



**MONITORAMENTO DA QUEIMA SUPERFICIAL NO PROCESSO DE
RETIFICAÇÃO PLANA POR INTERMÉDIO DE SINAIS DE EMISSÃO
ACÚSTICA E FORÇA DE CORTE**

Paulo Roberto de Aguiar

UNESP - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Elétrica
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N, CEP. 17033-360 – Bauru-SP.
e-mail: aguiarpr@feb.unesp.br

Rafael Pavan Bagagli, Eduardo Carlos Bianchi, Rodrigo Daun Monici

UNESP - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N, CEP. 17033-360 – Bauru-SP.
e-mail: rpbagagli@zipmail.com.br

***Resumo.** A retificação é um dos processos de fabricação de menor domínio tecnológico, se comparado aos processos convencionais de usinagem. Danos causados na superfície usinada acarretam grande prejuízo no processo produtivo, uma vez que todas as outras operações anteriores são perdidas com o sucateamento da peça danificada. A queima superficial é um dos principais danos na retificação, causado pela excessiva entrada térmica devido ao aumento das forças de corte na superfície usinada. O presente trabalho objetivou o monitoramento da queima superficial no processo de retificação através de sinais de emissão acústica e potência elétrica do motor de acionamento do rebolo. Pesquisadores têm demonstrado que estes sinais combinados fornecem um indicativo expressivo da queima. Por intermédio de um programa implementado no software LabVIEW, foi feita a aquisição dos sinais que foram armazenados em arquivos de dados para posterior processamento digital. Relações matemáticas e estatísticas como skew e kurtosis foram aplicadas com o objetivo de encontrar um indicador expressivo da queima.*

***Palavras-chave:** retificação, queima superficial, emissão acústica, força de corte, monitoramento*

1. INTRODUÇÃO

Na indústria metal-mecânica a retificação é usualmente o processo final de acabamento de um componente de precisão. Este processo é utilizado para fabricação de peças nos mais diversos tipos de materiais, exigindo resultados como baixa rugosidade superficial, controle dos erros dimensionais e de forma da peça, máxima vida útil da ferramenta; com tempo e custos mínimos (Aguiar, 1997).

Danos causados na peça de trabalho são de alto custo, uma vez que todo processo anterior, além da própria retificação, é perdido quando uma parte é danificada neste estágio. Os danos mais comuns na operação de retificação são queima, trincas, e ou tensões residuais indesejáveis. No caso dos metais, a principal causa de danos é a excessiva entrada térmica na superfície usinada.

A necessidade de efetivas reduções de custos, aliado ao aumento de qualidade das peças produzida, requer a implementação de sistemas mais inteligentes em ambientes industriais. Portanto o controle dos danos causados no processo de retificação é de interesse direto de todas as indústrias

dependentes desse processo, levando assim à uma taxa mais baixa de perdas de peças e conseqüentemente a um custo mais baixo de produção.

A dificuldade fundamental de controlar os danos causados no processo de retificação é a falta de um método confiável em fornecer realimentação em tempo real durante o processo. Sinais de emissão acústica e potência de corte combinados têm sido utilizados com sucesso na determinação de parâmetros indicativos da queima. Estes sinais tratados e combinados possibilitam a implementação de um sistema de monitoramento “on-line” da queima, otimizando o processo de retificação. Como foi dito anteriormente, isto seria de grande benefício para as empresas dependentes desse processo, uma vez que a exigência de qualidade e competitividade internacional cresce cada vez mais com a globalização.

2. CONCEITOS SOBRE QUEIMA SUPERFICIAL NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO

Um dos tipos mais comuns de danos térmicos no processo de retificação é a queima da peça. Quando a queima superficial da peça se inicia, existe uma tendência do crescimento da adesão de partículas metálicas nos grãos abrasivos do rebolo, tendo como conseqüência o aumento das forças de retificação. Este aumento de forças provoca a deterioração da qualidade superficial da peça, podendo levar ao aumento da perda diametral do rebolo, fazendo com que seu desgaste volumétrico aumente. Segundo Malkin (1989), a queima superficial da peça influencia na alteração da microestrutura do material retificado.

Através da realização de medições de microdureza na subsuperfície de aços temperados verificou-se que a queima superficial induzida pelo processo de retificação é acompanhada por um processo de reaustenitização do material. Para aços temperados retificados sem queima superficial, existe geralmente um amolecimento do material próximo à superfície, por terem sido atingidas temperaturas inferiores às de austenitização. Com a queima superficial ocorre a retêmpera do material, a qual é conseqüência da reaustenitização do mesmo, seguida da formação de martensita não revenida. Esta pode ser constatada através da análise metalográfica, resultando no aumento da microdureza superficial. Evidências metalúrgicas e medições de microdureza indicam que o limite para início da queima visível coincide com o valor limite da temperatura para início da austenitização do material. Segundo Malkin (1989), a queima superficial da peça, observada para aços de rolamentos, traz um aspecto adverso quanto ao limite de resistência à fadiga e conseqüente diminuição do número de ciclos destes aços após a retificação. Este comportamento é atribuído a formação de martensita não revenida, gerada no processo de queima superficial, em função do aquecimento à temperatura de austenitização e resfriamento rápido sem posterior alívio de tensões (revenimento).

Yasui (Yasui e Tsukada, 1983) mediu a temperatura na superfície da peça utilizando-se como fluido refrigerante óleo, água e também à seco. Ele verificou que à uma temperatura acima do ponto de ebulição de cada fluido, a superfície da peça atingia rapidamente a temperatura correspondente aquela verificada para a retificação à seco. Em outras palavras, os fluidos deixavam de ser efetivos. Num estudo posterior, Salmon (Salmon 1988) observou experimentalmente a formação de um filme de vapor na superfície da peça, imediatamente abaixo da zona de contato.

2.1. Controle da Queima Via Sinais de Emissão Acústica

A dificuldade fundamental em controlar os danos causados no processo de retificação é a falta de um método confiável em fornecer realimentação em tempo real durante o processo. Webster [Webster et al. 1994, 1996] tem mostrado que a medida do sinal de emissão acústica é significativamente mais sensível à variações das condições de retificação do que medidas de força e potência e, portanto fornece uma técnica mais promissora para o monitoramento “on-line” do processo. A emissão acústica (EA) pode ser definida como sendo ondas de tensão elástica gerada como um resultado da liberação rápida de energia de deformação dentro de um material submetido a um estímulo externo, devido ao rearranjo de sua estrutura. Estas ondas de tensão produzem

deslocamentos na superfície do material o que pode ser detectado por um sensor piezolétrico que transforma estes deslocamentos em sinais elétricos (Diniz et al, 1991).

Sua faixa de frequência gira em torno de 50 kHz a 1000 kHz, que está acima da faixa de muitos ruídos vindo de fontes exteriores ao próprio processo de retificação. Sendo assim, é um método sensível e adequado para monitorar o processo de retificação (Oliveira, 1998).

As origens da emissão acústica no processo são decorrentes principalmente da fratura do grão e do ligante, fissura do grão e fricção entre o grão abrasivo e a peça-obra, todos diretamente ligados ao processo de formação de cavaco e desgaste do rebolo. Com o sinal de emissão acústica é possível determinar o fim do *sparkout*, que é muito importante para diminuir o ciclo de retificação (Oliveira, 1998).

Emissão Acústica tem sido usada como um método de teste não destrutivo para avaliação da integridade estrutural de materiais desde o fim da década de 1960 (Hutton & Ord, 1970, Ivanov, 1980), mas o uso de EA no processo de monitoramento de retificação é uma tecnologia relativamente nova (Blum & Dornfeld, 1990, Dornfeld, 1986, Inasaki & Okamura, 1985, Koenig et al., 1990, 1993, Tonshoff et. al., 1988). Nos últimos dez anos, artigos técnicos da Alemanha, Japão e EUA tem mostrado pesquisas que tentam relacionar sinais de emissão acústica à aspectos mais complicados do processo de retificação, incluindo a detecção de quebra (Chang & Dornfeld, 1993), queima e trincas (Blum & Dornfeld, 1990, Koenig & Klumpen, 1993), e a transição do modo dúctil/frágil (Bifano & Yi, 1990). Estudos tem sido realizados também no monitoramento do desgaste da ferramenta (Waschkies et al., 1994) e na detecção de trincas devido a fadiga (Berkovits & Fang, 1995).

O parâmetro predominantemente estudado em pesquisas prévias usando emissão acústica tem sido o valor médio quadrático (RMS) do sinal de EA filtrado (EARms) sobre uma banda de frequência cuidadosamente selecionada. Este sinal tem sido um parâmetro razoável de estudo, pois o processo de retificação é muito rico em ondas sonoras, contendo portanto muita informação acústica disponível, sendo por isso utilizado como foco de pesquisas anteriores e atuais, e também por limitações tecnológicas.

Aguiar (1997) tem demonstrado que o sinal RMS de emissão acústica e o sinal de potência de corte combinados pode fornecer parâmetros expressivos para a indicação da queima da peça na retificação plana. O referido pesquisador tem usado uma configuração onde se utilizou um sensor fixo de EA acoplado próximo da peça obra e um sensor de potência elétrica do motor de acionamento do rebolo para as medidas da força de corte. Da combinação entre os sinais, Aguiar (1997) obteve um parâmetro indicativo para a queima da peça, denominado DPO, o qual consistia da relação entre o desvio padrão do sinal RMS de emissão acústica e a potência média de corte por passada do rebolo. Embora para a maioria dos ensaios realizados, o parâmetro denominado DPO tenha se mostrado um indicador da queima, para alguns casos não se comportou da mesma maneira.

O sinal bruto de emissão acústica também tem sido explorado recentemente no monitoramento do processo de retificação. Artigos técnicos (Wang et al., 2001, Webster et al., 1999 e Jemielniak, 1997] mostram que a utilização de ferramentas de processamento de sinais e redes neurais são eficientes no monitoramento da retificação.

Segundo Bianchi et al. (1996), os métodos industriais usuais para testar a superfície da peça usinada são os testes visuais e os de inspeção de fraturas. Com estes métodos, é impossível uma avaliação quantitativa da superfície e da região subsuperficial. Técnicas laboratoriais de medidas de alta resolução, como difração de raios X, testes de dureza com identificadores e inspeção metalográfica, consomem muito tempo e não são realizados em tempo real. Em muitos casos, a peça ainda tem que ser destruída para se obter informações sobre o estado da subsuperfície. Sendo assim, esforços para medição rápida de integridade superficial ganharão maior importância devido às maiores exigências sobre o comportamento funcional de peças retificadas.

3. AQUISIÇÃO DE DADOS E PROCESSAMENTO DE SINAIS

O sistema de aquisição de dados de um processo se baseia na coleta e condicionamento de sinais provenientes dos sensores. A implementação de sistemas de aquisição de dados é feita utilizando microcomputadores, sensores e placas de aquisição de dados.

No processo de retificação, os sinais provenientes dos sensores geralmente são analógicos. Para que se torne possível a manipulação e interpretação destes dados, é necessário que sejam convertidos na forma digital. Para fazer a conversão analógico/digital se faz necessário o uso de placas de conversão A/D. A placa trabalha com sinais de tensão e isto ocorre da seguinte forma: um sinal de tensão aplicado numa das entradas da placa de aquisição é transformado em um número pela placa de conversão de acordo com a escala unipolar ou bipolar.

Segundo Johnson (1997), o processo de selecionar um canal da placa e inicializar a entrada de dados, necessita de uma interface entre o sistema de aquisição e o microcomputador. Esta interface é facilitada por um software criado pelo usuário com a definição da frequência de amostragem, número de pontos a serem adquiridos e arquivos onde serão armazenados os dados. Um dos softwares mais utilizados atualmente para aquisição de dados é o LabVIEW. Ele permite a comunicação, manipulação e armazenamento dos dados coletados através de rotinas compactas e facilmente implementáveis.

Além de serem coletados e convertidos em sinais digitais, os dados provenientes dos sensores devem ser condicionados ou tratados de forma que se obtenha um sinal tão fiel quanto possível, ou seja, sem ruídos indesejáveis causados por outros elementos do sistema, e também num nível de tensão elétrica compatível com os instrumentos de aquisição de dados (Aguiar, 1997).

Existem muitas ferramentas e formas de condicionamento e processamento de sinais, sendo que algumas das principais, e que foram utilizadas neste trabalho, são descritas a seguir.

Valor RMS - É a média quadrática de uma banda de frequência selecionada do sinal. Este tratamento de sinal é muito utilizado em sinais de emissão acústica.

Skew - É o terceiro momento da média e está relacionado com a assimetria de uma distribuição. Uma primeira distribuição pode apresentar uma distorção (skew) positiva. Isto significa que ela possui uma longa “cauda” na direção positiva. Do mesmo modo, uma distribuição pode apresentar uma distorção negativa, uma vez que sua “cauda” está na direção negativa. Esta estatística é calculada por:

$$S = \frac{\sum (X - m_x)^3}{N s_x^3} \quad (1)$$

Kurtosis - O quarto momento da média está relacionado com a forma da área da distribuição, que pode ser alongada ou achatada em relação a uma distribuição normal. Pode ser utilizado como indicador de variações no sinal de emissão acústica. A kurtosis é calculada por:

$$K = \frac{\sum (X - m_x)^4}{N s_x^4} - 3 \quad (2)$$

Após a aquisição de dados e do processamento dos sinais, deve-se determinar métodos de diagnósticos para o monitoramento do processo. Deve-se determinar uma condição de comportamento normal para o sinal e observar quando este comportamento se desvia do normal indicando então um problema. A partir daí, um modelo é determinado entre a saída do sensor e a mecânica do processo utilizando as informações coletadas, para detectar algum problema e até mesmo prever o comportamento do processo.

Dois métodos promissores de monitoramento de processos industriais são Redes Neurais (Wang et al. 2000] e Lógica Fuzzy (Inasaki, 1999). Estes métodos utilizam multisensores para obter um modelo do comportamento do processo e analisam a relação entre as entradas e as saídas deste

processo podendo, por exemplo, prever fenômenos ocorridos na retificação como queima superficial, quebra, trincas e tensões residuais.

4. METODOLOGIA

O procedimento experimental deste trabalho contou com a realização de 6 ensaios laboratoriais em uma retificadora plana, variando-se as condições de usinagem (h_{eq}), e ensaios de rugosidade superficial da peça, utilizando um rugosímetro, para caracterização da queima, além da inspeção visual.

O rebolo utilizado foi de óxido de alumínio do fabricante Norton e os materiais utilizados foram os aços ABNT 1020 e ABNT 1045 temperado.

Para realização do ensaio, o corpo de prova foi fixado a um suporte preso à mesa retificadora pelo magneto da mesa. As condições de usinagem (velocidade de corte, velocidade da mesa e penetração do rebolo na peça) foram determinadas em ensaios preliminares a fim de que fossem suficientes para causar a queima da peça. Outro artifício utilizado para facilitar a queima e sua visualização foi a não utilização de fluido refrigerante. O trabalho objetivou detectar a queima por intermédio de sinas de emissão acústica e força de corte, portanto, a não utilização de fluido refrigerante não influenciou significativamente nos sinais analisados.

O esquema do banco de ensaios montado é mostrado na Figura 1.

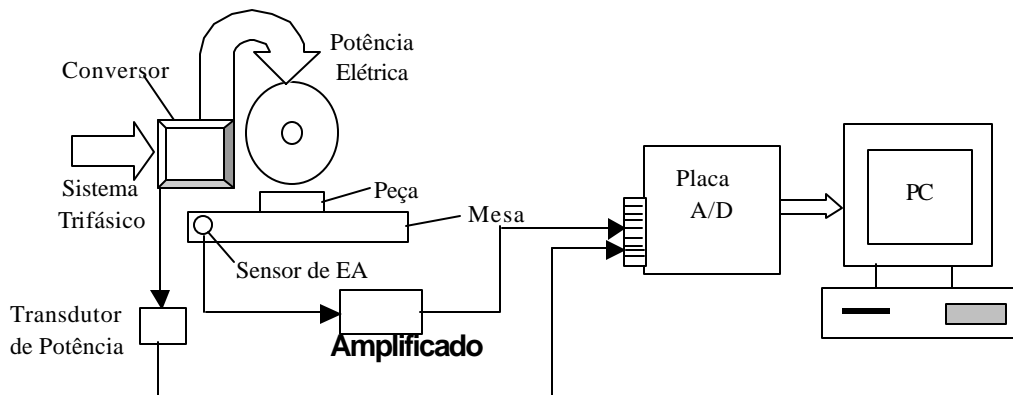


Figura 1. Configuração experimental do trabalho

Para a medição de potência elétrica do motor de indução trifásico de 7,5 cv, responsável pelo acionamento do eixo árvore da retificadora, utilizou-se um sensor de efeito Hall do fabricante Nana Eletronics Co. Ltd. O motor é alimentado por um conversor de frequência de 380V do fabricante Weg, e por isso, optou-se por medir a potência na entrada deste inversor, mesmo sabendo que esta potência não corresponde à consumida pelo motor, pois neste trabalho, o importante é a repetibilidade desta medição, uma vez que o objetivo é determinar quais características do sinal sofrem variação significativa na ocorrência da queima.

O sinal de potência lido é multiplicado e filtrado por intermédio de um circuito, obtendo-se um sinal DC proporcional a potência ativa de entrada. Este sinal é amplificado ao nível compatível com a placa de aquisição de dados. A calibração do módulo de potência foi realizada no laboratório de Aquisição de Dados e Processamento de Sinais da Faculdade de Engenharia da Unesp – Bauru e a equação obtida para transformação dos sinais de tensão em valores proporcionais de potência elétrica é a seguinte:

$$P_{el} = 765,25 * V - 3,37 \quad (3)$$

onde V é a tensão de saída do circuito.

A transformação de potência elétrica em potência mecânica e, conseqüentemente em força de corte foi possível utilizando-se as curvas de corrente e fator de potência do motor de indução, de onde foi obtida uma curva de potência mecânica em função da potência elétrica.

A emissão acústica gerada no processo de retificação foi medida por intermédio de um sensor do tipo piezoeletrico do fabricante Sensis acoplado ao suporte próximo à peça para garantir uma aquisição de sinais livre de ruídos indesejáveis. O sensor possui um módulo que contém os circuitos necessários para o processamento do sinal, proporcionando ajustes de calibração e sensibilidade através de potenciômetros localizados na parte frontal do referido módulo, entregando na saída deste o valor RMS do sinal de emissão acústica. Foi utilizado uma constante de integração para o sinal de EA de 1 ms.

Os dados advindos dos sensores de emissão acústica e potência deverão sofrer uma conversão do modo analógico para o modo digital. Para tal, foi utilizada uma placa de conversão de dados de 12 bits do fabricante National Instruments, cuja especificação é AT-MIO-16E-10 e a máxima frequência de amostragem é de 100000 pontos/s, a qual foi instalada num microcomputador do tipo PC. Além da instalação física, a placa deve ser inicializada via software para armazenamento dos dados em arquivos do tipo texto.

Uma rotina para aquisição de sinais de emissão acústica e potência elétrica do motor de acionamento do rebolo foi implementado no software LabVIEW, possibilitando a manipulação e armazenamento dos dados para posterior processamento digital no software Matlab.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a obtenção de um parâmetro indicativo da queima é necessário o processamento digital dos dados obtidos para que o fenômeno possa ser identificado com a melhor precisão possível, livre de perturbações externas. Estudou-se a aplicação de ferramentas estatísticas e foram obtidos bons resultados com as ferramentas *skew* e *kurtosis* associadas à força tangencial de corte. Dessa associação foi definido um parâmetro denominado FKS, que é calculado pela máxima força de corte por passada, dividida pelo produto da ferramenta estatística *skew* pela ferramenta estatística *kurtosis*, ambas aplicadas ao sinal de emissão acústica obtido em cada passada do rebolo. Desta forma:

$$FKS = \frac{Fc_{max}}{S(EA)K(EA)} \quad (4)$$

onde : Fc_{max} é a máxima força de corte na passada

$S(EA)$ é o *skew* do sinal de emissão acústica na passada

$K(EA)$ é a *kurtosis* do sinal de emissão acústica na passada

A tabela 1 mostra as condições de usinagem utilizadas nos ensaios.

Tabela 1. Condições de usinagem dos ensaios.

Ensaio	Vw (m/s)	Vs (m/s)	a (mm)	h _{eq} (mm)
1	0,123	32,6	20	0,075
2	0,123	32,6	25	0,094
3	0,123	32,6	35	0,132
4	0,123	32,6	40	0,150

O material dos ensaios 1 e 2 foi o aço ABNT 1020 e dos ensaios 3 e 4 foi o aço ABNT 1045 temperado. O rebolo utilizados em todos os experimentos foi o 38A80 – PVS do fabricante Norton.

As Figuras 2 e 3 mostram os sinais de emissão acústica e força de corte obtida da potência do motor de acionamento do rebolo.

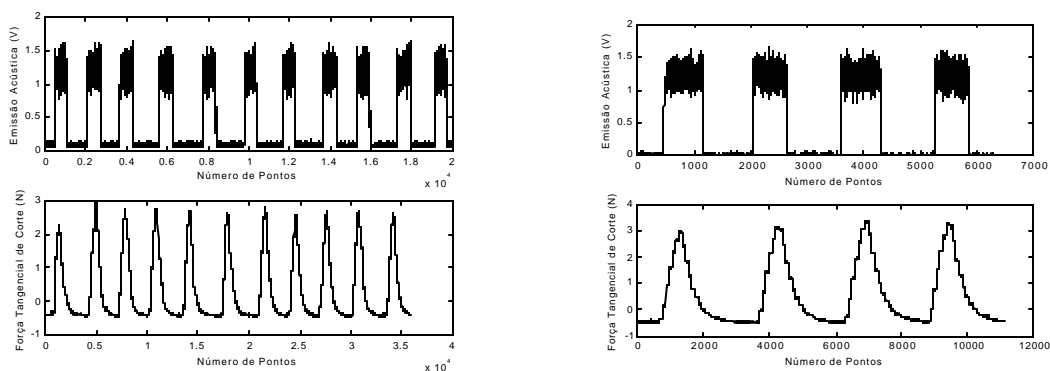


Figura 2. Ensaio com o aço ABNT 1020 com h_{eq} igual a 0,075 e 0,094 μm .

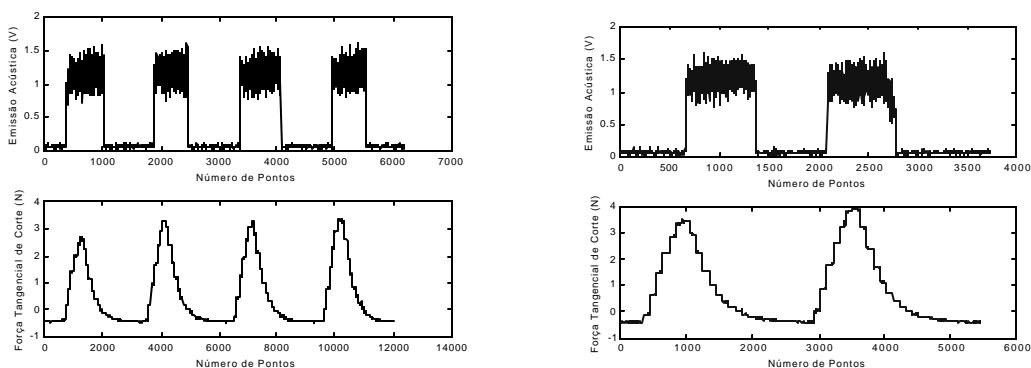


Figura 3. Ensaio com o aço ABNT 1045 com h_{eq} igual a 0,132 e 0,150 μm .

A força de corte por passada foi obtida por intermédio dos sinais de potência elétrica do motor. Por conseguinte, calculou-se o inverso das ferramentas estatísticas *skew* e *kurtosis* aplicadas ao sinal de emissão acústica de cada passada do rebolo. Observou-se então, que a força de corte por passada dividida pelo produto do inverso de ambas as ferramentas aplicadas ao sinal de emissão acústica mostrava um salto na passada onde foi observado o início da queima. As figuras 4 e 5 mostram os resultados com a seqüência do processamento dos sinais até a obtenção do parâmetro *FKS*.

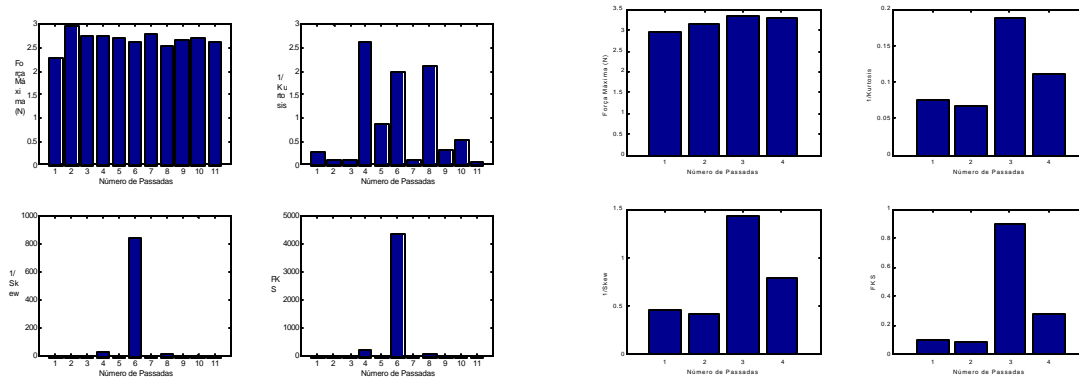


Figura 4. Força de corte por passada, inverso da kurtosis, inverso do skew e parâmetro *FKS* para os ensaios 1 e 2

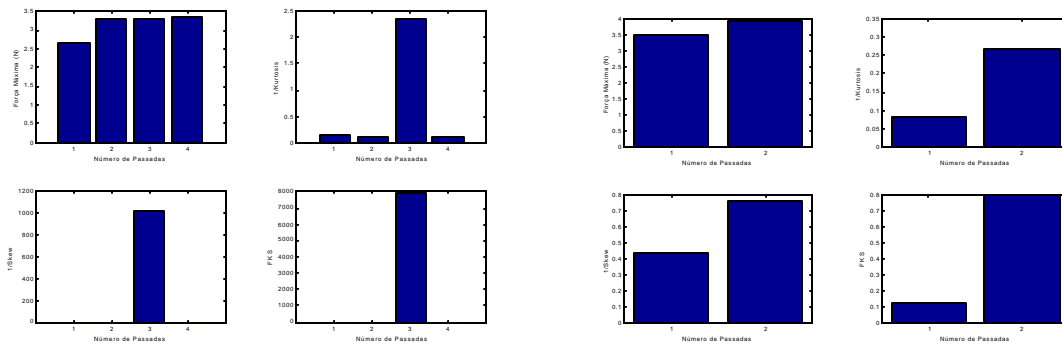


Figura 5. Força de corte por passada, inverso da kurtosis, inverso do skew e parâmetro *FKS* para os ensaios 3 e 4

Com base nos ensaios realizados e nos resultados obtidos experimentalmente, expressos nas figuras 4 e 5, verifica-se que o material apresentou queimas brandas em algumas passadas antes da queima significativa (final). Este fato ocorreu devido às severas condições de usinagem impostas e da falta de fluido refrigerante, pois com isso, a temperatura na superfície usinada aumentou provocando transformações metalúrgicas na região. As queimas brandas eram retiradas pela passada subsequente do rebolo.

Os níveis máximos do sinal de emissão acústica e de potência mantiveram-se praticamente constantes durante os ensaios. Este fato ocorreu devido a não utilização do fluido de corte. Com isso, a queima ocorreu sem que o rebolo se desgastasse devido à perda de afiação das arestas cortantes dos grão abrasivos e ao entupimento dos poros da estrutura da ferramenta. Portanto, a força tangencial de corte não cresceu com o passar do tempo de ensaio. O sinal de emissão acústica mostrou-se mais sensível às variações do processo de retificação que o sinal de potência elétrica conforme se pode observar nas figuras do item anterior. A alta sensibilidade do sinal acontece devido às características de respostas dinâmicas do sensor serem muito superiores àquelas do sinal de potência elétrica do motor.

Os parâmetros inverso da *skew* e inverso da *kurtosis* para emissão acústica em cada passada do rebolo apresentaram variações interessantes devido à ocorrência da queima porém, a correlação entre estas ferramentas e a força máxima de corte por passada formando o parâmetro denominado *FKS*, apresentou grandes variações nas passadas em que a queima começou a aparecer, mesmo brandamente (picos máximos no gráfico de *FKS*). Sendo assim, mesmo a força de corte não apresentando variações significativas de passada para passada do rebolo, pois a queima aconteceu rapidamente devido às condições de usinagem impostas, não dando tempo para ocorrer desgaste significativo do rebolo que provocasse variações no nível do sinal, o parâmetro *FKS* obtido, definido como a força máxima de corte por passada do rebolo, dividida pelo produto das ferramentas *skew* e *kurtosis* aplicadas ao sinal de emissão acústica em cada passada do rebolo, apresentou variações altas nas passadas onde a queima começou a ocorrer (picos máximos).

6. CONCLUSÕES

Conclui-se neste trabalho que as variações de nível do parâmetro *FKS* estudado aconteceram mesmo antes da queima definitiva, levando em conta que os ensaios apresentaram queimas leves antes da passada final. Tal parâmetro foi muito sensível às variações nas condições de usinagem e, portanto, mostrou-se muito eficiente na detecção da queima superficial da peça. Ensaios utilizando fluido de corte e com mais tempo de duração para que a queima não ocorra facilmente e o rebolo empaste fazendo com que o nível do sinal de força de corte cresça, podem ser realizados para ratificação da eficiência do parâmetro definido e assim, simular uma situação de usinagem mais próxima da real possível onde poderá ocorrer a queima superficial da peça de trabalho.

Finalmente, conclui-se que a utilização do parâmetro FKS em conjunto com outras ferramentas, como o parâmetro DPO definido por Aguiar (1997), inseridos em um algoritmo de redes neurais ou lógica Fuzzy, vislumbram tornar-se um poderoso sistema de controle e otimização do processo de retificação tangencial plana.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq/PIBIC pela bolsa de iniciação científica concedida ao aluno Rafael Pavan Bagagli e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio financeiro, sem o qual não teria sido possível a realização deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, P. R., WILLETT, P., WEBSTER, J. “Acoustic Emission Applied to Detect Workpiece Burn During Grinding”, International Symposium on Acoustic Emission: Standards and Technology Update, S. Vahaviolos, Ed., Fort Lauderdale, FL, January 1999.
- AGUIAR, P. R., “Monitoramento da Queima Superficial em Processo de Usinagem por Retificação usando a Potência Elétrica do Motor de Acionamento e Emissão Acústica”, Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 1997.
- AGUIAR, P. R., OLIVEIRA, J. F. G., “Production Grinding Burn Detection Using Acoustic Emission and Electric Power Signals”, Abrasives Magazine, January 1999, pp. 16-24.
- BIANCHI, E. C., SANCHES, L. E. A., FERNANDES, O. C., MOGAMI, O., SILVA JR, C. E. & AGUIAR, P. R. ”Análise do Comportamento de Rebolos Convencionais na Retificação de Aços Frágeis”, Congresso Norte Nordeste de Engenharia Mecânica, IV, Recife/PE, pp. 335-340, 1996.
- BLUM, T. & DORNFELD, D. A.. “Grinding Process Feedback using Acoustic Emission”, In: 4th International Grinding Conference, Dearborn (Detroit), Michigan, October 1990.
- DINIZ, A. E., CUPINI, N. L.; VILELLA, R. C. “Monitoramento do processo de usinagem por emissão acústica”. XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, São Paulo, dezembro de 1991.
- DORNFELD, D. “Acoustic Emission Process Monitoring for Untended Manufacturing”, Japan-USA Symposium on Flexible Automation, Osaka, Japan, pp. 831-836, 1986.
- INASAKI, I. “Sensor Fusion for Monitoring and Controlling Grinding Processes”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1999, pp. 730-736.
- INASAKI, I. “Monitoring of Dressing and Grinding Process with Acoustic Emission Signals”. Annals of the CIRP, Vol.42/2/1993, pp. 723-732.
- JEMIELNIAK, K. “Some Aspects of Acoustic Emission Signal Processing”. Annals of the CIRP, 1997, pp. 1-8.
- JOHNSON, C. D., “Process Control Instrumentation Technology”, Prentice Hall, 5 ed. New Jersey, 1997, 638 p.
- KING, R. I. & HAHN, R. S. “Handbook of modern technology”. 3 New York, Chapman and Hall, 1986.
- KOENIG, W. e KLUMPEN, T. “Monitoring and Sensor Concepts for Higher Process Reliability”, 5th Int. Grinding Conf., Cincinnati, Ohio, October 26-28, 1993.
- MALKIN, S. “Grinding technology: theory and applications of machining abrasives”. England: Ellis Horwood Limited, 1989, 275p.
- OLIVEIRA, J. F. G. “Tópicos avançados sobre o processo de retificação”. USP-EESC, publicação 048/89, São Carlos, 1989.
- SALMON, S. C., “Unpublished work”, University of Bristol, 1988.
- SHAW, M. C. “Heat-Affected Zones in Grinding Steel”. Annals of the CIRP, Vol.43/1/1994, pp. 279-282.
- TÖNSHOFF, H. K. et al. “Development and Trends in Monitoring and Control of Machining Processes”, Annals of the CIRP, Vol. 37/12/1988. pp. 611-621.

WANG, Z., WILLETT, P., AGUIAR, P. R., WEBSTER, J., “Neural Network Detection Grinding Burn from Acoustic Emission”. International Journal of Machine Tools & Manufacture, volume 41, 2001, pp. 283-309.

WEBSTER, J.; MARINESCU, I.; BENNET, R. “Acoustic emission for process control and monitoring of surface integrity during grinding”. Annals of the CIRP, volume 43/1, 1994. p. 299-304

YASUI, H. & TSUKUDA, S. “Influence of Fluid Type of Wet Grinding Temperature”. Bull. Japan Soc. of Prec. Eng., Vol. 17, No. 2, pp. 133-134, 1983.

SUPERFICIAL BURN MONITORING BY ACOUSTIC EMISSION AND CUTTING FORCE IN GRINDING

Paulo Roberto de Aguiar

UNESP - Sao Paulo State University – Campus of Bauru

Faculty of Engineering

Department of Electrical Engineering

Av. Edmundo Carrijo Coube St., Bauru – SP

e-mail: aguiarpr@bauru.unesp.br

Rafael Pavan Bagagli, Eduardo Carlos Bianchi, Rodrigo Daun Monici

UNESP - Sao Paulo State University – Campus of Bauru

Faculty of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Av. Edmundo Carrijo Coube St., Bauru – SP

e-mail: rbagagli@hotmail.com

***Abstract.** Among the kinds of manufacturing processes, grinding is the least technological developed one when compared with conventional machining processes. Damages on the ground surface leads to a non-profit productive process, since the previous operations are lost with the part scrapped. Superficial burn is one the most important kind of damage in grinding caused by an excessive thermal input into the workpiece due to the increase of the cutting force in the ground surface. This work aims at monitoring the superficial burn in grinding by acoustic emission and electrical power of the grinding wheel motor drive. Researchers have shown that those signals together combined provide an expressive parameter to burn. Signal acquisitions were carried out through a computational program in LabVIEW and data were stored into files for further digital signal processing. Mathematical relationships and statistics such as skew and kurtosis were used in order to figure out a good parameter for burning.*

***Keywords.** Grinding, superficial burn, acoustic emission, cutting force, monitoring*