

COMPARAÇÃO ENTRE VELOCIDADE DE CORTE CONSTANTE E VARIÁVEL NO PROCESSO DE FRESAMENTO DE SUPERFÍCIE ESFÉRICA COM FERRAMENTA TOROIDAL

Anderson de Aguiar, Anderson_aagr@yahoo.com.br¹
Roberto Giani Pattaro Junior, roberto.gjunior@sp.senai.br¹

¹Faculdade SENAI Roberto Mange, Rua Pastor Cícero Canuto de Lima 71 Campinas - SP

Resumo: A usinagem caracterizada pelo processo de fresamento permite obter várias formas geométricas por meio de aplicação de diferentes estratégias, na qual se utiliza uma ferramenta de corte denominada fresa. A fresadora trata-se de um equipamento utilizado para o fresamento, a operação consiste na utilização da fresa, que terá um movimento de rotação sobre seu próprio eixo, e que combinam movimentos concomitantes dos eixos da máquina com a ferramenta gerando a remoção progressiva de material a fim de obter a forma geométrica desejada. A utilização dos softwares para se programar esses movimentos, permitiu um aumento na complexidade dos produtos e, consequentemente as ferramentas também acompanharam as evoluções tecnológicas, principalmente na aplicação da manufatura de moldes e matrizes, sendo as ferramentas mais utilizadas neste processo as fresas de topo esférico e também as fresas de topo com raio de ponta conhecida como fresa toroidal. O emprego da usinagem com fresa toroidal ou esférica em conjunto com movimento simultâneo de dois ou três eixos, apresenta uma variação do diâmetro de contato da ferramenta chamado de diâmetro efetivo de corte. As configurações da velocidade de corte e velocidade de avanço nas fresadoras são baseadas no diâmetro da fresa e não pelo diâmetro efetivo de corte, o que faz com que a fresa trabalhe com velocidades de corte diferente durante uma usinagem de superfície esférica, interferindo diretamente na vida útil da ferramenta, acabamento superficial e nos tempos de usinagem. Com base nesta problemática, o objetivo geral tratou de evidenciar as possíveis vantagens obtidas por meio da utilização de um programa parametrizado, no que terá as correções de rpm de acordo com o diâmetro efetivo de contato e compará-los com a usinagem proveniente da programação convencional, onde terá rpm constantes. Serão usinados corpos de prova por meio dos dois processos analisando as variações de vida de ferramenta, acabamento superficial e tempo de usinagem. Os testes experimentais demonstraram que o desgaste da ferramenta ficou uniforme na situação de velocidade de corte constante que implicaram no aumento da vida da ferramenta e o acabamento manteve-se nos níveis aceitáveis para o processo.

Palavras-chave: parametrização; velocidade de corte; diâmetro efetivo de corte

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência do processo de fresagem, necessitar de mão de obra especializada e tempo excessivo para execução de alguns produtos, o mesmo resultou no aumento na demanda que desencadeou com o passar do tempo à automatização deste processo, sendo que os equipamentos receberam comandos por computador com microprocessadores e memórias acoplado ao equipamento. Os movimentos dos eixos da máquina passaram a ser controlados por meio de códigos, essa modernização tecnológica ficou conhecida como Comando Numérico Computadorizado (CNC).

Com a grande aplicação do CNC na indústria de manufatura, os produtos começaram a ficar cada vez mais complexos, exigindo mais da programação, e diante das dificuldades dos perfis a serem programados, e tempo disponível para elaboração, começaram a aparecer softwares para programação, que reduziram o tempo de programação, tornando o processo mais confiável e permitindo a execução de produtos ainda mais complexos, estes processos são conhecidos como Manufatura Assistida por Computador (CAM).

A utilização dos softwares de CAM permitiu um aumento na complexidade dos produtos e consequentemente as ferramentas também acompanharam as evoluções tecnológicas, principalmente na aplicação da manufatura de moldes e matrizes. As ferramentas mais utilizadas neste processo são as fresa de topo esférico e também a fresa topo com raio de ponta conhecida como fresa toroidal.

O emprego da usinagem com fresa toroidal ou esférica em conjunto com movimento simultâneo de dois ou mais eixos, apresenta uma variação do diâmetro de contato da ferramenta conhecido como diâmetro efetivo de corte.

Os processos de usinagem a CNC utilizado na indústria de manufatura, onde são empregados a utilização da fresa topo toroidal, com fresamento de superfície de molde e matrizes, em alguns pontos e o contato do raio da ferramenta apresenta variação do diâmetro efetivo de corte, neste processo nem o equipamento nem o software de CAM dispõe de técnica que possibilite aplicar variações nas velocidades de corte e velocidade de avanço em função da alteração do diâmetro efetivo de corte.

As configurações da velocidade de corte e velocidade de avanço interferem diretamente na vida útil da ferramenta, acabamento superficial e nos tempos de usinagem.

Com base nesta problemática, tem-se como objetivo geral evidenciar as possíveis vantagens obtidas por meio do emprego da programação paramétrica, que consiste na utilização de parâmetros alfa numéricos que utilizam cálculos corrigindo a variação da velocidade de corte e velocidade de avanço em função do diâmetro efetivo de corte e compará-los com a usinagem proveniente da programação com o software CAM.

Os objetivos específicos serão usar corpos de prova por meio dos dois processos analisando as variações de vida de ferramenta, acabamento superficial e tempo de usinagem.

Este estudo justifica-se, pois permitirá aperfeiçoar os processos utilizados, e também busca aumentar o padrão de qualidade dos produtos e a redução de custo da produção. A estratégia proposta apresenta uma melhor eficiência do processo, a tomada de decisão no emprego do processo permitirá obter redução de custos e gerar retornos financeiros para a empresa, aumentando a satisfação dos clientes, e gerando um melhor conceito no mercado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para conceber e implementar um processo eficaz é imprescindível, conhecer o equipamento, ferramental e processo de usinagem. De acordo com Souza, (2004), o usuário de CAM, deve ter um bom conhecimento em processo de usinagem, para que o mesmo seja eficiente, pois a estratégia de usinagem influencia no desgaste da ferramenta, qualidade de acabamento superficial bem como no tempo necessário para execução do processo. Koshy, Dewes e Aspinwall (2002), afirmam que a ferramenta a ser utilizada deve ser escolhida de forma que os parâmetros de corte contribuam para obtenção da superfície especificada e proporcionando um processo com menor custo.

Uma ferramenta importante para usinagem que deve ser levada em consideração porém pouco mencionada são os sistemas CAM, que apresentam estratégias de usinagem otimizadas. De acordo com Fitzpatrick (2013), a programação via CAM, permite reduzir uma programação manuscrita que levaria horas de cálculos ou até mesmo impossível sua elaboração devido à complexidade, no CAM pode ser gerado em apenas alguns minutos, e assim ganhando tempo junto da concorrência.

Mesmo utilizando as melhores estratégias de usinagem ainda existem pontos no processo que podem ser otimizados, uma programação pouco difundida também pode ser aplicada ao processo, é a programação parametrizada que permite incluir cálculos matemáticos, variáveis computacionais e desvios condicionais por sua vez permitindo implementar lógica algorítmica na operação do equipamento (Fontoura, 2007).

Tradicionalmente nas operações de fresagem, são empregados parâmetros de cortes baseados em catálogos técnicos de ferramentas que são fornecidos pelo próprio fabricante de ferramenta e na experiência dos operadores (Liu e Wang, 1999; Raja e Baskar, 2010). De acordo com Rodrigues (2005), a velocidade de corte adotada no processador de usinagem de forma otimizada tem sido apontado como indicadores de ganhos em produtividade e qualidade em estudos tanto em trabalhos nacionais e internacionais.

Segundo a norma ABNT NBR 6162 de 1989, a velocidade de corte é definida como a velocidade instantânea de um ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e sentido de corte.

O ponto de referência da aresta de corte da ferramenta, também é conhecido como diâmetro efetivo de corte que pode apresentar variações em função da geometria da ferramenta a ser utilizada. No processo de fresagem além da utilização da fresa topo reto, também se utiliza a fresa topo esférico e a topo raiaado conhecido como toroidal. Segundo Altan, Lilly e Yen (2001), afirmam que o fresamento com utilização de ferramenta de topo raiaado, pode apresentar variação na Velocidade de Corte em função do diâmetro efetivo de corte e a utilização da rotação constante.

A variação da velocidade de corte, decorrente da alteração do diâmetro efetivo da ferramenta quando utilizado fresas com topo esférico ou raiaado, resulta em perda na qualidade do produto bem como em desgaste prematuro na ferramenta. De acordo com Chen, Haung e Chen (2005), Oliveira e Diniz (2009) a utilização de fresa de topo esférico na posição perpendicular à superfície da peça apresenta variação da velocidade de corte, que ocasionam efeitos indesejáveis como: elevação da temperatura de corte; alteração na frequência excitada, e formação de aresta postiça.

Na ocasião em que o processo de usinagem gerado dispõe do contato da ferramenta e peça próximo ao núcleo da ferramenta isso resulta em baixas velocidades de corte, que de acordo com Ferraresi (1970) e Seco Tools (2014), obtém-se desgaste decorrente por abrasão mecânica, que é ocasionado pelo atrito gerado do encruamento do material ou também pela formação de aresta postiça, pode ainda ser proveniente do esfregamento de partículas duras oriundas do material da peça e por sua vez prejudicam o acabamento superficial.

Conforme, Schulz (1995); Chen, Haung e Chen (2005) no processo de fresamento quando utilizado ferramentas do tipo fresa esférica, é comum apresentar lascamento da aresta de corte no centro da ferramenta, pelo fato da velocidade de corte no centro da ferramenta ser zero, e não apresentar espaço para saída de cavaco e automaticamente prejudica o acabamento superficial. Além do elevado custo com ferramentas devido ao fenômeno do desgaste que ocorre no centro da ferramenta, também deve ser considerado os custos em retrabalho e produtos rejeitados, pela interferência no acabamento superficial de forma negativa (Sokovic, Kopac, Dobrzanski e Adamiak. 2004).

3. METODOLOGIA

Para realização dos ensaios foi utilizado um Centro de Usinagem da marca Romi, modelo D800, com rotação máxima do fuso de 12000rpm.

Foram fabricados 2 corpos de prova de aço AISI D6, com diâmetro de 76 mm x 100mm, com base usinada e superfície plana na lateral para fixação em um dos topos executou-se uma semiesfera com raio inicial de 36mm tomou-se o cuidado em produzir um diâmetro de 72 x 12mm após a semiesfera com a finalidade de evitar variação de esforço de corte durante a usinagem, mostrado na Figura 1. Os corpos de prova foram fixados em morsa do fabricante Servo-Fix, Modelo SF 200 NLP. A Tabela 1 mostra a composição química do aço utilizado:

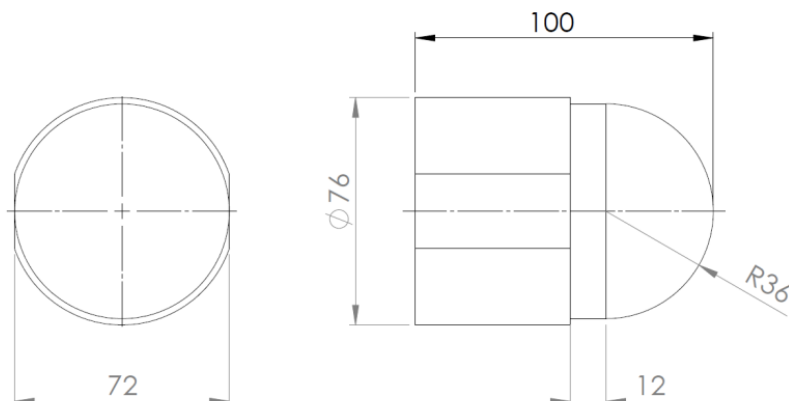


Figura 1. Croqui do Corpo de Prova. Autor, 2016.

Tabela 1.- Analise química via Espectrometria Óptica do aço - AISI D6.

Elementos	C %	Si %	Mn %	P %	Cr %	W %	Ni %	Mo %	Cu %	V %	Co %	Fe %
Resultados Obtidos %	1,910	0,027	0,617	0,001	10,931	0,609	0,134	0,009	0,045	0,125	0,025	BASE

A Composição química encontrada é similar a composição do Aço VC131.

Norma de Referência: ASTM E 415:2015
ASTM A 751:2014a

A ferramenta utilizada foi uma fresa toroidal R200-015A20-10H do fabricante Sandvik com 3 arestas de corte, e fixado em suporte porta ferramenta cone BT40 tipo porta pinça ER-32. Adotou o uso do inserto RCKT 10 T3 M0 – PM, classe 4220 do fabricante Sandvik. Após a montagem do conjunto suporte porta ferramenta na máquina verificou o batimento axial e radial dos inserts, a fim de assegurar desvio inferior a 0,01mm entre ponto máximo e mínimo, tendo intuito de assegurar a veracidade dos dados coletados. Esses desvios foram verificados com relógio apalpador com resolução em milésimo de milímetros. Os parâmetros de corte recomendados pelo fabricante na aplicação, da usinagem de aço correspondente a Classe P são:

$f_z=0,24\text{mm}$ (0,10 – 0,28)

$vc=290\text{m/min}$ (335 – 275)

Procedimento adotado para o ensaio do corpo de prova nº1, foram passes de acabamento com remoção de 0.2mm de camada, tendo como ponto de partida o centro do raio de 36mm. Os parâmetros de corte utilizados para usinagem seguiram as recomendações inicial do fabricante de ferramenta, empregando $vc=275\text{m/min}$ sobre o diâmetro de 25, que resultou em uma Rotação de 3498 Rpm, para o deslocamento da velocidade de avanço, também seguiu a recomendação inicial no $f_z=0.1\text{mm}$ por aresta que resultou numa velocidade de avanço $vf=1049.4\text{ mm/min}$. Os passes foram incrementados de forma angular, com a finalidade de manter um volume constante na remoção de cavaco.

O 2º ensaio foi executado no corpo de prova nº2, foram passes de acabamento com remoção de 0.2mm de camada, tendo como ponto de partida o centro do raio de 36mm. Os parâmetros de corte utilizados para usinagem seguiram as recomendações iniciais do fabricante de ferramenta, empregando $vc=275\text{m/min}$ sobre o diâmetro efetivo de contato que teve início no diâmetro de 15 e finalizou no diâmetro de 25, tendo uma variação da rotação entre 5830 Rpm no Ø15 e 3498 Rpm no Ø25, para velocidade de avanço, também seguiu a recomendação inicial de $f_z=0.1\text{mm}$ por aresta que resultou numa velocidade de avanço que variou entre $vf=1749\text{mm/min}$. à $vf=1049.4\text{ mm/min}$.. Os passes foram incrementados de forma angular, com a finalidade de manter um volume constante na remoção de cavaco.

O incremento por passada, foi disposto de forma angular tendo como ponto de partida o centro do raio de 36mm e topo, utilizou um incremento angular de 0°30' por passada, finalizando a usinagem do acabamento na tangência do diâmetro externo conforme Figura nº2a – 2b.

Para obter a variação da velocidade de corte em função da variação do diâmetro efetivo de corte, adotou-se o emprego da programação parametrizada, que consiste em uma programação dinâmica, em que os valores de

coordenadas, velocidade de corte, velocidade de avanço e rotação, possam ter seus valores alterados e modificados sempre que ocorrer a variação do diâmetro efetivo. Para o cálculo do diâmetro efetivo foi utilizado a equação 1.

$$D_{ef} = 2\sqrt{a_p(D_c - a_p)} \quad (1)$$

A estratégia de percurso da ferramenta foi definida, para os dois ensaios, com trajetória circular mantendo o eixo z constante. Para o ensaio nº1 manteve-se a rotação da ferramenta constante (calculada pelo diâmetro maior da fresa) e a velocidade de avanço também. No ensaio nº2, a cada altura a ser usinada o programa ajustava a rotação de acordo com o diâmetro efetivo de contato e, conseqüentemente ajustava a velocidade de avanço mantendo o avanço por dente pré-determinado conforme figura 2a – 2b.

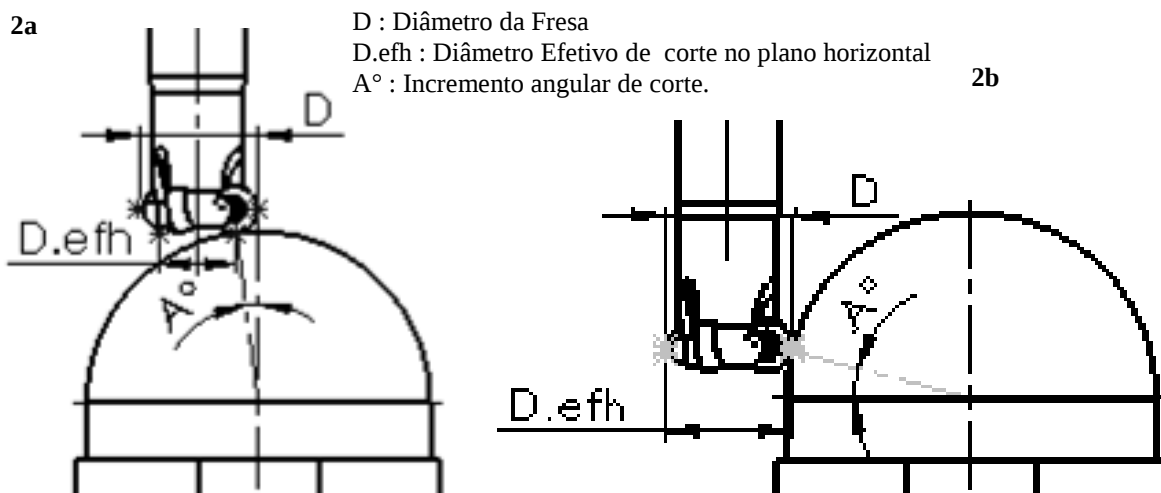


Figura 2. Detalhe da variação do diâmetro efetivo de corte. Autor, 2016.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do desgaste da ferramenta foram coletados ao término de cada passe de acabamento. A figura 3 mostra o perfil do corpo de prova após o passe de acabamento. A figura 4 mostra o procedimento utilizado para verificação do desgaste do inserto através do projetor de perfil, utilizando ampliação da imagem, que permitiu evidenciar o desgaste com o auxílio da lente de aumento em 20 vezes.

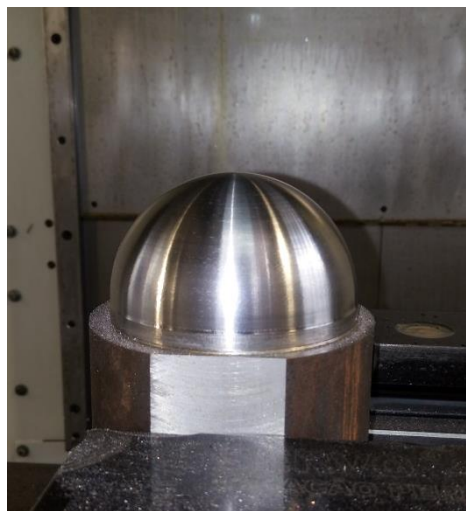


Figura 3. Perfil após passe de acabamento.



Figura 4. Verificação do desgaste do inserto.

A coleta dos valores pertinentes ao desgaste da ferramenta iniciou com o corpo de prova do ensaio 1, que utilizou os parâmetros de corte com valores fixos, sem variação de rotação e velocidade de avanço em função do diâmetro

efetivo de corte. Durante a verificação do desgaste, manteve-se o corpo de prova fixo na máquina, retirando para análise apenas a ferramenta.

Na análise do desgaste da ferramenta, para assegurar que o inserto e suporte da ferramenta mantivessem a mesma posição afim de não alterar os resultados do teste, tomou-se o cuidado de retirar o suporte porta ferramenta inteiro como pode ser verificado na figura 4.

Os valores de desgaste da ferramenta do corpo de prova 1, foram registrados na tabela 2. Para efeito de análise foi considerado um fim de vida do inserto ao atingir o desgaste de 0,45mm. O tempo para execução de cada passe de acabamento foi de cerca 40 minutos, sendo este tempo relativo ao tempo de ciclo do processo.

Tabela 2.-Evolução do Desgaste do Inserto com parâmetros de corte com rpm fixo.

	1ºpasse	2ºpasse	3ºpasse	4ºpasse	5ºpasse	6ºpasse
Raio Esfera	Ø35,8	Ø35,6	Ø35,4	Ø35,2	Ø35	Ø34,8
V_B	0,13	0,173	0,28	0,36	0,41	0,49

A partir do 3º passe de acabamento, foi possível evidenciar a formação de aresta postiça que, de acordo com Ferraresi (1970) essa formação é decorrente de velocidade corte baixa. A velocidade de corte utilizada foi à mínima recomendada pelo fabricante de ferramenta, sendo que a rotação calculada teve como referência o diâmetro máximo da ferramenta (25mm) e $vc=275\text{m/min}$, porém no núcleo da ferramenta onde formou aresta postiça (figura 5), o diâmetro efetivo de contato varia de 25 até 15mm e pelo fato de utilizar rotação fixa neste caso ocorre uma perda na velocidade de corte de até 40% sendo que nessa região do inserto a velocidade de corte resultante foi de $vc=165\text{m/min}$.



Figura 5. Formação de aresta postiça após 3º passe.

O desgaste também não ocorreu de forma uniforme, devido à variação do perímetro de corte para cada altura a ser executada, pois à medida que a ferramenta desce para cortar e formar o raio esférico, o diâmetro efetivo da peça em contato com a ferramenta aumenta progressivamente até a formação do raio esférico, esse desgaste não uniforme pode-se verificar na figura 6.

Os valores registrados na tabela 2 tiveram como ponto de referência nas medições sempre o mesmo inserto, e o valor registrado foi coletado sempre na mesma região da ferramenta.



Figura 6. Progressão do desgaste.

Os valores de desgaste da ferramenta do corpo de prova 2, foram registrados na tabela 3, considerando também um fim de vida do inserto de 0,45mm. O tempo para execução de cada passe de acabamento foi de cerca de 36 minutos, sendo este tempo relativo ao tempo de ciclo do processo.

Tabela 3.-Evolução do Desgaste do Inserto com velocidade de corte constante.

	1ºpasse	2ºpasse	3ºpasse	4ºpasse	5ºpasse	6ºpasse	7ºpasse	8ºpasse	9ºpasse
Raio Esfera	Ø35,8	Ø35,6	Ø35,4	Ø35,2	Ø35	Ø34,8	Ø34,6	Ø34,4	Ø34,2
V_B	0,139	0,168	0,190	0,207	0,287	0,322	0,360	0,405	0,464

A velocidade de corte utilizada foi à mínima recomendada pelo fabricante de ferramenta, empregando $v_c=275\text{m/min}$, que resultou em variação da rotação iniciando em 5830 rpm e velocidade de avanço $v_f=1749\text{mm/min}$ e chegando a 3498 Rpm com velocidade de avanço $v_f=1049.4\text{mm/min}$.

Com a utilização de velocidade de corte e avanço por dente constante, não foi detectada formação de aresta postiça em nenhum dos passes analisados. O desgaste também não ocorreu uniforme, devido à variação do perímetro de corte, sendo que o diâmetro efetivo da peça em contato com a ferramenta aumenta progressivamente até a formação do raio esférico, esse desgaste podemos verificar na figura 7.

Devido ao fato do desgaste não ser uniforme, os valores registrados na tabela 3, tiveram como ponto de referência nas medições sempre o mesmo inserto, e o valor do desgaste se deu na região onde o desgaste foi mais acentuado.

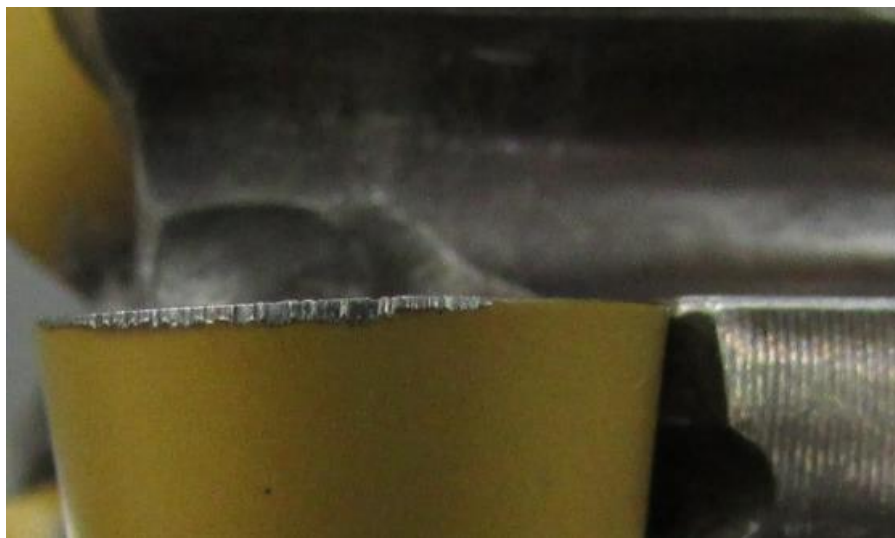


Figura 7. Progressão do desgaste.

Analisando-se os resultados coletados observa-se uma diferença no tempo de ciclo do ensaio 2 em 10% mais rápido que no ensaio 1 por ciclo de acabamento. O fim de vida útil do ensaio 2 com 9 passes totalizou 324 minuto de usinagem, enquanto o ensaio 1 com 6 passes totalizou 240 minutos de usinagem (conforme ilustra a figura 8), o que representou um ganho de 35% em tempo de usinagem, o que é bastante significativo.

Esse ganho de 35% referente ao tempo de usinagem total do inserto reflete diretamente na produtividade durante a produção, pois, além de usar por mais tempo sem precisar trocar o inserto, diminui as intervenções dos operadores diminuindo também os riscos de não conformidades. O gráfico da figura 9 ilustra o desgaste de cada passe nos ensaios 1 e 2.

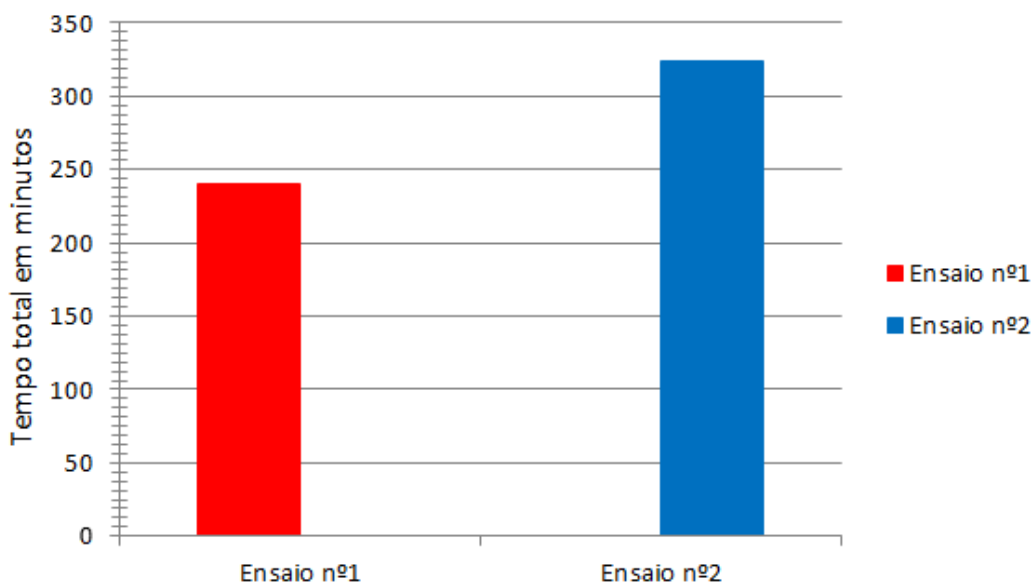


Figura 8. Gráfico comparativo de tempo de corte total até fim de vida do inserto.

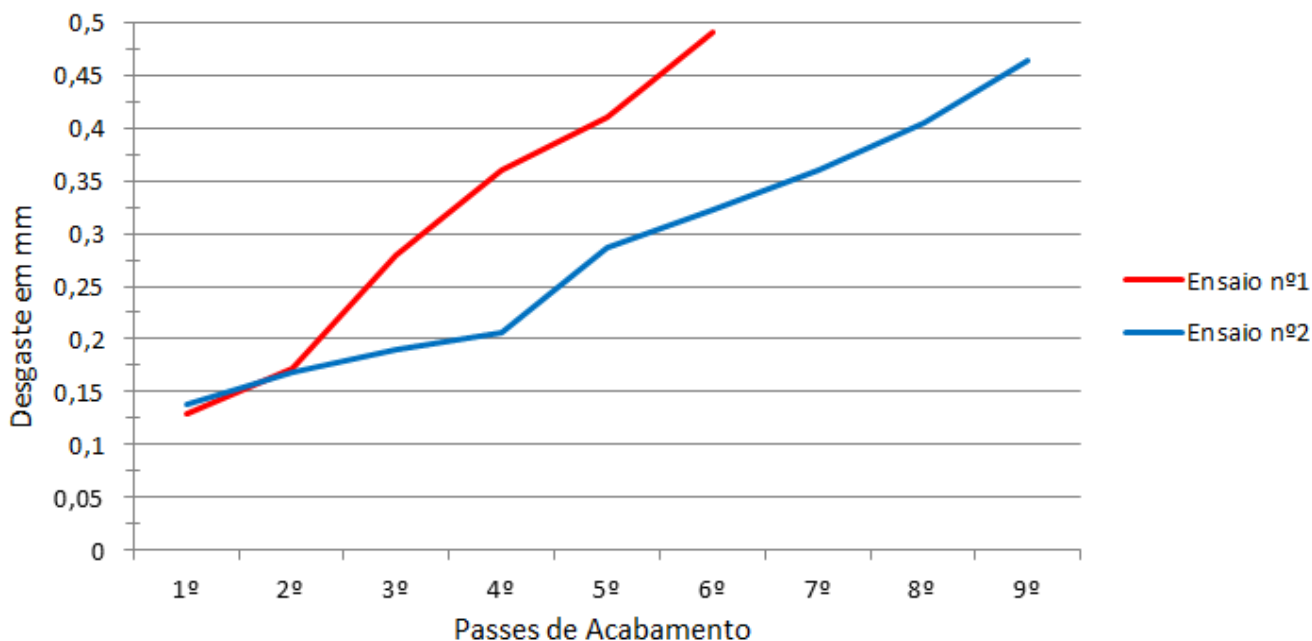


Figura 9. Gráfico comparativo da evolução do desgaste.

5. CONCLUSÕES

O emprego de parâmetros de corte com a utilização de velocidade de corte constante pode proporcionar uma redução significativa dos custos totais de usinagem. Por meio da otimização e mudança na informação dos dados de corte de fresamento, pode-se obter ganhos representativos. Com base neste contexto, esse estudo utilizou a aplicação de programação parametrizada em um processo de fresamento de acabamento de superfície esférica.

Um ponto observado e muito importante nesse estudo foi o resultado obtido com a programação paramétrica, que em muitos casos tem sido substituída pelo uso da manufatura assistida por computador (CAM) que, dispõe de vários recursos e estratégias de usinagem, mas a correção da rotação da ferramenta ainda não.

A realização deste estudo confirmou a viabilidade da programação parametrizada para casos onde a geometria é uniforme, bem como a otimização da velocidade de corte. O estudo apresentou ganho em tempo de hora máquina e redução em consumo de ferramenta, dois dos principais itens que as empresas buscam melhorias diariamente. Vale lembrar que os ganhos obtidos, estão apenas na utilização da velocidade de corte constante em uso de fresa de ponta esférica ou toroidal.

A metodologia utilizada, mostrou-se adequada a apresentação definida e apontou ganhos satisfatórios no processo estabelecido. Uma das principais possibilidades de aplicação é na usinagem de superfície variável ou irregular, quando utilizado fresa de ponta esférica ou toroidal.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade Senai Roberto Mange e à Escola Senai Alfried Krupp, pela disponibilização de sua estrutura para a realização dos testes de usinagem.

7. REFERÊNCIAS

- Liu, Y. and Wang, C. 1999. "A modified genetic algorithm based optimization of milling parameters", International Journal of Advanced Manufacturing Technology. No. 15. pp.796-799.
- Raja, S.B. And Baskar, N., 2010, "Optimization techniques for machining operations: a retrospective research based on various mathematical models", International Journal of Advanced Manufacturing Technology. No. 48. pp.1075-1090.
- Rodrigues, Alessandro Roger, "Estudo da Geometria de Aresta de Corte Aplicadas em Usinagem com Altas Velocidades de Corte". 2005. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- Fontoura, Marco Aurélio, "Um Estudo Sobre Implementação de Ciclos de Usinagem Através de Programação Parametrizada em Máquinas de Comando Numérico Computadorizado". 2007. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- Ferraresi, Dino. "Fundamento da Usinagem dos Metais", Editora Edgard Blücher Ltda, 1970 – 16ª reimpressão, 2013.
- Seco Tools, "Tecnologia de Fresamento", Seco Tools, 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais – Terminologia: Norma NBR 6162. 1989.
- Koshy, P., Dewes, R. C., Aspinwall, D. K. High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~ 58 HRC). Journal of Materials Processing Technology, 2002.
- Souza, Adriano Fagali de. "Contribuições ao Fresamento de Geometrias Complexas Aplicando a Tecnologia de Usinagem com Altas Velocidades". 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- Altan, T.; Lilly, B.; Yen, Y. C. Manufacturing of dies and molds. Annals of the CIRP, v. 50, n. 2, 2001.
- Fitzpatrick, Michael. "Introdução a usinagem com CNC", Editora McGrawHill, 2013.
- Schulz, H. High speed milling of dies and moulds – cutting conditions and technology. Annals of the CIRP, v. 44, n. 1, p. 35-38, 1995.
- Chen, J-S.; Huang Y-K.; Chen, M-S. A study of the scallop generation mechanism in the ball-end milling process. International Journal of Machine Tools & Manufacture, v. 45, 2005
- Sokovic, M.; Kopac, J.; Dobrzanski, L. A.; Adamiak, M. Wear of PVD-coated solid carbide end mills in dry high-speed cutting. Journal of Materials Processing technology, v. 157-158, p. 422-426, 2004.
- Oliveira, A. J.; Diniz, A. E. Tool life and tool wear in the semi-finish milling of inclined surfaces. Journal of Materials Processing Technology, v. 209, p. 5448-5455, 2009.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

COMPARISON BETWEEN CONSTANT AND VARIABLE CUT SPEED IN THE SPHERICAL SURFACE MILLING PROCESS WITH TOROIDAL TOOL

Anderson de Aguiar, Anderson_aagr@yahoo.com.br¹
Roberto Giani Pattaro Junior, roberto.gjunior@sp.senai.br¹

¹Faculdade SENAI Roberto Mange, Rua Pastor Cícero Canuto de Lima 71 Campinas - SP

Abstract: Machining characterized by the milling process shows various geometrical shapes by applying different strategies, which uses a cutting tool called cutter. The milling machine is the equipment used for milling, where the operation is to use the cutter, which will have a rotational movement about its own axis, and combine simultaneous movements of the machine axes with the tool generating the progressive removal of material in order to obtain the desired geometry. Thus, we must use machining software's, because of the increase of the complexity of the products and consequently the tools also run on the same step with technological developments, particularly in the application of manufacturing molds and dies, where the tools most used in this process are the spherical end mills and also the top cutters with corner radius cutter known as toroidal cutters. The use of toroidal or spherical cutters consist on simultaneous movement of two or three axes, presents a variation of the tool contact diameter called effective cutting diameter. The cutting speed settings and feed rate in milling machines that are based on the diameter of the cutter and not the current cutting diameter, which makes the cutter work with different cutting speeds in a spherical surface machining, directly interfering on the tool life, roughness and machining times. Based on this issue, it has the general objective to highlight the possible benefits obtained using a parameterized CNC program, which will have the patch tool speed according to the effective diameter of contact and compare them with the conventional machining program where have constant tool speed. The purpose would be to machine specimens through two processes, analyzing tool life variations, surface finishing and machining time. Experimental tests illustrated that the tool wear was uniform at constant cutting speed condition that resulted in increased tool life and the roughness remained at acceptable levels for the process.

Keywords: parameterized; cutting speed; effective cutting diameter