

Sistema óptico panorâmico para avaliação automatizada da qualidade de brunimento em 360° dos cilindros.

Armando Albertazzi Gonçalves Jr.
UFSC – Engenharia Mecânica – LABMETRO

André Roberto de Sousa
CEFET-SC – Gerência de Mecânica

Cesar Kanda
Photonita Ltda.

Frank Hrebabetzky
Photonita Ltda.

Gustavo Garcia Momm
Photonita Ltda.

Copyright © 2005 Society of Automotive Engineers, Inc

RESUMO

A qualidade com que as operações de brunimento são realizadas nas camisas dos cilindros é cada vez mais valorizada pelos fabricantes de motores. Parâmetros de desempenho dos motores como rendimento, vida útil, consumo, nível de emissão e outros são grandemente dependentes da qualidade das superfícies brunidas. Funcionalmente, as superfícies brunidas precisam apresentar riscos com um ângulo bem definido, um aspecto regular e contínuo, sem a presença de empastamentos, irregularidades ou descontinuidades. Esse artigo apresenta um sistema óptico panorâmico para inspeção e medição dos ângulos de brunimento em cilindros. Utilizando uma óptica panorâmica que pode ser combinada com uma óptica de alta ampliação, o sistema permite um ensaio detalhado e automatizado das superfícies brunidas, possibilitando uma medição automática dos ângulos ao longo de 360° das camisas bem como uma inspeção visual com alta definição. O sistema permite grandes vantagens técnicas, operacionais e econômicas em relação ao método do fax-filme, atualmente largamente empregado pelos fabricantes de motores.

IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DA QUALIDADE DO BRUNIMENTO DE CAMISAS DE BLOCOS DE MOTORES

O brunimento é um processo de usinagem que corrige erros de forma em uma superfície e produz ranhuras nas paredes do cilindro. Esse tipo de textura, chamada de “textura de estrias cruzadas”, é importante para reter fluidos que mantêm a lubrificação e refrigeração do sistema, além de diminuir o atrito entre dois objetos. Essa característica faz o processo de brunimento ser largamente utilizado no acabamento de mancais, camisas de compressores e de cilindros de motores de combustão.

Especificamente no caso dos motores, a qualidade do brunimento impacta diretamente no rendimento, vida útil, consumo, nível de emissão de poluentes e outros parâmetros de desempenho. A figura 1 mostra o aspecto de uma superfície brunida de um cilindro de motor de combustão.

Por essa razão os procedimentos de brunimento das camisas dos blocos de motor são mantidos em alto segredo. Também por causa dessa importância estratégica os fabricantes cada vez mais procuram otimizar os processos de usinagem e os métodos de controle de qualidade das superfícies usinadas.

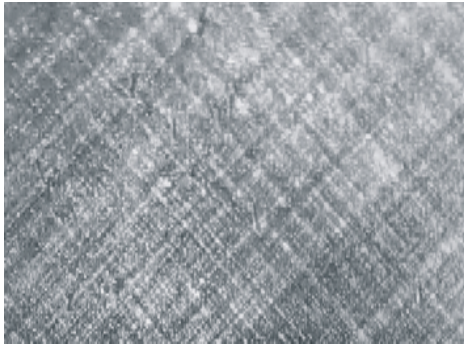


Figura 1 – Aspecto visual de uma superfície brunida

LIMITACOES DOS MÉTODOS CLÁSSICOS DE INSPEÇÃO DA QUALIDADE DE BRUNIMENTO

Devido à importância estratégica do brunimento para o desempenho do motor, a qualidade da superfície brunida é cada vez mais avaliada. Funcionalmente, as superfícies brunidas precisam apresentar um ângulo de brunimento definido e, idealmente, os riscos precisam estar paralelos aos riscos vizinhos e inclinados de um ângulo controlado em relação aos riscos reversos. Além disso, os riscos devem ter um aspecto regular e contínuo, sem a presença de empastamentos, irregularidades ou descontinuidades. Essas são algumas das características desejáveis nas camisas brunidas e, para controlar a qualidade de seus produtos, os fabricantes utilizam meios de controle visual dessas características, normalmente através do método do fax-filme (figura 2).

Por esse método, uma resina plástica é pressionada manualmente contra a parede da camisa brunida e, assim uma “impressão digital” da superfície é passada para a resina. Posteriormente, a resina é levada até um microscópio de medição e lá é avaliado o ângulo de brunimento, além de ser visualizada a integridade da superfície no que diz respeito à qualidade dos riscos e presença de falhas. Apesar de difundido, esse método apresenta limitações operacionais e de confiabilidade na inspeção, como:

- A avaliação não é feita diretamente sobre a camisa, mas indiretamente através de uma resina;
- A impressão é dependente da pressão que o operador exerce no momento da coleta;
- A superfície brunida é curva mas, na visualização no microscópio, a resina é planificada, podendo distorcer os ângulos de brunimento e o aspecto dos riscos;
- O processo é demorado e utiliza materiais consumíveis;
- A avaliação ocorre em uma pequena área da camisa, muitas vezes não sendo representativo do todo.

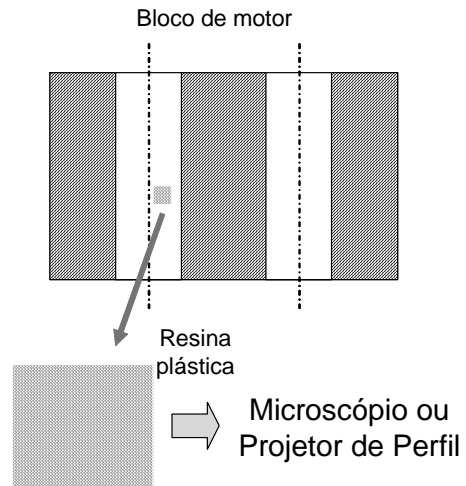


Figura 2 – Avaliação do brunimento pelo método da resina aderida à superfície da camisa

Em algumas ocasiões o bloco de motor é serrado ao meio e a superfície é avaliada diretamente com um microscópio de medição. Por causa na natureza destrutiva desse método e por todo o esforço operacional para o ensaio, a sua utilização ocorre em amostras bem restritas.

Por causa de algumas dessas dificuldades, a avaliação do brunimento é realizada com uma frequência bem abaixo do necessário e muitas vezes sem resultados confiáveis e significativos. Dessa forma, a garantia da qualidade dos processos de brunimento fica sub-otimizada, e parte do potencial de melhoria dos processos e produtos é desperdiçada.

SISTEMA ÓPTICO PANORÂMICO PARA INSPEÇÃO E MEDIÇÃO DOS ÂNGULOS DE BRUNIMENTO EM CILINDROS

Motivados por essa dificuldade, foi desenvolvido pela empresa Photonita em parceria com o Laboratório de Metrologia da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, um sistema óptico para inspeção automatizada de superfícies brunidas em cilindros.

O sistema utiliza uma óptica panorâmica e pode ser entendido com o auxílio da figura 3. Um espelho côncavo posicionado no interior da camisa reflete para uma câmera digital a superfície da camisa brunida, gerando uma imagem distorcida.

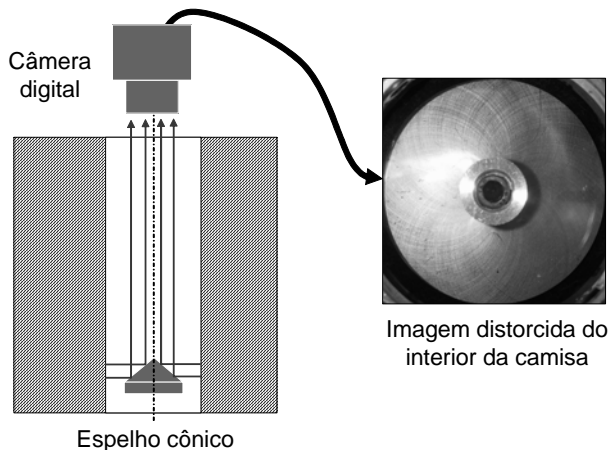


Figura 3 – Aquisição da imagem panorâmica do interior da camisa

Posteriormente, essa imagem é processada em um software de ensaio desenvolvido especificamente para essa tarefa. O software possui recurso para planificar a imagem gerada e aplicar alguns filtros para realçar detalhes. A figura 4 mostra essas operações.

Um desses filtros tem a capacidade de detectar automaticamente as linhas de brunimento e, também de forma automática, medir os ângulos de cruzamento das linhas em toda a área medida. O sistema é, assim, capaz de avaliar o ângulo não somente em um ponto, mas ao longo de 360° o interior do cilindro. A figura 5 mostra o software de ensaio, com os principais resultados. É possível, ainda utilizando recursos de processamento de imagens, obter uma visualização tridimensional da camisa e de como os ângulos de brunimento estão distribuídos (figura 6).

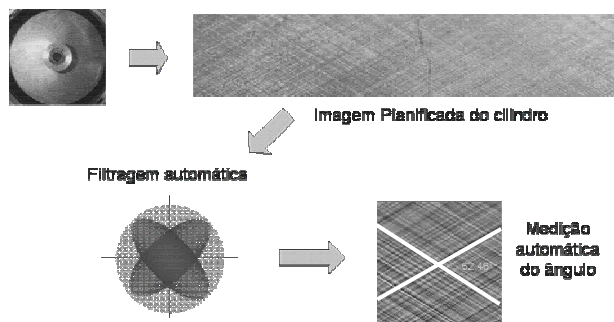


Figura 4 – Processamento digital da imagem panorâmica e medição automatizada do ângulo de brunimento



Figura 5 – Resultados numéricos e gráficos do ensaio panorâmico

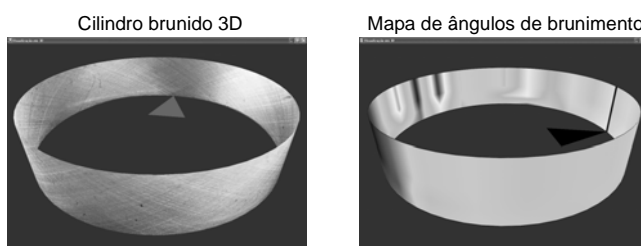


Figura 6 – Representação gráfica tridimensional dos resultados

O sistema portátil construído pode ser visualizado na figura 7, na inspeção de um bloco de motor diesel.

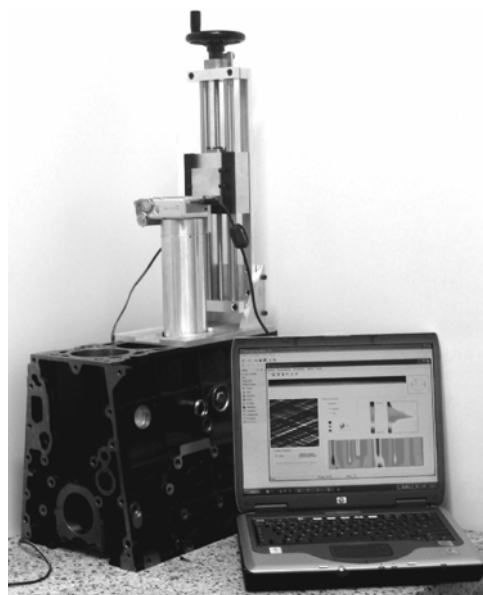


Figura 7 – Sistema de ensaio panorâmico

MÓDULO COMPLEMENTAR DE INSPEÇÃO COM AMPLIAÇÃO DE 100X

O sistema mostrado anteriormente possui uma vantagem excelente no que diz respeito à medição dos ângulos de brunimento, pelas vantagens já demonstradas. No entanto, na inspeção visual da qualidade do brunimento, a sua óptica não possui resolução suficiente para permitir uma visualização de detalhes como regularidade dos riscos, presença de empastamento e outros atributos de qualidade importantes no produto.

Para essa inspeção as normas de fabricantes de motores normalmente determinam que se visualize uma região pequena (cerca de 1 x 1 mm) com uma ampliação de 100 vezes.

Devido à limitação na resolução da câmera digital e à necessidade de planificação da imagem por software, o sistema de visualização panorâmico permite visualizar com nitidez uma imagem ampliada de 20 vezes, portanto abaixo do necessário para a inspeção de detalhes.

Para suprir essa necessidade, foi desenvolvido um módulo complementar ao panorâmico, que funciona na mesma base mecânica. Esse módulo complementar utiliza uma objetiva de microscópio com ampliação óptica de 100 vezes, permitindo avaliar a área de 1 mm² com grande nitidez.

A figura 8 ilustra o princípio do sistema, podendo-se visualizar os recursos de movimentação vertical e rotativo que permitem descolar o módulo para qualquer posição do interior da camisa.

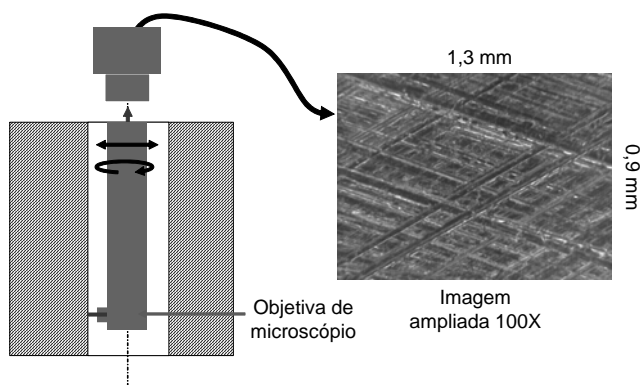


Figura 8 – Sistema de ensaio panorâmico

Construtivamente o sistema pode ser visualizado na figura 9, podendo-se verificar que o mesmo compartilha a mesma base mecânica do sistema panorâmico.

Por ter essa intercambiabilidade mecânica, é possível medir com o sistema panorâmico e, uma vez tendo encontrado

alguma anormalidade no mapa de ângulos, pode-se posicionar o módulo de ampliação 100 vezes nesse local e realizar uma inspeção detalhada da região. A figura 10 ilustra esse procedimento de análise combinada entre os dois sistemas.

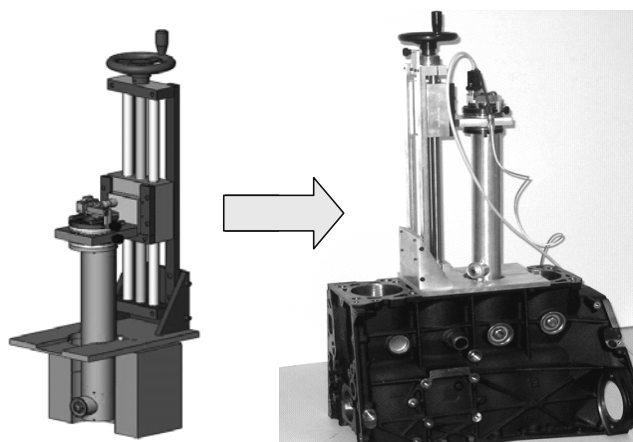


Figura 9 – Módulo de ampliação 100 vezes

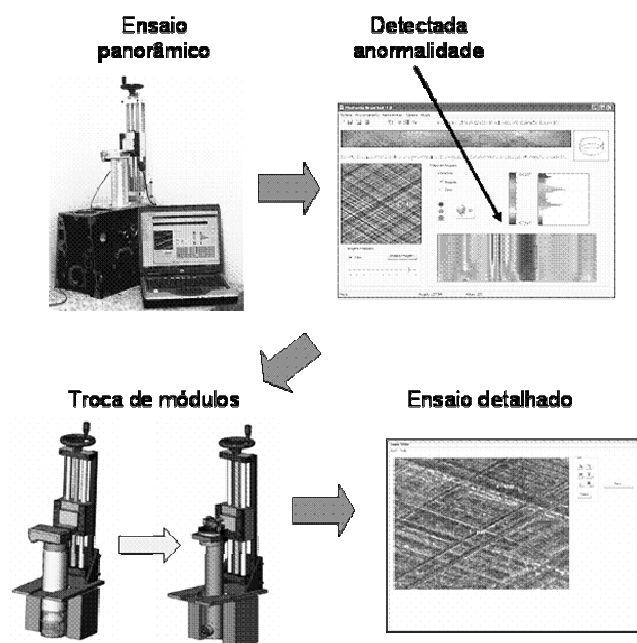


Figura 10 – Análise panorâmica combinada com a análise detalhada

Todos os recursos de medição do software empregado no ensaio panorâmico estão presentes também nesse módulo de ensaio detalhado.

A figura 11 mostra alguns resultados de ensaios utilizando os recursos de medição de ângulo e análise visual do sistema. O sistema pode calcular automaticamente os ângulos de brunimento ou a medição pode ser feita manualmente pelo operador, desenhando retas sobre os riscos (figura 12).

O software possui recursos para determinar os seguintes parâmetros:

- Ângulo entre riscos e o seu complemento de 180°;
- Ângulo entre riscos e a direção vertical;
- Ângulo entre riscos e a direção horizontal;
- Distância entre riscos;
- Histograma de distribuição dos ângulos entre riscos;
- Mapeamento do ângulo em 360°.

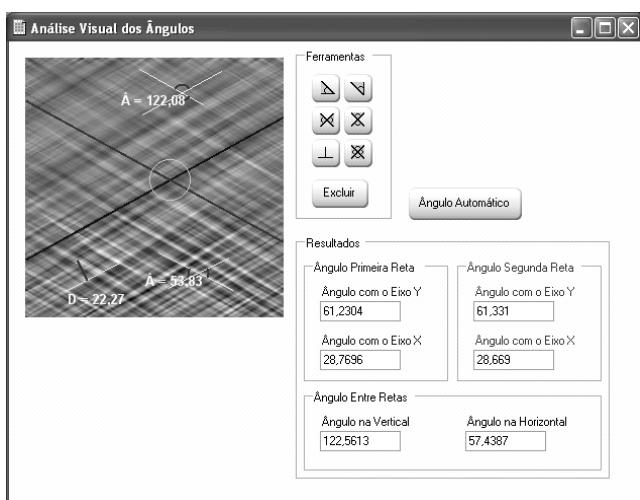


Figura 11 – Recursos de medição automáticos

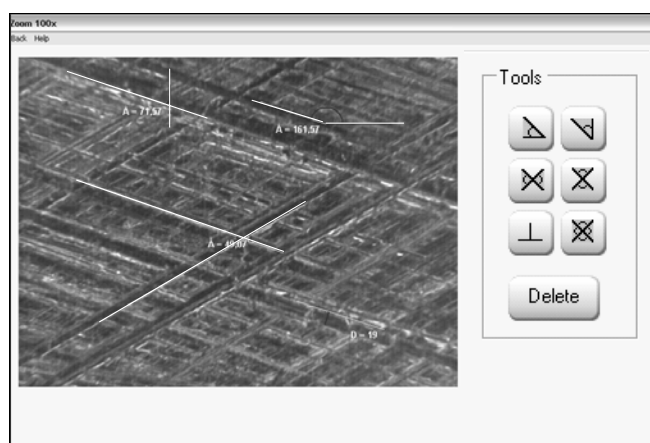


Figura 12 – Recursos de medição com auxílio de elementos gráficos definidos pelo operador

VANTAGENS OBSERVADAS POR FABRICANTES DE MOTORES NO MÉTODO DE ENSAIO ÓPTICO

Ao longo do desenvolvimento do método de ensaio foram realizados vários contatos com fabricantes de motores, explicando os princípios funcionais do sistema e levantando informações sobre os principais recursos de medição a serem implementados nos módulos *panorâmico* e *100X*.

Essas informações foram valiosas para direcionar os esforços de desenvolvimento para funções que realmente agregassem valor à utilização do sistema na indústria.

Ao longo desse processo esses fabricantes evidenciaram algumas vantagens do método óptico de ensaio em relação aos métodos clássicos de ensaio pelo fax-filme ou em relação ao ensaio destrutivo do bloco, frequentemente empregados.

As principais virtudes levantadas foram as seguintes:

- Praticidade e rapidez no ensaio, possibilitando uma maior frequência de medição e um melhor controle do processo;
- Portabilidade do sistema, permitindo ensaios tanto em laboratórios como na produção;
- O maior poder de detalhamento do método óptico em relação à medição manual
- Medição dos ângulos de brunimento diretamente sobre a camisa, sem etapas intermediárias;
- Ensaio não destrutivo do bloco de motor com redução de custos da qualidade;
- Mapeamento do ângulo sobre toda uma área, e não somente em pontos localizados;
- Possibilidade do ensaio panorâmico combinado com o ensaio detalhado de alta ampliação, permitindo localizar problemas e depois analisar em detalhes essas anormalidades;
- Não utiliza resinas, filmes nem qualquer outro material consumível;
- Informatização do sistema permite integrar os resultados dos testes com o sistema da qualidade da empresa;
- Recursos de banco de dados informatizado para armazenamento de informações e resgate de histórico de testes.

CONCLUSÕES

O artigo aqui descrito apresentou um método de ensaio desenvolvido para automatizar, simplificar e tornar mais prático e confiável as operações de controle de qualidade das superfícies brunidas de cilindros de motores.

O sistema é composto de dois módulos, um deles empregando uma óptica panorâmica e o outro uma objetiva com ampliação de 100 vezes. Os módulos funcionam de forma integrada, possibilitando um ensaio em 360° na camisa brunida e, posteriormente, um ensaio detalhado de uma pequena área da camisa, para observação de atributos de qualidade como regularidade dos riscos e a presença de anormalidades na qualidade superficial da superfície brunida.

Os testes realizados com o sistema evidenciaram boas vantagens operacionais e metrológicas do método em relação aos procedimentos clássicos de ensaio, seja utilizando resinas aderidas na camisa brunida (fax-filme) ou utilizando o método de ensaio destrutivo.

Todo o sistema foi desenvolvido com tecnologia 100% Brasileira, pela empresa Photonita em parceria com o Laboratório de Metrologia e Automatização da Universidade Federal de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

- [1] **Ferraresi, Dino**; Fundamentos da Usinagem dos Metais. Ed. Edgard Blucher, 1990.
- [2] **Heywood, John**; Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, 1988.
- [3] **Kjell J. Gåsvik**; Optical Metrology. John Wiley & Sons, 2002.
- [4] **Albertazzi.A., Sousa, A. Kanda, C., Hrebabetzky F.** Controle dimensional de autopeças complexas e de pequenas dimensões por medição óptica tridimensional. Congresso anual da SAE Brasil, 2004.

SOBRE O AUTOR PRINCIPAL

André Roberto de Sousa

Engenheiro Mecânico com Mestrado em Metrologia Óptica e Doutorado em Medição por Coordenadas. Professor da Gerência de Mecânica do CEFET-SC e consultor em metrologia industrial e medição por coordenadas para várias empresas da cadeia produtiva da indústria automobilística.

Email: asouza@cefetsc.edu.br