



HAL
open science

Acoustic Emission used in modeling end milling

Anna Carla Araujo, José Luis Lopes Silveira

► **To cite this version:**

Anna Carla Araujo, José Luis Lopes Silveira. Acoustic Emission used in modeling end milling. *Máquinas e Metais*, 2009, 519 (p.36 - 51). hal-03226793

HAL Id: hal-03226793

<https://hal.science/hal-03226793>

Submitted on 18 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Monitoramento

Emissão acústica usada na modelagem do fresamento de topo

□ A. C. Araujo e J. L. Silveira □

Analisar a emissão acústica gerada durante o processo de fresamento de topo usando ferramentas de aresta contínua pode fornecer preciosa informação sobre o desgaste e as propriedades do contato cavaco-ferramenta. A informação proveniente desse sinal pode ser utilizada nos modelos de predição de força de corte para ferramentas sem desgaste e resultar em um modelo de ferramentas com desgaste, ao incluir uma componente de força chamada, neste artigo, de força por efeito de aresta.

A otimização do processo de fabricação interfere diretamente na produtividade, fazendo com que o monitoramento e a predição se tornem fundamentais na indústria. Por essa razão, diversos estudos foram realizados e modelos das forças foram desenvolvidos para otimizar os processos.

O modelo do processo de usinagem é complexo do ponto de vista do comportamento mecânico do material. Ele deve descrever deformações plásticas com distribuição de temperatura em uma região de condição de contorno de geometria desconhecida *a priori*, uma vez que o comprimento do contato cavaco-ferramenta não é fixo.

Modelos mecanísticos têm se mostrado mais eficazes, pois envolvem parâmetros semiempíricos no cálculo da força de corte, dependentes da escolha do par de materiais peça-ferramenta. Além disso, consideram as informações de geometria do corte e de velocidades de rotação e de avanço conhecidas pelo operador.

Esses modelos usam parâmetros de energia de corte calibrados para o par de materiais ▶

□ Anna Carla Araujo é do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet-RJ). José Luis Silveira é da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Cocpe/UFRJ). Este artigo foi originalmente apresentado como palestra técnica no 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (Cobef), realizado de 15 a 18 de abril de 2007 em São Pedro (SP). Reprodução autorizada.

em função das velocidades de corte e da espessura do cavaco indeformado. Porém, não preveem que os parâmetros possam ser modificados com o desgaste da ferramenta, e a calibração é feita com a ferramenta sem desgaste.

À medida que a ferramenta está sendo utilizada, a força varia não apenas pela mudança de geometria, mas pela variação da interação cavaco-ferramenta. Então, assim como o desgaste da ferramenta afeta o acabamento da superfície usinada, afeta também o valor da força de corte utilizada para realizar o processo.

O monitoramento do processo pode ser útil não só para identificar o comportamento da ferramenta, mas para afinar a predição de forças, caso os dados adquiridos sejam reutilizados no cálculo da força de corte. Acima de tudo, o monitoramento pode alertar o operador sobre o estado de tensões sobre a ferramenta, e este pode aliviar a solicitação ao alterar os parâmetros e, com isso, aumentar a vida da ferramenta.

Neste estudo, a força de corte foi calculada em função do desgaste da ferramenta monitorado pela técnica da emissão acústica (EA).

Emissão acústica

A emissão acústica em objetos metálicos é um fenômeno proveniente do transiente de ondas elásticas geradas pelo rápido

desprendimento de energia de uma fonte localizada dentro do material. A onda mecânica atravessa esse material e pode ser monitorada por um sensor projetado para a sua faixa de frequência de oscilação^[7].

Uma vantagem do monitoramento por emissão acústica é que a faixa de frequência do sinal está bastante acima do ruído das oscilações dos elementos mecânicos envolvidos no processo, e também da interferência de outros sinais elétricos, que não intervêm no processo de usinagem. A literatura acadêmica tem mostrado que a emissão acústica vem sendo utilizada com sucesso nos testes de laboratório para a detecção de desgaste e de fratura em operações de aresta contínua de corte.

O sinal adquirido é contínuo e está associado ao cisalhamento da zona primária e ao atrito entre a face da ferramenta e a da peça, mais um sinal transiente vindo da quebra do cavaco e da fratura da ferramenta. Este último pode ser produzido também pelo impacto da ferramenta na peça, mas isso só ocorre durante o processo caso haja um nível de vibração da ferramenta muito alto ou durante a entrada da ferramenta na peça.

Variáveis envolvidas na emissão acústica

Dornfeld^[5] e Kannatey-Asibu^[6] foram os primeiros a relacionar o sinal RMS da EA com os modelos de corte e os parâ-

metros fundamentais da modelagem. Rangwala^[10] comparou o sinal RMS teórico com o sinal experimental, e afirmou que esta relação é proporcional ao comprimento de contato. Liu^[9] e Saini^[11] modelaram o sinal acústico para fresamento de faceamento e incluíram o atrito, desenvolvendo também equação similar.

Já Wilcox^[14] e Shao^[12] também realizaram o monitoramento do processo para identificar variações dos parâmetros, medindo, além do sinal de EA, as forças envolvidas. Li^[8], que monitorou brocas de pequeno diâmetro para detectar perda de material da ferramenta, posicionou o sensor EA na máquina-ferramenta e utilizou um fluido magnético para transferir o sinal. Chungchoo^[4] modelou o sinal de EA utilizando conceitos de entropia do sistema, e os sinais foram analisados de acordo com o reconhecimento de padrões.

Para um caso geral, a taxa de dissipação de energia é dada por:

$$\dot{W} = \int_V \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} dU \quad (1)$$

Onde:

W = energia gerada pela deformação plástica e
 σ_{ij} = tensão que causa a deformação plástica ϵ_{ij} .

A energia gasta na região primária de deformações W_s pode ser analiticamente expressa como uma função da

Fixadores Para metal duro



Kort-Fix
Parafusos Especiais

- Alavancas
- Buchas
- Grampos
- Parafusos
- Pinos
- Prisoneiros
- Rebites



• Especiais sob amostra ou desenho.

www.kortfix.com.br

e-mail: kortfix@kortfix.com.br

Fones: 14 3351-8899 / 3351-8686

Piraju-SP

Monitoramento

tensão de cisalhamento τ_s , do ângulo de cisalhamento ϕ , do ângulo de saída α e da velocidade de corte v_c . Ela é amplificada pela quantidade de material dada pela multiplicação da espessura do cavaco indeformado t e a largura de corte b .

$$\dot{W}_s = bt\tau_s \frac{\cos(\alpha)}{\sin(\phi)\cos(\phi-\alpha)} \cdot v_c \quad (2)$$

A energia vinda da região secundária de deformações W_t considera o atrito de agarra-mento e o atrito coulombiano:

$$\dot{W}_t = \frac{1}{3}\tau_s b(1+2l_{sd}) \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\phi)\cos(\phi-\alpha)} \cdot v_c \quad (3)$$

Onde:

l = comprimento de contato e

l_{sd} = comprimento que está sob atrito coulombiano.

O sinal RMS, de acordo com Kannatey-Asibu^[6], considerando a região secundária, é escrito por:

$$RMS = C_1 [\tau_s b v_c \cdot \left(\frac{t}{\sin(\phi)\cos(\phi-\alpha)} + \frac{1+2l_{sd}}{3} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\phi)\cos(\phi-\alpha)} \right)] \quad (4)$$

Onde:

C_1 = constante experimental.

Considerando a região de deformação plástica terciária (da interação da superfície de folga com a superfície usinada), adiciona-se uma nova constante experimental C_2 ao sinal.

$$RMS = C_1 [\tau_s b v_c \cdot \left(\frac{t}{\sin(\phi)\cos(\phi-\alpha)} + \frac{1+2l_{sd}}{3} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\phi)\cos(\phi-\alpha)} + C_2 \right)] \quad (5)$$

Variação do sinal RMS com o aumento do desgaste

Se for desconsiderada a variação do ângulo de cisalhamento, o comprimento de contato do cavaco com a superfície de saída da ferramenta varia com a evolução do desgaste. Para quantificar a variação do sinal RMS com o desgaste, a equação 5 foi derivada, variação que deve ser incluída no cálculo das forças de corte:

$$\frac{d}{d\phi} RMS = C_3 (1+2l_{sd}) \quad (6)$$

Modelos com comprimento da aresta de corte

A força de corte instantânea de um elemento diferencial de comprimento de aresta de corte db foi proposta por Martelotti^[13], em função da pressão específica de corte $K_{cutting}$ ▶

Monitoramento

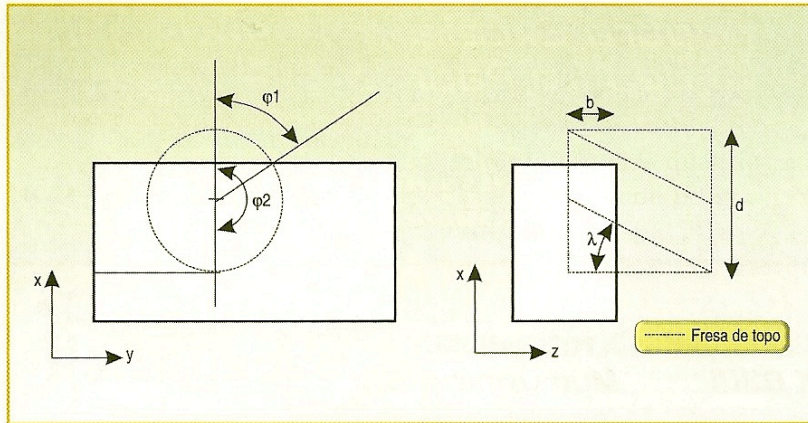


Figura 1 – Geometria da ferramenta

e da espessura do cavaco indeformado t .

$$d\bar{F}_{cutting} = \bar{K}_{cutting} t db \quad (7)$$

Mais recentemente, esta equação foi reescrita utilizando o conceito que divide a força em duas parcelas, a que varia com o volume de cavaco retirado $dF_{cutting}$ e a

que varia com o comprimento de contato da aresta de corte $dF_{edge}^{[3]}$.

$$\begin{aligned} d\bar{F} &= d\bar{F}_{edge} + d\bar{F}_{cutting} \\ d\bar{F} &= \bar{K}_{edge} db + \bar{K}_{cutting} t db \end{aligned} \quad (8)$$

Onde:

$\bar{K}_{cutting}$ = vetor de pressão específica e

\bar{K}_{edge} = vetor de força específica.

$$t = s_t \sin \phi \quad (9)$$

No fresamento de topo, a espessura do cavaco indeformado é função do ângulo ϕ medido em relação à direção do avanço por dente s_t , escrito em função da velocidade de avanço v_f , do número de arestas de corte e da velocidade angular de rotação da ferramenta ω , como mostra a equação 10.

$$s_t = \frac{v_f}{\omega N_t} \quad (10)$$

Assim, cada comprimento db pode ser calculado em função do ângulo de hélice λ e do diâmetro da ferramenta d , que podem ser vistos na figura 1. ▶

A solução em Aditivos e Lubrificantes Industriais



Ampla linha de aditivos e lubrificantes industriais e agroindustriais para: Tornear, furar, rosquear, usinar, mandrilhar, fresar, brocar, brunir, retificar, trefilar, conformar tubos, estampar, proteger, lubrificar, desengraxar, laminar, repuxar, fundir e refrigerar.



Raiden do Brasil Aditivos e Lubrificantes Industriais

11 2539 2577 • 11 2539 2578
11 2539 2579 • 11 2539 2581
contato@raiden.com.br

www.raiden.com.br

Monitoramento

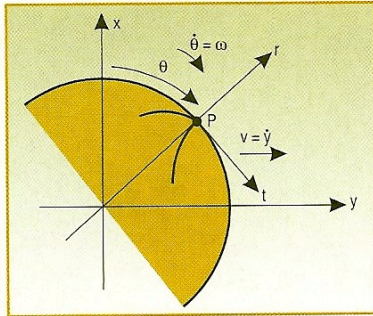


Figura 2 – Rotação da ferramenta

$$db = \frac{d}{2 \tan \lambda} d\phi \quad (11)$$

O ângulo δ é calculado por:

$$\delta = \frac{2b \tan \lambda}{d} \quad (12)$$

Este ângulo δ também é utilizado para classificar a geometria do corte em tipo I ou tipo II^[13], de acordo com os ângulos ϕ_1 e ϕ_2 , respectivamente, e os ângulos de entrada e saída da ferramenta. Na geometria de tipo I, δ é menor ou igual a $\phi_1 - \phi_2$, e na geometria de tipo II, δ é maior^[2].

Para calcular a força que atua em uma aresta, a integração a seguir é realizada sobre todo o comprimento da aresta:

$$\vec{F} = \int \vec{K}_{edge} db + \int \vec{K}_{cutting} t db \quad (13)$$

Neste ponto, os coeficientes são considerados constantes e, assim, a força será expressa por:

$$\vec{F} = \vec{K}_{edge} \int \frac{d}{2 \tan \lambda} d\phi + \vec{K}_{cutting} \int (s_t \sin \phi) \frac{d}{2 \tan \lambda} d\phi \quad (14)$$

A força total, somando todas as arestas, será:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{N_i} \vec{F}_i \quad (15)$$

Um ponto fixo P, localizado na periferia da ferramenta, foi escolhido para descrever a posição angular da ferramenta, como mostra a figura 2. A força pode ser descrita em função deste ângulo de posição θ :

$$\vec{F}(\theta) = \vec{K}_{edge} h(\theta) + \vec{K}_{cutting} A(\theta) \quad (16)$$

Onde:

$h(\theta)$ = função da altura de corte e

$A(\theta)$ = função da área que já inclui a contribuição de todas as arestas:

$$h(\theta) = \sum_{n=1}^{N_i} h_n(\theta) \quad (17)$$

$$A(\theta) = \sum_{n=1}^{N_i} A_n(\theta) \quad (18)$$

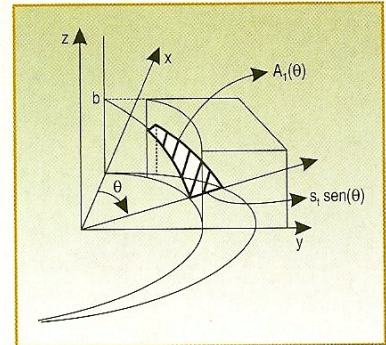


Figura 3 – Função de área

A função de altura e de área para cada aresta é calculada por:

$$h_n(\theta) = \int_{L_1(\theta+\xi(n-1))}^{L_2(\theta+\xi(n-1))} \frac{d}{2 \sin \lambda} d\epsilon \quad (19)$$

$$A_n(\theta) = \int_{L_1(\theta+\xi(n-1))}^{L_2(\theta+\xi(n-1))} \frac{s_t d}{2 \sin \lambda} \sin \epsilon d\epsilon \quad (20)$$

Onde:

Os limites L_1 e L_2 são determinados em cada fase de θ (tabela 1, pág. 46) e o ângulo entre arestas ξ e os valores de e_1, e_2, e_3 e e_4 podem ser observados na tabela 2 (pág. 46).

A figura 3 mostra a função de área para a primeira aresta de

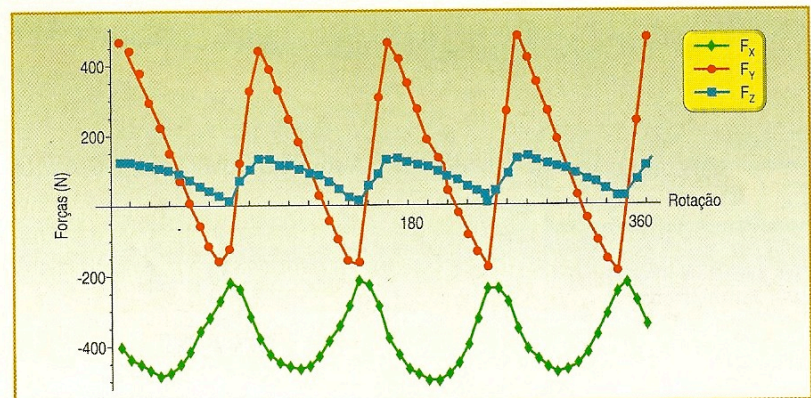


Figura 4 – Resultados de Altintas^[11]

Monitoramento

corde de uma ferramenta de quatro arestas e geometria tipo I com ângulo de entrada de 30° e de saída de 90°.

As componentes da força são escritas no referencial polar (r, t e z) para que os coeficientes da pressão específica sejam considerados constantes.

$$\vec{F}(\theta) = \begin{bmatrix} F_t(\theta) \\ F_r(\theta) \\ F_z(\theta) \end{bmatrix} = A(\theta) \begin{bmatrix} K_{ct} \\ K_{cr} \\ K_{cz} \end{bmatrix} + h(\theta) \begin{bmatrix} K_{et} \\ K_{er} \\ K_{ez} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Tabela 1 – Fases e limites

	FASE	TIPO I		TIPO II	
		L ₁ (θ)	L ₂ (θ)	L ₁ (θ)	L ₂ (θ)
Para e ₁ < θ ≤ e ₂	Fase A	φ ₁	θ	φ ₁	θ
Para e ₂ < θ ≤ e ₃	Fase B	θ - δ	θ	φ ₁	φ ₂
Para e ₃ < θ ≤ e ₄	Fase C	θ - δ	φ ₂	θ - δ	φ ₂

Tabela 2 – Tipos e limites

LIMITES	TIPO I	TIPO II
e ₁	φ ₁	φ ₁
e ₂	φ ₁ + δ	φ ₂
e ₃	φ ₂	φ ₁ + δ
e ₄	φ ₂ + δ	φ ₂ + δ

Para colocar no referencial da mesa, utiliza-se a matriz de rotação R, escrita para cada aresta (equação 22 abaixo):

$$R_n(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta + \xi(n-1)) & \sin(\theta + \xi(n-1)) & 0 \\ \sin(\theta + \xi(n-1)) & -\cos(\theta + \xi(n-1)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (22)$$



OMP
TAGLIO TECNOLOGIA

MÁQUINAS DE CORTE - SERRAS AUTOMÁTICAS





FABRICAÇÃO NACIONAL



ESCOVADEIRA AUTOMÁTICA PARA TUBOS



EUROMATIC 370 CM 2B
Linha de corte automática para tubos de aço



MÁQUINAS ESPECIAIS SOB PROJETO



MD 100
Serra automática de precisão para aços maciços e tubos de grande espessura, utiliza serras tipo cermet.

OMP TAGLIO TECNOLOGIA
R. XV DE OUTUBRO 1754- CEP 89239-700
JOINVILLE / SC - F: (47) 3473 7200
www.omp-taglio.com.br / contato@omp-taglio.com.br



Multiplicando cada função por R, tem-se:

$$A_z(\theta) = \sum_{n=1}^{N_l} R_n(\theta) A_n(\theta) \quad (23)$$

$$h_z(\theta) = \sum_{n=1}^{N_l} R_n(\theta) h_n(\theta)$$

E, assim, a força será:

$$\begin{bmatrix} F_x(\theta) \\ F_y(\theta) \\ F_z(\theta) \end{bmatrix} = A_R(\theta) \begin{bmatrix} K_{ct} \\ K_{cr} \\ K_{cz} \end{bmatrix} + h_z(\theta) \begin{bmatrix} K_{et} \\ K_{er} \\ K_{ez} \end{bmatrix} \quad (24)$$

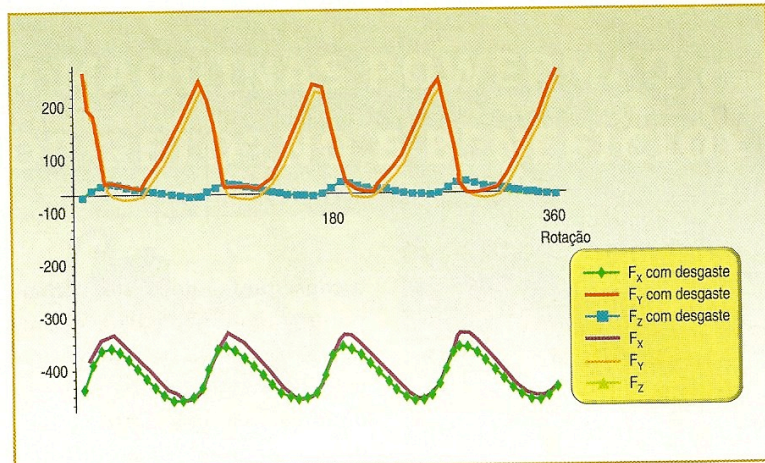
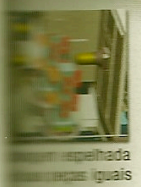


Figura 5 - Exemplo 1

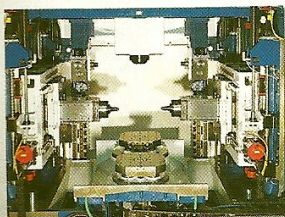
Ou ainda (equação 25, pág. 48):

Onde cada componente da matriz (equação 26, pág. 48): ▶

Centro de usinagem de duplo fuso - tecnologia "face to face" F2F



Porta pallet giratório, com sistema de troca de pallet



Área de usinagem ampla, com sistema de travamento superior do dispositivo de fixação



O conceito "FACE to FACE" F2F propicia a flexibilidade do centro de usinagem horizontal com o dobro da produção

Visite-nos na
FEIMAFE
Rua H-88 / I-79

+ Mais Produtividade para sua Empresa



BUCCI INDUSTRIES BRASIL
Tel.: (11) 3801-3763 - Fax: (11) 3801-3563
contato@buccibrasil.com.br - www.buccibrasil.com.br

BUCCI INDUSTRIES
Sempre a seu lado

Monitoramento

$$\begin{bmatrix} F_x(\theta) \\ F_y(\theta) \\ F_z(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1(\theta) & S_2(\theta) & 0 & S_3(\theta) & S_4(\theta) & 0 \\ S_2(\theta) & -S_1(\theta) & 0 & S_4(\theta) & -S_3(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & A(\theta) & 0 & 0 & h(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{ct} \\ K_{cr} \\ K_{cz} \\ K_{et} \\ K_{er} \\ K_{ez} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} S_1(\theta) &= \sum_{n=1}^{N_i} A_n(\theta) \cos(\theta + \xi(n-1)) \\ S_2(\theta) &= \sum_{n=1}^{N_i} A_n(\theta) \sin(\theta + \xi(n-1)) \\ S_3(\theta) &= \sum_{n=1}^{N_i} h_n(\theta) \cos(\theta + \xi(n-1)) \\ S_4(\theta) &= \sum_{n=1}^{N_i} h_n(\theta) \sin(\theta + \xi(n-1)) \end{aligned} \quad (26)$$

Ou em um formato mais compacto:

$$F(\theta) = J(\theta)K \quad (27)$$

Para um conjunto de dados experimentais $F(\theta)$, um valor médio K_{med} :

$$K = J^{-1}(\theta)F(\theta) \quad (28)$$

Influência do nível RMS no cálculo do coeficiente

Com a abordagem mecânica, a calibração da pressão específica de corte é feita para uma faixa de velocidades. Por este método, pode ser feito o cálculo para uma faixa de desgaste, usando a informação do sinal RMS de EA no cálculo das componentes K (equação 29 ao lado).

Para uma ferramenta sem desgaste, calibra-se o modelo para um determinado par de materiais. Após o início da operação e

o conseqüente desgaste, o comportamento das forças é alterado. A proposta deste artigo é adicionar a informação da variação da força com o desgaste no modelo, usando a relação do sinal RMS da ferramenta desgastada em relação ao sinal original.

$$K_e(\omega) = K_w \cdot K_e \quad (30)$$

Resultados e discussões

O algoritmo apresentado em Araújo^[3] foi utilizado para calcu-

lar a força sem desgaste e alterado para computar a variação do sinal RMS, representando o desgaste. Os resultados experimentais foram retirados do artigo de Altintas^[1], e as pressões específicas foram calculadas a partir dos valores ali apresentados (figura 4, pág. 44)

Neste experimento, os parâmetros utilizados são:

- diâmetro da ferramenta = 18,1 mm,
- avanço por dente = 0,05 mm por dente,
- quatro arestas de corte,
- ângulo de hélice = 30°,
- velocidade de avanço = 11 mm/min,
- profundidade de corte = 5,08mm,
- ângulo de saída = 180° e
- material = liga Ti6Al4V

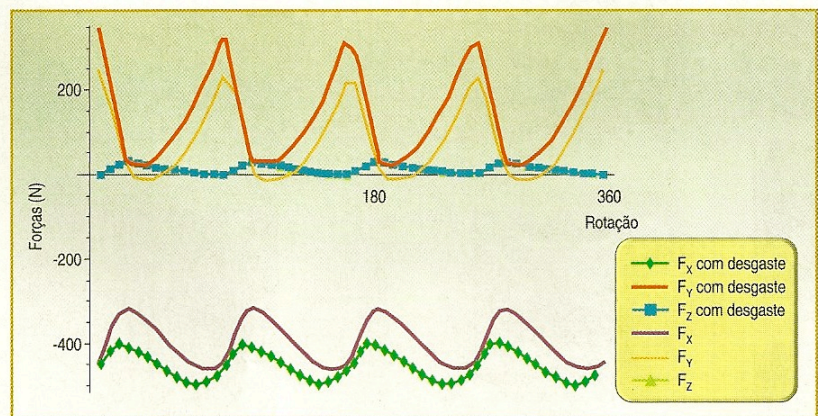


Figura 6 – Exemplo 2

$$\begin{bmatrix} F_x(\theta) \\ F_y(\theta) \\ F_z(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1(\theta) & S_2(\theta) & 0 & S_3(\theta) & S_4(\theta) & 0 \\ S_2(\theta) & -S_1(\theta) & 0 & S_4(\theta) & -S_3(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & A(\theta) & 0 & 0 & h(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{ct} \\ K_{cr} \\ K_{cz} \\ K_{et}(\omega) \\ K_{er}(\omega) \\ K_{ez}(\omega) \end{bmatrix} \quad (29)$$

As figuras 5 (pág. 47) e 6 (pág. 48) mostram os resultados adicionando uma contribuição de 10% e 30% no aumento da força específica proveniente do desgaste. A força específica experimental utilizada foi relatada em Araújo^[3].

Conclusões

É possível acrescentar informações sobre o desgaste no modelo mecânico de força de corte do fresamento de topo, justificando o aumento da força necessária para o corte do metal. É necessário realizar experimentos de força de corte para calibrar o modelo desde a si-

tuação da ferramenta nova até um nível de desgaste admissível para a rugosidade superficial do mate-

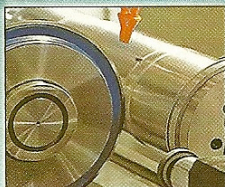
rial. Pode-se adotar a mesma metodologia para as operações de furação e torneamento. ■

Referências

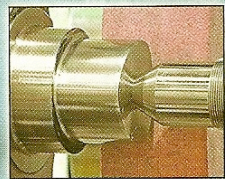
- 1] Altintas, Y.; Lee, P.: *A general mechanics and dynamics model for helical end mills*. Annals of Cirp, v. 45, nº 1, p. 59-64, 1996.
- 2] Araújo, A. C. E.; Silveira, J. L.: *Models for the prediction of instantaneous cutting forces in end milling*. Annals of 15th Cobem, CD-ROM, 1999.
- 3] Araújo, A. C.; Silveira, J. L.: *Analysis of the specific force on end milling*. Proceedings of the 22nd Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2001.
- 4] Chungchoo, C.; Saini, D.: *The total energy and the total entropy of force signals - new parameters for monitoring oblique turning operations*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 40, p. 1879-1897, 2000.
- 5] Dornfeld, D. A.; Kannatey-Asibu, E.: *Acoustic emission during*

Retificadora Universal CNC Série Pratika

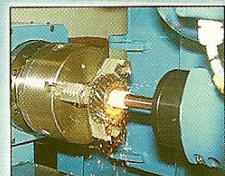
Flexibilidade e Alta Tecnologia para Ferramentarias



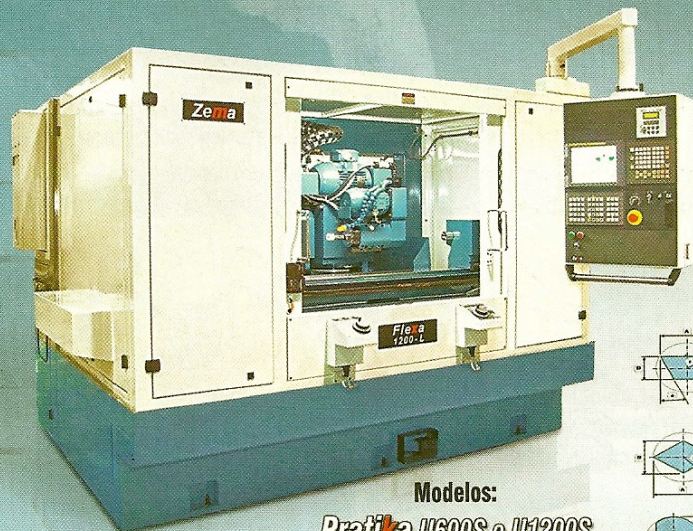
Retificação de roscas externas e internas



Retificação de polígonos, punções, entre outros



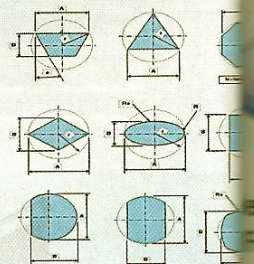
Fuso porta rebolo para internos mecânico e ou alta frequência



Modelos:

Pratika U600S e U1200S
Pratika Flexa 600L e 1200L

Exemplos de punções



www.zema.com.br

• vendas@zema.com.br

• tel. (11) 4397-6002

Zema

orthogonal metal cutting. International Journal of Mechanical Science, v. 22, p. 285-296, 1980.

6] Kannatey-Asibu, E.; Dornfeld, D. A.: Quantitative relationships for acoustic emission from orthogonal metal cutting. Journal of Engineering for Industry, v. 103, p. 330-340, 1981.

7] Li, X.: A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 42, p. 157-165, 2002.

8] Li, X.: Real-time detection of the breakage of small diameter drills with wavelet transform. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 14, p. 539-543, 1998.

9] Liu, M.; Liang, S.: Analytical modeling of acoustic emission for monitoring peripheral milling process. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 31, p. 589-606, 1991.

10] Rangwala, S.; Dornfeld, D. A.: A study of acoustic emission generated during orthogonal metal cutting - spectral analysis. Journal of Mechanical Engineering Science, v. 33/6, p. 489-499, 1991.

11] Saini, D. P.; Park, Y. J.: A quantitative model of acoustic emission in orthogonal cutting operations. Journal of Materials Processing, v. 58, p. 343-350, 1996.

12] Shao, H.; Wang, H. L.; Zhao, X. M.: A cutting power model for tool wear monitoring in milling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 44, p. 1503-1509, 2004.

13] Thusty, J.; Macneil, P.: Dynamics of cutting in end milling, Annals of Cirp, v. 24, nº 1, p. 213-221, 1975.

14] Wilcox, S. J.; Reuben, R. L.; Souquet, P.: The use of cutting force and acoustic emission signals for the monitoring of tool insert geometry during rough face milling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 37, p. 481-494, 1997.

ka
ias

FERRAMENTAS DE CORTE

e punções

Mais que uma
marca. um conceito
de qualidade

Desde 1985 especializada em :

- Ferramentas especiais de metal duro sob desenho
- Cilindros para pantógrafos - retificados e/ou polidos
- Serras circulares de metal duro para vincagem
- Serras circulares de metal duro para rebaixar mica
- Fresas de topo - brocas e alargadores de metal duro



kerps®

Indústria e Comércio de Ferramentas Ltda
 Av. Utinga - 1411 - Utinga
 Santo André - SP - CEP 09220-611
 Tel.: (11) 4997-0114 - Fax: (11) 4997-0115
 kerps@uol.com.br