



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE INSPEÇÃO AUTOMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DE COLUNAS DE FORNOS DE REFORMA

Carlos Alberto S. Souza Jr.¹, Ivan Costa da Silva², João Marcos Rebello³, Tito Luiz Silveira⁴

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, carlos@metalmat.ufrj.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, ivanco@metalmat.ufrj.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, jmarcos@metalmat.ufrj.br

⁴ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, contato@tsec.com.br

Resumo – A inspeção não destrutiva de tubos de aço HP e HK vem ao encontro da necessidade básica de prevenir falhas catastróficas nestes tubos, pois, os métodos tradicionais de monitoramento tem fundamentos meramente empíricos e ainda não possuem uma correlação muito efetiva com os fenômenos físicos envolvidos. Uma das técnicas estudadas para este fim é o ensaio por correntes parasitas. Porém, a alta sensibilidade do ensaio às alterações metalúrgicas apresentadas pelo material se colocam como um contratempo, tornando a análise dos sinais extremamente difícil. A fim de facilitar a avaliação das colunas, os autores desenvolveram um sistema de inspeção automática por correntes parasitas. Neste trabalho, é avaliado o uso do sistema para obter informações a respeito do grau de envelhecimento do material e ocorrência de descontinuidades nos tubos.

Palavras-chave: Correntes parasitas; aço HP; fornos de reforma

Abstract – The Eddy Current Test (ECT) inspection is usually an alternative to the techniques used for the inspection of tubes of HP and HK steel. Although Eddy Current Test inspection have been routinely used in these tubes, the evaluation of the signals is very difficult. Consequently, a new furnace tube inspection system has been developed, allowing to automate the inspection, reconstitute images and recognize how damaged the tube is. This work evaluates the efficiency of the system both in flaw detection and aging evaluation of the tubes.

Keywords: Reformer furnace, Eddy currents, HP steel

1. Introdução

Fornos de reforma são responsáveis pela conversão de uma mistura de hidrocarbonetos, vapor e, eventualmente, CO_2 num gás de processo rico em hidrogênio, na presença de catalisadores. As reações se processam no interior de colunas de reforma dispostas em paralelo na câmara de radiação desses fornos, como ilustrado na Figura 1. A pressão de trabalho é essencialmente constante durante a operação, variando conforme a tecnologia do processo entre 10 e 40kgf/cm². As reações de reforma são endotérmicas. Sua atividade requer temperaturas entre 750 e 900°C, do que resultam temperaturas máximas de pele em torno de 1000°C. As colunas de reforma são fundidas por centrifugação em aços inoxidáveis austeníticos das famílias HK e HP. As composições básicas são 25Cr; 20Ni; 0,4C e 25Cr; 35Ni; 0,4C, respectivamente. Essas composições são freqüentemente modificadas pela adição de outros elementos de liga, segundo tecnologia própria dos fabricantes das colunas.

A temperatura de parede ao longo das colunas se eleva a partir da entrada da carga em seu topo, tipicamente entre 420 a 500°C, alcança o valor máximo em torno de 1000°C e se reduz na extremidade inferior, já fora da câmara de radiação, para cerca de 830°C. Os aços das famílias HK e HP, quando expostos a temperaturas elevadas, apresentam transformações microestruturais similares e características para determinadas faixas de temperatura. O processo de envelhecimento se caracteriza pela precipitação de compostos intermetálicos na matriz, principalmente carbonetos, e pelo coalescimento das fases presentes. Na avaliação das colunas, costuma-se separar esta evolução microestrutural em 6 estados, sendo o Estado I referente ao tubo não envelhecido e o estado VI ao tubo mais envelhecido. Em termos práticos, essas modificações são fracamente dependentes da duração da exposição, uma vez que as microestruturas se estabilizam em alguns poucos milhares de horas, diante de um tempo de serviço dezenas de vezes maior.

As severas condições de operação fazem com que a vida útil das colunas de reforma seja limitada por mecanismos de acumulação de dano, destacando-se entre eles a fluência, com a conseqüente nucleação de trincas no interior da parede. Os materiais utilizados na fabricação das colunas apresentam elevado teor de carbono, justamente para conferir resistência a esse mecanismo.

O objetivo do presente trabalho é demonstrar o potencial do ensaio de correntes parasitas como ferramenta para classificar de modo não destrutivo o Estado de Envelhecimento e para identificar a presença de trincas no interior da parede de colunas de reforma. A dificuldade para interpretação dos resultados desse ensaio é contornada através de um sistema automático de análise que digitaliza e trata o sinal colhido do aparelho de correntes parasitas. Devidamente calibrado, esse sistema é capaz de informar ao usuário o Estado de Envelhecimento do material, assim como a eventual presença de descontinuidades internas mediante a construção de imagens tridimensionais. Espera-se que este sistema venha a se constituir numa ferramenta eficaz para a avaliação de integridade das colunas de reforma inspecionadas periodicamente durante paradas regulares de manutenção, contribuindo assim para elevar a confiabilidade operacional desses equipamentos.

2. Ensaio por Correntes Parasitas

Experimentos mostram que a impedância de uma bobina atravessada por uma corrente alternada, colocada próxima a um material condutor, é modificada pelo surgimento de correntes parasitas no material. A presença de descontinuidades neste material pode causar uma perturbação nas correntes parasitas e, conseqüentemente, uma variação na impedância da bobina, isto é, a bobina “sente” a presença da descontinuidade. A medição destas variações de impedância são a base do ensaio por correntes parasitas.

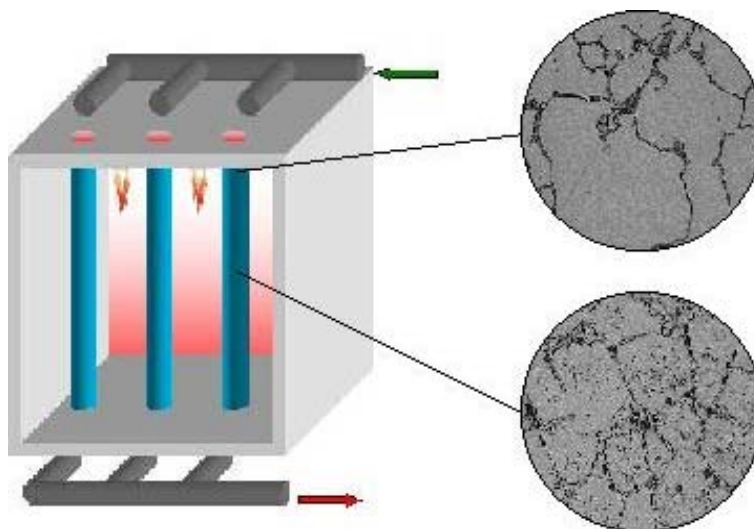


Figura 1. Esquema de funcionamento de um forno de reforma

3. Desenvolvimento do Sistema Automático

A fim de avaliar a integridade estrutural das colunas de fornos de reforma, foi desenvolvido um sistema de inspeção automática que adquire sinais a partir do aparelho de correntes parasitas e controla um dispositivo de varredura. A sonda é colocada num dispositivo mecânico que usa motores de passo para movê-la sobre o tubo. O software desenvolvido para o sistema controla o dispositivo, adquire os sinais do aparelho de correntes parasitas e relaciona, a cada região do tubo, as componentes X e Y do sinal, carregando estes valores numa matriz.

Ao fim do ensaio, a matriz contendo as informações relativas à posição da sonda e às amplitudes dos canais X e Y pode ser exportada para um software comercial, possibilitando o uso de ferramentas matemáticas na avaliação da coluna. As rotinas desenvolvidas para o sistema são capazes de extrair parâmetros do sinal e reconstruir em 3D a superfície inspecionada. O esquema da Figura 2 ilustra o funcionamento do sistema.

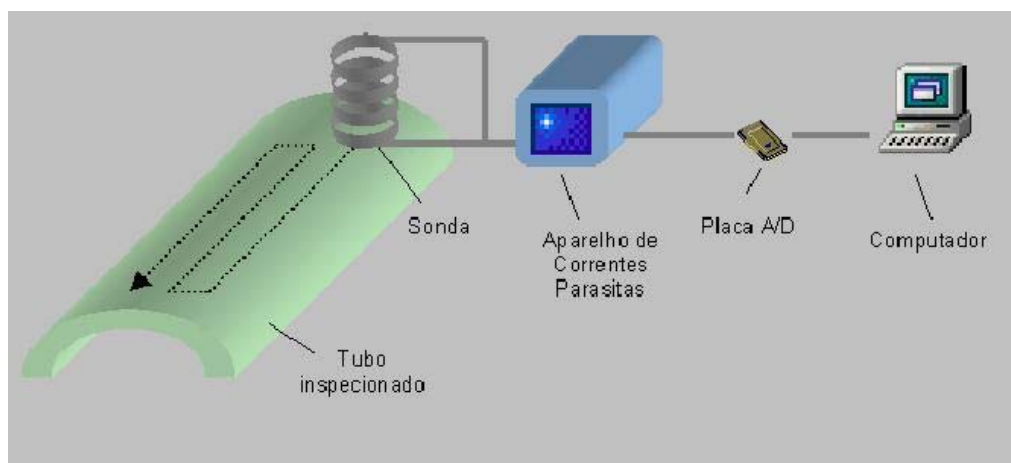


Figura 2. Esquema do sistema montado pelo LABOEND

4. Resultados

4.1. Detecção de Descontinuidades

Na calibração do sistema para a detecção de descontinuidades, utilizou-se um tubo de aço HK, com 15mm de espessura de parede. Foram feitos 4 entalhes por eletro-erosão com profundidades de 10mm, 7mm, 5mm e 3mm, a partir da superfície interna do tubo. Dada a profundidade dos entalhes, foram utilizadas baixas frequências na inspeção (aproximadamente 6kHz). Ainda assim, não foi possível detectar o entalhe de menor profundidade (3mm). A presença das demais descontinuidades, todavia, se torna bastante evidente através da adoção de uma escala de cores, como mostrado na Figura 3.

4.2. Classificação Segundo o Estado de Envelhecimento

Para avaliar a habilidade do sistema de análise de sinais de correntes parasitas na classificação do Estado de Envelhecimento, foram extraídas amostras metalográficas de três colunas de reforma fabricadas em aço de composição básica HK, uma delas nova e as demais desativadas após operação sob diferentes temperaturas. As microestruturas correspondentes acham-se apresentadas na Figura 4.

Os tubos foram então inspecionados pelo sistema e os sinais digitalizados foram montados numa única matriz e exportados para um software comercial, com o qual se calculou a média e a variância de cada linha da varredura. Estes pontos foram utilizados como entrada para uma rotina "c-means", que se destina à localização de agrupamentos. Pediu-se que o algoritmo separasse os pontos em três classes, que corresponderiam às três condições estudadas.

A Figura 5 mostra o resultado desta análise: os pontos vermelhos correspondem ao Estado de Envelhecimento IV, os verdes ao Estado de Envelhecimento V e os pontos azuis ao Estado de Envelhecimento I. Os centróides de cada agrupamento estão em preto. Esses testes apresentam um erro médio de 7,93%.

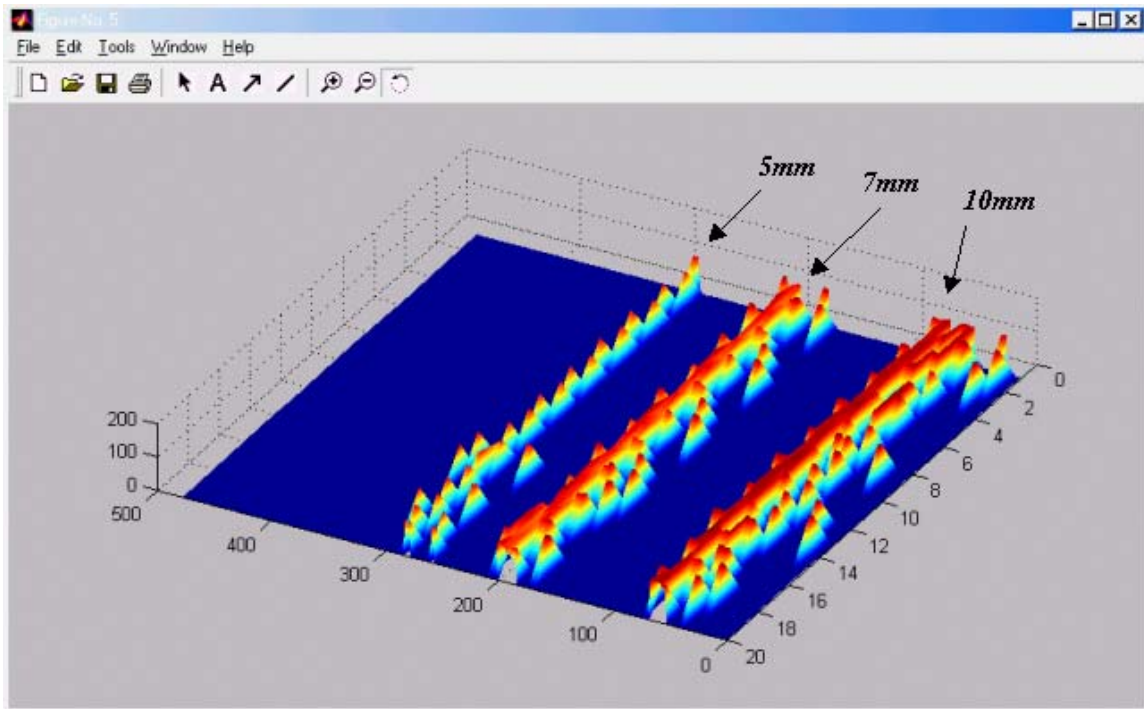


Figura 4. Imagem referente à inspeção de um tubo de aço HK contendo entalhes. De modo a facilitar a visualização das discontinuidades, a imagem foi processada para suprimir os ruídos.

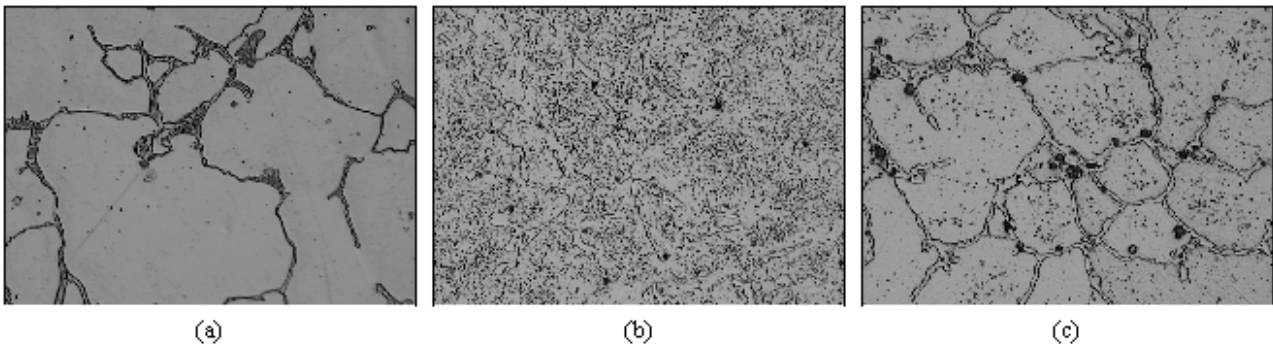


Figura 5. Micrografias das amostras submetidas ao ensaio por correntes parasitas. (a) Material novo, no Estado de Envelhecimento I; (b) Padrão intermediário entre os Estados de Envelhecimento III e IV; (c) Estado de Envelhecimento V. Material HK40, seção transversal, ataque por água régia saturada com CuCl_2 . Aumento 200 vezes.

5. Conclusões

Os resultados apresentados mostram que o tratamento digital proposto para o sinal de correntes parasitas é promissor, tanto no que se refere à identificação da presença de discontinuidades internas como na classificação do Estado de Envelhecimento das colunas de reforma.

Espera-se que o sistema, depois de plenamente desenvolvido, constitua uma ferramenta para a avaliação da integridade estrutural de colunas de fornos de reforma passível de aplicação em campo durante as inspeções periódicas às quais esses equipamentos são submetidos.

6. Agradecimentos

Os autores Carlos Alberto S. Souza Jr., Ivan Costa da Silva e João Marcos Rebello agradecem à Agência Nacional de Petróleo pelo apoio financeiro ao trabalho através da FINEP e à equipe do LABOEND pela cooperação técnica.

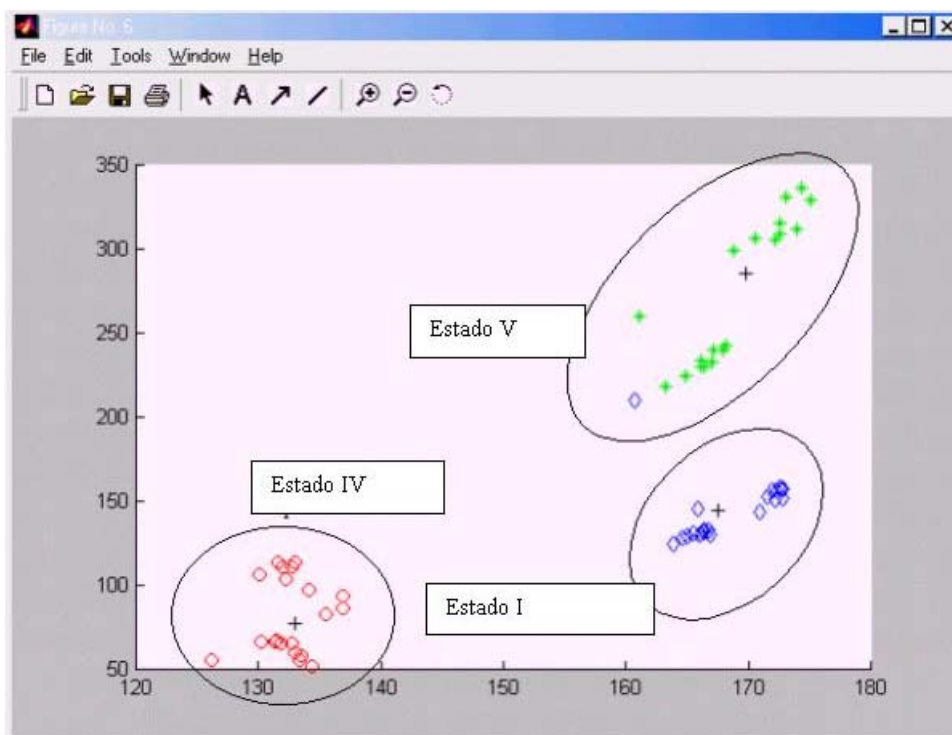


Figura 6. Identificação do Estado de Envelhecimento de três amostras distintas após a análise por lógica fuzzy.

7. Referências

- DUNLOP, G.L., TWIGG, R.G., TAPLIN, M.R. Creep fracture and residual life prediction of a petrochemical furnace tube steel. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, v. 7, p. 152-160, 1978.
- SILVEIRA, T.L. et al. Métodos para avaliação da vida remanescente de tubos catalíticos em fornos de reforma. In: 1o SIBRAT - Simpósio Brasileiro Sobre Tubulações e Vasos de Pressão, 1980. Salvador, Brasil. Anais... Salvador : 1980. v. 1, p. 35-49.
- BEZERRA, A.F. et al. Danos acumulados em serviço por tubulações de fornos de reforma e pirólise. In: 4o SIBRAT - Simpósio Brasileiro Sobre Tubulações e Vasos de Pressão, 1986. Salvador, Brasil. Anais... Salvador : 1986. v. 2, p. 415-433.
- BARBARELA, G.D., ALMEIDA, L.H., SILVEIRA, T.L. Phase Characterization in Two Centrifugally Cast HK Steel Tubes. *Materials Characterization*, v. 26, p. 1-7, 1991.
- FERREIRA, N.A.M. Avaliação de danos em colunas de fornos de reforma catalítica. In: DETEDAM - Encuentro Internacional de Deteccion Y Evaluacion de Daños en Componentes Mecanicos de Equipos Industriales, 1992. Montevideú, Uruguai. Anais... Montevideú : 1992. p. 255-267.
- SILVA, A.T. et al. Detecção e avaliação de danos em colunas de fornos de reforma e de pirólise por ensaios não destrutivos. In: PREV 95 - Conferência Internacional Sobre Prevenção de Perdas em Equipamentos e Sistemas Industriais, 1995. São Lourenço, Brasil. Anais... São Lourenço : 1995. p. 85-88.
- MARTINS, M.V.M. et al. Avaliação da integridade estrutural das colunas de fornos de reforma e de pirólise. In: 22º Seminário de Inspeção de Equipamentos, 1996.
- LE MAY, I., SILVEIRA, T.L., VIANNA, C.H. Criteria for the evaluation of damage and remaining life in reformer furnace tubes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, v. 66, p. 233-241, 1996.
- SILVEIRA, T.L., LE MAY, I. Damage assessment and management in reformer furnaces. *Journal of Pressure Vessel Technology*, v. 119, p. 423-427, 1997.
- de Equipamentos, 1996.