

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DA FERRAMENTA PELA TÉCNICA DE EMISSÃO ACÚSTICA

Cleverson Pinheiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus de Jacareí, Rua Antônio Fogaça de Almeida, 200, Jardim Elza Maria - CEP: 12.322-030, Jacareí, São Paulo, Brasil.
cleverson.pinheiro@ifsp.edu.br

Marcel Yuzo Kondo¹

Marcos Valério Ribeiro²

Manoel Cléber de Sampaio Alves³

José Vitor Candido de Souza⁴

UNESP – Univ. Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Departamento de Materiais e Tecnologia, Avenida Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bairro Pedregulho, CEP 12.516-410, Guaratinguetá, São Paulo, Brasil.

¹yuzokondo@gmail.com

²mvalerio@feg.unesp.br

³manoelcsa@feg.unesp.br

⁴candido@feg.unesp.br

Resumo. Em um mercado competitivo, as indústrias de usinagem precisam melhorar e monitorar seus processos de fabricação, maximizando cada recurso. Entre estes recursos estão as ferramentas de usinagem. Entretanto, o monitoramento da vida da ferramenta, muitas vezes é realizado, através de análises subjetivas e imprecisas, levando a um descarte prematuro da ferramenta. Com isto, este trabalho, analisou a possibilidade de utilizar os sinais de emissão acústica, emitidos durante a usinagem, no monitoramento do desgaste da ferramenta. O corpo de prova cilíndrico do Inconel 718 foi usinado em um centro de torneamento, utilizando a técnica de lubrificação MQF. Os parâmetros de usinagem utilizados em três repetições dos ensaios de vida da ferramenta foram: velocidade de corte de 70 m/min.; avanço de 0,10 mm/rev e profundidade de corte de 0,50 mm. Foram utilizados insertos de metal duro, recobertos com (TiAl)N+TiN pelo processo PVD. Os sinais de emissão acústica foram obtidos instantaneamente por um módulo de emissão acústica, integrado a um sistema de aquisição de dados. Foi ajustada uma equação de regressão linear estatisticamente significativa, com um R^2 de 79,6. Os sinais de emissão acústica podem ser utilizados para prever o nível de desgaste da ferramenta de usinagem.

Palavras chave: Vida da ferramenta, Superliga de níquel, Torneamento, Aquisição de dados.

1. INTRODUÇÃO

Com margens de lucro cada vez menores, as indústrias de transformação percebem a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas para melhorar e monitorar seus processos de fabricação diminuindo os seus custos. As empresas de usinagem, necessitam gerenciar seus processos de maneira que possam aproveitar ao máximo o potencial de cada ferramenta utilizada. Segundo Diniz, Coppini e Marcondes (2013), a máxima utilização de cada inserto fica dificultado no meio industrial, pois o monitoramento dos desgastes e consequentemente da vida da ferramenta tem ficado o cargo do operador, e este, na maioria das vezes, sem treinamento e sem técnicas de acompanhamento da vida da ferramenta, acaba, de maneira bem conservadora, trocando a ferramenta antes do fim de sua vida, gerando desperdício. Segundo os autores, a solução estaria no monitoramento indireto do desgaste da ferramenta utilizando diferentes tipos de sensores, entre eles, o de emissão acústica.

A utilização de sinais de emissão acústica para o monitoramento da usinagem e desgaste de ferramentas, vem sendo estudada por vários pesquisadores. Entre eles estão Dolinšek e Kopač (1999), Govekar et al. (2000), Gómez et al. (2012), Pawade e Joshi (2012) Papacharalampopoulos et al. (2013), Pechenin et al. (2017), Wang e Liu (2017), entretanto sabe-se que para cada tipo material usinado e ferramenta utilizada nesta usinagem, mudam-se os parâmetros de usinagem e consequentemente as respostas obtidas, em termos de qualidade de acabamento superficial, forças de usinagem e entre outras o desgaste da ferramenta.

Pechenin et al. (2017) estudaram o método de controle do desgaste da ferramenta de corte baseado na análise de sinais de emissão acústica para fresamento e comentam que a análise do sinal de emissão acústica é uma das mais eficazes para a determinação do desgaste da ferramenta. A principal vantagem do EA é que a faixa de frequência do sinal é muito maior do que o ruído ambiente e a vibração que não estão associados ao processo de corte.

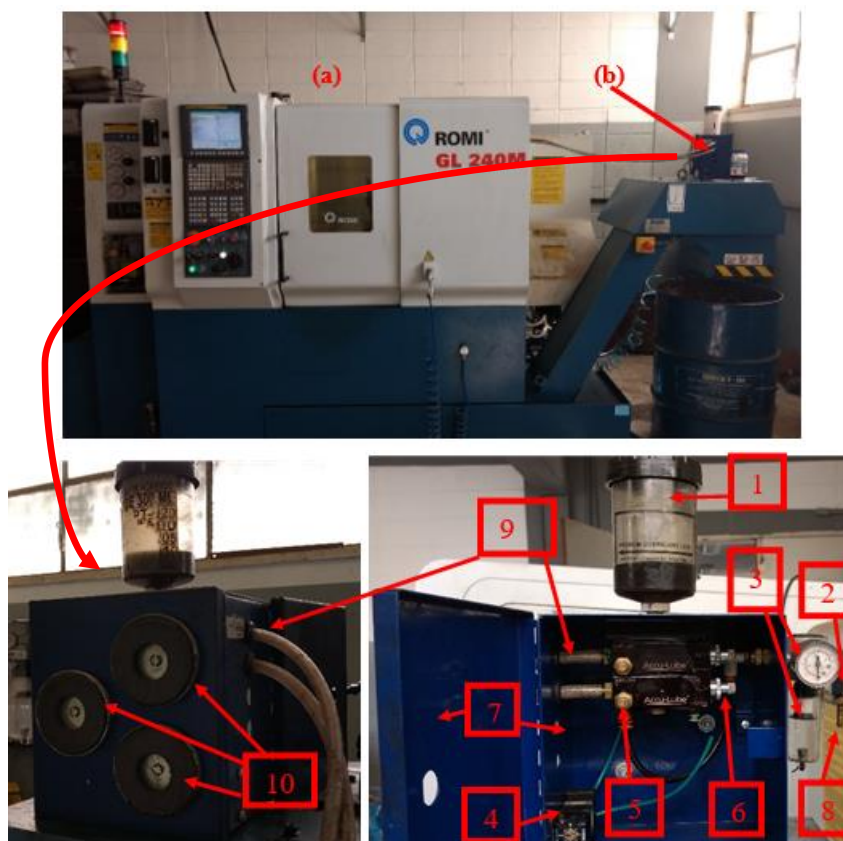
Para Souza (2004), a emissão acústica (EA) pode ser definida como sendo ondas de tensão elástica, de baixa amplitude e alta frequência, geradas por atuações dinâmicas sobre os materiais. Na usinagem de materiais, em relação aos mecanismos de formação de cavaco, o atrito entre ferramenta e peça ou mesmo o simples contato faz com que ocorra a deformação e a reordenação da estrutura cristalina do material. Isto libera uma quantidade de energia suficiente para produzir ondas de tensão que provocam mais deslocamentos sobre a superfície do mesmo. O autor ainda afirma que a formação do cavaco (deformação plástica de materiais dúcteis), o desgaste de flanco e o desgaste de cratera estão associados a sinais regulares contínuos de EA.

Dada a importância do monitoramento do processo de usinagem dos materiais, em relação ao máximo aproveitamento das ferramentas de usinagem, sem a perda da qualidade de acabamento superficial das peças usinadas, objetivou-se com este trabalho, analisar a relação entre os sinais de emissão acústica, emitidos durante a usinagem pelo processo de torneamento da superliga de níquel, Inconel 718, com o desgaste da ferramenta de metal duro.

2. METODOLOGIA

2.1. Centro de torneamento, sistema de lubrificação e peça usinada

O centro de torneamento utilizado foi o CNC (Romi GL240M) de 18 kW de potência (Figura 1 a). O dispositivo utilizado para aplicação de MQF (Mínima Quantidade de Fluido) foi *Accu-Lube* (Figura 1 b) da empresa ITW Chemical Products Ltda, contando com bico para aplicação de fluido e pressão mínima de 4 kgf/cm³ de ar comprimido.



Legenda para a Figura 1 b: Componentes do equipamento – 1. Reservatório 300 ml; 2. Registro de acionamento; 3. Manômetro e filtro de ar; 4. Gerador de frequência (sentido horário aumenta frequência); 5. Bomba pneumática de ajuste individual; 6. Ajuste do fluxo de lubrificante; 7. Caixa metálica; 8. Entrada de ar; 9. Saída para o bocal aplicador; 10. Bases magnéticas para fixação rápida.

Fonte: Adaptado do catálogo ITW chemical.

Figura 1. (a) Centro de Torneamento CNC (Romi GL240M), (b) Dispositivo para aplicação do MQF, Accu-Lube. (Pinheiro 2018).

Foi utilizado o lubrificante de base vegetal LB 1000 também da empresa ITW. A vazão do MQF foi ajustada em aproximadamente 100 ml/h a uma pressão 4 bar.

O material usinado foi o Inconel 718, doado pela empresa *Villares Metals*, fornecido na condição de laminado a quente sem tratamento posterior, com dureza de $273,6 \pm 8,47$ HV. Foi utilizado um corpo de prova cilíndrico, com dimensões iniciais, da área usinada, de 144 mm de comprimento (usinados em quatro trechos iguais de 36 mm) e

diâmetro inicial de 78 mm, conforme pode ser visualizado na Figura 2 a. A peça foi fixada na placa de três castanhas e contra-ponta do centro de torneamento, conforme pode ser observado na Figura 2 b.

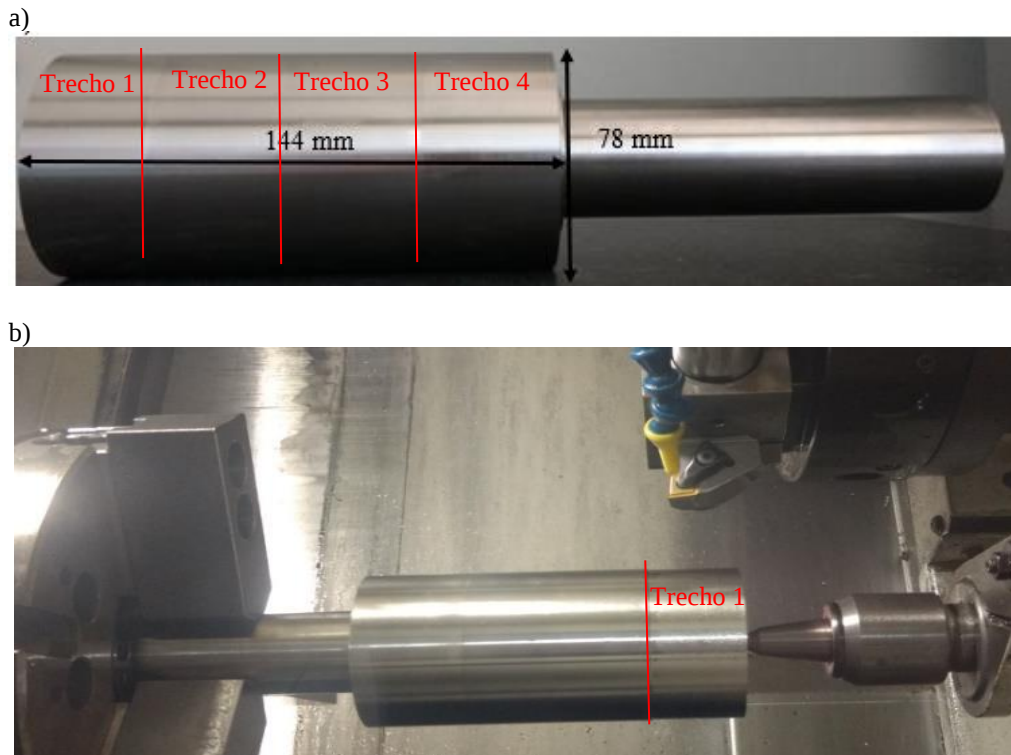


Figura 2. a) Dimensões iniciais do corpo de prova Inconel 718, apresentando os trechos usinados. b) Corpo de prova fixado na placa de três castanhas do torno. Visualização do primeiro trecho usinado. (Adaptado de Pinheiro 2018).

2.2. Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados é constituído por um computador equipado com uma placa de aquisição de dados e o software *Labview da National Instruments* (Figura 3 a), um módulo de canais que é conectado a placa de aquisição por um cabo de ligação (Figura 3 b). Para a captação dos dados recebidos pela placa de aquisição de dados foi necessário o desenvolvimento de programas através do software *Labview da National Instruments*.

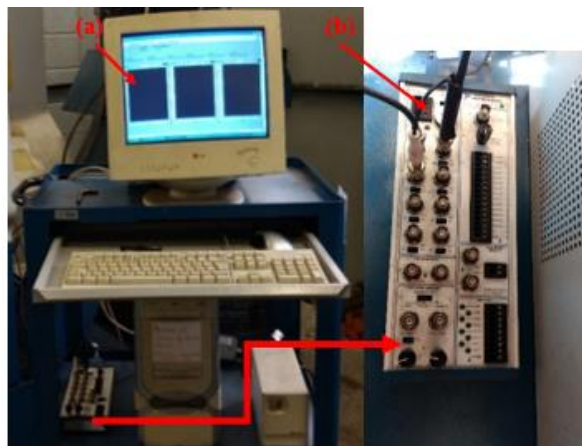


Figura 2. Sistema de aquisição de dados: (a) computador utilizado na aquisição de dados (detalhe tela supervisor do software *Labview*), (b) Módulo de canais com cabos de ligação com os sensores. (Pinheiro 2018).

Integrados ao sistema de aquisição de dados está o sensor de emissão acústica, alimentado por uma fonte com tensão de saída de 24Vcc e ligado por cabo ao módulo de canais. O sinal de emissão acústica foi obtido por um módulo de emissão acústica composto por um sensor de emissão acústica (piezoelétrico) modelo R15A (Figura 3 a) e um amplificador de sinal modelo 1272-1000 (Figura 3 c) com saída retificada em *RMS* (*Root Mean Square* com unidade

dada em volts) ambos da marca *Physical Acoustics Corporation*. O sensor de emissão acústica foi posicionado no suporte que envolve o corpo do porta-ferramentas (Figura 3 b).

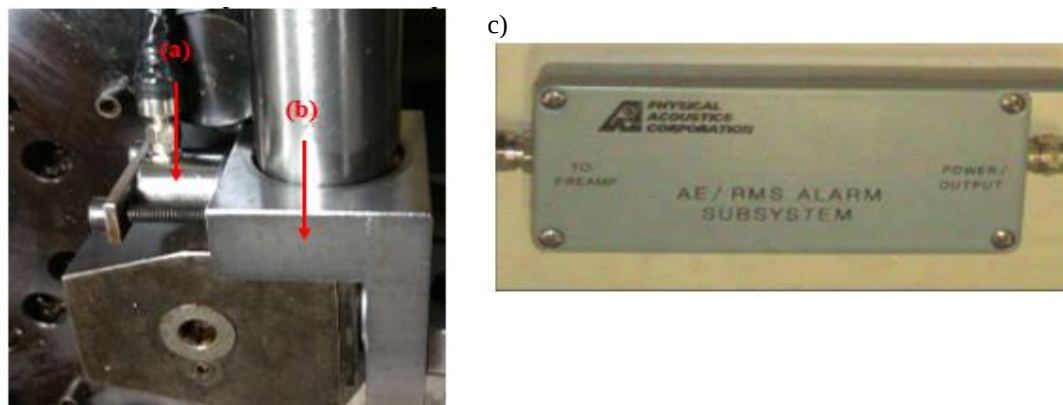


Figura 3. (a) Sensor de emissão acústica R15A, (b) suporte envolvendo o corpo do porta-ferramentas e c) Amplificador de sinal 1272-1000. (Pinheiro 2018).

A avaliação do desgaste dos insertos foi realizada utilizando um microscópio óptico de medição (Mahr MM200), com medições diretas do desgaste de flanco máximo ($VB_{máx.}$), desgaste de flanco médio (VB_B) e desgaste de entalhe (VB_N), conforme as recomendações da norma ABNT ISO 3685 (2016).

Os insertos de usinagem utilizados foram de metal duro recobertos com (TiAl)N+TiN pelo processo de recobrimento PVD, código: CNMG120408-M1, TS2500 disponibilizados pela empresa *Seco tools*.

2.3. Planejamento do experimento e parâmetros de usinagem utilizados

Foram realizadas três repetições de ensaios de vida da ferramenta. Cada aresta de corte da ferramenta (uma para cada repetição) foi utilizada até atingir o desgaste VB_B de 0,300 mm. o comprimento usinado de 144 mm foi dividido em quatro trechos (36 mm), para cada trecho foram coletados instantaneamente os dados de emissão acústica, utilizando o sistema de aquisição de dados. Foi utilizado um rugosímetro portátil da marca *Mahr* (*MarSurf M300* e *MarSurf RD 18*) para verificar a qualidade do acabamento, após a usinagem dos quatro trechos, eram coletadas medidas de rugosidade R_a e R_t de cada trecho, antes de novamente retomar os próximos ensaios. Para cada trecho foram realizadas três medidas de rugosidade defasadas em 120° . Os parâmetros de usinagem utilizados nos ensaios de vida da ferramenta foram: velocidade de corte de 70 m/min.; avanço de 0,10 mm/rev e profundidade de corte de 0,50 mm.

3. RESULTADOS

Em cada uma das três repetições do ensaio de vida da ferramenta, a aresta submetida ao ensaio, suportou sete passadas nos trechos pré-determinados, antes de atingir o limite do desgaste de 0,300 mm. Os fatores de entrada e as respostas obtidas, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de entrada e as respostas obtidas (rugosidades, desgaste e emissão acústica).

Trecho/ passadas	Fatores de entrada				Respostas (médias de três repetições)				
	f (mm/rev.)	v_c (m/min.)	Ferramenta (inserto de metal duro recoberto (TiAl)N+TiN)	Método de Lubrificação	a_p (mm)	R_a (μ m)	R_t (μ m)	VB_B (mm)	EA (RMS em volts)
1/1	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,637	3,317	0,053	0,302
2/2	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,522	4,393	0,102	0,315
3/3	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,355	3,420	0,166	0,317
4/4	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,318	2,370	0,172	0,318
1/5	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,477	3,274	0,213	0,320
2/6	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,758	5,101	0,218	0,324
3/7	0,10	70	CNMG120408-M1, TS2500	MQF	0,5	0,857	4,687	0,321	0,325

É possível perceber o comportamento de redução das rugosidades R_a e R_t com o aumento do VB_B até a 4 passada, e a partir da 5 passada aumenta novamente até o fim da vida da ferramenta. Observa-se que inicialmente ocorre um desgaste mais acentuado da ferramenta, na sequência ocorre uma estabilização da taxa de aumento do desgaste e finalmente esta taxa de desgaste volta a crescer e fica praticamente com a mesma intensidade do início do desgaste, este comportamento possivelmente está associado a uma acomodação da ponta da ferramenta ao processo de usinagem o que gera um intervalo de estabilização da taxa do desgaste, entretanto, com a continuação da usinagem, o desgaste volta a aumentar até atingir o limite estabelecido, este comportamento está de acordo com a literaturas consolidadas sobre usinagem, quando afirmam que o desgaste das arestas das ferramentas de corte seguem uma curva padrão, sendo possível distinguir três estágios de desgaste.

Pode-se observar, com o auxílio da Figura 4, a equação de regressão e a curva de regressão linear entre VB_B e emissão acústica, observa-se também um coeficiente de determinação (R^2) positivo de 79,6%.

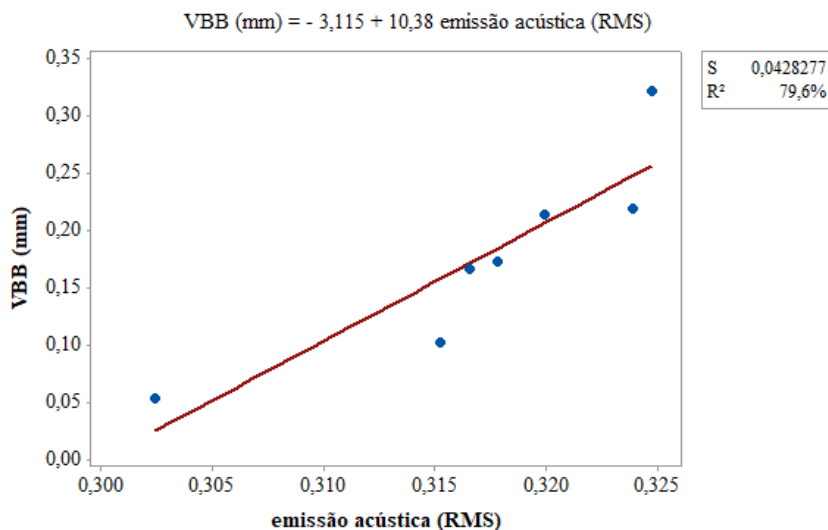


Figura 4. Curva de regressão linear entre VB_B (mm) e emissão acústica em volts.

Este resultado demonstra que com o aumento do desgaste das ferramentas aumenta-se também a emissão acústica durante a usinagem e conforme pode ser constatado na Tabela 2, a equação linear ajustada para a regressão linear entre VB_B e emissão acústica foi estatisticamente significativa, em um nível de significância de 5%. Uma possível justificativa para esta relação positiva entre desgaste e emissão acústica, seria a de que, com o aumento do desgaste de flanco médio, a ferramenta começa a perder a geometria inicial da aresta, dificultando a retirada do cavaco, o que gera um aumento na emissão acústica.

Tabela 2. Análise de variância para a equação de regressão linear.

Variável	GL	SQ	SMQ	F	P
Regressão	1	0,0356838	0,0356838	19,45	0,007
Erro	5	0,0091711	0,0018342		
Total	6	0,0448549			

Legenda: SQ: Soma dos quadrados dos efeitos, GL: número de graus de liberdade, SMQ: soma média quadrática.

4. CONCLUSÃO

É possível prever, com certa precisão, o nível de desgaste de flanco médio (VB_B) através do monitoramento da emissão acústica, emitida durante a usinagem por torneamento da superliga de níquel Inconel 718, utilizando o inserto de metal duro recobertos com (TiAl)N+TiN pelo processo de recobrimento PVD, utilizando os parâmetros de usinagem ajustados.

Com este monitoramento é possível melhorar o aproveitamento das ferramentas de usinagem, diminuindo ao mesmo tempo os riscos do descarte antecipado da ferramenta e uma possível quebra da ferramenta que poderia danificar a peça usinada, tudo isto sem a perda da qualidade de acabamento superficial das peças usinadas.

5. REFERÊNCIAS

- Associação brasileira de normas técnicas. ABNT (NBR ISO 3685), 2016: Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento, para ferramentas de aço rápido, metal duro e cerâmicas, apresenta os parâmetros utilizados para quantificar esses desgastes. Rio de Janeiro: 61 p.
- Diniz, A. E., Coppini, N. L., Marcondes, F. C., 2013. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. 8 ed. Editora M.M, São Paulo.
- Dolinšek, S., Kopač, J., 1999. Acoustic emission signals for tool wear identification. *Wear*, v. 225–229, p. 295–303.
- Gómez, M. P., Hey, A. M., D'attelis, C. E. e Ruzzante, J. E., 2012. Assessment of Cutting Tool Condition by Acoustic Emission. *Procedia Materials Science*, v. 1, p. 321–328.
- Govekar, E., Gradišek, J. e Grabec, I., 2000. Analysis of acoustic emission signals and monitoring of machining processes. *Ultrasonics*, v. 38, n. 1–8, p. 598–603.
- Papacharalampopoulos, A., Stavropoulos, P., Doukas, C., Foteinopoulos, P. e Chrysosolouris, G., 2013. Acoustic Emission Signal Through Turning Tools: A Computational Study. *Procedia CIRP*, v. 8, p. 426–431.
- Pawade, R. S. e Joshi, S. S., 2012. Analysis of acoustic emission signals and surface integrity in the high-speed turning of Inconel 718. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, v. 226, n. 1, p. 3–27.
- Pechenin, V. A., Khaimovich, A. I., Kondratiev, A. I. e Bolotov, M. A., 2017. Method of Controlling Cutting Tool Wear Based on Signal Analysis of Acoustic Emission for Milling. *Procedia Engineering*, v. 176, p. 246–252.
- Pinheiro, C., 2018. *Avaliação da usinagem do inconel 718 via metodologia de Taguchi*. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Wang, B. e Liu, Z., 2017. Acoustic emission signal analysis during chip formation process in high speed machining of 7050-T7451 aluminum alloy and Inconel 718 superalloy. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 27, p. 114–125.
- SOUZA, A. J., 2004. *Aplicação de Multisensores no Prognóstico da Vida da Ferramenta de Corte em Torneamento*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Evaluation of tool wear by acoustic emission technique

Cleverson Pinheiro

Institute of Education, Science and Technology of São Paulo, 200 Antônio Fogaça de Almeida street, Jacaré, São Paulo, Brazil
cleverson.pinheiro@ifsp.edu.br

Marcel Yuzo Kondo¹

Marcos Valério Ribeiro²

Manoel Cléber de Sampaio Alves³

José Vitor Candido de Souza⁴

UNESP - Univ Estadual Paulista, College of Engineering of Guaratinguetá, 333, Ariberto Pereira da Cunha Avenue, Guaratinguetá, São Paulo, Brazil, Department of Materials and Technology.

¹yuzokondo@gmail.com

²mvalerio@feg.unesp.br

³manoelcsa@feg.unesp.br

⁴candido@feg.unesp.br

Abstract. In a competitive market, the machining industries need to improve and monitor their manufacturing processes, maximizing each resource. Among these features are the machining tools. However, the monitoring of tool life is often performed through subjective and imprecise analysis, leading to a premature discard of the tool. With this, this work, analyzed the possibility of using the acoustic emission signals, in the monitoring of tool wear. The cylindrical test piece of Inconel 718 was machined in a turning center, using the MQF lubrication technique. The machining parameters used in three replicates of the tool life tests were: cutting speeds of 70 m/min; feed rates of 0.10 mm/rev; machining depths of 0.50 mm. Were used carbide tool, coated with (TiAl)N TiN by the PVD process. The acoustic emission signals were obtained instantly by an acoustic emission module integrated with a data acquisition system. A statistically significant linear regression equation was fitted with a R^2 of 79.6. The acoustic emission signals can be used to predict the level of wear of the machining tool.

Keywords: Tool life, Nickel superalloy, Turning, Data acquisition.

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.