

Estudo de estratégias de usinagem no fresamento em alta velocidade do aço D6

Study of machining strategies in high-speed milling of D6 steel

Autores:

Pissolatti, André L.

Unicamp – Instituto de Física Gleb Wataghin
andrelp@ifi.unicamp.br

Diniz, Anselmo E.

Unicamp – Faculdade de Engenharia Mecânica
anselmo@fem.unicamp.br

Magri, Aristides

Unicamp – Faculdade de Engenharia Mecânica
arimagri@fem.unicamp.br

Resumo. Este trabalho consiste em analisar a rugosidade, a vida da ferramenta e os esforços no fresamento em um aço AISI D6 temperado e revenido com dureza acima de 60 HRC para as estratégias de usinagem em um perfil circular concordante e discordante no sentido descendente e ascendente no perfil circular. Sendo as estratégias foram denominadas em ascendente concordante, ascendente discordante, descendente concordante, descendente discordante, para essas estratégias o caminho da ferramenta consiste em realizar a trajetória até o final e retornar para o início sem a usinagem (trajetória em vazio). Foi acrescentado mais duas estratégias zig-zag que consiste na usinagem do perfil circular e no final realiza um deslocamento lateral da ferramenta (ae) e retorna usinando até o início do perfil e essas estratégias foram denominadas como zig-zag descendente concordante/ascendente discordante e zig-zag descendente discordante/ascendente concordante. Foi realizada a comparação entre as usinagens para determinar as condições que conduzam a menor rugosidade, maior vida de ferramenta e esforços favoráveis para a usinagem de acabamento em aço temperado utilizando High Speed Machining.

Palavras-chaves: Usinagem em alta velocidade, perfil do círculo, estratégias, rugosidade

1. INTRODUÇÃO

A precisão e a qualidade superficial obtidas com a utilização da usinagem em altas velocidades (*high speed machining*-HSM) no fresamento, aliadas à capacidade de usinar materiais endurecidos, têm possibilitado a eliminação de etapas do processo produtivo de moldes e matrizes. Assim, quando comparada aos métodos usuais de produção de matrizes que incluem eletroerosão e polimento, a HSM se destaca devido à capacidade de redução dos tempos de usinagem, baixos esforços de corte e elevada qualidade superficial, consolidando-se como um dos meios mais eficazes de se fabricá-los.

A vantagem do emprego da HSM é que ela permite, muitas vezes, eliminar a eletroerosão o que faz com que os custos de fabricação diminuam drasticamente. Além disso, para se realizar a eletroerosão é necessária a fabricação do eletrodo com alto custo de fabricação, enquanto no processo HSM esse custo adicional não existe.

Segundo *Corrêa* (2013), a queima de etapas no processo de fabricação da matriz, gera vantagens quanto ao menor tempo de usinagem, melhor acabamento superficial e usinagem de produtos com alta dureza da usinagem.

Porém, um dos problemas de se utilizar a técnica HSM é que, em geral a ferramenta é longa para usinar cavidades profundas e de diâmetro pequeno, para copiar os pequenos raios existentes nos perfis destes produtos. Assim, tem-se uma ferramenta pouco rígida e suscetível à vibração (Diniz et al., 2015). Encontrar uma estratégia de usinagem que permita com que as componentes da força de usinagem estejam numa direção mais rígida da ferramenta é o principal objetivo deste trabalho. Com isso, ter-se-á um corte que gere menor rugosidade na peça e maior vida da ferramenta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de fresamento foram realizados no centro de usinagem cinco eixos.

A figura 1 mostra o corpo de prova montado no centro de usinagem sobre o Dinamômetro (Kistler modelo 5019B),

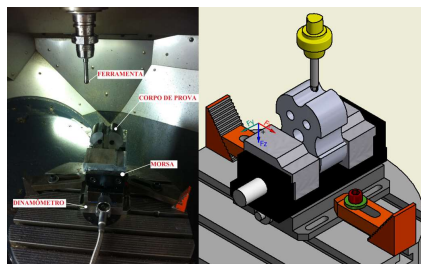


Figura 1. Corpo de prova montado na máquina sobre o dinamômetro.

O material do corpo de prova utilizado nos testes de fresamento foi o aço AISI D6 (2,1C – 11,5Cr-0,7W-O,15V), temperado e revenido, com dureza de $62 \pm 1,6\text{HRC}$.

O corpo de prova possui espessura de 49mm e quatro furos com diâmetro de 9 mm para fixação. A Fig. 2 mostra seu desenho esquemático. Os testes foram realizados no raio inicial de 30 mm do corpo de prova e diminuído o raio em cada passe em 0,2mm. Assim a profundidade de usinagem (a_p) se mantém constante em toda a sua trajetória.

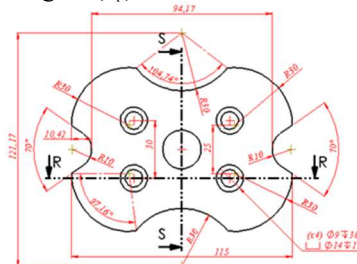


Figura 2 Desenho esquemático do corpo de prova (dimensões em mm).

Nos ensaios de fresamento utilizou-se uma fresa de topo de ponta esférica com insertos intercambiáveis. O suporte possui corpo de metal duro código R216F 12A16C-085. O diâmetro de corte máximo é de 12 mm. Foram escolhidos insertos de metal duro de 12 mm de diâmetro e código R216F- 1230 E-L classe 1010. A classe de metal duro escolhida possui cobertura monocamada de TiAlN aplicada por processo PVD, aplicado para aços endurecidos na faixa de 45 a 68HRC (H). O suporte foi fixado em mandril hidráulico HSK-A63. Todos os testes foram realizados sem a aplicação de fluido de corte.

Os parâmetros de rugosidade avaliados foram a rugosidade média (R_a) e a máxima (R_z). As medidas foram realizadas na direção perpendicular ao avanço da ferramenta, sendo que o comprimento de amostragem (ou cutoff) utilizado em todas as medições foi de 0,8 mm. As medições de rugosidade foram realizadas em três regiões diferentes da peça, denominadas Região I, Região II e Região III e estão ilustradas na Fig. 3.

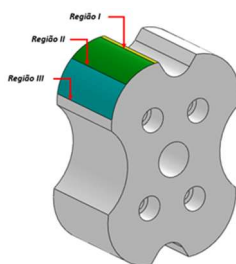


Figura 3 Regiões dos ensaios de rugosidade

Os testes de usinagem buscaram verificar a influência das estratégias de corte descendente concordante, descendente discordante, ascendente concordante, ascendente discordante, zig/zag (descendente concordante/ascendente discordante) e zig/zag (descendente discordante/ascendente concordante), com os seguintes parâmetros de corte: rotação de 11000 rpm, avanço por dente de 0,1mm/dente (f_z) que resulta numa velocidade de avanço de 2200mm/min, avanço lateral de 0,3 mm (a_e), com profundidade de corte de 0,2mm (a_p) em toda extensão de um quarto de circunferência.

Nos ensaios de vida da ferramenta, a usinagem foi executada até que a ferramenta atingisse o critério de fim de vida, estabelecido como desgaste de flanco máximo ($VB_{máx}$) de 0,2 mm. Cada ensaio foi repetido ao menos duas vezes, dependendo do desvio padrão dos resultados obtidos. Os esforços de corte, os desgastes de flanco da ferramenta e a rugosidade da peça foram medidos várias vezes ao longo da vida das ferramentas.

2.1. Estratégias

As estratégias de corte utilizadas estão mostradas na Fig. 4. Nas superfícies circulares da esquerda foram realizadas as estratégias descendente concordante e ascendente discordante, enquanto na superfície circular da direita foram realizadas as estratégias descendente discordante e ascendente concordante

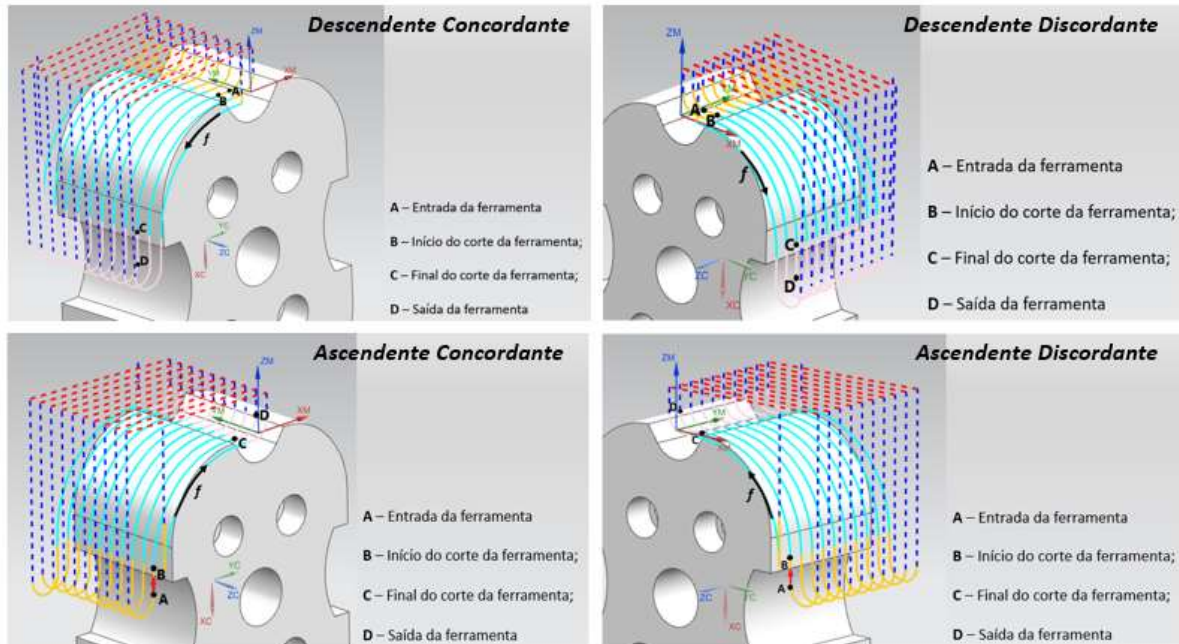


Figura 4 Estratégias descendente e ascendente

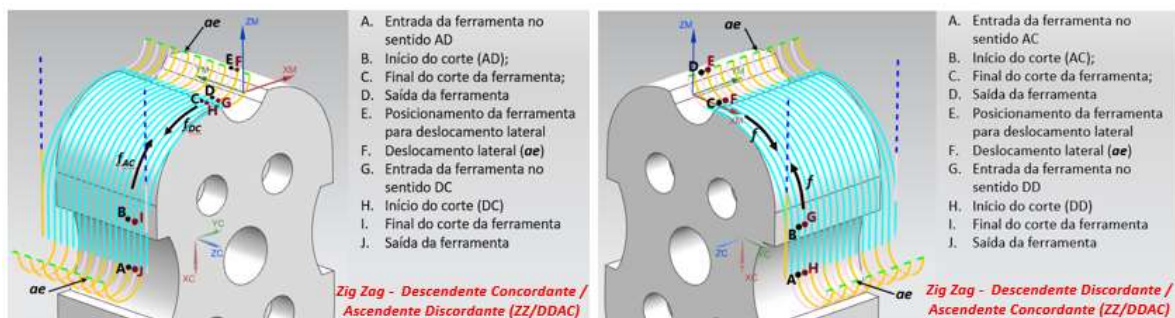


Figura 5 Estratégias Zig – Zag.

A figura 5 mostra de forma esquemática as trajetórias da ferramenta durante a usinagem usando as estratégias zig zag descendente concordante – ascendente discordante e zig zag descendente discordante – ascendente concordante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados de Rugosidade

A Figura 6 mostra os resultados de rugosidade média (R_a) dos ensaios para as região III de medição. Somente os resultados desta região serão analisados, pois é a região em que a ferramenta está mais suscetível a vibração e, portanto, foi a região que apresentou os maiores valores de rugosidade. Na região III as estratégias de melhores resultados foram as estratégias ascendente discordante ($0,76\mu\text{m}$) e a descendente concordante ($0,85\mu\text{m}$), enquanto as outras estratégias apresentaram valores de R_a que as tornam inadequadas para serem usadas neste tipo de usinagem (acima de $1\mu\text{m}$). Para explicar as razões deste fato, foram analisados os esforços de corte.

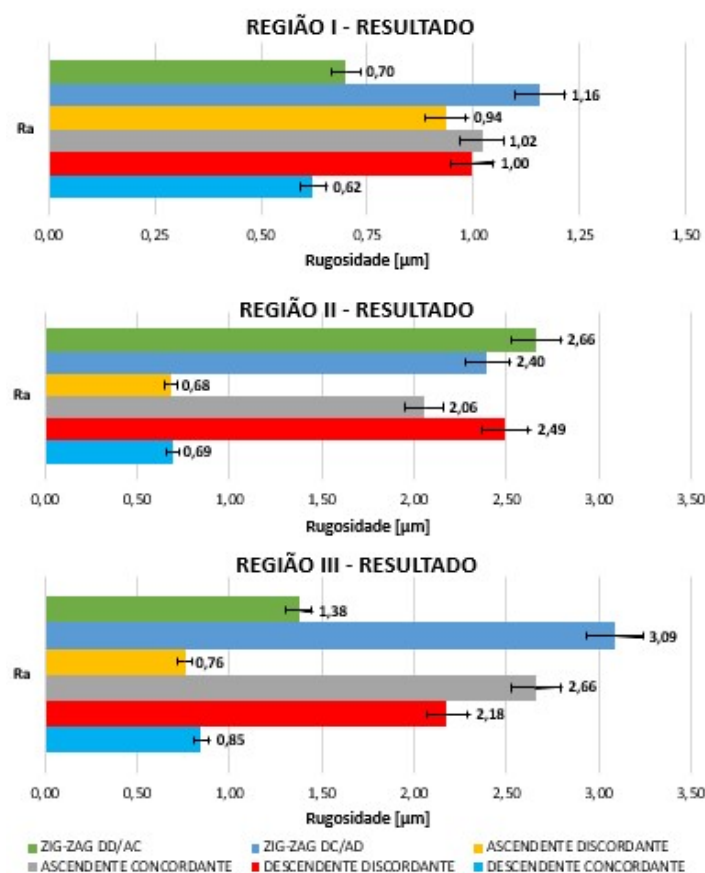


Figura 6 Rugosidade média (Ra) de todas as estratégias – região de medição III.

3.2. Esforços da ferramenta

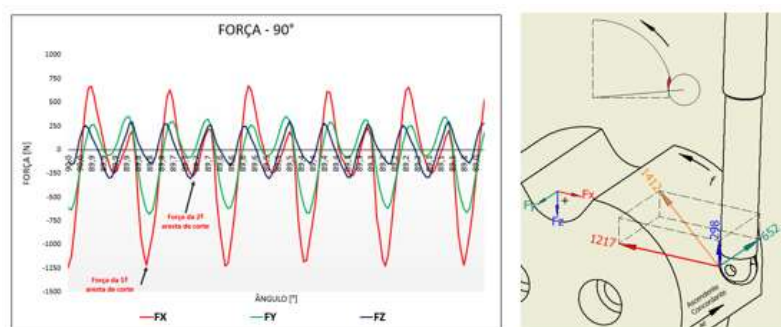


Figura 7 Força e Vetores (Fx, Fy, Fz) da estratégia Ascendente Concordante – região de medição III.

A figura 7 mostra os resultados de força para os vetores Fx, Fy e Fz, para a estratégia ascendente concordante na posição a 90° da peça (região III). Nesta posição relativa da ferramenta com a peça, Fx (-1217 N) é o vetor na direção perpendicular à peça e radial com relação à ferramenta, Fy (-652 N) é o vetor na direção do deslocamento lateral (a_c) e o vetor Fz (-298 N) está na direção axial da ferramenta. Nos instantes em que a ferramenta tem contato com a peça, os 3 vetores, Fx, Fy e Fz possuem valores negativos em relação ao vetor de referência do dinamômetro. A força dominante nessa região é a força radial Fx, que é a responsável pela flexão da ferramenta durante o corte. A ferramenta possui duas arestas de corte. Os picos com valores mais negativos do gráfico foram gerados pela mesma aresta de corte, enquanto os picos também negativos, mas com valores menores foram gerados pela segunda aresta de corte. Na rotação da ferramenta há um espaço em que nenhuma das arestas está em contato com a peça. Esse fato pode ser observado pelos picos na região positiva do gráfico, que se referem à reação da força aplicada, impondo ao dinamômetro um movimento contrário gerando uma força positiva. Para os vetores Fy e Fz (força axial) o comportamento é semelhante. Esta variação existente entre as componentes da força mostra que cada aresta da ferramenta cortava porção diferente de material (uma aresta cortava mais material que a outra), indicando a presença de flexão da ferramenta. Os valores negativos para Fx e para Fy com relação

ao dinamômetro indica que ferramenta está empurrando peça e, consequentemente, peça está empurrando ferramenta. Isto faz com que a ferramenta se flexione na direção do passe anterior da ferramenta e também na direção de avanço. A somatória das 3 componentes gera um vetor que está empurrando a ferramenta para cima. Esta foi a causa desta condição ter gerado uma rugosidade ruim entre todas as condições testadas. Assim, a flexão da ferramenta gera vibração alta da ferramenta, aumentando a rugosidade.

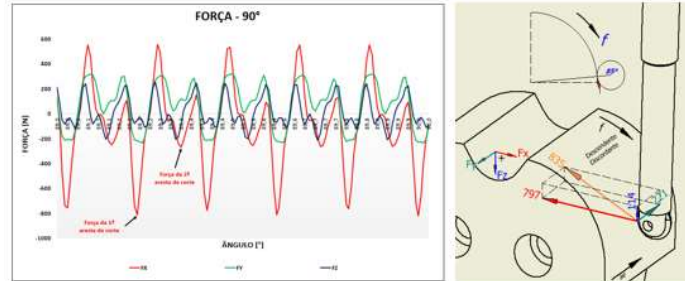


Figura 8 Força e Vetores (F_x , F_y , F_z) da estratégia Descendente Discordante – região de medição III.

A figura 8 mostra os resultados de força para a estratégia descendente discordante na região III. Esta condição também apresentou valores de rugosidade bastante altos (figura 6). Nesta posição F_x (-797 N) é o vetor da direção perpendicular à superfície da peça (radial em relação à ferramenta). Na parte ativa de corte das arestas em cada volta da ferramenta todas as componentes da força de usinagem possuem valores negativos. A força dominante nessa região é a força radial F_x , a qual é responsável pela flexão da ferramenta. Na região III de medição de rugosidade (R_a 2,18 μm , R_z 11,65 μm), o sentido de F_x mostra que, nesta direção novamente (o mesmo ocorreu na estratégia ascendente concordante) a peça empurra a ferramenta e, consequentemente, a ferramenta empurra a peça. A força resultante empurra a peça e, consequentemente, empurra a ferramenta para fora da superfície durante a usinagem, gerando a rugosidade alta obtida com esta estratégia.

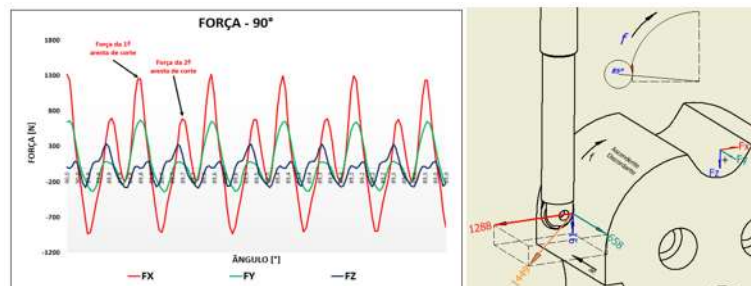


Figura 9 Força e Vetores (F_x , F_y , F_z) da estratégia Ascendente Discordante – região de medição III.

A figura 9 mostra os resultados de força para os vetores F_x , F_y e F_z , para a estratégia ascendente discordante, que gerou rugosidade baixa na superfície. Durante a parte ativa da aresta na peça, os valores de F_x , F_y e F_z (1288 N) são sempre positivos, isto é, a ferramenta puxa a peça ao invés de empurrá-la, como foi o caso das outras estratégias já estudadas (DD e AC em que F_x era negativa durante o corte) e, consequentemente, a peça puxa a ferramenta, o que favorece e muito a rugosidade, devido à redução da vibração. Este foi o fator principal para a geração de baixos valores de rugosidade com esta estratégia de usinagem.

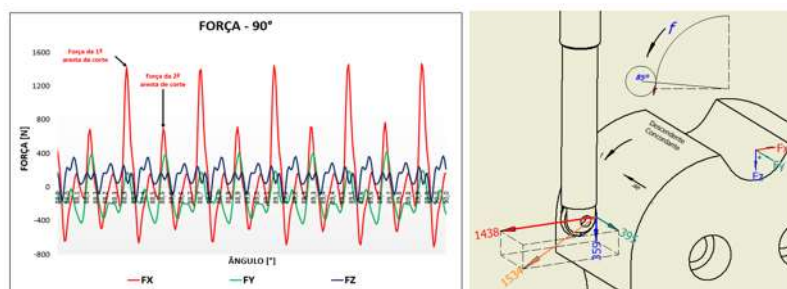


Figura 10 Força e Vetores (F_x , F_y , F_z) da estratégia Descendente Concordante – região de medição III.

A figura 10 mostra os resultados de força para os vetores F_x , F_y e F_z , para a estratégia descendente concordante, que foi umas das estratégias que geraram valores baixos de rugosidade (R_a 0,85 μm , R_z 3,45 μm) da superfície usinada. A

figura mostra o valor da força gerada pela primeira aresta de corte com a reação na sequência, sendo que a segunda aresta realiza o corte com menos intensidade. Na sequência a primeira aresta corta material deixado pela aresta antecessora. Durante os períodos ativos das arestas de corte em cada volta, os valores de F_x , F_y e F_z são sempre positivos, o que mostra que ferramenta puxa a peça e peça puxa a ferramenta, gerando menor deflexão da ferramenta e consequentes menores vibrações em ambos os eixos, o que contribui para a obtenção de valores baixos de rugosidade.

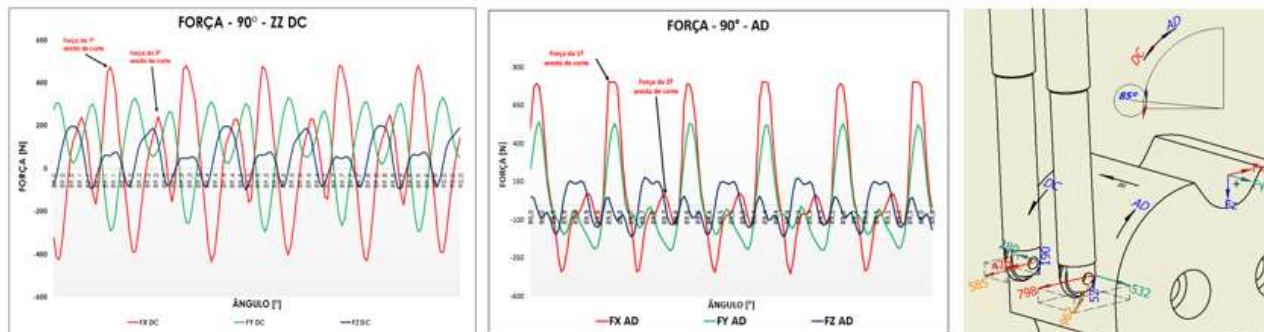


Figura 11 Forças e Vetores (F_{xZZDC} , F_{yZZDC} , F_{zZZDC}) da estratégia Zig-Zag Descendente Concordante e (F_{xZZAD} , F_{yZZAD} , F_{zZZAD}) da estratégia Zig-Zag Ascendente Discordante – região de medição III.

A figura 11 mostra os resultados de força para os vetores F_x , F_y e F_z , para as estratégias zig-zag descendente concordante/ascendente discordante. Pode-se observar que o comportamento das trajetórias é semelhante às suas trajetórias individuais. Nota-se na figura que vetor F_y muda de sentido da passada DC para a passada AD. Este é um dos fatores que deve ter contribuído para o alto valor de rugosidade obtido com esta estratégia. Quando a ferramenta cortava no sentido DC a ferramenta trabalhava fletida para um lado e, na próxima passada, esta flexão na direção do eixo Y era no outro sentido. Isto com certeza impactava a rugosidade que foi medida também neste sentido, pois fazia com que o perfil da rugosidade tivesse ora seu pico voltado para um lado, ora para o lado oposto, fazendo com que a passada subsequente não removesse o pico da passada anterior da ferramenta. Essa estratégia zig-zag foi uma das que obteve rugosidade bastante alta dentre as estratégias utilizadas.

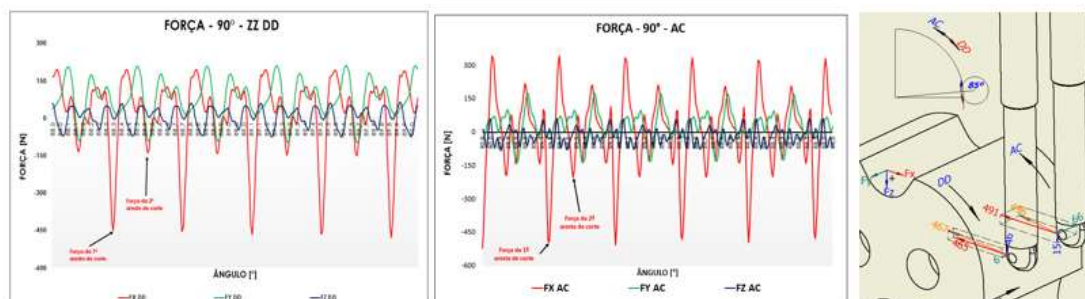


Figura 12 Forças e Vetores (F_{xZZDD} , F_{yZZDD} , F_{zZZDD}) da estratégia Zig-Zag Descendente Discordante e (F_{xAC} , F_{yAC} , F_{zAC}) da estratégia Zig-Zag Ascendente Concordante – região de medição III.

A figura 12 mostra os resultados de força para os vetores F_x , F_y e F_z , para a estratégia zig-zag descendente discordante ascendente concordante. Pode-se observar que a força dominante nessa região é a força radial F_x , que é responsável pela flexão da ferramenta. O comportamento dos vetores em cada uma das passadas da ferramenta (DD e AC) são similares às suas trajetórias individuais. Porém, De novo, os 2 cortes sucessivos apresentam vetores com valor de F_y em sentido contrário, o que prejudica bastante a rugosidade, especialmente aquela medida na direção Y, como já explicado anteriormente.

3.3. Desgaste da ferramenta

Todas as estratégias individuais (DC – DD – AC – AD) usinaram, em um ensaio, um volume de superfície de $0,921 \text{ cm}^3$ equivalente a duas passadas completas da ferramenta sobre a área de usinagem, enquanto as estratégias zig-zag (DC/AD e DD/AC) usinaram um volume de $0,46 \text{ cm}^3$ equivalente a uma passada da ferramenta sobre a área de usinagem. O que se chama aqui de passada completa da ferramenta sobre a área de usinagem significa 164 passes da ferramenta sobre a peça, com $a_e = 0,3 \text{ mm}$ em cada passe. Isto ocorreu porque nas estratégias em zig-zag, ao fim da primeira passada o desgaste já era superior a $VB = 0,2 \text{ mm}$, que é um valor usualmente utilizado para fim de vida da ferramenta em processos de acabamento fino, como é o caso dos ensaios realizados neste trabalho. Assim, decidiu-se interromper cada ensaio utilizando estratégias zig-zag ao fim da primeira passada completa da ferramenta sobre a peça. Portanto, o corte

em zig-zag, ao contrário do que se esperava, já que as porções da aresta em contato com a peça em cada passe sucessivo eram diferentes, apresentou desempenho do desgaste pior do que os cortes com passadas sucessivas no mesmo sentido.

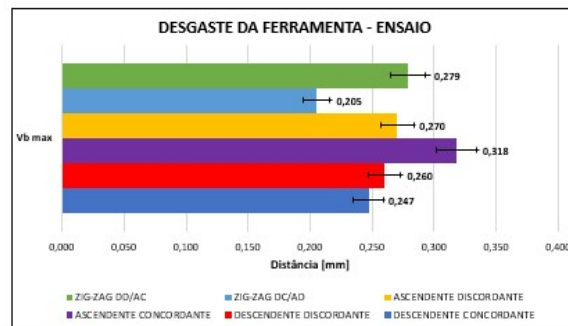


Figura 13 Desgaste de flanco (V_B) de todas as estratégias – região de medição III.

A Fig. 13 mostra o resultado da medição do desgaste de flanco da pastilha de ferramenta. Esta medição foi feita na região de maior diâmetro da ferramenta, região que tinha contato com a região III da peça e, portanto, usinava com a maior velocidade de corte devido ao maior diâmetro efetivo. Ao se analisar esta figura, não vai se levar em conta o desempenho das estratégias que utilizaram o zig-zag, já que o volume cortado por elas para se atingir os desgastes mostrados na figura não era o mesmo. Analisando a figura somente levando em conta as estratégias com cortes sempre no mesmo sentido, não é possível afirmar qual estratégia se comportou melhor, já que as estratégias AD, DC e DD apresentaram valores de desgaste ao fim do volume de material usinado muito próximos, com dispersões se sobrepondo. Porém, é possível afirmar que a estratégia AC foi a que pior desempenho apresentou, com valor médio de V_B ao fim do volume fixo de material removido bem superior às demais, mesmo levando em conta a dispersão. Esta também foi uma das estratégias que geraram valores altos de rugosidade, como visto anteriormente. A hipótese para explicar este comportamento é que o corte ascendente é realizado com diâmetro efetivo maior que o corte descendente e, consequentemente, com maior velocidade de corte, que é, dentre os parâmetros de corte, a que mais influencia no desgaste da ferramenta. A estratégia ascendente concordante gerou desgaste mais rápido que a ascendente discordante (usinava com os mesmos diâmetros da estratégia AC) devido ao fato de suas componentes de força serem no sentido de afastar peça de ferramenta e ferramenta de peça, como visto anteriormente, o que fazia com que a vibração da ferramenta fosse maior, o que incentivava os fenômenos gerados de desgaste/avaria da aresta de corte.

Esperava-se que as estratégias zig-zag gerassem desgastes menores pois, como visto, a região da aresta em contato com a peça é diferente entre uma passada e a subsequente, expectativa esta que, como também já visto, não se concretizou. Acredita-se que isto ocorreu porque as componentes da força de corte tinham sentidos diferentes de um passe da ferramenta em relação ao passe subsequente, como também já visto, o que fazia com que a flexão da ferramenta fosse em sentidos contrários a cada passe. Isso fazia com que a área efetiva da seção de corte fosse diferente em cada passe, o que, muito provavelmente, incentivava micro lascamentos da aresta.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir, para fresamento de superfícies circulares convexas de aço endurecido em condições similares às utilizadas neste trabalho, que:

- As estratégias de melhores resultados para a rugosidade foram a descendente concordante e a ascendente discordante. Isto ocorreu porque o sentido das componentes da força de usinagem, especialmente o sentido da componente na direção X do dinamômetro (que na posição de pior rugosidade é perpendicular à peça), puxa a peça para a ferramenta e ferramenta para a peça.
- As estratégias ascendentes concordante e descendente discordante não apresentaram bons resultados de rugosidade porque o sentido das componentes da força de usinagem (especialmente F_x) afasta ferramenta de peça e peça de ferramenta.
- As estratégias em zig-zag não apresentaram bons valores de rugosidade porque a componente Y da força de usinagem (componente na direção de a_e e também na direção em que a rugosidade foi medida) tem sentidos diferentes em cada passada sucessiva, isto é, numa passada a ferramenta é fletida para um lado e na passada seguinte para o lado oposto.
- As estratégias em zig-zag fizeram com que o desgaste/avaria da ferramenta fosse mais rápido e, consequentemente a vida da ferramenta fosse menor. Isto ocorreu porque as componentes da força de corte tinham sentidos diferentes de um passe da ferramenta em relação ao passe subsequente, o que fazia com que a flexão da ferramenta fosse em sentidos contrários a cada passe. Assim, a área efetiva da seção de corte era diferente em cada passe, o que, muito provavelmente, incentivava micro lascamentos da aresta.

- Dentre as estratégias que não utilizaram o corte em zig-zag não é possível afirmar qual estratégia se comportou melhor em termos de desgaste da ferramenta, já que as estratégias AD, DC e DD apresentaram valores de desgaste ao fim do volume de material usinado muito próximos, com dispersões se sobrepondo. Porém, é possível afirmar que a estratégia AC foi a que pior desempenho apresentou, com valor médio de V_B ao fim do volume fixo de material removido bem superior às demais, mesmo levando em conta a dispersão.

5. REFERÊNCIAS

Sandvik (Suécia), Divisão Coromant. Tradutora: Natale, Vera Lúcia. Revisor Técnico: Carosella, João – “Você deve balancear suas ferramentas?” – O Mundo da Usinagem – Sandvik do Brasil - #1 pg 8 – 12 – 2000

Diniz, Anselmo Eduardo; Kull Neto, Henrique; Pederiva Robson – “The influence of cutting forces on surface roughness in the milling of curved hardened steel surfaces” – The International Journal of Advanced Manufacturing Technology – Vol. 80 # 5 – 8 2015.

Oliveira, Alan Costa de; Ahrens, Carlos Henrique; Schtoeter, Rolf Bertrand – “Sistema CAM para o Fresamento em Altas Velocidades de Moldes e Matrizes” – O Mundo da Usinagem” – Sandvik do Brasil #14 – pg 12 – 17 – 2003.

Lacerda, Fernando Brito de; Helleno, André Luis; Papa, Maria C. Oliveira – “Análise da Inserção de Centros de Usinagem 5 eixos no Processo de Fresamento de Moldes” – O Mundo da Usinagem – Sandvik Brasil #94 – pg12 – 17 – 2013.

Msaddek, El Bechir; Bouaziz, Zoubeir; Baili, Maher; Dessein, Gilles – “Modeling and simulation of high-speed milling centers dynamics” – Springerlink.com – 29/08/2010.

Diniz, Anselmo E.; Hioki, Daniel; Sinatora, Amilton – “Influence of HSM cutting parameters on the surface integrity characteristics of hardened AISI H13 steel” – The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2013.

Coelho, Reginaldo T.; Souza, Adriano F.; Roger, Alessandro R.; Rigatti, Aldo M. Y.; Ribeiro, Alexandre A. L. – “Mechanistic approach to predict real machining time for milling free-form geometries applying high feed rate” – Springer-Verlag London Limited 2009.

Majerik, Jozef; Jambor, Jaroslav – “Computer Aided Design and Manufacturing Evaluation of Milling Cutter when High Speed Machining of Hardened Steels” – 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation – 2014.

Leutwiler Neto, Oliveira – “Desenvolvimento do Sistema para Monitoramento de dados em HSM (HIGH SPEED MACHINING)” – 16º Congresso de Iniciação Científica – Unimep – 2008.

Lacalle, Luis N. L.; Lamikiz, A.; Sanchez, J. A.; Arana, J. L. – “Improving the surface finish in high speed milling of stamping dies – Journal of Materials Processing Technology – 2002.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

Study of machining strategies in high-speed milling of D6 steel

Authors:

Pissolatti, André L.

Unicamp – Instituto de Física Gleb Wataghin
andrelp@ifi.unicamp.br

Diniz, Anselmo E.

Unicamp – Faculdade de Engenharia Mecânica
anselmo@fem.unicamp.br

Magri, Aristides

Unicamp – Faculdade de Engenharia Mecânica
arimagri@fem.unicamp.br

Abstract. This work consists of analyzing the roughness, the tool life and the efforts in a hardened and tempered AISI D6 steel with hardness above 60 HRC for the machining strategies in a circular profile that simulate the climb and conventional cut in the downward and upward direction circular profile. Since the strategies were called ascending concordant, ascending disagreement, descending concordant, descending discordant, for these strategies the tool path consists of making the route to the finale and returning to the beginning without cut (empty path). Two more zig-zag strategies have been added, which consists of cutting the circular profile and at the bound performs a lateral displacement of the tool (ae) and returns cutting until the beginning of the profile, and these strategies were denominated as descending concordant / ascending zigzag discordant discordant descending / concordant ascending zigzag. A comparison was made between the machining operations to determine the conditions that lead to less roughness, longer tool life and favorable efforts for the machining of tempered steel finishes using Hight Speed Machining.

Passwords: HSM, Circle Profile, Strategy, Roughness.