



## DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CENTER-LESS DE MERGULHO ATRAVÉS DE EMISSÃO ACÚSTICA

**Jalon M. Vieira**

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica  
[jmvieira@sc.usp.br](mailto:jmvieira@sc.usp.br) – São Carlos, SP, Brasil

**João F. G. Oliveira**

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica  
[jfgo@sc.usp.br](mailto:jfgo@sc.usp.br) – São Carlos, SP, Brasil

**Resumo.** *Uma nova abordagem foi desenvolvida, objetivando-se detectar falhas e caracterizar o processo center-less. Para tanto, foi criado um software, capaz de gerar um mapa digital da variação da profundidade de contato instantâneo da peça com o rebolo de corte, ao longo de cada volta do rebolo, através do sinal de emissão acústica medida no processo. Pelo padrão do mapa é possível reconhecer falhas ocorridas durante retificação, pois dependendo de como ocorre a variação da profundidade instantânea de corte, o padrão gráfico apresenta aspectos diferentes.*

**Palavras-chave:** *Retificação center-less, Emissão acústica, Monitoramento*

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de retificação center-less de mergulho tem sido vastamente utilizado pelas indústrias do setor metal-mecânico. Devido a sua produtividade e possibilidade de obtenção de componentes com alta acuracidade, tem sempre mantido uma posição de destaque na manufatura.

Como mostrado na “Figura 1”, durante retificação center-less, a peça é suportada pela régua de trabalho e rebolo de arraste. O centro da peça, pode ou não ser mantido acima da linha que une os centros dos rebolos de arraste e de corte e a rotação da peça é regulada pelo rebolo de arraste. O processo de retificação center-less é altamente complexo e o mecanismo de formação de circularidade é afetado pela geometria do processo e a instabilidade dinâmica da peça. Desta forma, a circularidade da peça é o aspecto mais difícil de ser controlado na retificação center-less.

Investigações tem sido realizadas a fim de estudar a influência de vários parâmetros do processo na qualidade das peças retificadas e para identificar condições ótimas de set-up (Dall (1946), Udupa et al. (1987), Oliveira (1994), Zhou et al. (1996), Guo et al. (1997)). O presente trabalho visa identificar anomalias ocorridas durante retificação center-less de mergulho acima dos centros de hastes de válvulas. Objetivando-se fornecer informações em tempo real, foi desenvolvida uma ferramenta capaz de aumentar a confiabilidade do processo de aquisição de dados.

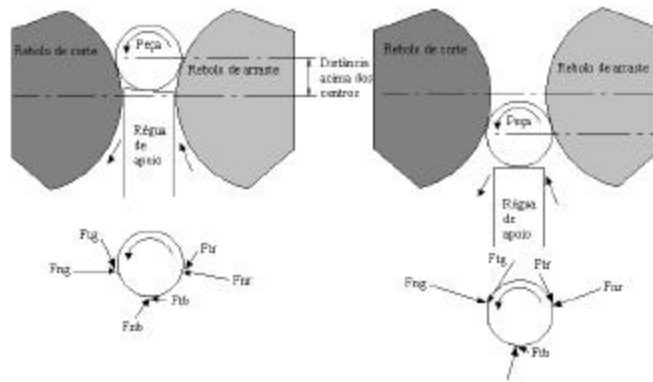


Figura 1. Representação do processo de retificação center-less abaixo e acima dos centros e forças atuantes sobre a peça.

A partir de sinais advindos de um sensor de emissão acústica acoplado à régua suporte da máquina é feito um mapa da distribuição acústica da superfície do rebolo ao longo do tempo. Para verificar a confiabilidade do método, foram criados, propositadamente, diversos problemas, encontrados frequentemente no chão de fábrica, onde através dos resultados obtidos e análise dos sinais dos sensores foi possível identificar irregularidades do processo.

Este método desenvolvido é de extrema importância, pois a retificação center-less torna-se mais previsível quanto a questão qualidade final do produto, o que esta intimamente ligada aos custos do processo.

Dall (1946), foi um dos primeiros a investigar as relações geométricas entre a régua, rebolo de arraste e rebolo de corte e constatou uma profunda relação destes parâmetros com a circularidade da peça. Este pesquisador desenvolveu também, um modelo matemático que visa quantificar erros desenvolvidos durante o processo, em função de marcas iniciais da peça.

A maioria dos estudos realizados para verificar a influência dos parâmetros do processo tem somente identificado zonas instáveis onde a peça tende a vibrar, pular e sair da região de retificação. Zhou et al. (1996), estudaram o mecanismo de formação lobular e seu efeito no erro de circularidade e fornece guias gerais para seleção apropriada dos parâmetros de set-up, através de um diagrama. Simulação e testes experimentais abaixo e acima dos centros, de pequenas amostras de zircônia, foram desenvolvidos por Guo et al. (1997). Neste trabalho, em função das condições iniciais de circularidade da peça e de set-up, a simulação poderia prever, para condições acima dos centros o risco de aumento da velocidade da peça e possibilidade da mesma saltar para fora da região de corte e também, a perda de circularidade da peça para a condição abaixo dos centros. Neste mesmo sentido, estudando a retificação de peças pequenas e leves, Takasu e Masuda (1992), mostraram através de análise dinâmica e geométrica, ser pior a retificabilidade de peças que apresentavam furo concêntrico quando comparada a peças sólidas.

Oliveira (1994), afirma que quando do uso do método center-less abaixo dos centros, pode-se alcançar boa circularidade e estabilidade geométrica da peça, compatíveis com os obtidos com a retificação acima dos centros. A idéia defendida por este pesquisador baseia-se em ter um maior equilíbrio de forças agindo sobre a peça, tornando-se possível assim, maiores valores de força sem perda de circularidade. A “Figura 1”, ilustra estas forças para ambos os métodos. Udupa et al. (1987), analisaram os processos center-less abaixo e acima dos centros, durante retificação de amostras que apresentavam geometria específica. Os resultados mostraram que o erro de circularidade aumenta somente poucos microns quando a peça retificada abaixo dos centros e a diferença de acabamento superficial é insignificante, quando comparado ao método acima dos centros.

Estudos visando a otimização do processo utilizando altas taxas de remoção de material foram realizados por Rowe et al.(1987). Uma investigação durante retificação de aço e ferro fundido foi realizada permitindo a identificação de características limites. Estas características limites revelam através de um diagrama os contornos da operação onde as variáveis do processo são a taxa de passagem, a velocidade de rotação da peça e a velocidade de rotação do rebolo de arraste. Os limites determinados foram a queima da peça, vibração e potência disponível. O diagrama gerado apresenta um ponto ótimo de operação dentro de uma região circundada pelos limites.

Diversos pesquisadores (Furukawa et al.(1971), Gurney (1964), Rowe(1979), Miashita (1982)), também tem se dedicado a estudar o desempenho do processo center-less sobre diferentes condições. Estes trabalhos em muito tem contribuído para um melhor entendimento deste processo, pois resultados satisfatórios tem sido encontrados.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes foram realizados em uma retificadora cilíndrica center-less convencional com 12,5 CV de potência disponível no motor principal e avanço de mergulho e corte variáveis. Hastes de válvulas de aço, foram então retificadas, sendo que em cada passe retirava-se 0,02mm em seu diâmetro.

O sistema desenvolvido utilizou uma placa de aquisição de dados da marca National Instruments modelo DAQCard – AI – 16E – 4, e dois sensores: um sensor de proximidade e um sensor de emissão acústica. O sensor de proximidade, que funciona como trigger, foi ligado próximo a flange do rebolo de corte da retificadora onde foi fixada uma pequena peça de metal, de tal forma que a placa de aquisição possa receber um sinal de intensidade toda vez que a peça passa pelo sensor.

Para análise da emissão acústica foi usada uma unidade específica de monitoramento. O sensor de emissão acústica trabalha a uma certa frequência, captando os ruídos provindos da régua suporte e transformando estes em impulsos elétricos, que são adquiridos pela placa de aquisição de dados. Os dados são captados a medida que a placa recebe o sinal do sensor de proximidade. Os dados obtidos são capazes de gerar um mapa digital, da variação da profundidade de contato instantâneo, ao longo de cada volta do rebolo, através do sinal de emissão acústica medida no processo. Pelo padrão do mapa é possível reconhecer falhas ocorridas durante o processo, pois dependendo de como ocorre a variação da profundidade instantânea de corte, o padrão gráfico apresenta características diferentes.

A “Figura 2”, mostra a disposição dos sensores de emissão acústica e proximidade na retificadora.

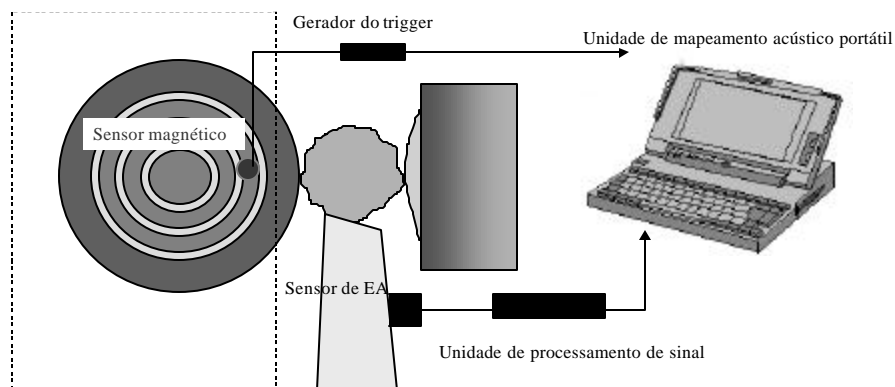


Figura 2. Desenho esquemático identificando posicionamento dos sensores utilizados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimentos, executados sobre condições ideais e inadequadas de trabalho durante retificação center-less, foram realizados para avaliar a funcionalidade do sistema de monitoramento proposto. As Figuras de 3 a 6, apresentam os mapas obtidos durante os testes.

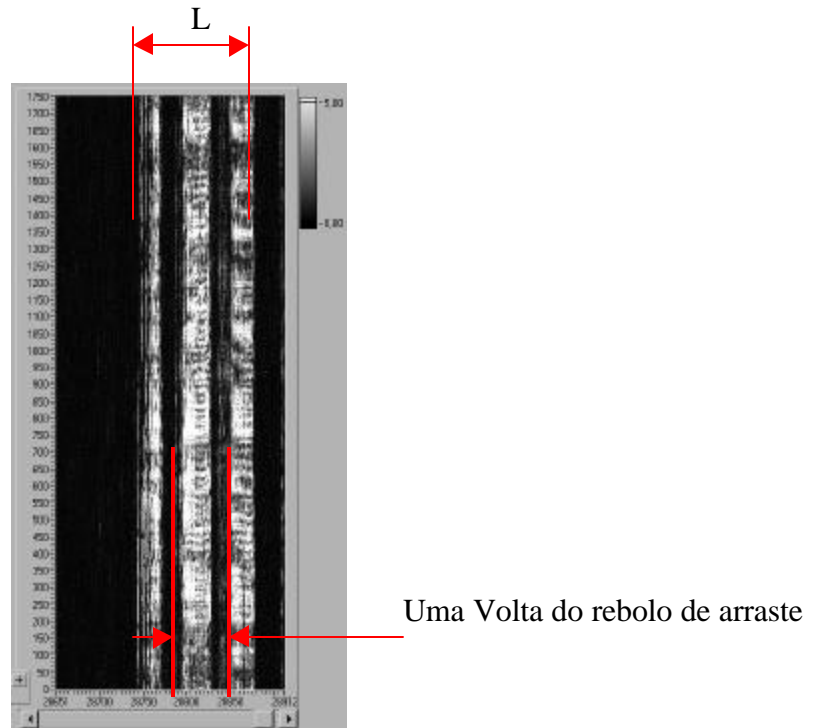


Figura 3. Reboleto de arraste excêntrico

O mapa da “Figura 3” caracteriza o processo, no qual o reboleto de arraste encontra-se excêntrico. A dimensão “L” define o tempo de ciclo, necessário para retificação da amostra. Verifica-se uma variação no nível do sinal de emissão acústica ao longo de uma volta do reboleto de arraste, pois as faixas escuras verticais representam baixos níveis do sinal e as faixas brancas altos níveis do sinal de emissão acústica.

Com relação ao mapa da “Figura 4”, verifica-se que exatamente no momento anterior ao sparkout, o sistema de avanço da retificadora falha, acarretando em momentânea perda do sinal de emissão acústica.

Estes problemas tendem a comprometer significativamente a qualidade final do produto. Uma condição otimizada do set-up da máquina, pode ser obtida através do controle de parâmetros tais como: altura da régua suporte, velocidades do reboleto de corte e de arraste, avanços de corte e mergulho, dentre outros (Zhou et al.(1996), Guo et al. (1997)). Na “Figura 5”, o mapa representa a retificação satisfatória de haste de válvula que apresentou circularidade de  $1,8\mu\text{m}$ . Para esta condição, o padrão gráfico não apresenta significativa alteração, em função da pequena variação sofrida na profundidade instantânea de corte durante o processo.

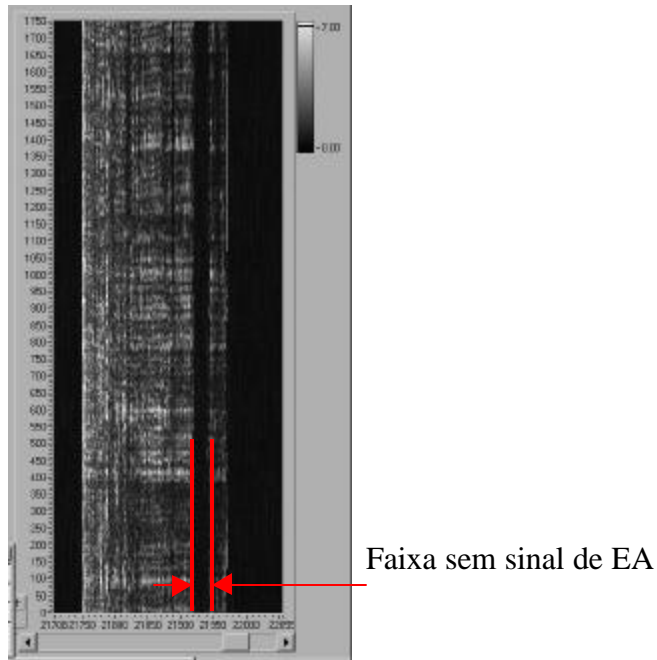


Figura 4. Falha no avanço, exatamente no momento anterior ao sparkout.

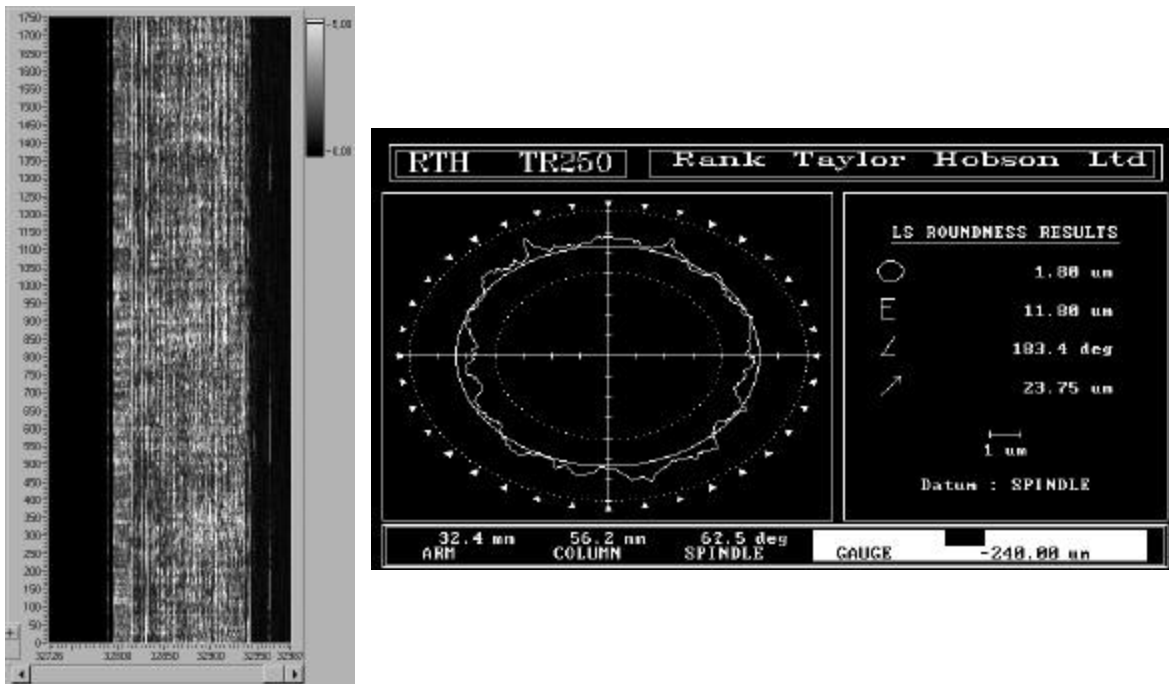


Figura 5. Retificação padrão de válvula com boa circularidade.

Considerável erro de circularidade da peça ( $3,70\mu\text{m}$ ), pode ser obtido quando o rebole de corte encontra-se desbalanceado, como mostrado na “Figura 6”. Durante os testes, verificou-se que uma volta da peça correspondia a oito voltas do rebole de corte desbalanceado. Este desbalanceamento gera uma maior instabilidade ao processo devido a variação da profundidade instantânea de corte, associado a um alto nível de vibração da retificadora e o perfil de circularidade da peça apresenta um número de lóbulos que esta intimamente ligado a relação existente entre as rotações do rebole de corte e da peça.

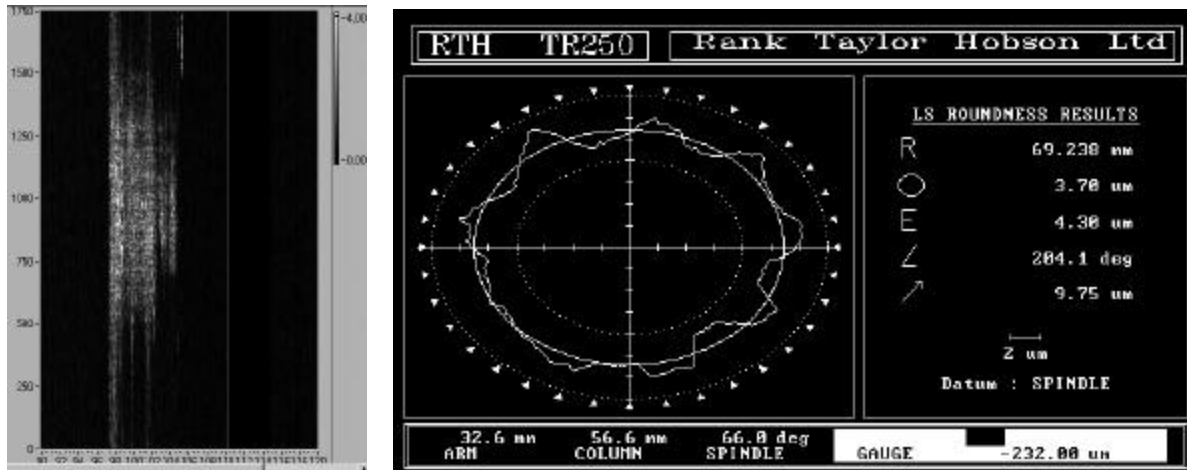


Figura 6. Retificação de válvula com rebolo de corte desbalanceado.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- É possível fazer um diagnóstico do processo através do monitoramento e detecção de falhas ocorridas durante retificação center-less, utilizando a nova metodologia proposta, a partir dos diferentes padrões gráficos gerados pelos sinais de emissão acústica;
- Existe uma correlação entre os padrões gráficos obtidos e as falhas provocadas na retificadora;
- As condições de set-up de máquina influenciam significativamente na qualidade final do produto, o que está diretamente relacionado com os custos do processo, sendo o parâmetro estudado a circularidade da peça

#### *Agradecimentos*

Os autores gostariam primeiramente de agradecer ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo. Estes agradecimentos se estendem também, a todos aqueles que de forma tão significativa contribuíram para a realização deste trabalho, dentre eles os amigos do OPF/EESC/USP, Alexandre, Carlos Magno, Aldo, Ronaldo, Leonardo, Paulo Bellini,, Giuliano e os amigos do CTU/UFJF, Clarete, Etienne, Francisco, Cuco, Márcio, Paulo Rogério e Gerson.

#### REFERÊNCIAS

- Dall, A. H., 1946, Rounding effect in center-less grinding, Mechanical Engineering, pp.325-329.
- Furukawa, Y., Miashita, M. and Shiozaki, S., 1971, Vibration analysis and work-rounding mechanism in center-less grinding, International Journal Machine Tools Design and Research, Vol.11, pp.145-175.
- Guo, C., Malkin, S., Kovach, J. A. and Laurich, M., 1997, Computer simulation of below-center and above-center center-less grinding, Machining Science and Technology, pp.235-249.

- Gurney, J. P., 1964, An analysis of center-less grinding, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.86, pp.163-174.
- Miashita, M., 1982, Diagram for selecting chatter-free conditions of center-less grinding, Annals of CIRP, Vol.31, pp.221-223.
- Oliveira, J. F. G., 1994, Center-less grinding panel, Technical Report TRW Engine Components, Europe, 510p.
- Rowe, W. B., Bell, W. F. and Brough, D., 1987, Limit charts for high removal rate center-less grinding, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, Vol.27, pp.15-25.
- Rowe, W. B., 1979, Research into mechanics of center-less grinding, Precision Engineering, Vol.1, pp.75-84.
- Takasu, S. & Masuda, M., 1992, Through feed center-less grinding for light workpieces, Journal of the Japan Society of Precision Engineering, Vol.57, pp.1977-1982.
- Udupa, N. G. S., Shunmugam, M. S. and Radhakrishnan, V., 1987, Influence of workpiece position on roundness error and surface finish in center-less grinding. International Journal of Machine Tools and Manufacturing, Vol. 27, pp.77-89.
- Udupa, N. G. S., Shunmugam, M. S. and Radhakrishnan, V., 1987, Three-dimensional geometric analysis of the plunge center-less grinding process, Proceedings Inst. Mechanical Engineering, Vol.201, pp.309-320.
- Zhou, S. S., Howes, T. D. and Gartner, J. R., 1996, On the relationship between setup parameters and lobing behavior in center-less grinding. Annals of CIRP, pp.341-346.

## **DIAGNOSIS OF THE PLUNGE CENTER-LESS GRINDING PROCESS THROUGH ACOUSTIC EMISSION**

**Abstract.** *A new approach was developed to detect fails and to characterize the center-less grinding. Thus, a software was created, capable of generating a digital map representing the variation of instantaneous depth of workpiece contact with grinding wheel, during each turn of the wheel through the measurement of the acoustic emission in the process. Throughout the pattern of the map is possible to recognize fails that happened during grinding, because depending on how happens, the variation of depth of cut, the graphic pattern presents different aspects.*

**Keywords:** *Center-less grinding, Acoustic emission, Monitoring*