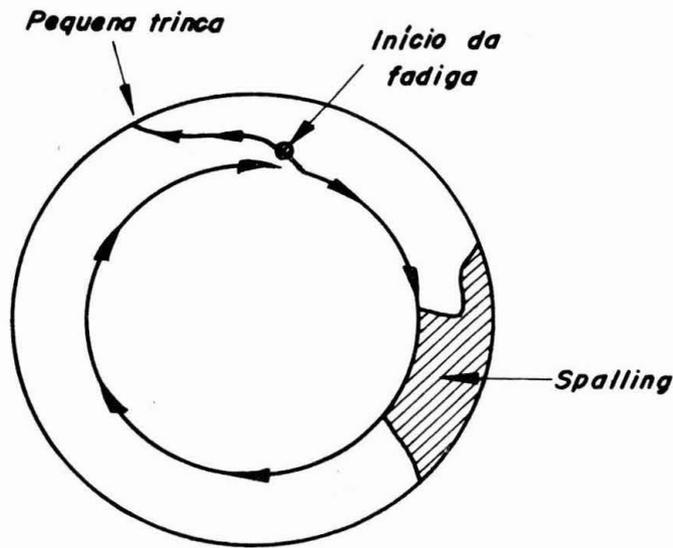


FIGURA 12 - Esquema de propagação da fadiga

5. CONCLUSÃO

A criação pela USIMINAS de uma equipe, envolvendo pessoal dos departamentos de Pesquisa, Metalurgia e Laminação, para estudo e inspeção de cilindros, tem trazido resultados altamente positivos, tanto na redução de acidentes, quanto nos contatos com fabricantes de cilindros nas decisões de responsabilidades, traduzidos em produtividade e redução de custos.