

Simulação de uma superfície usinada por uma fresa de topo esférico

Simulation of a ball-end mill machined surface

RESUMO

Pedro Carlin de Souza Passos
pedrocarlinp@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Milton Luiz Polli
polli@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

A usinagem por uma fresa de topo esférico é um procedimento que gera uma rugosidade na peça devido às marcas deixadas pela usinagem e também pelo fato da aresta de corte ter um formato esférico, gerando cristas e vales em formatos diferentes e que seguem um padrão ao longo da peça. Sabendo que diferentes inclinações da superfície em relação ao eixo da ferramenta causam diferentes efeitos na mesma, foi pensado em elaborar uma simulação computacional para mostrar como fica a superfície para cada situação de inclinação da face usinada. Para elaborar essa simulação foi utilizado o Matlab na versão R2018a, na qual foi elaborado um código que pudesse reproduzir varias situações de usinagem na qual os parâmetros, a inclinação e as características da ferramenta pudessem ser alteradas. Para a elaboração do algoritmo foi utilizado o artigo *3D surface topography analysis in 5-axis ball-end milling*, S. Ehsan Layegh k, Ismail Lazoglu, 2017 como base para as equações utilizadas e para o procedimento para realizar a programação.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação. Superfície. Usinagem.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Machining with a ball-end mill is a procedure that generates roughness in the part due to the marks left by the machining and also because the cutting edge is spherically shaped, generating ridges and valleys in different shapes and following a pattern along of the piece. Knowing that different inclinations of the surface in relation to the tool axis cause different effects on the surface, it was thought to elaborate a computer simulation to show how the surface looks for each machined face inclination situation. To elaborate this simulation, matlab version r2018a was used, and a code was elaborated that could replicate several situations in the machining parameters, and the inclination and the tool characteristics could be changed. For the elaboration of the algorithm, the article *3d surface topography analysis in 5-axis ball-end milling*, s. Ehsan layeghk, ismail lazoglu, 2017 was used as basis for the equations used and for the procedure to perform the programming.

KEYWORDS: Simulation. Surface. Machining.

INTRODUÇÃO

A usinagem por fresa de topo esférico é, normalmente utilizada para acabamento de superfícies inclinadas, removendo pouco material por vez e é considerada um processo demorado, se comparada com outros procedimentos de fresamento.

Sabendo dessas informações, foi elaborada uma simulação computacional, utilizando o Matlab, que representasse graficamente uma superfície usinada por uma fresa de topo esférico. Como resultado final, a simulação mostrará um gráfico da superfície usinada, podendo fazer um levantamento de como a inclinação da face usinada influência na qualidade da usinagem e como ficam as marcas deixadas na peça pela ferramenta.

O objetivo desse trabalho é conseguir uma simulação que represente com fidelidade o aspecto da superfície depois de ser usinada por uma fresa de topo esférico.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado o artigo *3D surface topography analysis in 5-axis ball-end milling*, escrito por *S. Ehsan Layegh k e Ismail Lazoglu*, publicado em 2017 na revista *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, como base para as equações e parte do procedimento para elaborar a simulação. Foi utilizado o Matlab, na versão R2018a, para elaborar a simulação. Devido a impossibilidade de realizar usinagem, por falta de equipamentos e ferramentas, os parâmetros e os resultados da usinagem, para fins de comparação com a simulação, foram tirados da dissertação de mestrado *Análise da Estabilidade Dinâmica do processo de fresamento com ferramenta de topo esférico do aço AISI D6 endurecido*, escrito por Fábio Fernandes da Silva, publicado em 2018.

Com o proposito de conseguir uma maior precisão dos resultados, foi feito os cálculos aumentando a variável controlada 0,001 a cada interação que era feita. Sendo que a variável controlada era a distancia da fresa da posição inicial.

As equações (1), (2) e (3) representam a trajetória da aresta de corte durante a usinagem, sendo que o eixo Z está paralelo ao eixo da ferramenta, ou seja, não representa a trajetória na superfície da peça, como mostra a figura 1. Sendo que as equações (4) e (5) são complementares para fazer os cálculos.

$$x = f_x * \left(\frac{\theta}{2\pi}\right) + \rho * \cos(\theta) + R_i * \cos(\zeta - \theta) \quad (1)$$

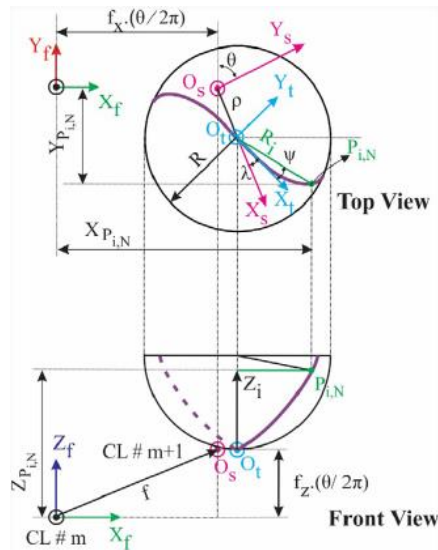
$$y = -\rho * \sin(\theta) + R_i * \sin(\zeta - \theta) \quad (2)$$

$$z = f_z * \left(\frac{\theta}{2\pi}\right) + Z_i \quad (3)$$

$$R_i = \sqrt{R^2 - (R - z_i)^2} \quad (4)$$

$$\zeta = \lambda + \psi + (k - 1) * \left(\frac{2\pi}{N_t}\right) \quad (5)$$

Figura 1 – Ilustração da geometria da fresa de topo esférico



Fonte: S. Ehsan Layegh k, Ismail Lazoglu (2017).

Neste caso, as variáveis representam: f_x e f_z são componentes da velocidade de avanço (mm/rot), ρ e λ (respectivamente, distancia e ângulo) são variáveis que representam o balanço da ferramenta quando está em movimento, Z_i é a profundidade de corte, R é o raio da ferramenta (mm), R_i é o raio da ferramenta que está sendo usado na usinagem, ψ é o ângulo de hélice da ferramenta, k número atual da aresta de corte, N_t número total de arestas de corte e θ angulação atual da ferramenta (variável que vai ser alterada durante o cálculo da trajetória, variável controlada).

Como a trajetória calculada pelas formulas (1), (2) e (3) não está no mesmo plano da face da peça, foi necessário fazer a projeção dela para a superfície da peça, para que pudesse representar a remoção do material da peça pelas arestas de corte. Essas projeções foram feitas utilizando as formulas (6), (7) e (8), sendo que *lead* é o ângulo no sentido de avanço da ferramenta (Eixo X), *tilt* é o ângulo no sentido dos passes (Eixo Y).

$$X_{peça} = x * \cos(lead) + z * \sin(lead) \quad (6)$$

$$Y_{peça} = y * \cos(tilt) + z * \sin(tilt) \quad (7)$$

$$Z_{peça} = x * \sin(lead) + y * \sin(tilt) + z * (\cos(lead) + \cos(tilt)) \quad (8)$$

Depois de ter feito as projeções, para facilitar os cálculos seguintes e para melhorar a visualização do gráfico final, os eixos do sistema (X, Y e Z) foram rotacionados de modo que o eixo X e Y ficassem no mesmo plano da superfície da peça e por consequência, o eixo Z perpendicular à mesma. E para uma primeira análise, foi decidido considerar apenas uma inclinação por vez (*tilt* ou *lead*), ou seja, seria necessário só fazer uma rotação dos eixos. As matrizes de rotação estão descritas nas equações (9) e (10), sendo que a equação (9) é usada para rotacionar quando a inclinação está no eixo Y e a (10) é para quando tem inclinação no eixo X.

$$Rot_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varnothing) & -\text{sen}(\varnothing) \\ 0 & \text{sen}(\varnothing) & \cos(\varnothing) \end{bmatrix} \quad (9)$$

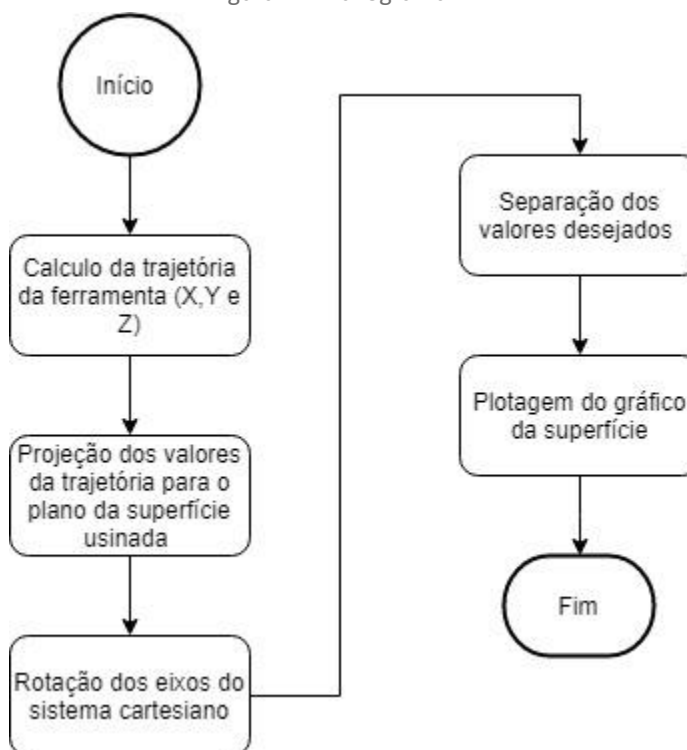
$$Rot_y = \begin{bmatrix} \cos(\varnothing) & 0 & \text{sen}(\varnothing) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\text{sen}(\varnothing) & 0 & \cos(\varnothing) \end{bmatrix} \quad (10)$$

O ângulo \varnothing é o ângulo na qual vai ser rotacionado o respectivo eixo, Sendo que essa matriz multiplica a matriz que contém os valores do $X_{peça}$, $Y_{peça}$ e $Z_{peça}$ calculado anteriormente.

Depois de ter feito todo esse tratamento os valores dos vetores $X_{peça}$, $Y_{peça}$ e $Z_{peça}$ foi desenvolvido um algoritmo que separa os valores mínimos de Z do resto dos valores, deixando só a parte de baixo do gráfico. Em seguida foi plotado o gráfico, usando a função *surf* (função que plota gráficos em 3D como uma malha preenchida), que seria a representação da superfície.

O fluxograma, mostrado na figura 2, representa superficialmente os procedimentos adotados na programação.

Figura 2 – Fluxograma

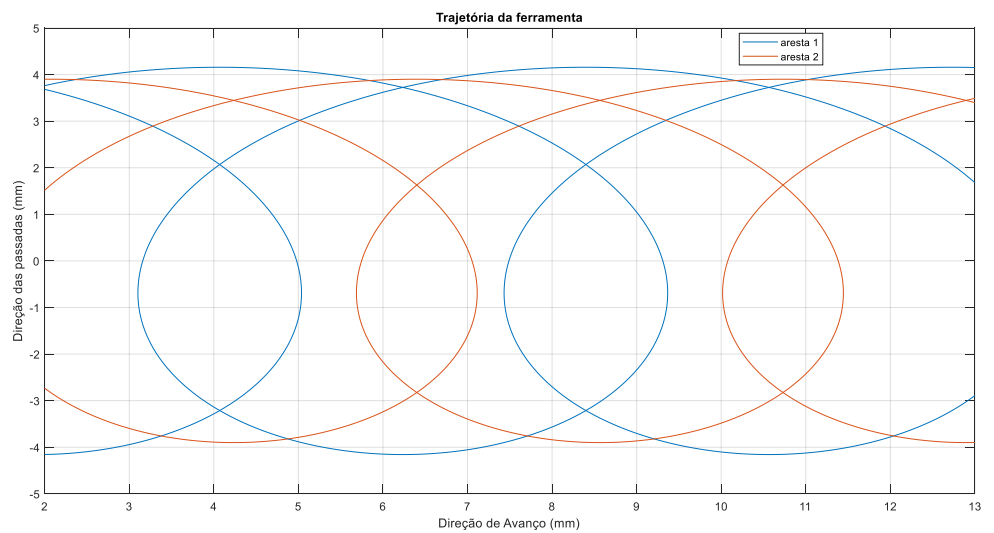


Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

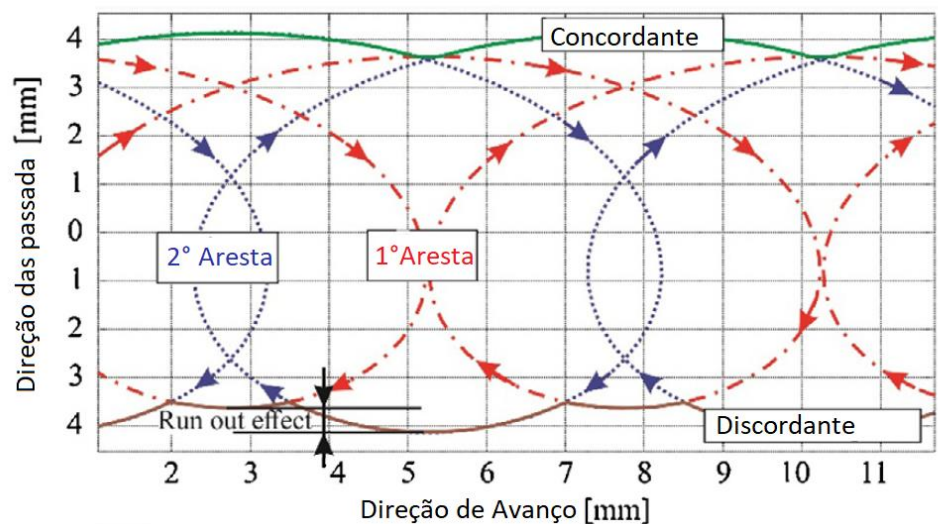
Como resultado da simulação, foi possível obter a trajetória da ferramenta (figura 3), que pode ser comparado com um exemplo de trajetória mostrado no artigo base (figura 4). Sendo que a aresta 1 representa uma aresta de corte e a aresta 2 representa a outra aresta de corte.

Figura 3 – Trajetória da ferramenta



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 – Trajetória da ferramenta (artigo)



Fonte: S. Ehsan Layegh k, Ismail Lazoglu (2017) (Adaptada).

Os parâmetros para obter esse gráfico foram: $f = 5$ mm/rev, $\rho = 0.5$, $R = 6$ mm, $R_i = 4$ mm, $N = 2$ arestas, $\psi = 30^\circ$, $\lambda = 45^\circ$, $\text{lead} = 30^\circ$ e $\text{tilt} = 30^\circ$.

Apesar destas figuras não representarem a superfície em 3D já é possível analisar algumas coisas, como as marcas deixadas pelas arestas de corte, a diferença que ocorre entre o corte concordante (parte superior do gráfico) e o corte discordante (parte inferior do gráfico) e o efeito da excentricidade da ferramenta durante a usinagem, que é percebido através da análise de qual aresta de corte está removendo mais material.

CONCLUSÃO

Devido ao fato dos processos de simulação serem considerados recentes e também por terem muitas variáveis não controladas que influenciam o resultado da usinagem, não foi possível obter uma representação gráfica em 3D da superfície. Outro fator que dificultou a obtenção de resultados foi à dificuldade em conseguir dar um tratamento correto aos vetores da trajetória, em especial o vetor $Z_{\text{peça}}$.

Sugere-se como trabalhos futuros uma pesquisa em outras fontes com o objetivo de se comparar o procedimento adotado para obter os resultados. E também o aperfeiçoamento do algoritmo para que ele possa abordar todas as situações, que vai desde analisar a atuação dos dois ângulos juntos até a implementação de um algoritmo que simule a vibração do sistema.

REFERÊNCIAS

S. Ehsan Layegh K; Ismail Lazoglu. 3D surface topography analysis in 5-axis ball-end milling. CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2017.

SILVA, Fábio Fernandes da. *Análise da Estabilidade Dinâmica do processo de fresamento com ferramenta de topo esférico do Aço AISI D6 Endurecido*. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação Araucária por fornecer a bolsa, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná por ceder o laboratório de Pesquisa a Usinagem como local para poder desenvolver a pesquisa. Agradeço a meu professor orientador Milton Luiz Polli por dar o apoio necessário.