

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA TRAJETÓRIA NO DESGASTE DE FLANCO DURANTE O FRESAMENTO DO AÇO AISI P20 COM FRESA INTEIRIÇA DE METAL DURO

Gil Magno Portal Chagas, gilchagas@ifsc.edu.br¹

Richard Gustavo Borges, richardgustavoborges@gmail.com¹

Giovani Conrado Carlini, giovani.carlini@ifsc.edu.br¹

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Jaraguá do Sul – Rau, Rua dos Imigrantes , 445, Jaraguá do Sul, SC.

Resumo: Neste trabalho foram realizados estudos sobre a influência da variação da trajetória de usinagem sobre o desgaste de flanco máximo ($VB_{\max}$) no fresamento do aço AISI P20. Utilizou-se como ferramenta de corte uma fresa de topo inteiriça de metal duro com revestimento de AlCrN e quatro arestas de corte possuindo diâmetro de corte de 10mm. Definiu-se como cavidade utilizada no ensaio uma geometria retangular com largura x comprimento x profundidade, respectivamente de 145 x 195 x 3mm. As usinagens foram realizadas aplicando três tipos de trajetórias diferentes fornecidas pelo software EdgeCAM®, as dos tipos spiral, waveform e laceform, que se diferenciam principalmente pelo método de entrada da ferramenta na peça, a quantidade de eixos movimentando simultaneamente e os tempos de corte na usinagem. Após análise dos resultados foi possível afirmar que a trajetória que proporcionou melhor comportamento quanto ao desgaste foi a do tipo spiral, na qual possui como estratégia inicial uma entrada em rampa no centro da região usinada, seguida por uma interpolação linear em formato de espiral.

Palavras-chave: Fresamento, trajetória de usinagem, desgaste de flanco.

1. INTRODUÇÃO

Durante o fresamento a ferramenta de corte é submetida a um esforço intenso devido ao corte do tipo interrompido, que causa fortes impactos. Esses esforços tendem a gerar desgastes e avarias de origem mecânica na fresa, que frequentemente causam problemas como lascamento, trincamento ou quebras (Santos e Sales, 2007).

Para melhorar o desempenho de uma fresa submetida ao processo de fresamento é importante conhecer e avaliar os mecanismos de desgastes e avarias que ocorrem durante o processo (Machado et al., 2009). Dessa forma, é possível selecionar uma classe de material adequada para reduzir o efeito desse desgaste ou avaria. Normalmente, para os problemas do tipo avarias, como lascamento ou quebra, podem ser selecionadas classes de materiais mais tenazes, bem como ferramentas com geometria positiva e adequação dos parâmetros de corte, como, por exemplo, a redução do avanço. Para problemas como desgaste excessivo, a solução pode ser aumentar a classe de dureza do material, avaliar outro tipo de revestimento ou alterar os parâmetros de corte (Sandvik, 2005).

Diversos trabalhos têm sido realizados para avaliar o desgaste e avaria que ocorre durante o fresamento considerando diferentes parâmetros de corte, tipos de ferramentas, materiais da fresa e da peça. Silva et al.(2010) apresentaram um estudo sobre o desgaste de flanco em fresas de metal duro revestidas com Al_2O_3 durante a usinagem de diferentes classes de ferro fundido cinzento e vermicular. Moura et al. (2015) avaliaram o desempenho de fresas de topo inteiriças de metal duro com diferentes revestimentos e parâmetros de corte na usinagem de aços P20. Outros trabalhos, nessa mesma linha de pesquisa, podem ser observados em Jawaid, Sharif e Koksai (2000), Zhang e Li (2010), Zhang, To e Zhang (2016).

Outra possibilidade de melhorar o desempenho quanto ao desgaste é atuar na estratégia de entrada, de saída, bem como nas trajetórias da ferramenta durante o fresamento. Dentro desse conceito foram realizados alguns trabalhos como Ibaraki, Yamaji e Matsubara (2010), que avaliaram o desgaste no fresamento considerando movimento da fresa do tipo trocoidal, Salehi et al. (2016) compararam o desempenho das trajetórias epicicloidial e trocoidal quanto aos tempos de usinagem, a força de corte e a vibração na ferramenta. Gonzalez e Ferreira (2015) criaram um sistema para geração de trajetórias trocoidais e espirais para o fresamento de cavidades 2,5d com múltiplas ferramentas e avaliaram o desgaste em um aço AISI P20. Pleta, Ulutam e Mears (2015) avaliaram dois tipos de trajetórias no fresamento de uma liga a base de níquel, uma que utiliza movimentos do tipo trocoidal e outra trajetória denominada de movimento padrão. Os resultados desses trabalhos mostraram uma tendência de redução do desgaste quando são utilizadas trajetórias com movimentos do tipo trocoidal.

O presente trabalho apresenta uma avaliação do desgaste de flanco em fresas de topo de metal duro inteiriças considerando três diferentes estratégias de trajetória da ferramenta, geradas no software EdgeCam®, e aplicadas no fresamento de um aço ferramenta AISI P20.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar este trabalho foram executados ensaios de fresamento em cavidades geométricas retangulares com fundo plano, para verificar o desgaste nas três diferentes estratégias de usinagem adotadas.

O equipamento utilizado no ensaio de fresamento foi o centro de usinagem Romi D600 com fixação da peça por morsa hidráulica e a fresa de topo inteiriça com fixação por cone *Weldon*.

Utilizou-se como ferramenta de corte uma fresa de topo inteiriça de metal duro com revestimento de AlCrN e quatro arestas de corte possuindo diâmetro de corte de 10mm, comprimento útil de corte de 22 mm e comprimento total de 74 mm.

Os parâmetros de usinagem utilizados foram fixos em velocidade de avanço (v_f) de 2000 mm/min, profundidade de usinagem (a_p) de 3 mm, penetração de trabalho (a_e) de 2mm, rotação da ferramenta (n) de 6600 rpm e velocidade de corte (v_c) de 200 m/min com movimento de corte concordante e lubrificação por solução miscível em água.

O material utilizado nos ensaios foi o aço ferramenta do tipo AISI P20. Esse material foi selecionado devido à sua elevada resistência e grande utilização em moldes de injeção de termoplásticos. A Tabela (1) mostra a composição química nominal do aço utilizado no estado beneficiado e com uma dureza de 32 HV.

Tabela 1. Composição química nominal % do aço AISI P20 (Favorit, 2017)

Classificação 1.2711	C	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Si
P20	0,50 - 0,60	0,5 - 0,8	0,60 - 0,80	0,25 - 0,35	1,50-1,80	0,07-0,12	0,15 - 0,35

Os ensaios foram realizados em uma cavidade de geometria retangular com fundo plano e uma largura x comprimento x profundidade de respectivamente: 145 x 195 x 3 mm, executados a partir de um bloco cúbico bruto com dimensões de 150 x 200 x 50mm. O volume de material removido foi de aproximadamente 85 cm³ para cada ensaio. Foram realizadas quatro réplicas para cada ensaio.

A avaliação da ferramenta foi realizada por meio da medição do desgaste de flanco máximo $VB_{máx}$, medida na superfície de folga frontal, a partir da aresta de corte, antes e depois da usinagem. Tal medida foi realizada por meio do Microscópio Estereoscópio marca Mitutoyo, modelo Stemi 4000t, juntamente com o software Axion vision 5.0. Dessa forma, foi possível observar e medir com clareza por meio da ampliação da imagem da ferramenta antes e depois da usinagem.

Os três tipos de trajetórias diferentes para usinagem por desbaste foram elaboradas com o uso do software EdgeCAM®, que são as dos tipos *Spiral*, *Waveform* e *Laceform*. Essas estratégias se diferenciam principalmente pelo método de entrada da ferramenta na peça, a quantidade de eixos movimentando-se simultaneamente e os tempos de usinagem.

A trajetória de usinagem do tipo *Waveform* tem o objetivo de reduzir o desgaste da ferramenta, ao manter a carga na ferramenta o mais constante possível e uma espessura de corte aproximadamente constante, principalmente na ocorrência de cantos vivos e geometrias curvas na peça. Esta trajetória utilizou, na peça usinada, uma combinação de movimentos do tipo trocoidal no centro e nos cantos e uma espiral circular no restante da peça. A Figura (1) mostra a trajetória *Waveform* aplicada na cavidade ensaiada.

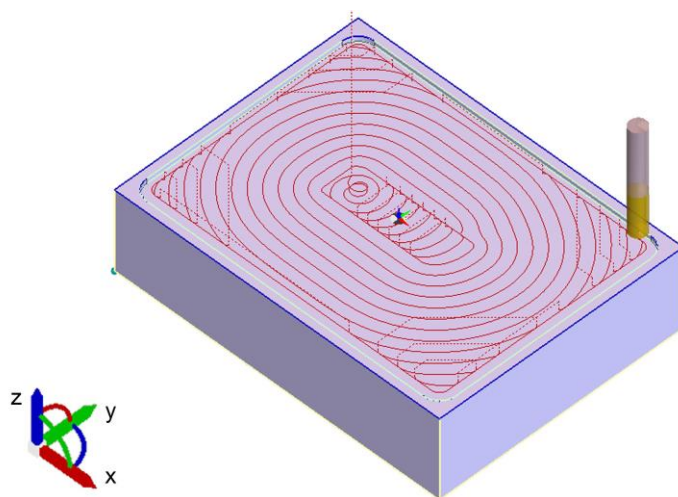


Figura 1 – Trajetória do tipo Waveform

A trajetória do tipo *Laceform* utiliza uma série de percursos paralelos. A entrada ocorre em curva no eixo Z e o deslocamento linear em relação ao eixo X e Y. No modelo aplicado, o posicionamento do ponto de entrada localizou-se à esquerda da peça, deslocando no sentido do eixo X, retornando rapidamente ao ponto de entrada e iniciando um novo movimento com incremento (a_e) no sentido y. A Figura (2) mostra a trajetória do tipo *Laceform* utilizada.

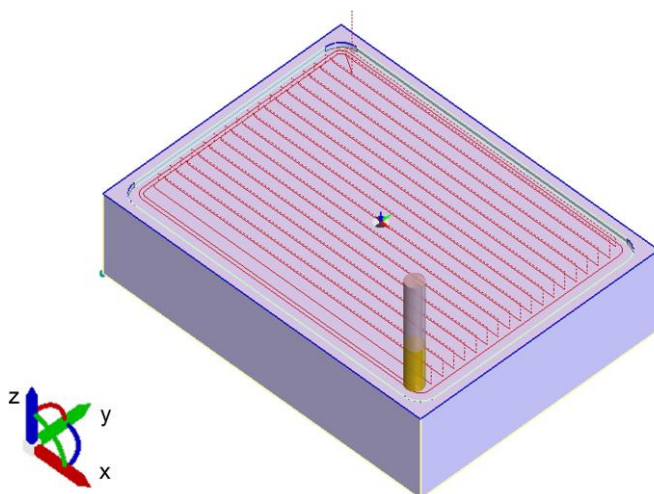


Figura 2 – Trajetória do tipo *Laceform*

A trajetória *Spiral* reproduz uma entrada em rampa com ângulo de 10° localizada no centro da peça usinada, seguida por uma interpolação linear em formato de espiral. A mudança de sentido entre os eixos X e Y é suavizada com uma interpolação circular parcial. Esse método busca reduzir os tempos de aproximação e afastamento da fresa, mantendo a ferramenta em constante trabalho. A Figura (3) mostra a trajetória percorrida pela ferramenta na peça.

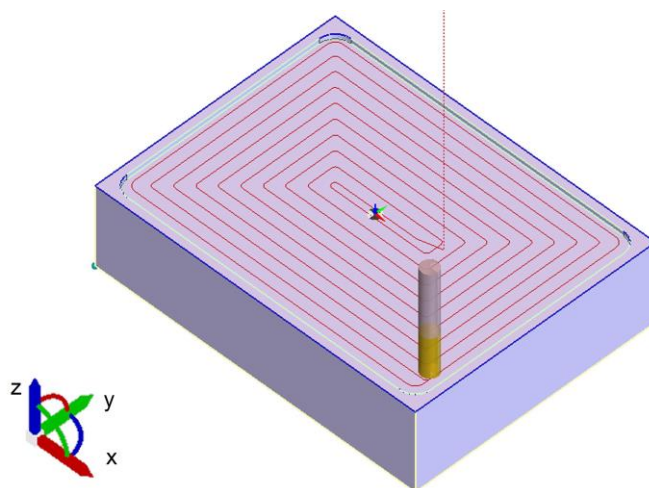


Figura 3 – Trajetória do tipo *Spiral*

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos ensaios realizados foi possível avaliar os desgastes que ocorreram nas três diferentes estratégias de usinagem. Os resultados dos ensaios mostram a predominância de desgaste com alguns casos de lascamento da aresta de corte da fresa.

A Figura (4) mostra os desgastes máximos de flanco $VB_{\max}$ para as estratégias de usinagem dos tipos *Laceform*, *Waveform* e *Spiral*, para os volumes removidos de material de 85 cm^3 , 170 cm^3 e 255 cm^3 . É possível verificar que o maior desgaste ocorre na estratégia do tipo *Laceform*, o menor na estratégia tipo *Spiral*, e a do tipo *Waveform* apresentou valores intermediários de desgaste.

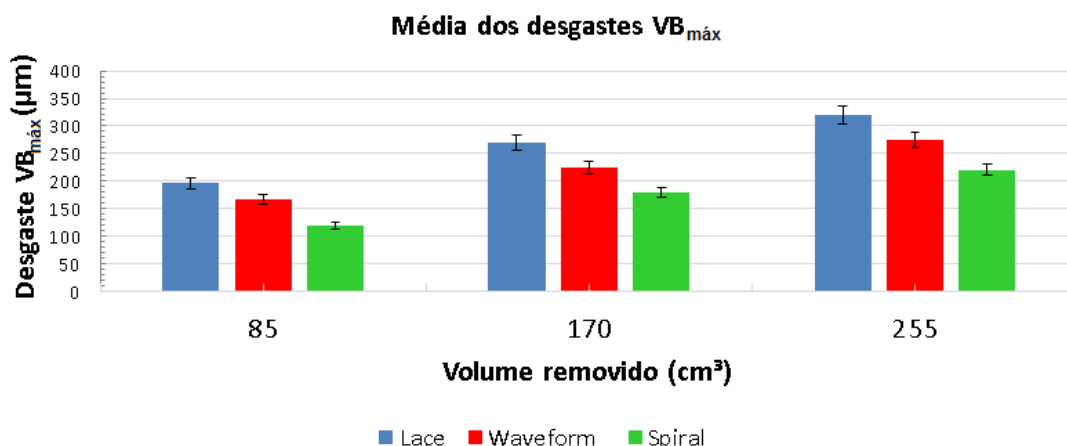


Figura 4 – Desgaste de flanco $VB_{máx}$ para três estratégias de usinagem

A Figura (5) mostra a evolução do desgaste de flanco máximo $VB_{máx}$ para as três diferentes estratégias de usinagem avaliadas. É possível verificar que a curva de desgaste da estratégia tipo *Laceform* apresenta valores maiores do que as demais, devido principalmente ao maior número de entradas e saídas da ferramenta ao longo do processo. As curvas de desgaste das estratégias *Waveform* e *Spiral* são bastante semelhantes. Entretanto, a estratégia *Waveform* demandou um tempo maior para a usinagem da peça, devido à série de movimentos realizados. Por esse motivo, a trajetória do tipo *Spiral* apresentou melhores resultados para o ensaio realizado.

Outro aspecto interessante a observar nas curvas da Fig. (5) são as duas regiões existentes. Na região inicial, denominada de região primária, ocorreu um desgaste mais intenso nas três estratégias avaliadas. Essa região se estendeu até um tempo de aproximadamente 6 minutos. Na região secundária, que ocorreu a partir de 6 minutos, a evolução do desgaste foi menos acentuada, entretanto, a curva do tipo *Spiral* apresentou uma inclinação maior do que a *Waveform*.

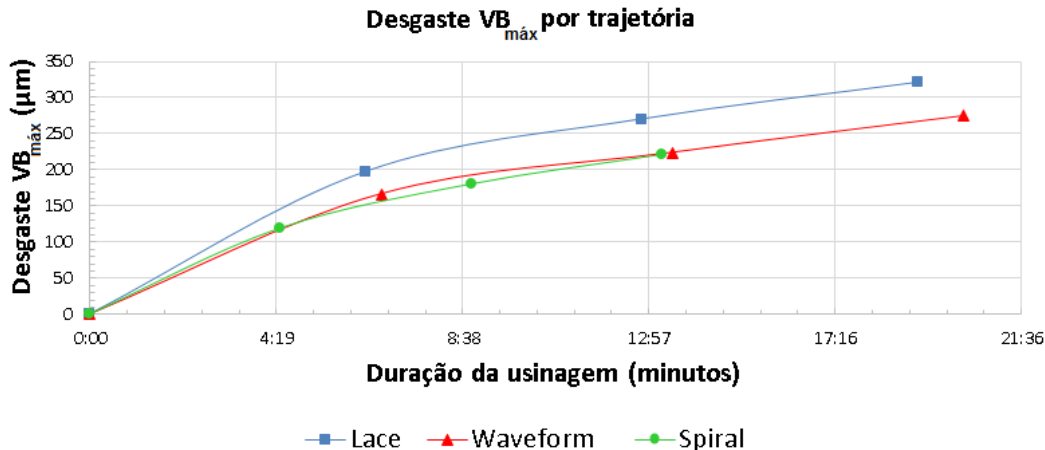


Figura 5 – Curvas de desgaste de flanco $VB_{máx}$ para três estratégias de usinagem

A Figura (6) mostra a vista de topo de uma fresa utilizada no ensaio. É possível observar os detalhes das quatro arestas de corte existentes, bem como o tipo de afiação empregada.

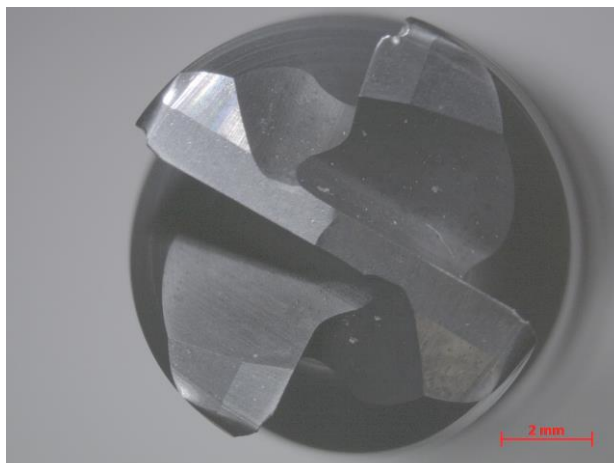


Figura 6 – Vista de topo de uma fresa utilizada no ensaio

A Figura (7) mostra o desgaste máximo de flanco, medido na superfície de folga a partir da aresta frontal de corte da fresa de topo de metal duro utilizada na estratégia *Laceform*. Na Figura (7a) tem-se o desgaste para um volume de material removido de 85 cm^3 , na Fig. (7b) tem-se o desgaste para um volume de material removido de 170 cm^3 , e na Fig. (7c) o desgaste para um volume de 255 cm^3 .

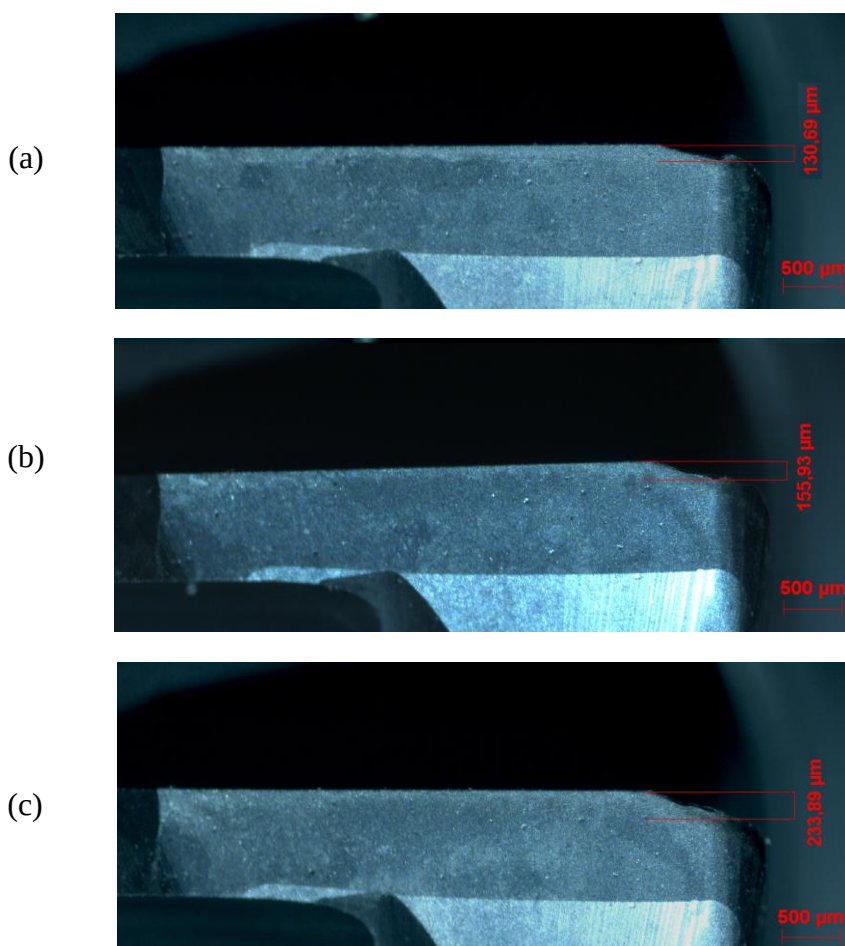


Figura 7 – Desgaste de flanco máximo $VB_{\text{máx}}$: (a) volume de material removido de 85 cm^3 , (b) volume de material removido de 170 cm^3 , (c) volume de material removido de 250 cm^3 .

Os resultados dos ensaios mostraram que, no fresamento de um aço AISI P20, com fresa de topo, a estratégia do tipo *Spiral* apresenta um desempenho superior quanto à redução do desgaste da ferramenta na usinagem, quando comparada com as estratégias *Laceform* e *Waveform*. Os dados obtidos do desgaste da ferramenta para os volumes removidos de material de 85cm³, 170 cm³ e 250 cm³ mostram uma mesma tendência de redução do desgaste para o tipo *Spiral*, quando comparada com as demais estratégias avaliadas. O trabalho apresentado não confirma os resultados obtidos por Pleta, Ulutan e Mears (2015) e o trabalho apresentado por Ibaraki, Yamaji e Matsubara (2010) que mostram um melhor desempenho de estratégias com o uso de movimentos trocoidais, como a empregada no tipo *Waveform*. Entretanto, as diferenças entre os trabalhos são possivelmente devido ao tipo de geometria da cavidade utilizada nos ensaios. Ao contrário desses pesquisadores que avaliaram a usinagem de geometrias complexas, com cantos vivos, o presente estudo utilizou como cavidade uma geometria retangular simples com fundo plano. A estratégia de usinagem com movimentos trocoidais é recomendada para reduzir esforços de corte em regiões críticas como cantos vivos e regiões com variação de espessura. Esse tipo trajetória tende a gerar movimentos adicionais da ferramenta aumentando o seu percurso. Outro fator que pode explicar a diferença de resultados entre os estudos é que foram utilizados diferentes materiais e geometrias das fresas de topo. Em resumo, o presente trabalho permitiu verificar que a estratégia de usinagem com movimentos da fresa na forma de espiral permite reduzir o tempo de usinagem e o desgaste da fresa em aplicações de fresamento de topo de superfícies planas, sem a existência de cantos vivos e variações de espessura.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios realizados mostraram que a trajetória da ferramenta é um fator que afeta fortemente o seu desgaste, por permitir uma redução do tempo de usinagem e um melhor controle dos esforços de corte. A melhor estratégia de desbaste depende de alguns fatores, como a geometria da peça e da ferramenta. Por esse motivo é importante que os estudos, visando a otimização do fresamento, considerem, além dos parâmetros de corte e materiais das ferramentas, uma avaliação criteriosa das trajetórias das ferramentas durante o desbaste.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Santa Catarina, por apoiar a realização deste trabalho.
À VR Tools, pelo fornecimento das fresas utilizadas.

6. REFERÊNCIAS

- Favorit aços especiais . Disponível em: <<http://www.favorit.com.br/produtos/acos-ferramenta/aco-aisi-p20>>. Acesso em 14/02/2017.
- González, D., M., O., Ferreira, 2015, “ Geração de trajetórias trocoidais e espirais para o fresamento de cavidades 2,5d com múltiplas ferramentas”, 8º COBEF, Salvador, Brasil.
- Ibaraki, S., Yamaji, I., Matsubara, A., 2010, “On the removal of critical cutting regions by trochoidal grooving”, J. Precision Engineering, Vol. 34, No. 3, pp. 467-473.
- Jawaid, A., Sharif, S., Koksai, S., 2000, “Evaluation of wear mechanisms of coated carbide tools when face milling titanium alloy”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 99, pp. 266- 274
- Machado, A.R., Coelho, R.T., Abrão, A.M., Silva, M.B., 2009, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, ed. Blucher, São Paulo, Brasil, 371p.
- Moura, R. R., Resende, A. A., Silva, M. B., Machado, A. R., Sales, W. F., 2015, “Desempenho de fresas de metal duro reafiadas no fresamento de topo de um aço P20 para moldes e matrizes”, 8º COBEF, Salvador, Brasil.
- Pleta, A., Ulutan, D., Mears, L., 2015, “An investigation of alternative path planning strategies for machining o nickel based super alloys”, Procedia manufacturing, Vol.1, pp.556-566.
- Salehi, M., Blum, M., Fath, B., Akyol, T., Haas, R., Ovtcharova, J., 2016, “Epicycloidal versus trochoidal milling- comparison of cutting force, tool tip vibration, and machining cycle time”, Procedia CIRP, Vol. 46, pp. 230 – 233.
- Sandvik, 2005, “Manual técnico de usinagem – torneamento, fresamento, furação, mandrilamento e sistemas de fixação, São Paulo. 601p.
- Santos, S. C., Sales, W.F., 2007, “Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais”, ed. Artliber, São Paulo, Brasil, 246p.
- Silva, M.B., Naves, V.T.G., Melo, J.D.B., Andrade C.L.F., Guesser, W.L., 2011, “Analysis of wear of cemented carbide cutting tools during milling operation of gray iron and compacted graphite iron”, Wear, Vol. 271, pp. 2426-2432.
- Zhang, S., Li, J., 2010, “Tool wear criterion, tool life, and surface roughness during high-speed end milling Ti-6Al-4V alloy”, Applied Physics & Engineering, Vol. 11, No.8, pp. 587-595.
- Zhang, G., To, S., Zhang, S., 2016, “Evaluation for tool flank wear and its influences on surface roughness in ultra-precision raster fly cutting”, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 118, pp.125–134.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

INFLUENCE OF TRAJECTORY VARIATION IN FLANK WEAR DURING THE MILLING OF AISI P20 STEEL WITH SOLID CARBIDE MILL

Gil Magno Portal Chagas, gilchagas@ifsc.edu.br¹

Richard Gustavo Borges, richardgustavoborges@gmail.com¹

Giovani Conrado Carlini, giovani.carlini@ifsc.edu.br¹

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Jaraguá do Sul – Rau, Rua dos Imigrantes , 445, Jaraguá do Sul, SC.

Abstract: In this work, studies were carried out on the influence of the machining path variation on maximum flank wear (VB_{max}) in the milling of an AISI P20 steel. The cutting tool used was a carbide end mill cutter with AlCrN coating and cutting diameter of 10 mm. A cavity with rectangular geometry with width x length x depth, respectively: 145 x 195 x 3mm, was defined as test pieces. The machining was performed using three different types of tool path provided by the EdgeCAM software - Spiral, Waveform and Laceform, which the main difference is the entry strategy, the number of shafts moving simultaneously, and the cutting time during machining. After analyzing the recorded data, it was possible to affirm that the trajectory with the best wear behavior was the spiral type, in which the initial strategy is a ramp entry in the center of the machined region followed by a linear spiral interpolation.

Keywords: Milling, Milling Strategy, Flank Wear.