



EQUIPAMENTO DE INSPEÇÃO AUTOMÁTICA DE CILINDROS DE GASES INDUSTRIAIS

Julio Cezar Adamowski

Celso Massatoshi Furukawa

Flávio Buiochi

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello de Moraes 2231, 05508-900, São Paulo, SP. Email: jcadamow@usp.br

RESUMO: *Esse trabalho descreve o desenvolvimento de um equipamento destinado à automação da inspeção periódica de cilindros de gases industriais. Essa inspeção tem como objetivo identificar e classificar os defeitos, permitindo a retirada de circulação de cilindros que tenham a segurança comprometida. A inspeção feita por ultra-som visa detectar e quantificar os defeitos, internos e externos, relacionados à diminuição de espessura provocados por corrosão e rachaduras. O equipamento é composto por um dispositivo de varredura que gira o cilindro a ser inspecionado e movimenta linearmente ao longo do cilindro um cabeçote contendo cinco transdutores de ultra-som. Quatro dos transdutores são angulares e destinam-se à detecção de rachaduras longitudinais ou transversais. O quinto é normal e mede a espessura da parede do cilindro. O acoplamento acústico entre os transdutores e a parede externa do cilindro é feito através de um filme de água contendo óleo solúvel. O equipamento apresenta um dispositivo de auto-calibração para verificar se todos os transdutores estão operando corretamente no início de cada inspeção. São apresentados os detalhes técnicos do equipamento e resultados experimentais obtidos na inspeção de um cilindro. O projeto do equipamento foi desenvolvido dentro do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PADCT/FINEP, em parceria com uma empresa especializada em inspeção que está atualmente testando tal equipamento.*

Palavras-chave: *Ultra-som, Ensaios não-destrutivos, Inspeção automática, cilindros de gás.*

1 INTRODUÇÃO

Os cilindros para gases de alta pressão são largamente utilizados nos mais diversos ambientes da sociedade, como indústrias, hospitais, consultórios médicos, oficinas mecânicas, laboratórios, bares, restaurantes, etc. Armazenando e transportando gases sob alta pressão, os cilindros circulam no cotidiano urbano e industrial e qualquer acidente pode implicar em perdas materiais e, não raro, de vidas humanas.

Normalmente, a cada cinco anos, os cilindros são retirados de operação e submetidos a um conjunto específico de testes de requalificação. Uma vez aprovado nesses testes, o cilindro é liberado para um novo período de uso. Os critérios de aceitação estão descritos em norma técnica da ABNT [1]. Os testes visam a identificação de defeitos grosseiros, como danos na pintura, na válvula, mossa devido a pancadas, ou mesmo a presença de rachaduras superficiais e a ocorrência de queimaduras ou soldas localizadas. Os métodos convencionais utilizados são: inspeção visual interna/externa, teste com martelo e teste hidrostático. Estes testes possuem deficiências intrínsecas para o controle da integridade estrutural dos cilindros. Primeiramente, os resultados dos ensaios dependem da habilidade do operador. O teste do martelo, por exemplo, exige uma atenção e um discernimento muito grande do operador. A batida do martelo deve ser aplicada com uma determinada intensidade, bem como a distinção entre o ruído de um cilindro bom e de outro ruim é muito tênue. O mesmo acontece com a inspeção interna onde o operador analisa um grande número de cilindros por dia, com difícil acesso visual e submetido à luz brilhante de uma lâmpada.

A ineficiência dos métodos convencionais e os elevados custos envolvidos têm motivado as indústrias a procurarem soluções alternativas a estes métodos. Nos Estados Unidos da América do Norte (EUA), os primeiros equipamentos de inspeção automática começam a ser utilizados [2], especialmente os baseados nos métodos ultra-sônicos e de emissão acústica [3]. Esses equipamentos tornam as indústrias mais competitivas, principalmente em função da redução de custos operacionais e do aumento da confiabilidade dos cilindros.

Os defeitos mais comuns são rachaduras, internas ou externas, diminuição de espessura interna devido à corrosão e mossa. Os defeitos externos e as mossa geralmente podem ser identificados através de inspeção visual. Os defeitos internos são de difícil identificação e, nos procedimentos convencionais, essa identificação é feita manualmente com inspeção por ultra-som. Esse tipo de inspeção pode ser automatizado por meio de dispositivos para movimentar o cilindro e os sensores.

Para inspecionar de forma automática cilindros de gases industriais foi desenvolvido um equipamento computadorizado que executa a varredura da superfície externa do cilindro com um cabeçote contendo transdutores de ultra-som. Os transdutores de ultra-som medem a espessura da parede do cilindro e detectam rachaduras longitudinais e transversais.

2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento é composto por um dispositivo de varredura que gira o cilindro a ser inspecionado e movimenta linearmente um cabeçote contendo cinco transdutores de ultra-som, ao longo do cilindro, como mostrado no desenho esquemático da figura 1. Quatro dos transdutores, com frequência de 5 MHz, são posicionados com um ângulo de 20,5° em relação à normal à superfície do cilindro, produzindo uma onda transversal com ângulo de 50° no aço. Esses transdutores destinam-se à detecção de rachaduras longitudinais ou transversais, externas ou internas. Rachaduras com 0,4 mm de largura e 0,4 mm de profundidade são detectadas. O quinto transdutor é longitudinal, com frequência de 10 MHz, e mede a espessura da parede do cilindro com resolução de 0,06 mm. O acoplamento acústico entre os transdutores de ultra-som e a parede externa do cilindro é feito por um líquido que preenche uma cavidade no cabeçote de inspeção.

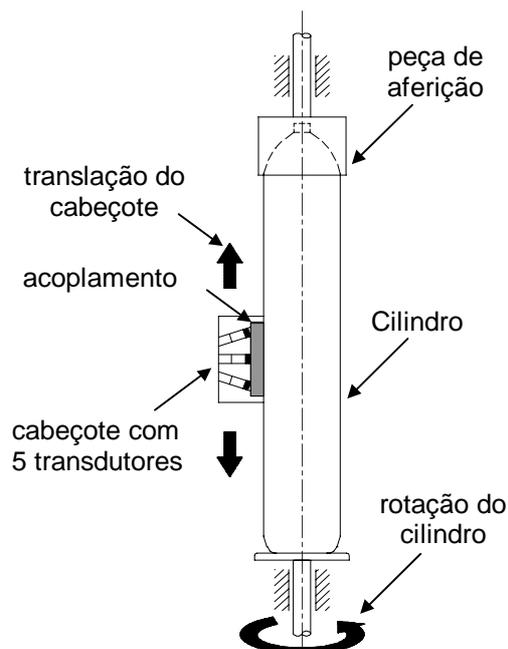


Figura 1: Dispositivo de varredura

Cada transdutor é controlado por um circuito dedicado que mede os tempos de trânsito dos ecos. O dispositivo de varredura é controlado por um microcontrolador PIC 16C74 que também efetua os disparos dos transdutores e está interligada a um microcomputador padrão PC, que implementa a interface com o usuário, como mostrado no diagrama de blocos da figura 2. O cilindro gira com rotação constante, através de um dispositivo acionado por um motor de indução. A velocidade típica de rotação é de 2 rps. A varredura axial é feita por um mecanismo de movimentação linear constituído por guias lineares e um fuso com castanha de esferas recirculantes, acionado por um motor de passo. A velocidade de varredura axial é selecionada de acordo com a resolução desejada, podendo variar de 2 a 10 mm/s. O líquido de acoplamento é suprido por uma pequena bomba hidráulica e recircula através de um tanque de captação na parte inferior do equipamento. Este equipamento apresenta um dispositivo de auto-calibração montado acima do cilindro a ser inspecionado. A cada inspeção, o equipamento pode verificar se todos os transdutores estão operando corretamente, utilizando a peça de aferição.

A espessura da parede é calculada a partir da medição do tempo decorrido entre o eco da parede externa e o eco da parede interna, conhecendo-se a velocidade de propagação no aço. O eco da parede interna tem uma amplificação de 45 dB em relação ao eco da parede externa. A medição de tempo é feita através de um contador com *clock* de 50 MHz.

Para detectar uma rachadura, verifica-se a existência de um eco dentro de uma determinada janela de tempo. Se ocorrer um eco nesta janela de tempo, este refere-se a uma rachadura. Caso contrário, se não ocorrer um eco na janela de tempo, não há rachadura.

Os dados são transferidos ao PC via acesso direto à memória (DMA - *direct memory access*), devido à grande quantidade de dados e à elevada taxa de aquisição.

O usuário pode programar a inspeção utilizando *mouse* e teclado e visualizando o painel do equipamento no monitor do PC. O painel apresenta controles, tais como: resolução da varredura, início e fim de varredura, calibração, etc. Os resultados são apresentados no monitor do PC em forma de uma matriz de pontos coloridos. Numa das telas, a espessura é

representada por 256 cores. Numa outra tela as rachaduras são representadas por 4 cores, uma para cada transdutor angular.

O usuário pode delimitar a região de inspeção através da programação de início e fim de varredura axial e pode também aumentar ou diminuir as resoluções axial e radial. Existem sensores fim de curso que evitam o choque entre o cabeçote e o equipamento.

Uma rotina de auto-diagnóstico verifica o funcionamento dos acionamentos dos movimentos radial e axial, o funcionamento de cada um dos cinco transdutores, a circulação do líquido de acoplamento, etc., mostrando na tela as condições de operação do equipamento.

O equipamento é composto por uma estrutura que suporta o dispositivo de varredura onde o cilindro é posicionado manualmente e um gabinete contendo o controlador do equipamento. A estrutura tem uma proteção de acrílico para evitar o respingo de líquido de acoplamento para fora do equipamento.

O cilindro a ser inspecionado mede 1300 mm de altura, 230 mm de diâmetro e tem massa de aproximadamente 60 kg. A espessura da parede é em torno de 7mm.

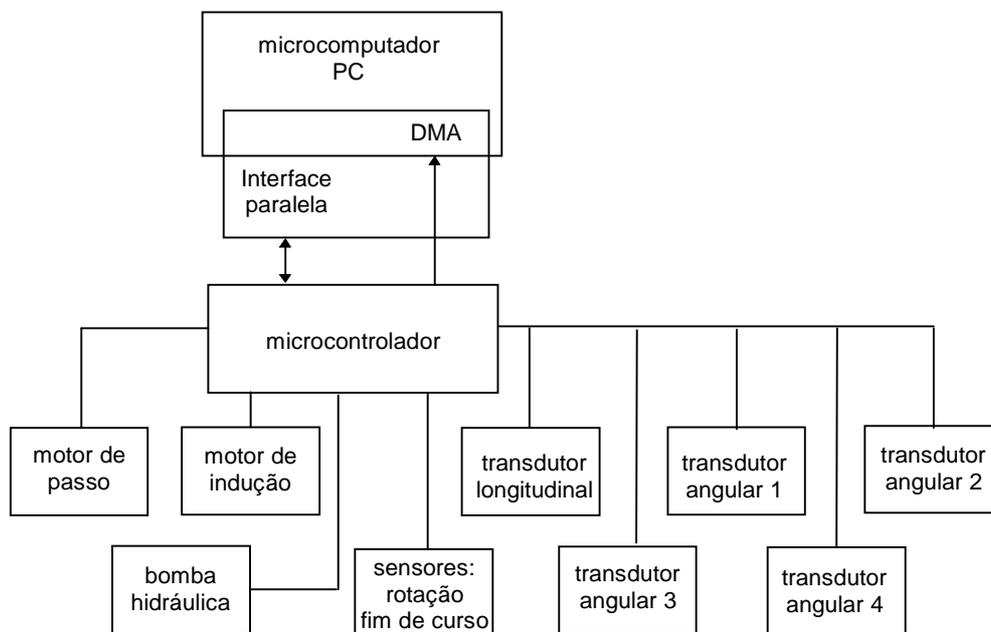


Figura 2: Diagrama de blocos da eletrônica do equipamento de inspeção automática

3 TESTES DO EQUIPAMENTO DE INSPEÇÃO

Foram realizados testes preliminares de funcionamento do equipamento de inspeção. Foram testados o sistema de varredura e o sistema de acoplamento acústico. Verificou-se que os cilindros testados apresentam excentricidades que dificultam a inspeção em alta velocidade de rotação. Uma velocidade de 2 rps mostrou-se adequada à inspeção. O sistema de acoplamento acústico com líquido apresenta um bom funcionamento quando opera com pressão constante. O aumento de pressão provoca o afastamento do cabeçote em relação à superfície do cilindro.

Foi necessário eliminar o acionamento eletrônico do motor de indução que era feito através de um variador de frequência, devido a geração de ruído eletromagnético. Foi utilizado um motor de indução com potência de 1/8 de HP (1800 rpm) e uma redução de velocidade de 10 vezes. Assim, a velocidade de rotação do cilindro tornou-se fixa (2 rps).

O tempo de inspeção de um cilindro é dado pela velocidade de deslocamento vertical do cabeçote de inspeção. A varredura executada é helicoidal. Uma inspeção completa do cilindro com medições a cada 2mm tem duração de aproximadamente 5 minutos.

As partes curvas do topo e da base do cilindro somente são inspecionadas pelos transdutores angulares. O funcionamento do sistema de inspeção é verificado a cada cilindro inspecionado utilizando-se a peça de aferição. Os ecos são detectados por níveis de tensão. Esses níveis são programáveis e podem ser variados de acordo com o resultado obtido na peça de calibração.

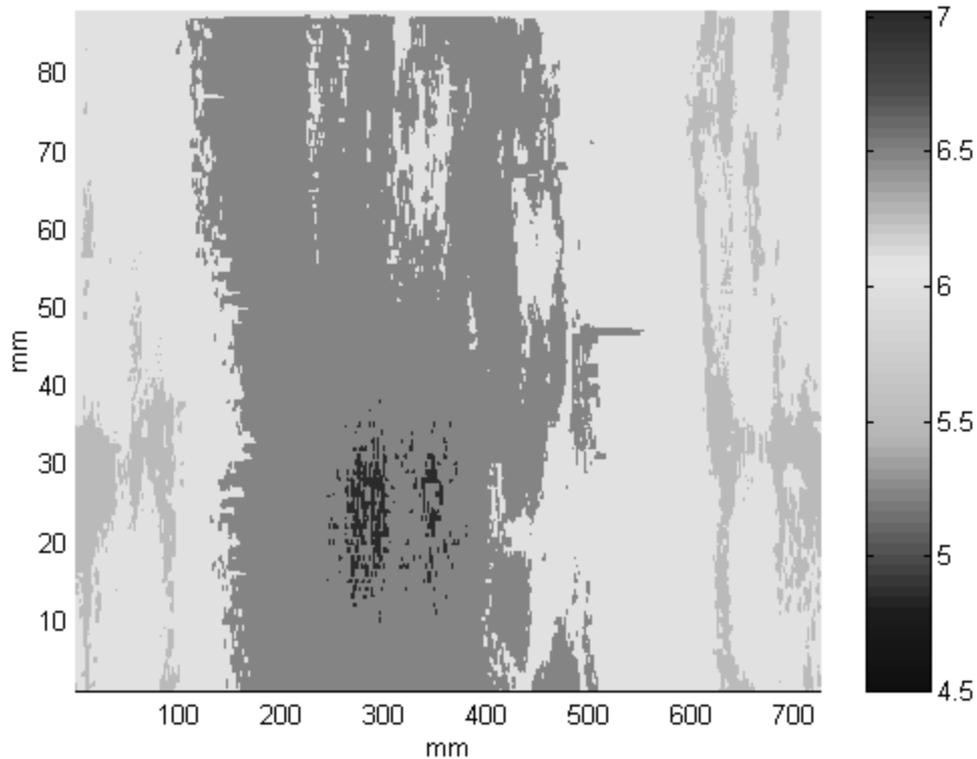


Figura 3: Mapa de espessuras de uma faixa de 90 mm do cilindro

A figura 3 mostra um mapa, em cores, da espessura de uma faixa de 90 mm do cilindro obtido com um varredura de 1 em 1 mm. Verifica-se que a espessura da parede não é constante, apresentando variação total de aproximadamente 1,5 mm no perímetro. Apesar dessa variação de espessura, verifica-se que as variações localizadas que seriam classificadas como defeito são da ordem de 0,5 mm.

A figura 4 mostra o valor da espessura da parede do cilindro ao longo da circunferência na posição de 40 mm. Verifica-se que as variações localizadas de espessura são inferiores a 0,5 mm.

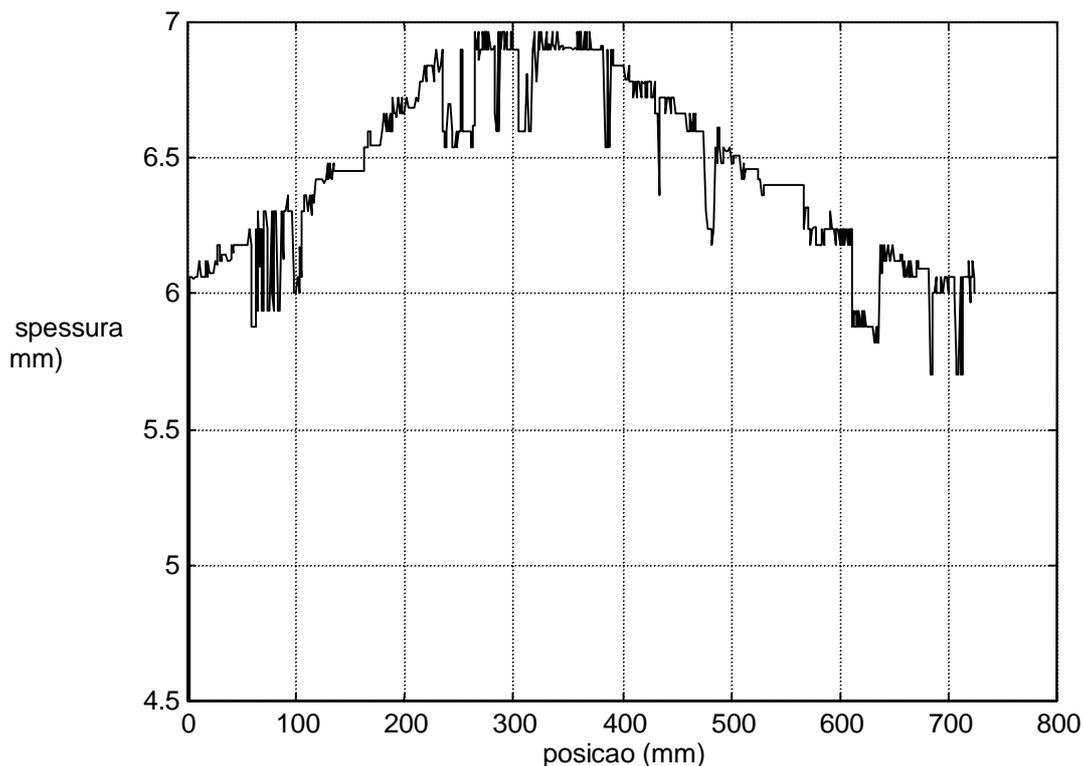


Figura 4: Variação da espessura na circunferência do cilindro (altura 40 mm)

A figura 5 mostra uma mapa em níveis de cinza do eco do transdutor de ondas de cisalhamento que está apontando para cima, na mesma faixa mostrada na figura 3. Os níveis de cinza representam o tempo de vôo do eco em μs . Verifica-se a presença de uma rachadura de aproximadamente 30 mm de largura. O tempo de vôo do eco vai diminuindo à medida que o cabeçote se aproxima do defeito. Este defeito foi produzido artificialmente na superfície externa do cilindro para simular uma rachadura com 1 mm de largura e 1 mm de profundidade. Este tipo de defeito não é detectado pelo transdutor que mede a espessura devido sua resolução lateral superior a 3 mm. Na detecção de rachadura com os transdutores transversais foi necessário considerar apenas os ecos que chegam depois de 50 μs devido à ocorrência de ecos espúrios no cabeçote.

4 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A configuração adotada para o dispositivo de varredura, com o cilindro girando e um cabeçote contendo os transdutores se deslocando axialmente, funciona adequadamente para rotação máxima do cilindro de 2 rps. Acima desta rotação o nível de vibração é acentuado devido às imperfeições construtivas do cilindro.

A detecção dos ecos é feita por hardware. O ajuste do limiar de detecção é programável, porém deve ser executado pelo operador com o auxílio da peça de calibração.

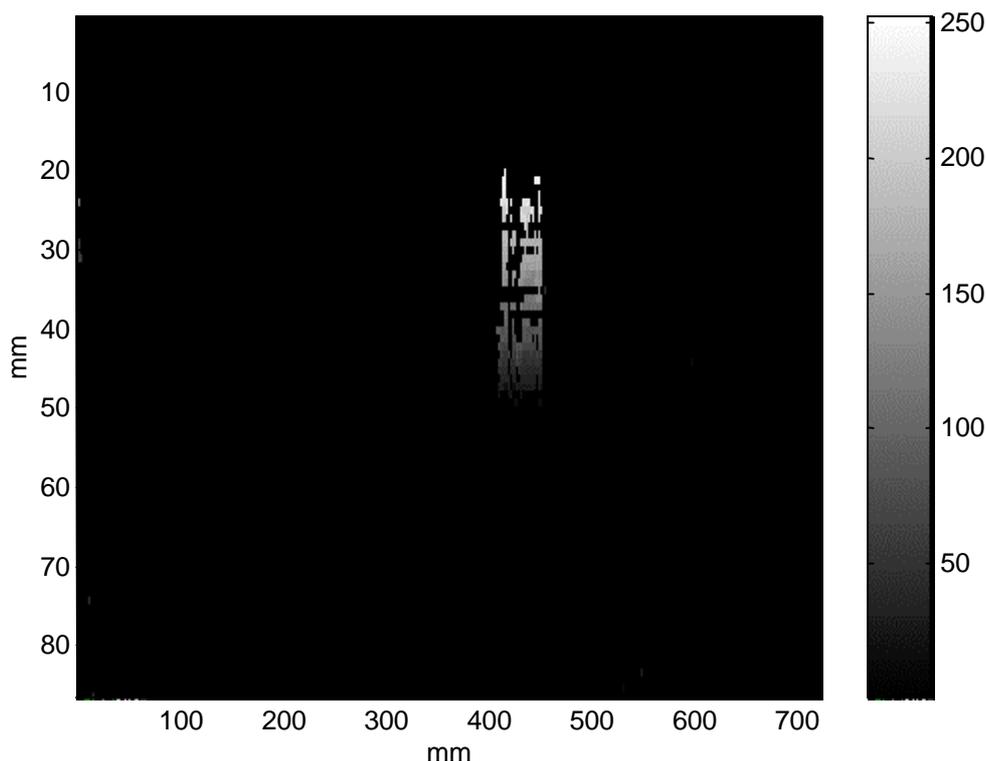


Figura 5: Mapa em níveis de cinza do eco de uma rachadura

A medição de espessura da parede do cilindro exige a medição de tempo entre o eco da parede externa e o eco da parede interna. A detecção do eco da parede interna exige um aumento de amplificação de 45 dB em relação à detecção do eco da parede externa. A detecção do eco por hardware tem a vantagem de possibilitar altas taxas de medição. Por outro lado, tem limitações pois as amplitudes variam com o acabamento superficial das paredes do cilindro e com o ângulo de incidência que no caso ideal seria de 90° para o transdutor utilizado na medição da espessura. Esse problema é parcialmente contornado devido ao elevado número de medições por cm^2 , que tem um valor típico de 36 medidas/ cm^2 . Além disso, o número de medições por cm^2 pode ser aumentado quando se necessita analisar uma determinada região da superfície do cilindro. O limitante do aumento de resolução é a quantidade de dados a ser armazenada.

Na detecção de rachaduras obtém-se vários ecos de um mesmo defeito. O tempo de voo do eco varia à medida que o transdutor se aproxima ou se afasta do defeito. Esse efeito é positivo, pois aumenta a probabilidade de um dado defeito vir a ser corretamente detectado. Os ecos somente são detectados a partir de $50 \mu\text{s}$ do disparo do pulso. Isso significa que os defeitos estão localizados a pelo menos 60 mm de distância do transdutor.

O tempo de inspeção de um cilindro é dado pela velocidade de deslocamento vertical do cabeçote de inspeção. A varredura executada é helicoidal. Uma inspeção completa do cilindro com medições a cada 2mm tem duração de aproximadamente 5 minutos.

Os testes realizados até o momento foram em laboratório, pois o equipamento encontra-se em fase de depuração.

Agradecimentos

Este projeto foi desenvolvido dentro do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PADCT/FINEP. Contou também com o apoio da empresa SAFE METAL, especializada em inspeção.

REFERÊNCIAS

- [1] Norma ABNT, Inspeção em cilindros de aço sem costura para gases, NBR 12274-1995
- [2] Horrigan, P.M., Finn, J.F., Locating fatigue cracks by acoustic emission testing, Journal of Acoustic Emission, v.8, n.1-2, p. S79-S83, janeiro 1989.
- [3] Barthelemy, H., Periodic inspection of compressed gas cylinders and transport vessels by acoustic emission testing, Journal of Acoustic Emission, v.8, n.1-2, p. S75-S78, janeiro 1989.

EQUIPMENT FOR AUTOMATIC EXAMINATION OF INDUSTRIAL GAS CYLINDERS

Abstract: *Cylinders used to transport compressed gases have to be inspected and tested periodically for safe operation. Along life time, those cylinders are subjected to corrosion, pitting, or dangerous defects. Ultrasonic examination improves safety, by identifying and measuring wall thickness, pitting and cracking. This paper presents the development of an equipment for automatic ultrasonic examination of gas cylinders. An ultrasonic transducer head scans the external surface of the cylinder through a mechanical scanning device which turns the cylinder along its symmetry axis with constant rpm and translates longitudinally the scan head on its surface. The transducer head has one 10 MHz longitudinal wave transducer to measure the wall thickness and four 5 MHz shear wave transducers to detect cracks. It is used a water film for the acoustic coupling. Each transducer is controlled by a transmitter-receiver board and the equipment is controlled by a 486 PC and a dedicated microprocessor board. A prototype was built and tested in the laboratory. The results shown that the equipment can measure precisely the wall thickness with resolution better than $\pm 0.1\text{mm}$ and can identify cracks as small as those of 0.4mm depth and 0.4mm wide.*

Keywords: *Ultrasound, Non destructive examination, Examination of industrial gas cylinder, Automatic inspection, Gas cylinder*