

## SIMULAÇÃO DAS FORÇAS DE CORTE NO FRESAMENTO DE TOPO

P. H. F. Oliveira (1), M. L. Polli (1), R. B. Schoroeter (1), W. L. Weingaertner (1)

(1) Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Mecânica de Precisão, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa Postal – 476 – EMC, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, CEP:88010-970

**Palavras chave:** Forças, fresamento, simulação

### RESUMO

O fresamento de topo é um processo de fresamento contínuo, circunferencial e frontal empregando uma fresa de topo. Ele é utilizado com vantagem na execução de superfícies de forma livre, bem como rasgos e cortes de todos os tipos e tamanhos. As fresas de topo possuem gumes tanto na sua periferia quanto na sua face. Podem ser produzidas com topo simples ou duplo, haste e corpo cilíndricos ou cônicos, em diversos diâmetros e comprimentos, e possuem dois, três, quatro, seis ou mais canais, sendo que na maioria estes são helicoidais e, em alguns casos, retos.

Para remover cavacos a fresa deve atuar com uma determinada força sobre a peça usinada. O conhecimento da grandeza e direção das forças de usinagem é requerido no projeto dos elementos de máquinas-ferramentas, sistemas de fixação das ferramentas e das peças e no planejamento do processo de usinagem. Neste trabalho procura-se simular o comportamento das forças durante o processo de fresamento de topo.

Segundo Altintas (2000), durante o fresamento cada dente da fresa está sujeito a uma carga de impacto quando entra na região de corte. A magnitude desta carga depende do material da peça, da posição da ferramenta, dos parâmetros de usinagem e da geometria da ferramenta. As forças no fresamento são cíclicas e proporcionais à espessura de corte em cada posição. A espessura do cavaco  $h$  pode ser calculada pela equação:

$$h(\phi) = f_z \sin \phi \quad (1)$$

onde  $f_z$  corresponde ao avanço por dente e  $\phi$  a posição angular relativa à direção de avanço, conforme figura 1.

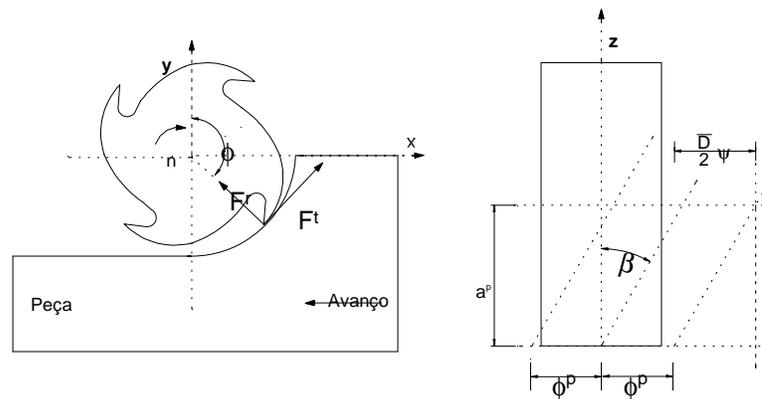


Figura.1 – Grandezas envolvidas no processo [Altintas, 2000].

As forças de corte são dadas pelas seguintes equações:

$$F_r(\phi) = k_c a_p h(\phi) \quad (2)$$

$$F_r = \eta F_t \quad (3)$$

onde  $k_c$  corresponde à pressão específica de corte e  $a_p$  à profundidade axial de corte. A componente radial  $F_r$  é proporcional à  $F_t$  pelo fator de corte  $\eta$ . A pressão específica de corte depende das condições de corte como materiais da peça e da ferramenta, geometria da ferramenta e velocidade de corte, entre outras. Seus valores podem ser encontrados em tabelas, ou determinados experimentalmente. O mesmo é válido para o fator de corte  $\eta$ , sendo que para uma primeira aproximação o valor 0,3 pode ser empregado.

As forças podem ser projetadas nos eixos x e y, resultando:

$$F_x = -F_t \cos(\phi) - F_r \sin(\phi) \quad (4)$$

$$F_y = F_t \sin(\phi) - F_r \cos(\phi) \quad (5)$$

Deve-se observar que as forças de corte são produzidas somente enquanto a ferramenta está na zona de corte, ou seja,  $\phi_{st} \leq \phi \leq \phi_{ex}$ , onde  $\phi_{st}$  e  $\phi_{ex}$  são os ângulos de entrada e saída da ferramenta, respectivamente. Outro aspecto importante é que pode haver mais de um dente cortando simultaneamente, dependendo do número de dentes da ferramenta e da profundidade de corte radial. O espaçamento entre os dentes da ferramenta,  $\phi_p$ , é dado por

$$\phi_p = \frac{2\pi}{N} \quad (6)$$

onde  $N$  é o número de dentes da ferramenta. Neste caso, a contribuição de cada dente deve ser considerada para o cálculo das forças:

$$F_x = \sum_{j=1}^N F_{xj}(\phi) \quad (7)$$

$$F_y = \sum_{j=1}^N F_{yj}(\phi) \quad (8)$$

Segundo Tlustý (2000), para fresas helicoidais a profundidade de corte é distribuída gradualmente ao longo da hélice de cada dente. Considerando uma ferramenta de diâmetro  $D$  e ângulo de hélice  $\beta$ , um ponto do gume em uma profundidade axial  $z$  estará defasado de um ângulo  $\psi$  em relação à extremidade da ferramenta, sendo que:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{D\psi}{2z} \quad (9)$$

$$\psi = \frac{2z \cdot \operatorname{tg}\beta}{D} \quad (10)$$

Quando um ponto na extremidade da ferramenta está em um ângulo de imersão  $\phi$ , um ponto do gume que está axialmente a  $z$  [mm] acima terá ângulo de imersão de  $(\phi - \psi)$ . Assim, a espessura removida ao longo da hélice será diferente em cada ponto.

Levando em conta as equações e considerações acima descritas é possível simular as forças de usinagem. As variáveis de entrada são ângulos de entrada, saída e hélice, profundidade de corte, número de dentes, avanço, velocidade de corte, diâmetro da ferramenta e força específica de corte. Na simulação a fresa é rotacionada em pequenos incrementos angulares. A cada incremento rotacional, as forças de corte são integradas axialmente ao longo da ferramenta. Abaixo alguns resultados da simulação.

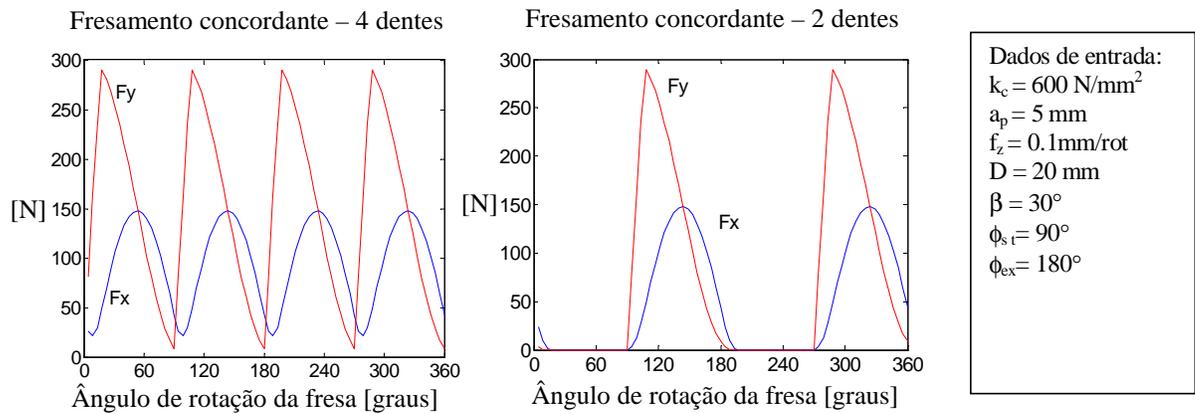


Figura 2-Resultados de simulação

Na realidade as forças raramente se comportam exatamente como na simulação. Excentricidade e erros geométricos devido a imprecisões de fabricação e montagem da ferramenta não consideradas na simulação contribuem para a variação da espessura de usinagem e conseqüentemente sobre o comportamento das forças. Entretanto as simulações podem ser úteis para uma melhor compreensão da cinemática e da dinâmica do processo de usinagem.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- STEMMER, C. E.**, 1993, Ferramentas de corte I, 3. ed. Florianópolis: Ed. UFSC. 249 p.
- ALTINTAS Y.**, 2000, Manufacturing Automation. 1. Ed. Cambridge Univ. Press, 288 p.
- TLUSTY, G.**, 2000, Manufacturing Process and Equipment: 1. Ed. Prentice Hall, 928 p.