

ESTRATÉGIAS DE FACEAMENTO NO FRESAMENTO: AVALIAÇÃO DA PLANEZA DO AÇO SAE 4340

Marlon Fernandes Gonçalves

Edleusom Saraiva da Silva

Francisco Augusto Vieira da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua José Antônio da Silva, 300 – Cajazeiras, Paraíba

marlonfndes@gmail.com

edleusom.silva@gmail.com

francisco.vieira@ifpb.edu.br

Resumo. No processo de usinagem é difícil obter uma peça com medidas exatas devido aos diversos fatores que influenciam no resultado. A integridade superficial de peças usinadas influencia diretamente sua estabilidade dimensional e, em consequência disto, a sua integridade/funcionalidade. Diante disto, é de suma importância controlar o estado superficial de peças após o processo de usinagem. O estado superficial compreende avaliar a rugosidade, como também, as tolerâncias dimensionais e de formas. Este trabalho focará as avaliações no estado de forma quanto à planeza. Sabe-se que a utilização de uma boa estratégia de faceamento pode proporcionar boa planeza para níveis baixos de desgastes das ferramentas de corte, tempo de corte e otimização de erros. Este trabalho consiste em analisar a qualidade de forma quanto a planeza e os tempos associados ao processo de corte do aço SAE 4340, após o procedimento de usinagem. Parâmetros foram fixados e, as estratégias de cortes e larguras de cortes foram controladas objetivando atingir níveis apertados de planeza. A estratégia em Zig Discordante com largura de corte de 50% do diâmetro da fresa não é recomendada. A estratégia em Zig Zag apresentou os melhores resultados.

Palavras chave: Fresamento. Estratégias de Faceamento. Planeza.

1. INTRODUÇÃO

Os centros de usinagem são máquinas versáteis que conseguem desempenhar diversas operações – mandrilhamento, fresamento, furação - em um único posto de trabalho Melo (2014). Conhecer as estratégias de operação deste centro de usinagem, bem como os parâmetros que norteiam a tecnologia de usinagem, poderá promover um processo fluídico na obtenção da qualidade desejada, obtendo assim, os níveis dimensionais e geométricos desejados no produto final dentro de um contexto rentável. Cientes da versatilidade da operação de fresamento e, por consequência, de sua grande utilização na indústria, esta pesquisa investigará a operação de faceamento que, segundo a Sandvik (2018), é o procedimento mais comum dentre vários possíveis.

Vale destacar que diversas pesquisas são realizadas tendo como objeto de estudo o procedimento de fresamento, mas grande parte destas investigações estão relacionadas ao campo da usinabilidade (Martins *et al.*, 2013), tensões residuais (Oliveira, *et al.*, 2017), otimização dos parâmetros (Abreu, 2010) e uso de fluídos lubri-refrigerantes (Teixeira e Gonçalves, 2015) e (Ribeiro, 2016). Logo, a pesquisa corrente é motivada pelo baixo volume de investigações na operação de fresamento, quando comparados aos demais campos da usinagem, que estudam a correlação de parâmetros de usinagem não usuais (sentido de corte, por exemplo) com os erros de forma (planeza).

Alguns estudos no campo de toleranciamento foram realizados por Polli *et al.* (2007) que pesquisaram a influência dos parâmetros de corte sobre os erros dimensionais – não de forma - no fresamento de material polimérico. Já Costa, *et al.* (2007) investigaram o erro de forma quanto a cilindridade em um trabalho em que investigava a influência de diferentes usos de lubri-refrigerantes quando realizado a operação tanto para furos cegos como para furos passantes. Melo (2016) buscou otimizar os erros micro e macro geométricos em peças torneadas, mas limitou os estudos no conceito de cilindridade e circularidade. Tem-se também uma pesquisa desenvolvida por Menezes (2014) o qual foi verificado que a estratégia de corte concomitantemente ao desgaste da ferramenta acarreta o aumento da planeza em fresamentos de aços endurecidos.

A utilização de uma boa estratégia de faceamento poderá proporcionar boa planeza para determinados níveis de condições de corte, contornando então, eventuais erros na usinagem de metais. Nesse sentido, este trabalho consiste na verificação da qualidade de forma quanto à planeza do aço SAE 4340 - que é um aço-liga com boa temperabilidade, alta tenacidade, boa forjabilidade e alta resistência mecânica, porém, baixa usinabilidade - e averiguação dos erros dimensionais associados, após o processo de usinagem.

Portanto, este trabalho buscará respostas para os seguintes questionamentos: (i) A largura de corte e a estratégia de faceamento podem influenciar a qualidade de forma quanto à planeza de um aço de difícil usinabilidade? (ii) Se sim, a

diferença obtida entre esses parâmetros é suficientemente grande para não ser desprezadas? (iii) Se sim, quais indicações de estratégia e de largura de corte diametral são melhores recomendadas para o procedimento de remoção de material?

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

Para a realização deste trabalho, foi usinado o aço SAE 4340 nas exigências normais do material, isto é, conforme adquiridas comercialmente em um centro de usinagem ROMI D-600, com controlador Fanuc Mc-0i. Três amostras de secção circular foram confeccionadas e submetidas ao processo de faceamento no fresamento. Cada amostra, ou disco, apresentava inicialmente dimensões de 76,2 mm de diâmetro e 18 mm de altura.

Os parâmetros de cortes estabelecidos para a realização das usinagens foram fixados nos valores de 0,625 mm para profundidade de corte, 100 m/min para velocidade de corte e 52,8 mm/min para velocidade de avanço. Estes parâmetros foram obtidos a partir das médias das condições de corte indicadas por Mendonça (2016). Ressalta-se ainda que a usinagem foi executada com uma fresa alisadora de 50 mm de diâmetro com seis canais, utilizando pastilhas de Metal Duro revestidas, modelo APMTO90308 PDSR – MM PC 3500. Ainda é necessário destacar que o material foi usinado em temperatura ambiente com condição de lubri-refrigeração à jorro.

As estratégias de faceamento investigadas foram a Zig Concordante (ZC), Zig Zag (ZZ) e Zig Discordante (ZD), e, também, dois níveis de largura de corte foram escolhidos, 50% do diâmetro da ferramenta e 75% do diâmetro da ferramenta. A Tabela 1 sumariza o procedimento experimental totalizado em seis operações de corte.

Tabela 1. Planejamento do experimento.

Amostra	Estratégia	Face 1	Face 2
Disco A	Zig Concordante	50% do diâmetro	75% do diâmetro
Disco B	Zig Discordante		
Disco C	Zig Zag		

As medições de planeza foram realizadas por meio de uma Máquina de Medir por Coordenadas (MMC), modelo TESA micro-hite 3D, utilizando um sensor do tipo apalpador com ponta de Rubi e diâmetro de 4 mm. A medição foi realizada a partir do apalpamento de quatro pontos contidos em cada face do disco a ser faceado. Cinco medidas foram realizadas para obtenção do valor final do mensurando.

2.3. Resultados

As planezas foram analisadas nas amostras usinadas. Os valores obtidos de acordo com a estratégia de faceamento utilizada e a porcentagem do diâmetro da ferramenta, podem ser observados na Tab. 2.

Tabela 2. Erros de planezas das amostras.

ESTRATÉGIAS	Erros p/ 50% D [mm]	Erros p/ 75% D [mm]
Zig Zag	0,005	0,003
Zig concordante	0,001	0,002
Zig discordante	0,003	0,001

A Figura 1 apresenta os resultados de planezas em função das estratégias de faceamento levando em consideração, a porcentagem do diâmetro da ferramenta de corte. Com base nos dados obtidos, é possível observar que os menores erros de planeza foram para as estratégias Zig concordante utilizando 50% do diâmetro da ferramenta e Zig discordante para o uso 75% do diâmetro da ferramenta. Por outro lado, os maiores erros de planezas estão associados às estratégias Zig Zag com utilização de 50% e 75% do diâmetro da ferramenta e Zig discordante para o uso de 50% da ferramenta. Ainda pode ser observado que quando há o aumento da largura de corte de 50% para 75% do diâmetro da fresa, para as estratégias Zig Zag e Zig discordante, os erros de planezas diminuem consideravelmente.

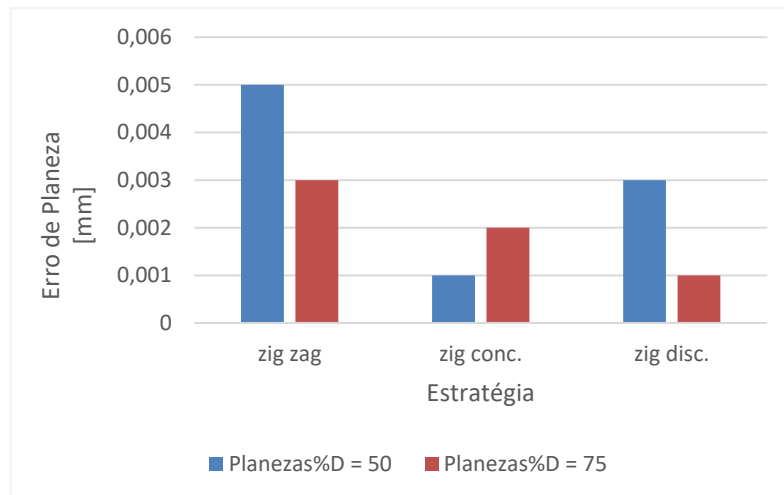


Figura 1. Medição das planezas em relação às estratégias.

Na Tabela 3, pode ser visualizado os tempos de operação (passivos e ativos) para o processo de fresamento para as estratégias estudadas, assim como, organizadas, também, pelas porcentagens de largura de corte utilizados no processo estudado.

Tabela 3. Tempos de corte ativos e passivos.

Estratégias	Ativo		Passivo	
	Tc p/ 50% Ø [min]	Tc p/ 75% Ø [min]	Tc p/ 50% Ø [min]	Tc p/ 75% Ø [min]
Zig zag	5,76	4,32	3.tp*	2.tp
Zig concordante	5,76	4,32	16.tp	12.tp
Zig discordante	5,76	4,32	16.tp	12.tp

*Entende-se 'tp' como o tempo passivo a ser cronometrado em ensaios posteriores para o avanço rápido - G00.

Observando os tempos passivos, pode-se verificar que a estratégia que possui melhor aproveitamento de tempo é a ZZ utilizando 75% do diâmetro da ferramenta. Com relação à planeza, a metodologia ZC à 50% e ZD à 75% conferiram à peça os mesmos resultados de 0,001 mm, todavia, levando em consideração o tempo total de usinagem vê-se que a metodologia ZD à 75% confere um menor tempo.

Analisando a Figura 2, que apresenta os resultados de tempos de corte ativos e passivos, é possível observar que os valores de tempos de cortes ativos para as estratégias ZZ, ZC e ZD são os mesmos para o uso da porcentagem do diâmetro da ferramenta (75%), tempo esse de 4,32 min. Comportamento semelhante ocorreu para as metodologias para o uso de 50% do diâmetro na largura de corte sendo de 5,76 min; torna-se óbvio os resultados obtidos, visto que os parâmetros de cortes utilizados para todas as estratégias foram os mesmos, alterando apenas, o quantitativo de passes associados ao processo de corte. Assim, cabe a diferenciação pela análise das demais características envolvidas no processo, tais como o tempo total de usinagem, que é a soma dos tempos ativos e passivos, e então, contrabalancear a escolha da estratégia que apresenta a boa planeza com a estratégia que apresentará melhor tempo total de usinagem.

Logo, se o objetivo for usinar com maior rapidez, a melhor metodologia a se utilizar é a Zig Zag à 75% do diâmetro da ferramenta, entretanto, se o objetivo for obter uma melhor qualidade de forma, não sendo tão relevante o tempo de usinagem, a metodologia a ser adotada será a Zig Discordante à 75% do diâmetro da ferramenta. Todavia, se o objetivo é obter uma combinação entre o tempo de usinagem e a qualidade de forma há de se recomendar a utilização da metodologia Zig Zag à 75% do diâmetro da ferramenta como largura de corte. Não sendo recomendada, então, a utilização da metodologia Zig Discordante 50%D, pois esta reúne os parâmetros mais indesejados segundo às análises.

A Tabela (4) apresenta o resultado das medições de comprimento das amostras, realizadas na MMC, onde, na coluna média, pode-se visualizar o resultado médio das cinco características adquiridas no processo de apalramento da superfície:

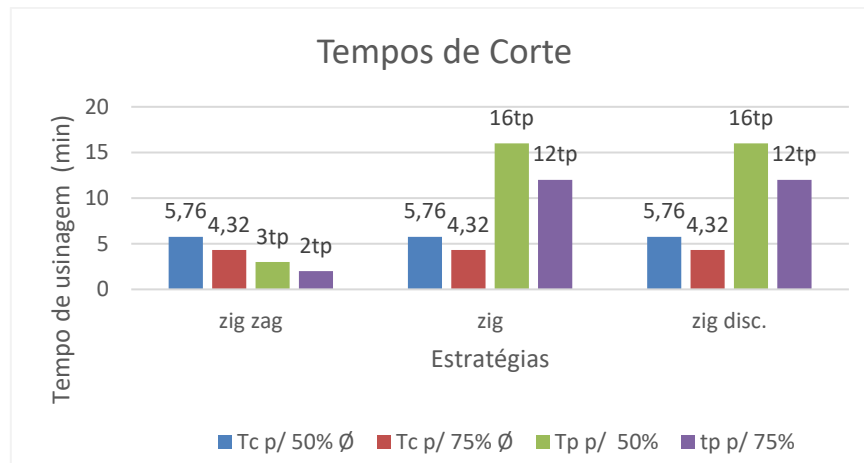


Figura 2. Valores de tempos de cortes passivos e ativos.

Tabela 4. Resultado das medições das amostras realizado na MMC.

Estratégias	MED. 1 [mm]	MED. 2 [mm]	MED. 3 [mm]	MED. 4 [mm]	MED. 5 [mm]	MÉDIA [mm]
ZZ %D = 50	14,985	15,056	15,092	15,039	15,038	15,042
ZZ %D = 75	14,967	15,053	15,106	15,031	15,03	15,0374
ZC %D = 50	18,269	18,295	18,369	18,356	18,316	18,321
ZC %D = 75	18,302	18,391	18,358	18,28	18,328	18,3318
ZD %D = 50	14,998	14,989	15,411	15,518	15,208	15,2248
ZD %D = 75	15,095	14,861	15,026	15,304	15,057	15,0686

A Tabela 5 apresenta o procedimento de usinagem adotado, assim como o comprimento das peças antes da usinagem, medição realizada com um paquímetro analógico Mitutoyo com resolução de 0,05 mm. Observam-se, ainda, os resultados dos comprimentos obtidos através da MMC e o erro dimensional para cada uma das três peças. Este erro foi obtido pela diferença do valor medido pelo paquímetro antes da usinagem e da média das médias da altura de cada amostra associada à respectiva estratégia, medidas na MMC. Destaca-se que foi ainda acrescido à média final, o valor da profundidade de corte (a_p) multiplicado por um fator correspondente ao número de passos de profundidade necessários para a realização do faceamento.

Tabela 5. Erro dimensional das peças devido ao processo de Usinagem.

Estratégias	Medição com paquímetro (mm)	Passes de profundidade	Média das médias da MMC p/ cada peça, acrescida do a_p (mm)	Erro dimensional (mm)
1 (Zig zag)	17,00	2	15,04	0,71
2 (Zig concordante)	19,85	2	18,33	0,27
3 (Zig discordante)	17,60	3	15,15	0,225

Um modelo para o caso supracitado é expresso pela Eq. 1:

$$E = V_{mp} - (MM + X \cdot a_p) \quad (1)$$

Onde, o valor 'E' corresponde ao erro dimensional, em [mm]; o valor ' V_{mp} ' é o valor medido no paquímetro antes da usinagem, em [mm]; o valor 'MM' é a média final dos valores das alturas obtidas através da MMC relacionada a cada estratégia de corte, em [mm]; 'X' corresponde ao fator multiplicador do número de passes; e, ' a_p ' é a profundidade de corte, em [mm].

A discrepância do erro dimensional pode ser causada pelo desgaste das pastilhas, erro de leitura associado ao processo de compensação do comprimento, erro de deslocamento do eixo vertical, erro na leitura do paquímetro. Percebe-se que o maior erro associado ao processo é de 0,71 mm na usinagem que foi executada a estratégia Zig Zag. Acredita-se que algum fator não catalogado ou algum erro associado ao operador, permitiu com que existisse tal divergência dos valores encontrados nos erros das demais estratégias.

2.5. Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho permitiu concluir que: (I) os melhores resultados para a combinação de planeza e tempo de usinagem, levando em consideração os parâmetros tempo de corte ativo, tempo passivo, planeza e tempo total de usinagem, são conferidos para a estratégia de faceamento em Zig Zag utilizando 75% do diâmetro da ferramenta; (II) A metodologia menos conveniente a se empregar no processo é a Zig Discordante quando utilizado 50% do diâmetro da ferramenta; (III) A diferença na faixa de tolerância e o tempo de corte entre a estratégia Zig Concordante e Zig Discordante é de mínima, portanto, a diferença dessas duas estratégias com relação ao tempo de corte pode ser desprezada, mas de um modo geral, a estratégia Zig concordante apresentou menores erros de planeza.

3. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFPB Campus Cajazeiras pelo apoio estrutural e aporte financeiro à pesquisa.

4. REFERÊNCIAS

- Abreu, P. J., 2010, “Análise e otimização dos processos de fresamento a altas velocidades no contexto de ferramentaria”, Tese de Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica apresentada no Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo, Brasil.
- Costa, E. S., da Silva, R. B. e Machado, A. R., 2007. “Comparação do erro de cilindridade e rugosidade na usinagem de furos cegos e passantes em função de diferentes sistemas lubri-refrigerantes”, In. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. São Paulo, Brasil.
- Oliveira, G. de P., Fonseca, M. C., Araujo, A.C., 2017. “Analysis of residual stress and cutting force in end milling of Inconel 718 using conventional flood cooling and minimum quantity lubrication”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92: 3265. <<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0381-3>>.
- Martins, P. S., Xavier, R. V. A., Carneiro, J. R. G., Ávila, R. F., Dutra, L., Mara, L. e Maia, L. H. A., 2013. “Avaliação da usinabilidade no desgaste do virabrequim de ferro nodular obtido por fundição em areia e por investimento”, In Anais do 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Rio de Janeiro, Brasil.
- Melo, J. F. N., 2014. “Monitoramento da Evolução do Desgaste de Uma Ferramenta de Corte Através de Vibrações”, Monografia de graduação em Engenharia Mecânica apresentada na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, Brasil.
- Melo, S. A., 2016, “Minimização dos erros micro e macro geométricos em peças torneadas usando a metodologia de superfície de resposta”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica apresentada na Universidade Federal de São João del Rei. Minas Gerais, Brasil.
- Mendonça, L. B., 2016. “Influência dos Parâmetros de Corte nas Tensões Residuais Geradas no Fresamento do Aço SAE 4340”, Monografia de graduação em Engenharia Mecânica apresentada no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, Brasil.
- Menezes, L. J., 2014, “Estudo das condições dimensionais e forças geradas no fresamento de aço endurecido”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica apresentada na Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Brasil.
- Polli, M. L., Volpato, N., de Amorin, J. R. e Franzini, N. P. C., 2007. “Influência dos parâmetros de corte sobre os erros dimensionais no fresamento de material polimérico para moldes-protótipo”, In. Anais do 4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Rio de Janeiro, Brasil.
- Ribeiro, A. De. S., 2016. “Aplicação de Mínima Quantidade de Lubrificante no Fresamento do Aço SAE 8640”, Monografia, Faculdade do Gama, Brasília, Distrito Federal.
- SANDVIK, 2018. “Faceamento”. <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/pages/face-milling.aspx>>.
- Teixeira, E. L. e Gonçalves, J. F. S., 2015. “Analysis of the influence of the lubrication and cooling conditions in the machining of steel sae 1045”, In. proceedings in 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering. Rio de Janeiro, Brazil.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

FACE MILLING METHODS: EVALUATION OF THE FLATNESS IN SAE 4340 STEEL

Marlon Fernandes Gonçalves

Edleusom Saraiva da Silva

Francisco Augusto Vieira da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua José Antônio da Silva, 300 – Cajazeiras, Paraíba

marlonfnandes@gmail.com

edleusom.silva@gmail.com

francisco.vieira@ifpb.edu

Abstract: *In the process of machining, it is difficult to obtain a piece with exact measurements due to the various factors that influence the result. The surface integrity of machined parts directly affects its dimensional stability and, consequently, its integrity/functionality. Given this, it is vital to control the surface condition of elements after the machining process. The surface state comprises assessing roughness, as well as dimensional and form tolerances. This paper will focus on assessments in the form error concerning flatness. It is known that the use of a good face milling method can provide good flatness for low levels of cutting tool wear, cutting time and error optimization. This work consists in analyzing the quality of the shape and the times associated with the SAE 4340 steel cutting process after the machining procedure. Parameters were set and cut strategies and cut widths were controlled to achieve tight levels of flatness error. The strategy in Discordant Zig with cutter width of 50% of milling cutter diameter is not recommended. The Zig Zag strategy presented the best results.*

Keywords Milling. Face Milling Methods. Flatness.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.