

## INFLUÊNCIA DA HARMÔNICA DA FREQUÊNCIA NATURAL SOBRE AS CARACTERÍSTICAS MACRO E MICRO GEOMÉTRICAS DE UMA PEÇA FRESADA COM PAREDES FINAS

Miguel Dias Júnior, miguel.dias.jr@gmail.com<sup>1</sup>

Caroline Moretto, carolinecnpq@yahoo.com.br<sup>1</sup>

Silvio Romeu Sell, silvio.sell@ig.com.br<sup>1</sup>

Adriano Fagali de Souza, adriano.fagali@ufsc.br<sup>1</sup>

Thiago Antônio Fiorentin, thiago.antonio@ufsc.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – Campus Joinville, Rua Presidente Prudente de Moraes, 406, Joinville – SC - CEP 89218-000.

**Resumo:** A qualidade superficial de usinagem e os erros geométricos são fenômenos de difícil controle em fresamento de paredes finas, mesmo no caso de um processo com corte estável, vibrações podem ocorrer como o resultado da combinação entre a ferramenta, a fixação da peça e as frequências naturais das partes usinadas. A baixa rigidez das paredes finas e também uma ineficiente fixação causam problemas dinâmicos devido às vibrações forçadas induzidas pelo processo. Este artigo estudou a influência das harmônicas das frequências naturais de aletas de 1 mm e 2 mm. Analisando-se o cavaco gerado pelo processo de usinagem, foi possível observar que nas aletas usinadas com o valor da harmônica da frequência natural de cada aleta, a amplitude vibracional aumentou. Além disso, observou-se também a influência da fixação do corpo de prova e a deflexão da peça e da ferramenta que ocorreram durante o processo de usinagem, uma vez que do lado do mordente móvel da morsa hidráulica utilizada, por ter maior área e massa, aumentou a rigidez e absorveu melhor a energia vibratória, melhorando a rugosidade da peça e diminuindo os erros macro geométricos.

**Palavras-chave:** fresamento, fixação, paredes finas, frequência natural, harmônicas

### 1. INTRODUÇÃO

No processo de usinagem de paredes finas, há muitas variáveis que interferem na qualidade dimensional e superficial, uma vez que a baixa rigidez leva ao aumento das amplitudes vibracionais devido aos baixos valores de frequência natural do conjunto fixação, peça e ferramenta. Qiong Wu et al (2015) citam que usinar em acabamento uma peça com paredes finas é uma tarefa complicada devido à baixa rigidez das paredes, a deformação e aos desvios superficiais que podem surgir ao longo do processo.

No processo de fresamento, devido à característica periódica do passe dos dentes da fresa, a vibração ocorre de forma forçada (Moradi et al, 2013), uma vez que a presença de vibração na usinagem é algo totalmente indesejável, já que a mesma influencia na qualidade dimensional e superficial da peça fabricada e contribui para o desgaste ou falhas da ferramenta cortante.

Ostasevicius et al (2013) abordam a hipótese de que ferramentas com diferentes comprimentos com ou sem excitação se comportam de maneiras diferentes dependendo do material a ser fresado na condição de corte a seco. De um modo geral, é necessário que a fixação da ferramenta seja a mais curta possível, para aumentar a rigidez e a frequência natural do conjunto de fixação com o porta-ferramentas, a fim de dificultar a ocorrência de ressonância no processo de corte.

De acordo com Huang et al (2012) no estudo usinando o material Ti-6Al-4V constatou que a presença da vibração na usinagem aumentou drasticamente a força de corte, no qual foi mensurado um aumento de até 66,8 % da força de corte, o que levou também ao aumento da rugosidade em até 40,5 % em comparação ao corte estável.

Para evitar maiores amplitudes vibracionais durante o processo de usinagem, é necessário que os parâmetros de corte estejam adequados às condições impostas ao processo. Zhang et al (2014) através de um Processo de Regressão Gaussiana (GPR) propôs um modelo para prever a rugosidade em diferentes condições de corte, em que através de um mapa 3D da superfície usinada foi possível observar com uma precisão de cerca de 84,3% que entre os parâmetros de profundidade de corte, velocidade de rotação do eixo árvore e taxa de avanço, o parâmetro mais influente na rugosidade foi a profundidade de corte. Também foi analisado que o espectro de frequência, de acordo com o mapa 3D da rugosidade, demonstrou que a vibração da ferramenta é uma importante fonte de defeito superficial.

Segundo Huang et al (2012), a vibração é totalmente influenciada pelo módulo de elasticidade da peça usinada, pois quanto mais baixo o módulo de elasticidade do material maior será a tendência à vibração, já que a elasticidade do material funciona como uma mola afastando a ferramenta do contato com a superfície da peça, gerando fricção das arestas cortantes e levando ainda mais ao aumento da temperatura de corte, ocasionando drásticas vibrações no processo

de cisalhamento do material (Huang et al, 2012). De acordo com essa afirmação, é possível observar que a adequação dos parâmetros de corte ao material e ao processo é de suma importância, principalmente na usinagem de paredes finas, uma vez que as baixas frequências naturais elevam as chances de ocorrerem ressonâncias e prejudicar a rugosidade, a qualidade dimensional ou mesmo ocasionar perda por falha mecânica da ferramenta de corte.

De acordo com Chen et al (2012) o efeito da taxa de avanço e profundidade axial de corte  $ap$  reforçam a condição de instabilidade no processo de usinagem, gerando vibrações e levando ao detrimento da qualidade superficial usinada, no qual uma das soluções propostas no estudo é o aumento da velocidade de rotação do eixo árvore da máquina, que geram um aumento na estabilidade com supressão das amplitudes de vibrações da rotação, pois segundo o autor a amplitude dos sinais de vibração ao longo da direção do avanço de corte é geralmente maior que ao longo de outras direções.

Conforme Kolluru et al (2013) em fresamento de paredes finas a vibração ocorre tanto na peça quanto na ferramenta, tendo os valores da profundidade radial  $ae$  grande influência, já que com um  $ae$  pequeno a frequência natural da peça é a dominante e com um valor de  $ae$  grande a frequência natural dominante prevalece sendo a da ferramenta, desta maneira, o autor em seu trabalho propõe um amortecimento das frequências adicionando massas à peça para melhorar a rigidez da estrutura.

Souza et al (2014) também observaram que a interação entre a ferramenta e a peça sob as condições de instabilidade geram cavacos tipo agulha, típicos de vibração na usinagem, já que o cavaco em condições mais estáveis tem sua morfologia espiralada e cônica, formada pelo processo cíclico do passo da aresta de corte em uma rotação da ferramenta, estes cavacos tipo agulha demonstram uma interrupção na geração do cavaco, o quebrando em diversas partes durante um ciclo cortante da ferramenta.

Porém, Kumabe, 1978 apud Ostasevicius 2013 contradiz o aumento da força de corte sob a presença de vibração, já que afirma que a ferramenta ao perder o contato periódico com o cavaco, leva a atenuação das componentes das forças de corte, reduzindo o atrito e a temperatura na zona de corte, com uma formação de cavaco com menor espessura, levando simultaneamente a prevenção da geração de micro trincas na aresta cortante da ferramenta e na superfície da peça. Ostasevicius et al (2013) também desenvolveram um protótipo de excitação em um conjunto de montagem de uma ferramenta e concluíram que independente do comprimento da fresa, a excitação da ferramenta traz benefícios no acabamento da peça fresada a seco.

Shamoto et al (2015) afirmam que quando a ferramenta ou a estrutura da peça são compatíveis dinamicamente em duas direções com a mesma frequência e a imersão radial da fresa (topo 90°) é grande, aumenta-se a vibração em duas direções, tornando-se uma vibração conjunta com trepidação regenerativa. Desta forma os autores desenvolveram um suporte que recebeu uma pré-carga maior que a força de corte em ação sobre a direção do suporte, aumentando consideravelmente a resistência na direção de avanço da ferramenta para suprimir a vibração em usinagem de ranhuras profundas com fresas de haste longas.

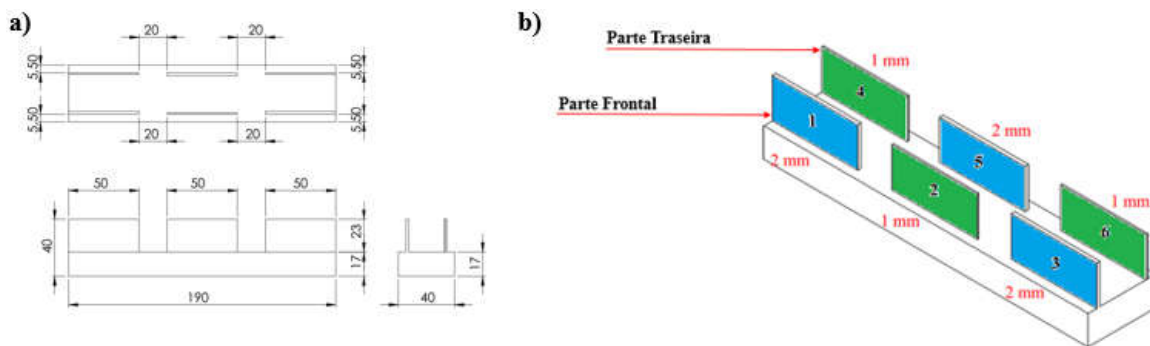
Bolsunovskiy et al (2013) propuseram a eliminação da ressonância da usinagem de paredes delgadas com a configuração da rotação do eixo árvore, de forma a trabalhar com uma frequência diferente da frequência natural da peça em relação à frequência do impacto das arestas cortantes da ferramenta. Para isso foi utilizado o método de elementos finitos modelados por software, com a finalidade de estimar os vários modos de vibrar da peça montada em uma mesa da máquina fresadora. Para validar seu experimento, foi realizado um ensaio de vibração utilizando um martelo de impacto, as frequências encontradas foram mensuradas por um acelerômetro em miniatura ( $m \leq 0,4$  g) e ficaram bem próximas das obtidas pelo método computacional de elementos finitos. Portanto, os autores propuseram, para eliminar a ressonância encontrada, a alteração na forma da frequência de vibração do eixo árvore, que resultou na modificação correspondente a excitação do espectro da força.

Embora obtidas grandes contribuições nos trabalhos supracitados na pesquisa da usinagem sujeita a vibrações como observado nos diversos trabalhos já publicados, ainda existem questões ambíguas em relação a influência da vibração na usinagem, sendo necessário melhores definições, principalmente na usinagem de peças com paredes finas.

Com base nestes trabalhos, propõem-se determinar o efeito da vibração sobre a superfície usinada de paredes finas (aletas) e a influência da massa da fixação em relação as posições das estruturas a serem usinadas. Foi realizada a usinagem das aletas com espessuras de 1 mm e 2 mm variando-se a rotação do eixo árvore abaixo, igual e acima da décima harmônica da frequência natural da peça. Este estudo irá corroborar para uma melhor compreensão da usinagem quando submetida aos fenômenos inerentes a vibração e seus principais efeitos sobre os erros macro e micro geométricos.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A geometria da peça, Fig. (1a), foi escolhida por representar o fresamento de aletas finas e a variação das posições das aletas em três disposições longitudinais, bordas e centro e duas posições transversais, frontal e traseira, tendo o intuito de observar as possíveis alterações com relação a sua posição sobre a base da peça e influência da rigidez da fixação, onde o mordente móvel da morsa hidráulica modelo MH11 B1181000 com capacidade máxima de pressão de 4 toneladas têm maior estabilidade na fixação, devido a maior massa do mordente móvel da morsa com medidas de 212 x 125 x 107 mm. O material da peça a ser usinada é de aço AISI P20 com 32 HRc.

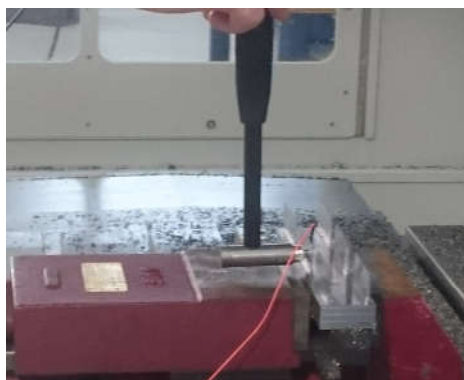


**Figura 1. a) Dimensões da peça; b) Posições consideradas das aletas**

Foram definidas duas espessuras de paredes para as aletas da peça, com as espessuras de 1 mm e 2 mm, ambas com 23 mm de altura. A ordem de consideração para os estudos e a posição das referidas aletas podem ser observadas conforme Fig. (1b), ficando na parte frontal as aletas 1, 2 e 3 e na parte traseira 4, 5 e 6.

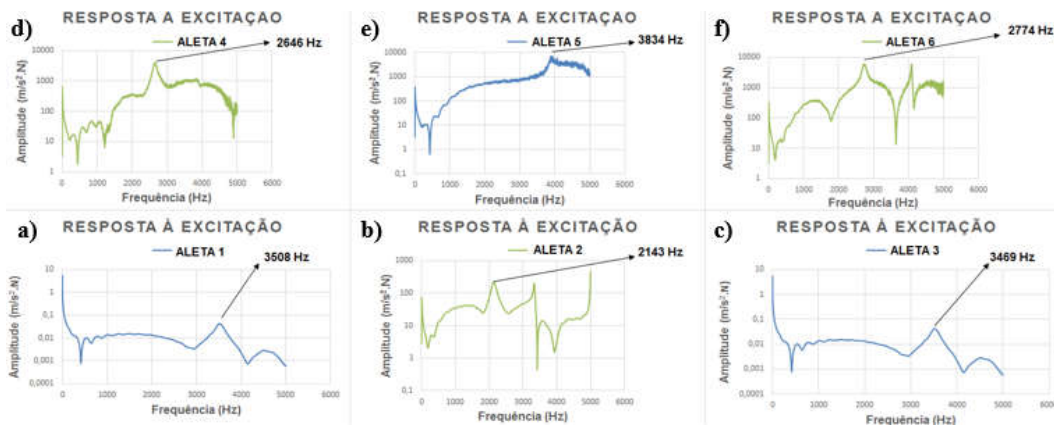
A peça foi desbastada e deixado um sobremetal de 0,5 mm de espessura nas paredes das seis aletas, ficando com 1,5 e 2,5 mm.

Para a coleta da frequência natural de cada aleta, foi utilizado um acelerômetro de 0,6 g, juntamente com um martelo de impacto National Instruments, modelo 086C03, conforme Fig. (2).



**Figura 2. Coleta da frequência natural das aletas com o auxílio de um acelerômetro e martelo de impacto.**

As frequências naturais de excitação de cada uma das aletas de 1mm e 2mm que foram coletadas com o auxílio do acelerômetro para captura do sinal e excitação da estrutura com o martelo de impacto foram discriminadas e podem ser observadas na Fig. (3).



**Figura 3. Gráfico de frequência natural das aletas: a) Aleta 1; b) Aleta 2; c) Aleta 3; d) Aleta 4; e) Aleta 5; f) Aleta 6.**

A ferramenta utilizada foi uma fresa de metal duro recoberto com TiAlN pelo processo de PVD, com diâmetro de 6,15 mm, 4 arestas de corte, ângulo de hélice de 30° e comprimento útil de corte com 35 mm (comprimento de balanço utilizado no experimento de 40 mm).

O experimento foi realizado em um centro de usinagem CNC Romi modelo D600 e devido à limitação de máxima rotação da máquina de 7500, foi necessário trabalhar com a décima harmônica (quinta oitava) abaixo das frequências naturais encontradas. Desta forma, utilizando a Eq. (1), chegou-se aos valores da frequência da atuação de entrada das arestas da ferramenta no material, Tab. (1).

$$f = \frac{n \cdot Z}{60} \quad (1)$$

Onde:

$f$  é a frequência de atuação de entrada das arestas da ferramenta no material.

$n$  é a rotação do eixo árvore da máquina (RPM);

$z$  é o número de arestas cortantes da ferramenta.

**Tabela 1. Harmônicas da frequência natural: igual; 1,3 maior; 1,3 menor.**

| Aletas frontais | Freq. Natural | $f$ [RPM] | Aletas traseiras | Freq. Natural | $f$ [RPM] |
|-----------------|---------------|-----------|------------------|---------------|-----------|
| Aleta 1         | < 1,3         | 4048      | Aleta 4          | > 1,3         | 5160      |
| Aleta 2         | =             | 3215      | Aleta 5          | < 1,3         | 4482      |
| Aleta 3         | > 1,3         | 6765      | Aleta 6          | =             | 4116      |

A usinagem foi realizada em corte radial concordante e apenas na parte externa das aletas. A velocidade de avanço por aresta cortante  $f_z$  foi de 0,05 mm para todas as rotações, a profundidade axial,  $ap$  foi de 23 mm (altura total da aleta) e a profundidade radial,  $ae$  foi de 0,5 mm.

Para a aquisição do erro de forma das aletas, foi utilizada uma máquina de medir por coordenadas Mitutoyo, modelo Beyon D – A 916. O intuito nesse processo é coletar a deflexão de cada aleta sob o âmbito da perspectiva de influência dos três tipos de configuração de frequências em Hz trabalhados na usinagem de cada aleta da peça.

Para a verificação da rugosidade foi utilizado uma máquina de rugosidade Taylor Hobson modelo Form Talysurf Série 2. A coleta da rugosidade foi realizada no sentido longitudinal (sentido do avanço), foram realizadas três aquisições na mesma região mensurada. Os dados coletados de rugosidade da peça foram na grandeza  $R_a$ .

Após a usinagem de cada aleta da peça, foi coletado o cavaco removido para verificar a condição de instabilidade geradas por diferentes amplitudes vibracionais no contato entre a ferramenta e a peça, com o intuito de observar as diferenças morfológicas de cada um. Para que fosse realizada essa observação, foi utilizado um estereoscópio Mitutoyo modelo SM 202.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme pode-se observar na Fig. (3), as frequências naturais coletadas para as aletas frontais em comparação com as de mesma espessura das aletas traseiras, apresentaram uma frequência natural maior. Supõem-se que este fato seja atribuído a maior área e massa do lado do mordente fixo da morsa hidráulica utilizada, uma vez que as coletas das frequências naturais foram realizadas com a peça fixada na morsa, conforme Fig. (2b).

Foram analisados os erros macro e micro geométricos das aletas de 1 mm e 2 mm, Fig. (4), verificou-se que as aletas de 2 mm (posições 1, 3 e 5, conforme Fig. (1b)) tiveram uma média de diferença de espessura de aproximadamente 0,32 mm no topo em relação a base das aletas, já as aletas de 1 mm (posições 2, 4 e 6, conforme Fig. (1b)) tiveram uma média de diferença de 0,19 mm aproximadamente.

Este fato pode ser explicado devido à menor rigidez das aletas de 1 mm, pois o corte radial concordante da fresa tende a empurrar a aleta em direção contrária à ferramenta, o que ocasiona um  $ae$  efetivo menor do que a profundidade radial ajustada em 0,5 mm. Já as aletas de 2 mm por terem o dobro da rigidez oferecida pelas aletas de 1 mm (confirmado também pelo erro de espessura das aletas de 2 mm ser quase duas vezes maior que o erro de espessura das aletas de 1 mm), não sofreram tanto a influência desse fenômeno inerente ao corte em direção concordante.

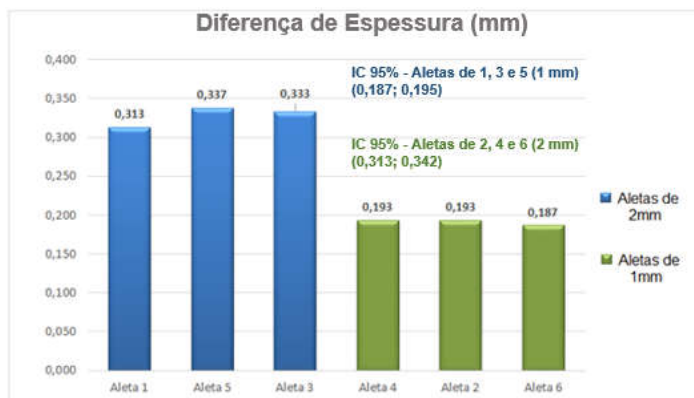


Figura 4. Diferença de espessura das aletas com intervalo de confiança de 95%.

A Figura (5) demonstra um esquema de deflexão em relação a base e o topo, no qual nas aletas de espessura de 2 mm observa-se que a maior deflexão ocorre na fresa, deixando o topo da aleta com uma espessura mais próxima da medida nominal de 2 mm e a base com uma diferença de aproximadamente 2,3 mm, por ser mais rígida devido a proximidade da base. Já a aleta de 1 mm apresenta uma deflexão maior que a imposta sobre a fresa, ocasionando dessa forma um distanciamento maior entre o contato ferramenta/peça deixado o *ae* efetivo mais distante da profundidade radial ajustado de 0,5 mm.

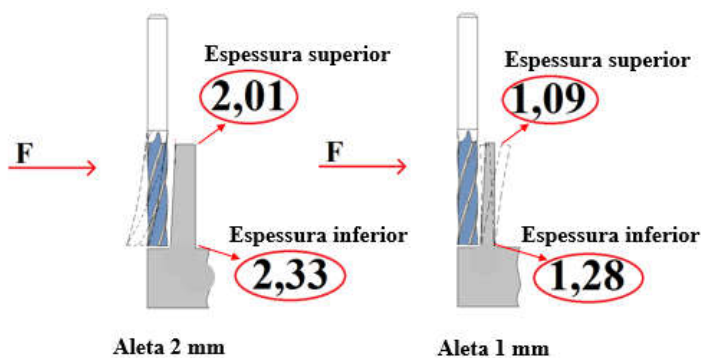


Figura 5. Esquema de deflexão ferramenta/peça.

Neste caso, não houve influência da alternância das frequências e também não houve influência do posicionamento das aletas na peça e tão pouco da posição de fixação em relação ao mordente da morsa.

Foi observado que a alternância das frequências não teve influência direta com a perpendicularidade das aletas, Fig. (6).

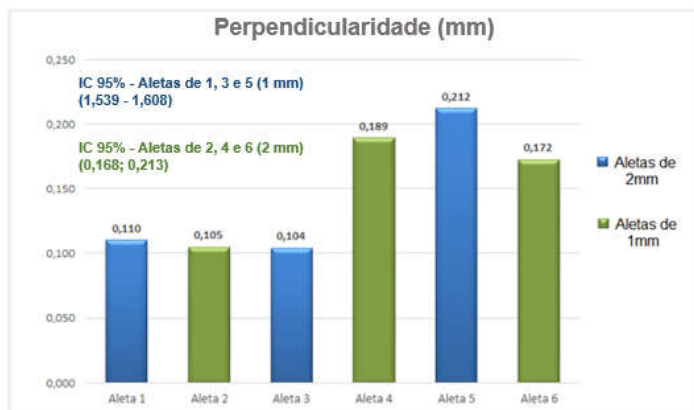


Figura 6. Perpendicularidade das aletas com intervalo de confiança de 95%.

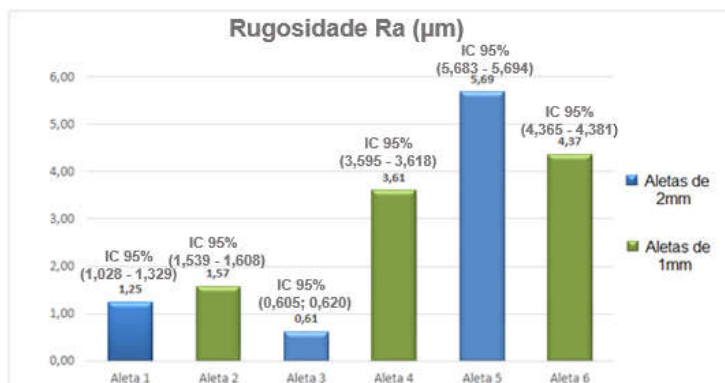


Os resultados de perpendicularidade das aletas 1, 2 e 3 foram melhores que os das aletas 4, 5 e 6 (Fig. (1b)), levando-se a crer que esse comportamento deve-se ao fato de que as aletas frontais (1,2 e 3) tiveram maior estabilidade na fixação, devido a maior rigidez fornecida pela fixação frontal da morsa, conforme Fig. (7).



**Figura 7. Dimensões da morsa e da fixação da peça.**

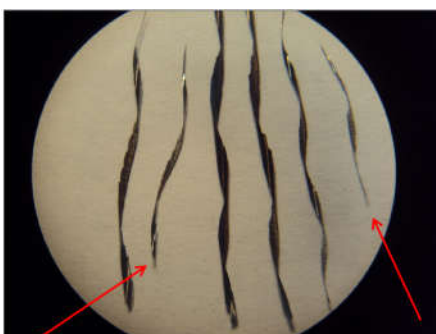
Em relação a rugosidade, Fig. (8), embora seja observado o mesmo comportamento às aletas frontais comparada às aletas traseiras, foi observado que a aleta frontal 2 (Fig. (1b)) teve uma pior rugosidade em comparação com as aletas frontais 1 e 3.



**Figura 8. Rugosidade das aletas com intervalo de confiança de 95%.**

Este fato pode ser compreendido devido a aleta 2 ter apresentado a menor frequência natural das seis aletas, facilitando uma maior vibração e possível início de ressonância da mesma, uma vez que a aleta 2 trabalhou com uma frequência dentro da décima harmônica, apresentando a maior rugosidade em relação as aletas frontais.

Adicionalmente foi analisada a morfologia do cavaco para identificar a condição de usinagem de cada caso estudado, Fig. (9), foi observado que os cavacos das aletas de posição 2 e 6 (conforme ordem da Fig. (1b)) apresentaram-se com uma largura visivelmente menor que os outros cavacos coletados, em uma condição de corte estável estes cavacos deveriam apresentar-se de forma bem semelhante, já que a profundidade radial  $ae$  e avanço de corte por aresta  $fz$  utilizados foram os mesmos nas seis aletas.



**Figura 9. Lamela de cavaco aumentado 40 vezes na ordem de 1 a 6 da esquerda para a direita, com destaque para a lamela 2 e 6 (referente Fig. (1b)).**

Esta alteração pode ser explicada pela presença de ressonância, já que nas posições 2 e 6 foram utilizadas as harmônicas da frequência natural dessas aletas (conforme Tab. (2)), essa maior instabilidade interfere no ciclo completo de cisalhamento do cavaco, dividindo o mesmo em diversos pedaços durante um passo da aresta de corte em uma rotação da ferramenta, gerando assim cavacos mais finos, corroborando assim com a condição de instabilidade no corte, também presenciada por Souza et al (2013).

#### 4. CONCLUSÃO

De acordo com o experimento realizado, chegou-se as seguintes conclusões:

- A diferença de espessura entre a base e o topo das aletas de 2 mm foi 71% maior em relação as aletas de espessura de 1 mm, no entanto, as aletas de 2 mm aproximaram-se mais da dimensão nominal do que as aletas de 1 mm.
- Na usinagem da aleta de 1 mm de espessura foi observado uma maior deflexão da aleta, e já na aleta de 2 mm esta deflexão foi maior sobre a fresa.
- Com a maior rigidez proporcionada pela fixação nas aletas frontais foi observado uma melhora de aproximadamente 75% na rugosidade Ra comparada as aletas traseiras e também uma melhora em cerca de 44% na perpendicularidade das aletas frontais contra as aletas traseiras.
- Em relação a variação da frequência, foi observado que as aletas 2 e 6 sofreram maior interferência da amplitude vibracional, pois apresentaram um cavaco de menor espessura, porém estas maiores amplitudes não resultaram em maiores erros macro geométricos.
- Em relação a rugosidade, foi observado maiores valores na aleta 6 de 1 mm de espessura, que trabalhou com a décima harmônica da frequência e na aleta 5 de 2 mm de espessura que trabalhou com a décima harmônica 1,3 menor.

Propõem-se futuramente reproduzir este experimento com as frequências efetivas coletadas das aletas e melhorar a fixação da peça, já que a máquina CNC utilizada tem o limite de 7500 rotações por minuto, o que impossibilitou o alcance das frequências naturais de cada aleta.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao senhor Clodoaldo de Campos Marques, Técnico Metrologista da fundação CERTI, por dispor de seu tempo e equipamentos para a medição dos erros macro e micro geométricos apresentados neste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Bolsunovskiy, S.; Vermel, V.; Gubanov, G.; Kacharava, I.; Kudryashov, A. "Thin-walled part machining process parameters optimization based on finite-element modeling of workpiece vibrations" 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO), vol 8. P. 276 – 280, 2013.
- Chen, C.; LIU, N.; Chiang, K.; H. "Experimental investigation of tool vibration and surface roughness in the precision end-milling process using the singular spectrum analysis" A International Journal of Advanced Technology Manufacturing, vol 63. P. 797 – 815, 2012.
- Huang, P.; LI, J.; Sun, J.; Ge, M. "Milling force vibration analysis in high-speed-milling titanium alloy using variable pitch angle mill" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol 58. P. 153 – 160, 2012.
- Kolluru, K.; Axinte, D.; Becker A. "A solution for minimising vibrations in milling of thin walled casings by applying dampers to workpiece surface" CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol 62. P. 415 – 418, 2013.
- Moradi, H.; Vossoughi, G.; Movahhedy, M. R.; Ahmadian, M. T. "Forced vibration analysis of the milling process with structural nonlinearity, internal resonance, tool wear and process damping effects" International Journal of Non-Linear Mechanics, vol 54. P. 22 – 34, 2013.
- Ostasevicius, V.; Gaidys, R.; Dauksevicius, R.; Mikuckyte, S. "Study of vibration milling for improving surface finish of difficult-to-cut materials" Journal of Mechanical Engineering, vol 59. P. 351 – 357, 2013.
- Shamoto, E.; Saito, A. "A novel deep groove machining method utilizing variable-pitch end mill with feed-directional thin support" Precision Engineering, vol 43. P. 277 – 284, 2016.
- Souza, A. F.; Diniz, A. E.; Rodrigues, A. R.; Coelho, R. T. "Investigating the cutting phenomena in free-form milling using a ball-end cutting tool for die and mold manufacturing" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol 71. P. 1565 – 1577, 2014.
- Zangh, G.; LI, J.; Chen, Y.; Huang, Y.; Shao, X.; LI, M. "Prediction of surface roughness in end face milling based on Gaussian process regression and cause analysis considering tool vibration" A International Journal of Advanced Technology Manufacturing, vol 75. P. 1357 – 1370, 2014.
- Wu, Q.; Li, D. P.; Ren, L.; Mo, S. "Detecting milling deformation in 7075 aluminum alloy thin-walled plates using finite difference method". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, P. 1 – 12, 2015.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

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

### **INFLUENCE OF NATURAL FREQUENCY HARMONICS ON THE MACRO AND MICRO GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF A WORKPIECE MILLED WITH THIN-WALLED**

Miguel Dias Júnior, miguel.dias.jr@gmail.com<sup>1</sup>

Caroline Moretto, carolinecnpq@yahoo.com.br<sup>1</sup>

Silvio Romeu Sell, silvio.sell@ig.com.br<sup>1</sup>

Adriano Fagali de Souza, adriano.fagali@ufsc.br<sup>1</sup>

Thiago Antônio Fiorentin, thiago.antonio@ufsc.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – Campus Joinville, Rua Presidente Prudente de Moraes, 406, Joinville – SC - CEP 89218-000.

**Abstract:** Surface machining quality and geometric errors are difficult-to-control phenomena in thin-walled milling, even in the case of a stable shear process, vibrations can occur as a result of the combination of the tool, the fixture of the part and the natural frequencies of the machined parts. The low stiffness of the thin walled and also an inefficient fixture cause dynamic problems due to the forced vibrations induced by the process. This paper studies the influence of the harmonics of the natural frequencies of 1 mm and 2 mm. Analyzing the chip generated by the machining process, it was possible to observe that in the vanes machined with the harmonic value of the natural frequency of each vane, the instability increased. In addition, one can also observe the influence of the fixture of the specimen and the deflection of the part and of the tool that occurred during the machining process was also observed, since on the side of the movable jaw of the hydraulic vise used, because of the larger area and mass, increased stiffness and better absorbed vibratory energy, improving part roughness and minimizing geometric macro errors.

**Palavras-chave:** milling, fixture, thin-walled, natural frequency, harmonic