

## MEDIÇÃO SEM CONTATO IN-SITU EM COMPONENTES DE MOTORES (01)

Gene McGarry (02)

### SUMÁRIO

Novos avanços na medição borescópica de defeitos em superfícies de complexa geometria, tais como em componentes internos de motores.

Recentes avanços tecnológicos na Inspeção Visual Remoto (RVI) tornaram possível medição borescópica com precisão de defeitos em superfícies curvadas, como por exemplo: palhetas de turbinas e compressores; eixos e outras superfícies críticas de motores.

O novo sistema ora apresentado é baseado nos princípios da CAD (Computer Aided Design) combinado com métodos de orientação que eliminam inaccuracidades de medição, causadas por defeitos não posicionados num ângulo exato de 90° com relação ao eixo ótico do borescópico.

As técnicas de medição são precisas, fáceis de aprender e usar, e funcionam com borescópios, fibroscópios ou videoscópios existentes de qualquer marca.

---

(01) Contribuição técnica a ser apresentada no "I Encontro da Qualidade Total nas Indústrias de Alta Tecnologia e Centros de Pesquisas" - São José dos Campos - SP - 23 a 25 de novembro de 1993.

(02) Applications Manager, Olympus America Inc., USA

*trabalho traduzido e apresentado  
por Henri Berghe - Microanal. SP*

A Inspeção Visual Remota (RVI) é a ciência pela qual, áreas internas complexas são acessadas e inspecionadas através do uso de um dispositivo que obtém uma imagem remota expandida. O termo genérico para este tipo de ferramenta de inspeção é o "borescópio". Os borescópios executam inspeções em turbinas de motores, usinas de energia, instalações de processamento químico, fundições, laboratórios de desenvolvimento e pesquisas, instalações de manufatura e quaisquer objetos que se queira observar internamente, com as finalidades de controle de qualidade, manutenção e avaliação final do produto.

No passado, uma imagem ou visualização da área em inspeção era, freqüentemente, toda aquela que estava disponível para se fazer um chamado julgamento no tocante a qualidade de uma peça manufaturada ou a condição atual de um componente crítico de um sistema de operação. Este tipo de conjunto de imagem nem sempre revela todo o caso. Devido a demanda para aperfeiçoar o controle de qualidade, reduzir o tempo de inspeção e aumentar o desempenho dos sistemas, o borescópio deverá agora ser capaz de captar uma imagem com a resolução bem maior que antes. Além disso, o inspetor deverá ser capaz de tomar mais decisões quantitativas baseadas apenas nas imagens visualizadas. Apenas recentemente o inspetor passou a contar com este recurso: Medições Boreoscópicas.

Existem três tipos básicos de borescópios: o Boreoscópio Rígido, o Fibroscópio Flexível e o Videoscópio. Cada um fornece um benefício específico na inspeção. Cada instrumento tem um custo associado que deve ser ponderado, contra o potencial de se tomar a decisão errada.

O borescópio rígido consiste de um feixe de fibra óptica disposto aleatoriamente usado para distribuir luz para um local remoto e um sistema de lentes rígidas que transmite a imagem para que o inspetor possa observar. A magnificação e a direção da visão são determinadas pelos tipos de lentes e prismas selecionados no projeto. A qualidade da imagem é dependente principalmente do comprimento deste sistema de lentes. Para um comprimento maior existe uma perda de luz inerente associada com o interfaceamento das superfícies das lentes. Embora o borescópio rígido ofereça tanto visões em direção direta como em direções retrospectivas, ele sempre exige acesso em linha reta para o local objeto da inspeção. Magnificação aumentada só pode ser obtida pela utilização de um adaptador de zoom (mais perda de luz) ou selecionando um borescópio diferente. Naturalmente, isto não é sempre o mais prático.

O fibroscópio, por outro lado, contém um feixe de fibras ópticas dispostas aleatoriamente para luz distribuída e feixe de fibras ópticas dispostas coerentemente para transmitir a imagem de retorno à ocular. Novamente nas maiores lentes ocorre atenuação da luz. A qualidade da imagem é também limitada pelo número de fibras compreendendo o guia de imagem, assim como, a disposição destas fibras.

O fibroscópio oferece dois benefícios significativos. O primeiro é pontas adaptadoras intercambiáveis. O inspetor agora pode mudar as pontas da objetiva da extremidade remota para sua direção de visualização desejada ou para aumentar a magnificação pelo estreitamento do campo de visão. O segundo benefício é a capacidade de articular a ponta do fibroscópio. Pela rotação dos controles no corpo do fibroscópio ele agora pode ter uma visão de 120° para a esquerda, à direita, para cima e para baixo. A seção de inserção flexível permite ao usuário fazer um percurso sinuoso, ao contrário do

borescópico rígido. Estes recursos habilitam o inspetor cobrir uma circunferência de 360° em uma inserção, eliminando assim a necessidade de ter múltiplos fibroscópios rígidos ou configurações de borescópios para completar satisfatoriamente a inspeção.

Tanto o borescópico rígido quanto o fibroscópico podem ser acoplados a uma câmera CCD (Charged Coupled Device) para vídeo, documentação e finalidades de medições. Este exige um adaptador especial para cada tipo de borescópico.

O terceiro tipo de borescópico é o Videoscópico. Similar ao fibroscópico ele tem uma seção de inserção flexível e um feixe de fibras ópticas dispostas aleatoriamente para transmissão de luz para a área em inspeção. A diferença fundamental é o método de obter a imagem. Em vez de utilizar lentes ou fibras este borescópico tem uma câmera CCD em miniatura posicionada na extremidade focal. A contagem total de pixels (um pixel é uma célula foto-sensível) excede em muito o número de fibras existentes no guia de imagem de um fibroscópico padrão, resultando em uma resolução extremamente alta. Esta câmera toma as imagens do fundo, dentro da área em inspeção, e envia um sinal eletrônico correspondente para uma CCU (Unidade de Controle de Câmera), a qual, pode estar até 30 metros de distância. O sinal é exibido como uma imagem de alta resolução no monitor de vídeo padrão. Outro benefício significativo é o brilho da imagem. Devido a imagem ser gerada no CCD no local de inspeção não existe perda significativa de luz. [Ao utilizar um borescópico rígido de comprimento moderado ou um fibroscópico, o que gera a imagem pode percorrer o feixe de fibra até 6 metros antes de atingir uma câmera montada na ocular]. Semelhante a câmera CCD o Videoscópico também está numa posição bem a frente dos demais métodos tradicionais para documentação de uma inspeção. Devido ao fato da imagem poder ser gravada digitalmente, ela pode então ser reproduzida com a mesma alta resolução da imagem capturada originalmente. Estas imagens digitais podem então ser arquivadas em disco. O disco de armazenagem retém uma imagem de qualidade por período de tempo bem maior que os atuais métodos populares e não degrada quando reproduzido como ocorre com fitas padrão.

O Analisador de Vídeo foi desenvolvido com o propósito de acentuar a inspeção. Este é um equipamento operado por microprocessador, baseado em sistema digital e que incorpora tecnologias de ponta em gerenciamento e manipulação de imagem. Utilizando todos os benefícios dos anteriormente mencionados borescópios, o Analisador de Vídeo proporciona ao inspetor recursos nunca antes vistos na Indústria de RVI. Ele pode realçar imagens, armazenar em um floppy drive e transferir as informações para um PC, medir, comparar, transmitir pelas linhas telefônicas, entre outras, tudo através do menu interativo do software.

Recentemente, medição virou prioridade. A necessidade de mais resultados quantificáveis impulsionaram os fabricantes a atualizar os equipamentos de inspeção, bem como, exigir mais em avanços tecnológicos daqueles que fornecem os serviços de medições. Técnicas de medição anteriores não eram confiáveis e incluíam uso de escalas lineares, calibração a partir de uma medida conhecida e já existente, introdução de objetos externos para comparação, determinação de constantes de magnificação óptica, e a introdução de uma sombra.

Todos os métodos de medição acima apresentam alguma preocupação com relação a facilidade de uso e precisão esperada. Frequentemente a introdução de um objeto conhecido é altamente indesejável. Existe uma possibilidade de contaminação do ambiente ou a possibilidade de deixar o objeto conhecido no local quando retirar o borescópico da área de inspeção. Trabalhando com escalas de vídeo e magnificações conhecidas pode fornecer um alto grau de precisão se muitas condições são satisfeitas. Infelizmente as condições de inspeção ideais são muito raras. A técnica de sombra, desenvolvida já há algum tempo, é limitada em precisão por causa de bordas pobremente definidas inerentes em imagens de sombras. Mais importante, todos os métodos de medições acima mencionados tem uma fraqueza principal. Eles não são projetados para e não podem medir precisamente em superfícies curvas.

O Analisador de Vídeo é o único sistema que pode medir em superfícies curvas. O

desenvolvimento do Analisador de Vídeo IW-1 abriu o caminho para uma precisão incrementada de maior reprodutibilidade. O seu sistema de medições patenteadas é baseado nos princípios de CAD-3D e satisfaz o alto grau de precisão demandado pela indústria. Traçando o perfil físico do objeto da inspeção utilizando as coordenadas X, Y e Z, a curvatura e o formato verdadeiro do objeto são definidas precisamente. Este formato geométrico tri-dimensional de um objeto é então permanentemente armazenado no disco rígido do analisador e pode ser chamado facilmente de volta usando o ICON de Medição do menu. Após a captura e digitalização de uma imagem, tudo que o inspetor necessita fazer é sobrepor este modelo fiel ao verdadeiro na imagem em inspeção e medir. Uma vez que a superfície a ser medida é perfilada em três dimensões, a orientação do borescópico é aleatória e as superfícies curvas são facilmente definidas e medidas.

Assim que o usuário tenha completado a medição, as informações podem ser armazenadas como uma gravação permanente. O Analisador de Vídeo é compatível com todos os dispositivos geradores de sinal Vídeo-S e sinais Compostos. Ele pode medir a partir de qualquer documentação ou tipo de imagens previamente armazenadas em videoteipe ou discos de imagens "still video".

Na indústria automotiva, a RVI é uma tecnologia que chegou um pouco atrasada. Durante anos, engenheiros em companhias de linhas aéreas e fabricantes de fuselagem melhoraram os padrões de qualidade e o desempenho dos veículos pelo estabelecimento de programas de manutenção periódicos empregando o borescópico. Apenas recentemente, a RVI tem sido introduzida no desenvolvimento e pesquisa, manufatura e manutenção na indústria automotiva.

Em uma manutenção fácil, os inspetores usam um sistema borescópico com visualização de dois lados, com instrumentos rígidos de 8 mm de diâmetro (Modelo G080-024-090-55) para inspecionar os canais de entrada de uma peça fundida. O acesso para os dois borescópios, de visualização em direções opostas, é obtido através do duto de entrada de ar. Através do uso de adaptadores de vídeo em Montagem-C os borescópios são acoplados em câmeras conectadas ao Analisador de Vídeo e montados numa mesa móvel. O inspetor simplesmente observa dois monitores montados no rack em busca de falhas de manufatura e bloqueios nos canais de entrada. Modelos tri-dimensionais previamente instalados no Analisador de Vídeo (tomados a partir de desenhos do CAD) são então facilmente sobrepostos para fornecer a capacidade de medição. Anterior ao uso do borescópico, esta inspeção era dificilmente completada utilizando uma lanterna elétrica e um espelho preso manualmente tomando até uma hora por peça. O tempo de inspeção é agora menos de três minutos por peça e é completado com um grau maior de segurança.

Os borescópios de diâmetro menor, ou "miniborescópios", são também comumente encontrados nos estágios de fundição da manufatura automotiva. Cilindros hidráulicos incorporam furos de ventilação que cruzam e atravessam completamente o componente e usualmente não excedem 2,5 mm de diâmetro. A solução era a aplicação de um K17-018-090-62, um miniborescópico com diâmetro de 1,7 mm e visão lateral. Novamente, a inspeção era para verificar bloqueios que podem obstruir de forma crítica o fluxo de ar ou o de fluido dentro do sistema. A economia foi realizada numa inspeção no próprio processo, uma vez que agora poderiam inspecionar visualmente, antes de uma montagem dispendiosa, necessária para conduzir os testes de pressão padrão. Outros componentes que não oferecem acesso em linha reta são inspecionados utilizando fibroscópios flexíveis com 0,6 mm e 2 mm de diâmetro.

No nível de desenvolvimento e pesquisa uma universidade importante está conduzindo testes para um dos maiores fabricantes automotivos, o qual eventualmente levará a um novo projeto do tubo de distribuição. "Wetting" é um teste de eficiência do motor de combustão interna e é considerado o responsável por 90% da emissão de hidrocarbonos, não aceitos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA). Para executar o teste de wetting, dois produtos químicos, Tetra metil-p-fenilínico diamina e Nafolínico, são adicionados a mistura de combustível. Uma combustão ineficiente deixará vapor e deposição líquida de nafolínico na parede do tubo de distribuição. Um fibroscópico transmitindo luz ultra-violeta

é inserido no tubo de distribuição para observar o processo de combustão. Durante a combustão, qualquer combustível não queimado eficientemente (ainda contendo o Nafolínico) restará no estado líquido ou em vapor. Como luz UV altamente intensa é liberada remotamente para o interior do tubo de distribuição, o Nafolínico se tornará excitado e fluorescente com uma cor amarela esverdeada indicando precisamente as áreas frias de combustão ineficiente. O Tetra metil-p terá absorvido toda a luz UV, restando um ponto escuro, não visível de cor de fundo azul e terá sido queimado eficientemente.

Outro prominente fabricante automotivo utiliza o Videoscópio IV8DS-20 para inspecionar os tubos de distribuição V-6 na inspeção de recebimento. Esta inspeção específica para a porosidade e fissuras minúsculas exige o máximo de brilho e resolução superior encontradas apenas no borescópio baseado em CCD. Acoplado ao Analisador de vídeo, apresenta um gerenciamento de imagens sofisticado, e também fornece ao inspetor recursos de medições.

No mesmo local três borescópios rígidos são utilizados para inspecionar perfurações cilíndricas. Um chanfro crítico de 45° no topo e na base da perfuração é projetado para fechar hermeticamente a pressão durante a combustão. O comprimento do chanfro necessita ser determinado. Pelo posicionamento do borescópio num suporte e seu acoplamento à câmera CCD, o pessoal da garantia da qualidade pode agora acumular e armazenar os dados de medições como registro definitivo.

Os centros de serviços e revendedores automotivos têm se tornado também entusiastas das novas tecnologias. Vendendo através de redes de distribuidores, os principais fabricantes estão fornecendo os centros de serviços e manutenção com os novíssimos equipamentos. Introduzido pelo furo da vela de ignição, o borescópio rígido fornece ao mecânico imagens claras sobre desenvolvimento de carbono nas válvulas de admissão. Este diagnóstico da inspeção pode precisamente prever quando o serviço será necessário, bem como também fornecer dados da eficiência da combustão a serem realimentados ao fabricante. Acoplado a fonte de luz DC, este sistema fornece a portabilidade máxima de serviço em campo.

Os fibroscópios flexíveis tem sido também usados no mercado de manutenção automotiva. Sua flexibilidade fornece soluções para o acesso a muitas outras áreas remotas. Utilizando o adaptador da ponta de visão lateral, o mecânico pode inspecionar a sede de válvulas, as coroas dos pistões, o cárter, os coxins, os radiadores, as transmissões e os mecanismos das janelas.

A inspeção visual remota está rapidamente assumindo as dimensões de uma nova e avançada tecnologia para o aprimoramento da qualidade e a confiabilidade do automóvel. Os principais fabricantes reconhecem isto e têm instituído programas em R&D e fabricação que envolvem estas valiosas ferramentas. Muitas horas de trabalho estão sendo poupadas nas estações de serviço e revendedores, portanto melhorando a satisfação do cliente.

## **ABSTRACT**

### **Novos avanços na medição borescópica de defeitos em superfícies de complexa geometria, tais como em componentes internos de motores**

Recentes avanços tecnológicos na Inspeção Visual Remoto (RVI) tornaram possível medição borescópica com precisão de defeitos em superfícies curvadas, como por exemplo: palhetas de turbinas e compressores; eixos e outras superfícies críticas de motores.

O novo sistema ora apresentado é baseado nos princípios de CAD (Computer Aided Design) combinado com métodos de orientação que eliminam inaccuracidades de medição, causadas por defeitos não posicionados num ângulo exato de 90° com relação ao eixo ótico do borescópio.

As técnicas de medição são precisas, fáceis de aprender e usar, e funcionam com borescópios, fibroscópios ou videoscópios existentes de qualquer marca.

Embora o equipamento e a metodologia possam ser usados com qualquer tipo de borescópio, a maior parte de desenvolvimento tecnológico recente na área de RVI está concentrada nos equipamentos de vídeo.

O uso de sensores de imagem CCD (Charge Coupled Device) melhorou a resolução de imagens de vídeo, a sensibilidade de luz e reduziu consideravelmente o tamanho dos instrumentos. A miniaturização permitiu colocar sensores CCD no interior de motores através de furos extremamente pequenos de acesso.

Os novos videoscópios são similares aos fibroscópios, porém possuem CCD chips na extremidade, ao invés de fibras óticas. As imagens são mostradas numa tela de vídeo em tempo real e cores verdadeiras.

O sistema de análise de vídeo microprocessado é operado através de menus e pode aceitar entrada de vídeo de qualquer fonte de RVI. As funções, em adição ao display de vídeo das imagens, incluem congelamento digital de imagem, armazenamento, setas móveis, transmissão ao vivo via modem, ampliação via zoom, comparação entre imagens e realce de imagens, entre outras.

O sistema também oferece um software de 3D (tridimensional) para medição individual de componentes de motores, com altíssima precisão, independente da perspectiva de captação das imagens.