

APLICAÇÕES DA EMISSÃO ACÚSTICA NO MONITORAMENTO DO FRESAMENTO COM INSERTOS DE METAL DURO

Ulisses Borges Souto, ⁽¹⁾

Márcio Bacci da Silva, ⁽²⁾ Rodrigo

Henriques Lopes da Silva, ⁽³⁾

Resumo: O principal objetivo deste trabalho é a verificação da aplicabilidade da emissão acústica (EA) no monitoramento de fenômenos que ocorrem no fresamento frontal com dois diferentes materiais. Neste trabalho foram realizados o monitoramento do fresamento de um aço microligado perlítico de forja (Din 38MnS6) e também de blocos de motores de ferro fundido cinzento lamelar GH190. Os insertos utilizados foram de metal duro R245-12 T3 M-PM 4030 revestidos com TiN. Nos ensaios foram adquiridos o sinal bruto e o sinal RMS de emissão acústica. Este sinal foi utilizado com a finalidade de observar certos fenômenos que acontecem durante usinagem. Os fenômenos são: batimento axial, desgaste de flanco, formação de rebarbas, lascamento da aresta de corte além de reprodução da superfície de corte. Os resultados indicam que a emissão acústica apresenta-se como um interessante e promissor sinal para efetuar a verificação de alguns fenômenos que ocorrem durante corte de metais.

Palavras-chave: Fresamento, Emissão Acústica, Monitoramento

INTRODUÇÃO

A pesquisa em usinagem tem importância fundamental frente aos demais processos de fabricação, pois este processo, que tem suas raízes na revolução industrial, continua expandindo suas fronteiras em resposta à crescente demanda de uma enorme gama de indústrias contemporâneas. A impor-

tância econômica da usinagem para a fabricação

não pode ser subestimada: “Hoje, nos países industrializados, os custos que representam a parcela da usinagem no valor final de um produto manufaturado representam mais de 15 %” (TRENT; WRIGHT, 2000). Dessa maneira, qualquer aumento de produtividade nesta área certamente causará um significativo impacto econômico. Dentro desse contexto, o processo de fresamento, dentre todos os processos de usinagem empregados atualmente, apresenta-se como um dos mais importantes da indústria, tanto pela sua enorme versatilidade e aplicação em ambientes que exigem grande capacidade de remoção de cavaco.

O processo de fresamento caracteriza-se por ser um corte interrompido. Durante uma volta completa da ferramenta, esta passará por momentos em que estará cortando material da peça (ciclo ativo) e o restante da volta estará em vazio (ciclo inativo). Esta característica do corte interrompido faz com que a ferramenta esteja submetida, durante cada rotação, a elevadas variações térmicas e de tensões mecânicas que promovem o aparecimento de avarias e aceleram o desgaste da ferramenta. Portanto, o desgaste e eventuais falhas das ferramentas são fenômenos inevitáveis.

O problema principal quando o responsável pela observação do estado da ferramenta e do processo é o operador é que ele não é capaz de identificar o momento exato em que algum problema ocorre, levando-se em conta a qualidade da peça que está sendo produzida e o limite de aproveitamento da vida da ferramenta. Além disto, a introdução de controles automatizados nas máquinas-ferramenta tornou o monitoramento visual extremamente difícil, além da impossibilidade física de se observar a

(1) Sociedade Educacional de Santa Catarina (ulisses.souto@sociesc.org.br)

(2) Universidade Federal de Uberlândia (mbacci@mecanica.ufu.br)

(3) Universidade Federal de Uberlândia (henriqueslopes@bol.com.br)

região de corte, mesmo quando se fala em prevenção contra falhas repentinas e inesperadas da ferramenta (DOLINSK; KOPAC, 1999).

O melhor momento da troca da ferramenta, para que não haja prejuízo da produtividade das indústrias, deve ser determinado em tempo real (on-line). Existem vários campos de pesquisa para o monitoramento em tempo real do desgaste, que vão desde a vibração, temperatura, forças de corte, emissão acústica, rugosidade, parâmetros elétricos do motor e até emissão sonora (MATSUMOTO; DINIZ, 1997). Porém, a emissão acústica (EA) surge como uma área relativamente nova e promissora neste campo de pesquisa. Isto em função do alto número de fenômenos de usinagem que emitem este sinal, de sua rapidez de resposta, baixa interferência de ruídos, baixa intrusividade, facilidade de operação de seus equipamentos e custo relativamente baixo.

Segundo DOLINSEK e KOPAC (1999), emissão acústica em usinagem se refere à propagação de ondas elásticas acima de 20 kHz, geradas na região do corte. A EA é originada da liberação de ondas vibracionais na estrutura cristalina dos materiais devido a um rearranjo interno em sua estrutura. Dois tipos de sinais são associados à EA: o sinal contínuo, devido às deformações plásticas em materiais dúteis e o sinal de pico (transiente), oriundos da propagação de trincas e impactos do cavaco (BLUM; INASAKI, 1990).

O sinal de emissão acústica contém informações sobre vários fenômenos que ocorrem durante a usinagem. Se for bem explorado, é possível observar, com maior ou menor grau de dificuldade, detalhes como: desgaste, falhas catastróficas na aresta de corte, rugosidade, formação de rebarbas e até problemas de batimento.

O principal objetivo deste trabalho é verificar como a emissão acústica representa certos fenômenos que acontecem no fresamento frontal com insertos de metal duro em alguns diferentes corpos-de-prova e materiais.

1 METODOLOGIA

As operações de fresamento foram realizadas em um centro de usinagem CNC Romi Discovery 760, que possui potência máxima de 11 kW (15 cv). A fresa utilizada é uma R245 125Q40-12M de 125 mm de diâmetro, na qual podem ser instalados até oito insertos. Os insertos de metal duro empregados têm especificação R245-12 T3 M-PM 4030, classe P, fabricados pela Sandvik Coromant, possuem quatro arestas de corte e quatro arestas alisadoras e são revestidas com nitreto de titânio (TiN). As condições de corte utilizadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de corte empregadas para os testes

teste	V_c (m/min)	a_p (mm)	f_z (mm/volta)
Condição (desbaste)	205	1,5	0,24

Parte dos experimentos deste trabalho consistiram basicamente de resamento frontal e de arranço com microligados perlíticos de forja (DIN 38MnS6) otimizados com dimensões de 400x50 mm e altura de 100 mm, fornecidos pela Aços Villares. A operação de fresamento consistiu na usinagem da peça ao longo de toda sua maior dimensão, como pode ser visto no esquema apresentado na figura 1. Este procedimento foi adotado para todos os ensaios com o sinal bruto de emissão acústica e para algumas situações em que este sinal foi adquirido com o filtro RMS (Root Mean Square). O valor RMS indica a energia contida em um sinal (TETI; DORNFELD, 1989).

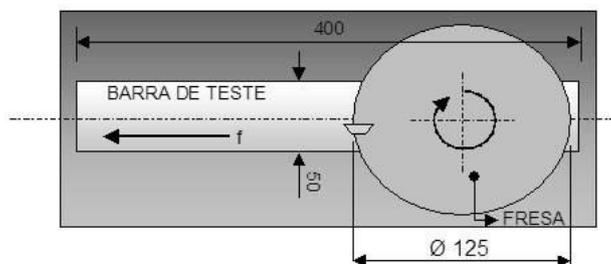


Figura 1 – Esquema do fresamento frontal e dimensões da peça empregados neste trabalho

Outro material também foi utilizado no decorrer dos ensaios. O sinal de emissão acústica foi adquirido durante o fresamento de um bloco de motor. Este ensaio teve por finalidade a visualização deste corte através de um mapa de intensidade luminosa obtido a partir deste sinal. Os blocos foram fornecidos pela TEKSID, do grupo Fiat. é fabricado segundo norma UNI – Ferro Fundido Cinzento Lamelar GH190 e possui as seguintes características (fornecidas pelo fabricante):

- Dureza Brinell – $D_R = 190$ a 240 HB;
- Tensão de ruptura (mínima) – $\tau_R = 255$ N/mm²;
- Módulo de elasticidade – $E = 117700$ N/mm². Um instrumento virtual, baseado no LabVIEW, foi criado para que se efetuasse a aquisição, armazenamento dos pontos e montagem de um mapa de intensidade luminosa.

Para transformar o sinal de emissão acústica neste gráfico de

16

Revista do Instituto Superior Tupy

intensidade luminosa foi utilizado um software desenvolvido no NUMA – Núcleo de Manufatura Avançada, da USP de São Carlos. O mapa de intensidade luminosa é construído da seguinte maneira: os pontos da aquisição de EA_{RMS} são agrupados a cada rotação completa da fresa. O sinal de emissão acústica é então transformado em um gráfico de intensidade luminosa. Os gráficos individuais, por cada volta da fresa, são então posicionados lado a lado, formando um mapa que se completa após um passe completo na peça.

Onde houverem áreas de maior intensidade de emissão acústica (no fresamento será na fase ativa de cada pastilha), na linha correspondente a esta volta aparecerá uma região de maior luminosidade representando o aumento de intensidade do sinal de emissão acústica. As regiões de luminosidade menos intensa indicam que houve um menor nível de emissão. Se a região estiver negra, não foi adquirido nenhum sinal de EA (indicando

que nesta região não ocorreu nenhuma fonte de EA, que no caso do fresamento corresponde à fase inativa ou um vazio na peça). Com a evolução do corte, o mapa vai sendo gerado e tem-se uma autêntica fotografia do que ocorreu no processo em termos da emissão acústica. Neste mapa, a abscissa corresponde ao número de voltas da ferramenta durante o tempo de aquisição e a ordenada representa o número de pontos adquiridos a cada volta.

Para a aplicação do mapa de intensidade luminosa houve a necessidade de construir um dispositivo para detectar os giros da fresa e possibilitar ao programa separar os pontos da aquisição a cada revolução. O dispositivo é um trigger. Este dispositivo consiste basicamente, como visto na figura 2, de uma fonte de laser, um fotodiodo e um anteparo reflexivo (foi usado um pequeno espelho). Com a fonte do laser ligada, o seu feixe será refletido quando o espelho montado no corpo da fresa passar na sua direção. Um fotodiodo posicionado em um ângulo adequado irá captar este feixe refletido. Ao captar o feixe, o fotodiodo mandará um pulso para a placa de aquisição, avisando que uma rotação se completou e outra esta sendo iniciada, criando assim o sincronismo necessário para a construção do mapa.

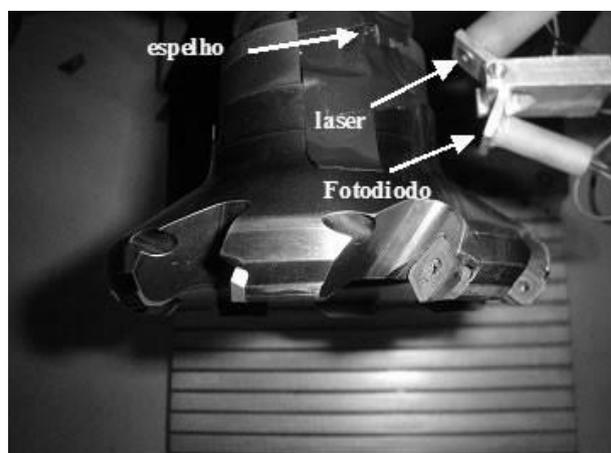


Figura 2 – Dispositivo (trigger) de sincronização de voltas para a montagem do mapa de intensidade luminosa

A aquisição do sinal de emissão acústica foi realizada a partir de um sensor de EA conectado

2 na peça e um condicionador de sinais Sensis DM 42. No condicionador de sinais foi ajustada uma constante de integração de 0,2 milisegundos para o sinal RMS gerando uma amostragem de 50 kS/seg. Os sinais RMS da emissão acústica adquiridos eram enviados a um bloco de conectores BNC-2110 e a seguir para uma placa de aquisição NI-DAQ PCI-6035E que possui uma taxa de amostragem

de 200 kS/seg ou para a placa NI-DAQmx PCI-6251M, que possui uma taxa de amostragem de 1,25 MS/seg, usada para a aquisição do sinal bruto de EA.

A taxa de amostragem nos ensaios para a aquisição do sinal bruto de EA foi de 1,0 MS/seg. A figura 3 representa todo o esquema de montagem dos dispositivos para a aquisição do sinal RMS de emissão acústica.

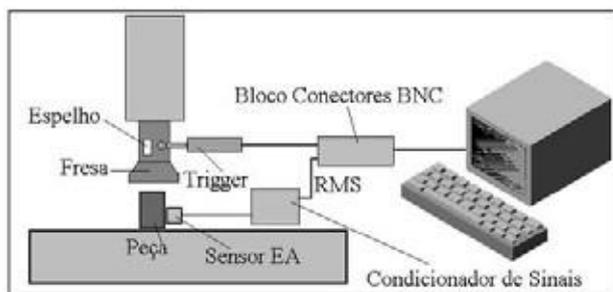


Figura 3 – Representação esquemática da montagem dos sistemas de aquisição de EA_{RMS}

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 4 mostra o mapa de intensidade luminosa de uma fresa montada com quatro insertos. Para este ensaio, foram utilizadas três insertos novos, sem nenhum tipo de desgaste e um inserto com desgaste de flanco em torno de 0,31 mm.

No mapa, cada região em que a intensidade luminosa é maior, corresponde a fase ativa de cada um dos insertos, representados

pelos números 1, 2, 3 e 4. O inserto número 2 é o que apresentava desgaste de flanco preliminar. Observa-se no mapa que o inserto 2 gera uma intensidade luminosa menor. Como a intensidade luminosa é diretamente proporcional ao nível de energia emitido, o desgaste de flanco diminui a profundidade de corte deste inserto e diminui a geração de emissão acústica. Outro aspecto relevante observado nesta figura é uma região de maior intensidade luminosa, que é representada pelo círculo, que está fora da fase ativa dos insertos. Isto acontece em virtude dos insertos possuírem aresta alisadora que, ao passarem pela superfície já usinada, durante a fase inativa, raspam e causam deformações plásticas e elásticas nestas superfícies. Estas deformações são também fontes de emissão acústica na usinagem. Os insertos 1 e 3 estão montados diametralmente opostos na fresa, assim como os insertos 2 e 4. Assim, como esta região de intensidade luminosa aparece próxima da fase ativa do inserto 1, significa que esta região está a 180° deste inserto, representando portanto, o alisamento efetuado pelo inserto 3 durante sua fase inativa.

Todos os insertos deveriam produzir uma região similar na fase inativa, porém, estas não estão bem claras na figura devido ao batimento axial. O inserto 3 estava montado cerca de 0,03 mm abaixo do nível dos outros. Com isto, sua profundidade de corte (neste caso, a aresta apenas alisa a superfície) estava ligeiramente superior às outras, impedindo-os de alisarem a superfície com a mesma intensidade durante suas respectivas fases inativas. Este fato também pode ser observado pelo sinal do inserto 3 na sua fase ativa, que é ligeiramente mais claro que o dos outros insertos devido ao maior nível de geração de energia.

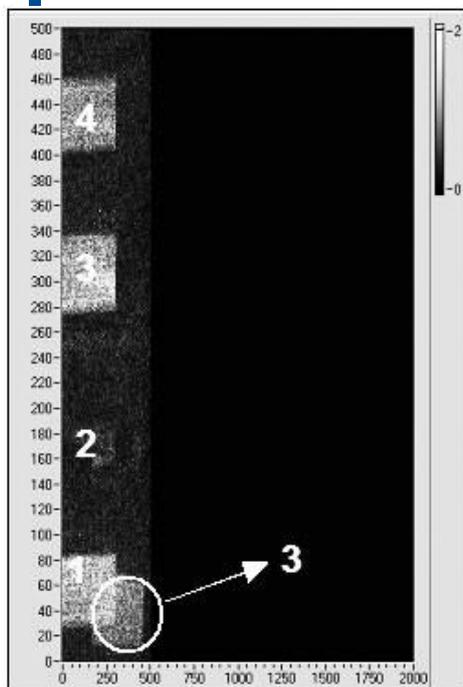


Figura 4 – Mapa de intensidade luminosa de uma fresa frontal com quatro insertos

Os mesmos procedimentos descritos no ensaio anterior foram realizados para uma fresa frontal com oito insertos montados. Os insertos são idênticos aos anteriores. Na figura 5 pode-se identificar os mesmos fatos vistos no mapa da fresa com quatro insertos. Como aparece apenas o alisamento executado pelos insertos 4, 6 e 7, verificou-se que estes possuem batimento axial mais acentuado em relação aos outros.

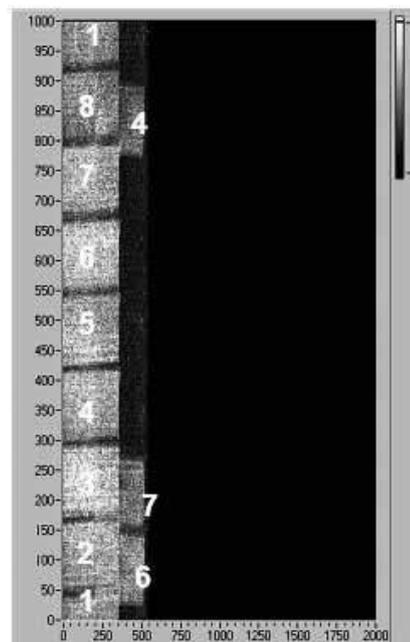


Figura 5 – Mapa de intensidade luminosa de uma fresa frontal com oito insertos

A emissão acústica, através do mapa de intensidade luminosa, também se revelou útil na reprodução da superfície que está sendo usinada. A figura 6 mostra a superfície de um bloco de motor de ferro fundido cinzento com quatro cilindros. A usinagem foi realizada com apenas um inserto (montado na mesma fresa frontal de 125 mm) para que não houvesse sobreposição do sinal de mais de um inserto no mapa. O mapa mostra claramente a superfície do bloco, evidentemente com as distorções provocadas pela geometria circular da fresa. Podem-se observar as posições dos cilindros, canais de lubrificação e refrigeração e também os furos de montagem.

Figura 6 – Mapa de intensidade luminosa reproduzindo o fresamento de um bloco de motor

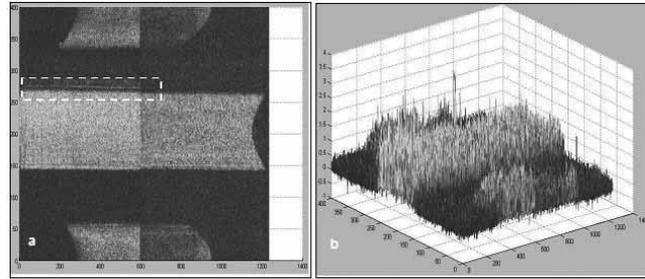
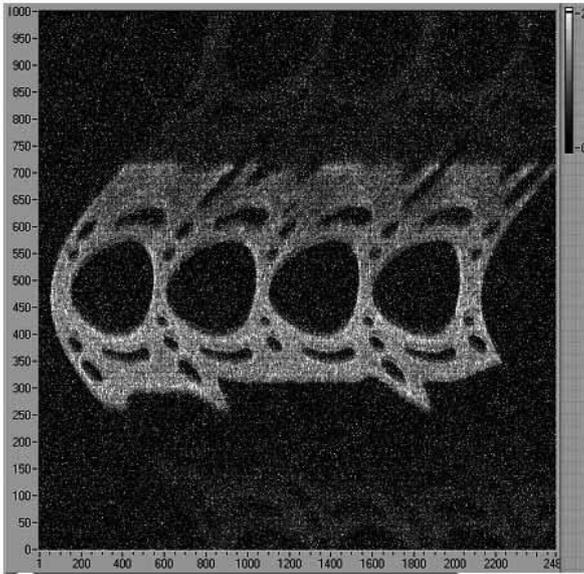


Figura 7 – Reprodução via EA do lascamento da aresta de corte da ferramenta

Através do sinal de emissão acústica adquirido durante o corte, é possível detectar um eventual lascamento das ferramentas de usinagem, além do desgaste. A figura 7 mostra o comportamento do sinal durante um fresamento em que ocorreu um lascamento, aproximadamente na metade do percurso de avanço. Na parte a, o corte é reproduzido no plano, como feito nos itens anteriores. A parte b mostra o comportamento tridimensional do sinal de emissão acústica. Como nos ensaios mencionados anteriormente, a diminuição da penetração da aresta de corte, devido ao lascamento, diminui o nível do sinal de EA_{RMS} gerado e, portanto, a intensidade luminosa. Nestas figuras outros dois aspectos interessantes podem ser observados. Nas figuras a e b, o alisamento da superfície durante a fase inativa aparece nas extremidades das figuras, mesmo após o lascamento da aresta. Um segundo aspecto é mais facilmente observável na figura a: na entrada da ferramenta, parte inferior da representação da peça, o sinal aumentou em um dobro, quase instantaneamente, distinguindo claramente a fase inativa da fase ativa. Porém, durante a saída da ferramenta, na parte superior da representação da peça, o sinal tem uma atenuação menos brusca, o que gera uma região meio difusa, evidenciada no retângulo. Durante a usinagem verificou-se visualmente que, na saída da ferramenta, houve a formação de rebarba de grandes proporções. O mecanismo de formação da rebarba de saída pode ser o responsável por este fenômeno (KAMINISE et al., 2004). Quando a ferramenta se aproxima da aresta da peça, o plano de cisalhamento primário sofre uma rotação, devido à

deformação plástica pela falta de resistência mecânica (PEKELHARING, 1978). Isto faz com que a representação da saída da ferramenta da peça seja mais suave na figura.

A figura 8 mostra o comportamento do sinal bruto de EA durante o fresamento da barra de aço microligado com um único inserto. É possível ver claramente as fases ativas da usinagem. Esta se apresenta nas regiões onde há picos na amplitude do sinal. Onde o sinal apresenta apenas uma faixa contínua, de baixa intensidade, é a fase inativa deste processo. Este sinal constitui-se de ruído e do sinal da aresta alisadora ao raspar a superfície da peça nesta fase. Porém, este sinal é normalmente desprezado e todas as análises de sinal bruto de emissão acústica concentram-se apenas no proveniente da fase ativa.

Nesta figura pode-se observar um interessante fato que também foi observado no sinal de EA_{RMS} :

em uma aproximação do sinal que representa uma fase ativa qualquer (no detalhe da figura), nota-se que a entrada do inserto na peça é representado por um crescimento praticamente instantâneo na amplitude do sinal de EA. Porém, na saída do inserto da peça, há uma queda mais suave do sinal. Esta característica pode ser justificada, como mostrado para o sinal de EA_{RMS} , devido ao fato que na saída da peça há a formação de rebarbas de grandes proporções, resultante de uma intensa deformação plástica. Mesmo que o inserto já tenha saído da peça, ele ainda está em contato com a rebarba. Assim, o sinal vai caindo até que o inserto perca totalmente o contato com esta rebarba.

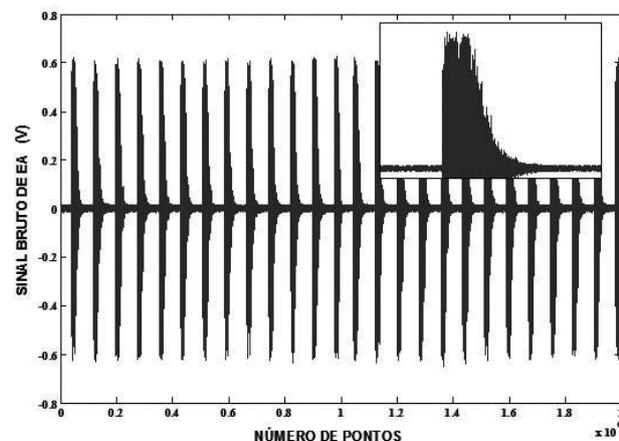


Figura 8 – Representação do sinal bruto de EA durante o fresamento com um único inserto

CONCLUSÃO

O mapa de intensidade luminosa empregado no fresamento mostrou-se uma interessante ferramenta na avaliação de alguns problemas típicos desta operação, tais como: erros

de batimento axial e radial e insertos com diferentes níveis de desgaste.

é possível representar a superfície usinada através do mapa de intensidade luminosa montado com o sinal EA_{RMS} . Nesta representação identificam-se fenômenos como: maior intensidade de energia durante o impacto do inserto na entrada

BLUM, T.; INASAKI, I. A Study on Acoustic Emission from the Orthogonal Cutting Process. *Journal of Engineering for Industry*. vol. 112, pp. 203-219, 1990.

DOLINSEK, S.; KOPAC, J. Acoustic Emission Signals for Tool Wear Identification. *Wear*. 225-229, pp. 295-303, 1999.

KAMINISE, A.K., ARIZA, R.G., MACHADO, Á.R., DA SILVA, M.B., Properties of Burrs Formed When Cutting AISI 1045 Carbon Steel in Turning Operation. *7th International Conference on Deburring and Surface Finishing*, Berkeley, Estados Unidos, p.127 – 135, 2004.

MATSUMOTO, H.; DINIZ, A.E. Torneamento de Aço Endurecido Monitorado por Emissão Acústica e Corrente do Motor. In: *14ª COBEM, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, Bauru, SP, Brasil, 1997

PEKELHARING, A.J. The Exit Failure in Interrupted Cutting. *CIRP Annals*, vol 27, n 1, pp. 5-10, 1978.

TETI, R.; DORNFELD, D.A. Modeling and Experimental Analyses of Acoustic Emission from Metal Cutting. *Int. Journal of Engineering for Industry*. III, pp. 229-237, 1989.

TRENT, E.M.; WRIGHT, P.K. *Metal Cutting*. 4th Edition, Butterworths - Heinemann, ISBN 0-7506-7069-X, 446 pags, 2000.

da peça; uma área difusa na saída da peça, que é gerada pela intensa formação de rebarbas nesta região; o momento exato em que a aresta de corte do inserto lascou; também é possível observar o momento em que as arestas alisadoras raspam a superfície da peça durante a fase inativa.

Com o sinal bruto de emissão acústica também foi possível observar alguns aspectos vistos com o sinal EA_{RMS} , tais como: o crescimento praticamente instantâneo do sinal na entrada da ferramenta e um decréscimo mais suave na saída da mesma.

Abstract. The main objective of this work is the techniques verifications for acoustic emission (AE) applications in tool wear and

other phenomena monitoring. Frontal milling operations were carried out in order to machine a forged perlitic microalloy steel (Din 38MnS6) workpiece and also engine blocks of grey cast iron GH190. Cemented carbide tools (R245-12T3 M-PM 4030) with TiN coating were used. In the tests were acquired raw signal and the RMS signal of acoustic emissions. This signal was used in order to observe certain phenomena that occur during machining. The phenomena are: run out, flank wear, burring, cutting edge chipping and a cutting surface reproduction. The results indicate that acoustic emissions presents itself as an interesting and promising signal to make phenomena verifications that occur during metal cutting.

Key-words: Milling, Acoustic Emission, Monitoring

REFERÊNCIAS