

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS DE DESBASTE NO FRESAMENTO DE SUPERFÍCIES COMPLEXAS NO AÇO ENDURECIDO AISI P20

Denis Boing, denisboing@unifebe.edu.br¹
Gabriel Habitzreuter, gabriel.h@unifebe.edu.br¹

¹Centro Universitário de Brusque – UNIFEBE, Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação - CTIF Rua Dorval Luz, 123 - Bairro Santa Terezinha - Brusque – SC.

Resumo: O fresamento de moldes e matrizes segue geralmente o seguinte processo de fabricação: desbaste, pré-acabamento, acabamento e polimento. Por sua aplicabilidade, os componentes funcionais dos moldes e matrizes são comumente construídos em aços-ferramenta e submetidos a processos de endurecimento por tratamento térmico. A correta definição dos parâmetros tecnológicos e do resultado de trabalho da usinagem, tornam-se fatores fundamentais para aplicação da tecnologia com confiabilidade no ambiente industrial. O objetivo deste trabalho é determinar a influência das estratégias de usinagem concêntrica, zig-zag e waveform, no volume de material usinado, no tempo de usinagem e no desgaste das ferramentas. Os ensaios foram realizados na operação de fresamento em desbaste de superfícies complexas no aço AISI P20, utilizando ferramentas de metal-duro revestidas de PVD (Ti,Al)N + TiN. A análise dos resultados demonstra que a estratégia waveform possuiu tempo de usinagem 24% menor, em relação à estratégia zig-zag e 43% em relação à concêntrica, além de maior volume de material removido quando comparado a zig-zag e a concêntrica sendo 2,3% e 3,3%, respectivamente. Entretanto a estratégia waveform promoveu maior desgaste das ferramentas.

Palavras-chave: fresamento, estratégia de usinagem, aço AISI P20; superfícies complexas.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de produtos plásticos tem crescido exponencialmente, tornando-se responsável por aproximadamente 35% do consumo de polímeros do país. Muitos destes produtos possuem uma geometria complexa e atualmente são encontrados em inúmeras áreas da economia, como a médica e automobilística (Daré, 2000).

Conforme Boujelbene (2004) cerca de 30% do custo na fabricação de um produto plástico esta associado à fabricação do molde. Deste modo, com a redução do custo de manufatura do molde obtém-se um expressivo ganho no componente final. Os moldes podem ser fabricados por diferentes tipos de aços, com dureza entre 45 e 70HRC, geralmente com uma ou mais cavidades. Em torno de 60% do tempo de produção de um molde ou matriz é ocupado na manufatura de partes funcionais do ferramental (Fallböhmer et al, 1996).

Geralmente para a fabricação de um molde ou matriz se faz uso do fresamento para realizar a operação de desbaste. As operações de desbaste por fresamento consistem, comumente, em estratégias de usinagem por camadas sendo também denominada como desbaste em 2 ½ eixos, no qual o princípio do processo está baseado no ataque da ferramenta de corte tangenciando alguma aresta da peça (Bonetti, 2008). Dentro deste processo, diversos fatores devem ser analisados na intenção de obter as condições de operação mais vantajosa, dentre eles: características específicas da geometria de corte, geometria da peça antes da usinagem, material da peça, condições de trabalho da máquina ferramenta, a posição da peça em relação à ferramenta de corte, o sistema de fixação da peça, a estratégia de usinagem, as características geométricas da ferramenta de corte, os diversos parâmetros de corte e o fluido de corte (Vivancos et al, 2004).

De acordo com os estudos de Souza (2004), no desbaste por camada a ferramenta é posicionada em uma determinada altura no eixo vertical da máquina-ferramenta (eixo Z), e posteriormente executa movimentos nos eixos X e Y da máquina, para a remoção do material nesta camada. Quando a remoção de material desta camada é concluída, a ferramenta é novamente posicionada em um ponto do eixo Z da máquina-ferramenta, este ponto pode ser definido pela profundidade de corte (a_p), removendo o material deste novo plano e repetindo este processo até finalizar o desbaste.

Devido à demanda por produtos contendo formas geométricas complexas, um sistema CAM (Computer Aided Manufacturing) é utilizado para calcular as trajetórias a serem percorridas para a respectiva usinagem, entretanto, conforme relatado por Souza et al (2006), diferenças entre estas trajetórias calculadas podem ser observadas, influenciando significativamente no tempo de usinagem e na qualidade da superfície usinada. Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência das estratégias de desbaste no fresamento de superfícies complexas no aço endurecido AISI P20.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos desta pesquisa foram realizados em um Centro de Usinagem Vertical Romi D600 de 3 eixos, com 15 kW de potência no eixo-árvore e máxima rotação de 10000 rpm.

Utilizou-se uma fresa de topo reto de 20 mm de diâmetro, código do fabricante R390-020A20-11L com capacidade para três insertos intercambiáveis, entretanto em todos os testes realizados nesta pesquisa, foi montado apenas um inserto. O conjunto (porta-ferramenta e inserto) foi montado em um mandril porta fresa com um balanço de 58 mm. Os insertos de metal-duro pertencem a classe ISO P30, código do fabricante R390-11 T3 08M-PM 1030, classe GC1030, com revestimento PVD de (Ti,Al)N + TiN.

Os corpos de prova foram fabricados em aço AISI P20, contendo as dimensões de 100 x 50 x 48 mm (Fig 1a), e fixados utilizando as superfícies de 100 x 48 mm. Conforme Souza e Ulbrich (2009), a complexidade de uma geometria está relacionada à sua representação matemática, sendo assim, definem-se formas geométricas complexas sendo aquelas que não são passíveis de representação matemática convencional como parábolas, elipse, hipérbole, ou ainda geometrias tridimensionais primitivas como formas cúbicas, esféricas cônicas e cilíndricas. Baseado nisto, para simular a usinagem em uma superfície complexa projetou-se o corpo de prova representado pela Fig (1b.)

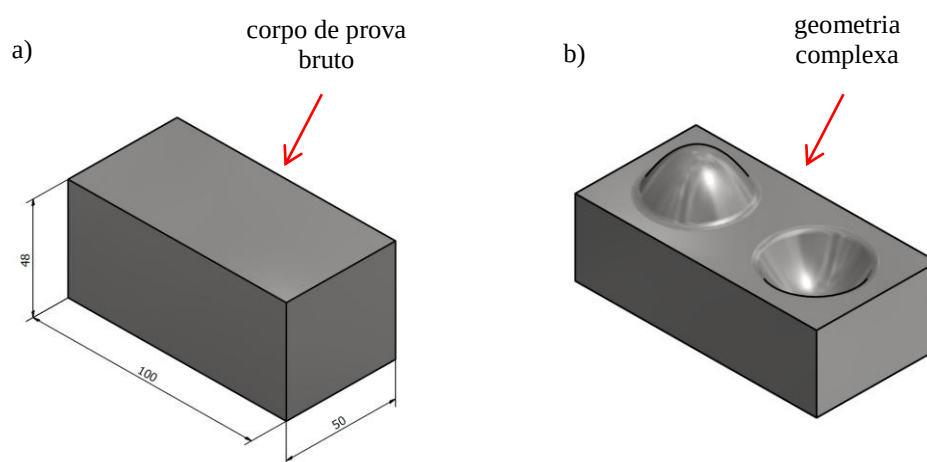


Figura 1. a) corpo de prova bruto. b) geometria complexa do corpo de prova.

Para determinar a influência das estratégias de desbaste no fresamento de superfícies complexas no aço endurecido AISI P20 adotaram-se como variáveis desta pesquisa três estratégias de usinagem distintas. Sendo elas concêntrica, *waveform* e *zig-zag*, Fig (2). As trajetórias foram geradas pelo software EdgeCam 2014 R2. A estratégia de usinagem concêntrica gera um movimento circular que tem seu início na periferia da peça seguindo até o centro da mesma. Os movimentos gerados pela estratégia *waveform* delimitam-se a partir da geometria da peça – seguindo a geometria do corpo de prova. Por fim, os movimentos provenientes da *zig-zag* restringem-se à um movimento retilíneo em uma única direção orientado por um eixo determinado. Para todas as estratégias utilizou-se a condição de corte concordante.

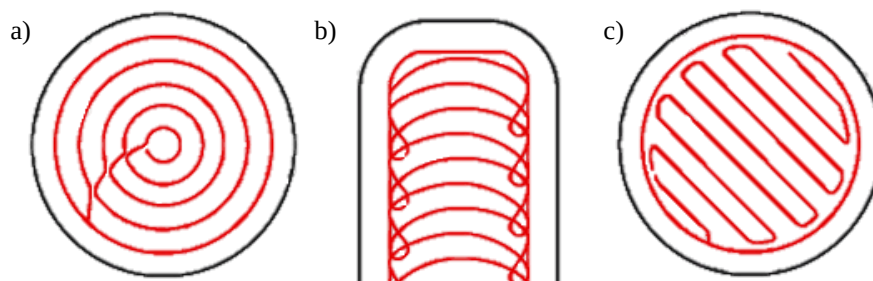


Figura 2. Estratégias de usinagem, a) Concêntrica, b) Waveform e c) Zig-zag.

A cronometragem dos tempos de usinagem foi realizada diretamente no comando do centro de usinagem CNC (Siemens 820D), sendo a usinagem isenta de meios lubrificantes. Os parâmetros de usinagem foram adotados conforme recomendação do fabricante e estão mostrados na Tab. (1).

Tabela 1. Parâmetros de usinagem

Parâmetro	Valor
Velocidade de corte (v_c)	110 m/min
Profundidade axial de corte (a_p)	0,5 mm
Avanço por dente (f_z)	0,12 mm
Profundidade radial de corte (a_e) máxima	25% do diâmetro da ferramenta

Para a análise do volume de material removido da peça, os corpos de prova foram pesados antes e posteriormente à usinagem. Utilizou-se uma balança digital modelo SF-400 com incerteza de 1g e capacidade para 10 kg.

Para a avaliação do desgaste de ferramenta, foi utilizado o parâmetro VB_B (desgaste de flanco médio – ISO 3685) e o parâmetro W_{RM} (volume de material removido da ferramenta), proposto por Boing (2016). Ambos os parâmetros de desgaste foram avaliados no microscópio de variação de foco da fabricante Alicona, modelo Infinite Focus G5.

O ensaio consistia na usinagem do corpo de prova apresentado na Fig. (01b). Sendo assim, o critério de fim de vida consiste no término da operação de desbaste gerado pelas diferentes estratégias. Ao final da operação, o corpo de prova, assim como o inserto utilizado eram removidos da máquina ferramenta para pesagem e avaliação do desgaste das ferramentas.

Para obter uma estimativa satisfatória de erro experimental foram realizadas três réplicas do experimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a execução dos experimentos não foram visualizadas avarias nos gumes. Portanto, os parâmetros de usinagem selecionados são adequados para operação realizada. Ao final da operação de desbaste do corpo de prova mostrado na Fig. (1b) estratégia *waveform* promoveu maior desgaste de flanco médio (VB_B), conforme mostra a Fig (3).

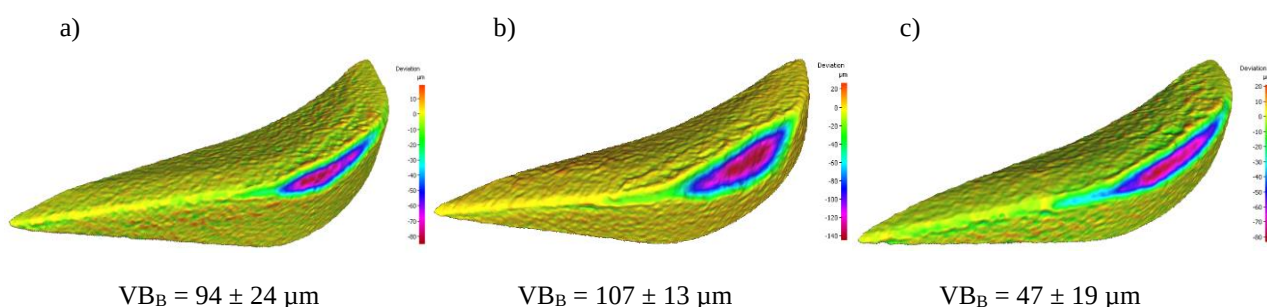


Figura 3. Desgaste de flanco médio das ferramentas. a) Concêntrica, b) Waveform e c) Zig-zag.

O maior valor do desgaste visualizado nas ferramentas utilizadas com a estratégia *waveform* pode ter sido ocasionado pela usinagem do perfil negativo. Como mostra o detalhe da Fig. 5), tal estratégia iniciou o desbaste da cavidade fêmea. Para isso, não respeitou a profundidade axial de usinagem programada (a_e) – resultando no aumento do esforço de usinagem e consequentemente no aumento do desgaste. Torna-se pertinente ressaltar que tal padrão de desgaste ocorreu nas três réplicas adotadas nos experimentos.

Outro parâmetro que se pode avaliar o desgaste da ferramenta é volume de material removido da ferramenta (W_{RM}), conforme mostrado Fig. (4), a qual, também mostra o tempo de usinagem. Para análise estatística dos resultados, utilizou-se um intervalo de confiança de 90%.

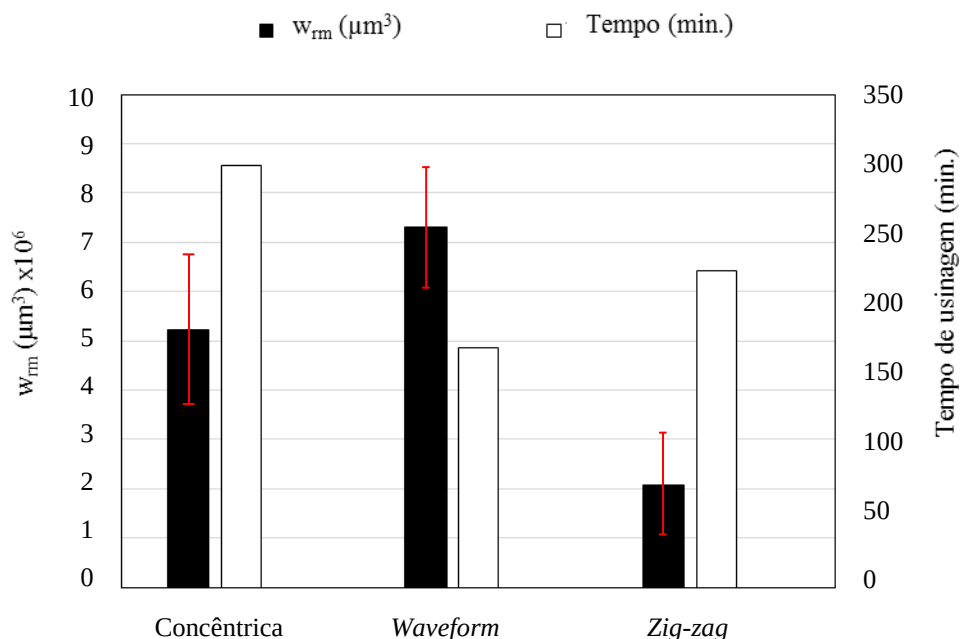


Figura 4. Volume de material removido da ferramenta e tempo de usinagem em função das variáveis testadas.

Verifica-se na Fig. (4) que o parâmetro W_{RM} segue a mesma tendência do VB_B . Deste modo, para esta avaliação, recomenda-se a utilização do parâmetro VB_B , pois é extremamente mais fácil de avaliar e não necessita de um microscópio de variação de foco.

A análise dos resultados demonstra que a estratégia *waveform* possuiu tempo de usinagem 24% menor em relação à estratégia *zig-zag* e 43% em relação à concêntrica. Além do melhor tempo, como mostra a Fig. (5), a estratégia *waveform* também promoveu maior volume de material usinado.

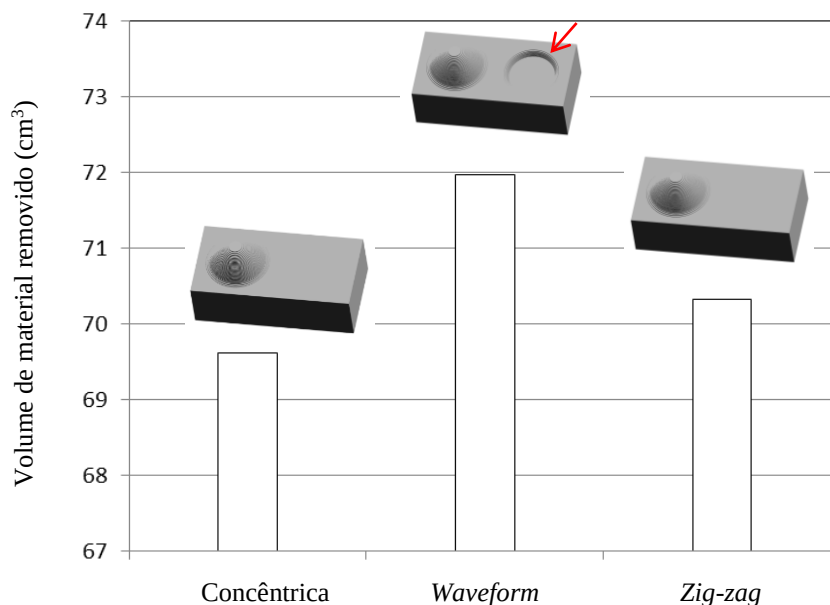


Figura 5. Volume de material removido do corpo de prova.

O volume de material removido pela estratégia concêntrica resultou em uma média de $69,62 \text{ cm}^3$, sendo 3,3% inferior quando comparado com a estratégia *waveform* ($71,97 \text{ cm}^3$). Similarmente, a estratégia *zig-zag* apresentou resultados inferiores sendo $70,32 \text{ cm}^3$, representando 2,3%. Conforme os resultados, a usinagem realizada pela estratégia *waveform* resultou no maior volume de material usinado, tal circunstancia pode ser fundamentada pelo fato de ser a única estratégia que promoveu a usinagem do perfil côncavo (fêmea) do corpo de prova.

Por outro lado, o volume de material usinado no início do desgaste da cavidade fêmea se torna irrelevante uma vez que o tempo gasto para a usinagem de tal geometria é extremamente baixo. Sendo assim, a estratégia *waveform* poderia ser aprimorada, restringindo-a a não executar a usinagem do perfil negativo. Tal situação poderia resultar em um menor desgaste da ferramenta, uma vez que o corte em perfil negativo possivelmente incrementa o nível de desgaste.

A partir dos resultados avaliados recomenda-se para desbaste de superfícies complexas no aço endurecido AISI P20 a estratégia *waveform* delimitada para não promover a usinagem em perfis negativos, desta maneira proporcionaria um baixo tempo de usinagem e valores de desgaste.

4. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados visualizados nos experimentos, conclui-se:

- A estratégia de usinagem *waveform* promoveu menor tempo de usinagem, entretanto resultou em maiores valores de desgastes de flanco médio (VB_B) e volume de material removido da ferramenta (W_{RM});
- A estratégia *zig-zag* obteve os menores níveis de desgaste dentre as três variáveis testadas;
- O maior tempo de usinagem foi promovido pela estratégia concêntrica;
- O maior volume de material usinado foi proporcionado pela estratégia *waveform*.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com financiamento e apoio da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina) e UNIEDU (Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina).

6. REFERÊNCIAS

- Boujelbene, M., et al. 2004, "Productivity enhancement in dies and molds manufacturing by the use of C1 continuous tool path", Machine tools & manufacturing, Vol. 44, pp. 101-107.
- Bonetti, I. (2008). Contribuições para desenvolver o conhecimento em operações de desbaste por fresamento no sentido axial, 106p. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Tupy, Joinville.
- Daré, G. Desenvolvimento integrado do produto: uma referência para o projeto de componentes de plásticos integrados, Segundo Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, São Carlos, 2000.
- Boing, D. (2016). Transição da aplicação do metal-duro revestido e do PCBN no torneamento de aços endurecidos em função da dureza e do teor de carbonetos. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Fallböhmer, P.; Altan, T.; Tönshoff, H.-K.; Nakagawa, T. Survey of the die and mold manufacturing industry – Practices in Germany, Japan and the United States, Journal of Materials Processing Technology, 1996.
- ISO 3685. "Tool-life Testing with Single-point Turning Tools", 2.ed., 1993.
- Mesquita, N.G.M.; Rocha, J.O.S.; Neves, E.S. Metodologia pesquisa parâmetros ótimos de processo, Revista Máquinas e Metais, nº 498, pp. 110-127, julho, 2007.
- Souza, A.F. Contribuições ao Fresamento de Geometrias Complexas Aplicando a Tecnologia de Usinagem com Altas Velocidades, 171 p. Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.
- Souza, A. F.; Ulbrich, C. (2009). Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD-CAM/CNC – princípios e aplicações. São Paulo. Artliber Editora.
- Souza, A. F.; Santos, M. T.; Rodriguez, C. A. (2006). Análise Comparativa dos algoritmos utilizados por diferentes sistemas CAM, para cálculo das trajetórias de ferramenta, no fresamento de formas geométricas complexas. IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2006, Recife. Anais IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2006.
- Vivancos, J.; Luis, C.J.; Costa, L.; Ortiz, J.A. Optimal machining parameters selection in high speed milling of hardened steels for injection moulds, Journal of Materials Processing Technology, 2004.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF THE INFLUENCES OF ROUGHING OPERATIONS STRATEGIES IN THE MILLING OF COMPLEX GEOMETRIES IN HARDENED STEEL AISI P20

¹University Center of Brusque – Unifebe, Dorval Luz street, 123 - Santa Terezinha's District - Brusque – SC.

Abstract: *The milling of molds and dies usually follow the subsequent manufacturing process: roughing, pre-finishing, finishing and polishing. For their applicability, the functional components of molds and dies are commonly built in tool steels and subjected to hardening processes by heat treatment. The correct definition of the technological parameters and the work result of the machining become fundamental factors for the application of the technology with reliability in the industrial environment. The goal of this research is to define the influence of concentric, zigzag and waveform machining strategies on the volume of machined material, machining time and tool wear. The experiments were performed in the milling operation of complex surfaces on AISI P20 steel using PVD (Ti, Al) N + TiN coated cemented carbides tools. The analysis of the results shows that the waveform strategy had 24% less time, in relation to the zig-zag strategy and 43% in relation to the concentric, besides, a greater volume of material removed when compared to zig-zag and the concentric, being 2,3 % and 3,3%, respectively. However, the waveform strategy promoted greater tool wear.*

Keywords: *milling, machining strategy, AISI P20 steel; complex surfaces.*