

REDUÇÃO DE VIBRAÇÕES POR MEIO DE AMORTECEDOR DE PARTÍCULAS AUXILIADO POR AR COMPRIMIDO

Herbert Cesar Gonçalves de Aguiar, hcaguiar@hotmail.com.br¹

Amauri Hassui, ahassui@fem.unicamp.br²

Henrique Kull Neto, henriquek@fem.unicamp.br²

Daniel Iwao Suyama, disuyama@fem.unicamp.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625 - Canindé - São Paulo - SP - CEP: 01109-010.

²Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleyev, 200 - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Campinas - SP - CEP 13083-860.

Resumo: O processo de usinagem é um dos mais utilizados na indústria metal-mecânica e tem por finalidade a obtenção de forma, dimensões, acabamentos ou uma combinação qualquer destes três por meio de remoção de material. Este processo está sujeito à vibrações oriundas de diversas fontes e, se estas atingirem amplitudes elevadas ou frequências próximas às frequências naturais do sistema, podem diminuir severamente a vida da ferramenta e prejudicar o acabamento da peça usinada. O efeito das vibrações é intensificado no torneamento interno de furos longos, no qual a ferramenta se assemelha a uma viga engastada. Para minimizar as vibrações, uma das soluções é a utilização de amortecedores passivos e ativos com diferentes tipos de construções. Este trabalho se utilizou do amortecedor de partículas aliado ao ar comprimido com intuito de induzir agitação nas partículas e aumentar a quantidade de impactos das mesmas contra o corpo da ferramenta. Os ensaios foram realizados em bancada, com uma ferramenta que possuía uma cavidade preenchida com 30% esferas de aço (volume em massa) auxiliado por ar comprimido em pressão de 4 bar, excitado por um atuador pneumático. Foram simuladas: barra de mandrilar com e sem esferas e com e sem ar comprimido. O amortecedor de partículas com o auxílio de ar comprimido apresentou menores sinais de aceleração tanto na amplitude como no período dentre os ensaios realizados, constatando uma melhor atenuação na vibração da ferramenta.

Palavras-chave: Chatter, Amortecedores, Vibrações, Torneamento

1. INTRODUÇÃO

O *chatter*, ou vibração auto-excitada, é um fenômeno indesejável em qualquer processo de usinagem, pois causa uma redução severa da vida da ferramenta e prejudica o acabamento superficial (Biju e Shunmugam, 2014). Uma forma de atenuar a vibração no processo de usinagem é alteração dos parâmetros de usinagem como: alteração na geometria da ferramenta e diminuição da profundidade de corte, velocidade de corte e avanço. Essas alterações dos parâmetros de corte reduzem a produtividade drasticamente. Outra forma é a utilização de amortecedores ativos ou passivos acoplados na ferramenta de corte. Os amortecedores ativos são aqueles cuja atuação é feita a partir da medição contínua de informações do sistema e o mecanismo atenuador é controlado com base nessas informações. Os amortecedores passivos não possuem controle que possibilitam ajustes dinâmicos, mas sua construção é mais simples quando comparados aos amortecedores ativos e, consequentemente, são de menor custo.

Segundo Panossian (1992), o amortecedor de partículas é um amortecedor passivo constituído por um furo na estrutura propensa a vibração. Este furo é preenchido com partículas de formas regulares e irregulares, de materiais metálicos ou não, geralmente de alta densidade. Pode também conter fluidos para auxiliar na supressão da energia de vibração. A função das partículas é dissipar a energia de vibração através do impacto das partículas em movimento contra a parede da cavidade vibratória e do contato dentre as partículas (Kumar et al., 2011).

A utilização de amortecedores de partículas para atenuar vibrações em sistemas mecânicos e no processo de usinagem tem despertado interesse dos pesquisadores (principalmente dos pertencentes ao BRICS), por ser um dispositivo de baixo custo e de fácil construção.

Wang et al. (2016), em seu trabalho com amortecedor de partículas em viga e placa utilizando esferas de carboneto de tungstênio, mostrou a partir de seus resultados, que a placa furada não apresentou diferença significativa no amortecimento quando comparado com a placa sólida. Mas a taxa de amortecimento das placas furadas preenchidas com partículas foi extremamente alta comparados com as placas furadas sem partículas.

A operação de torneamento interno é usada para abrir cavidade de furos com ou sem alto grau de acabamento em peças fundidas, forjadas e componentes extrudados. Segundo Mohanasundaram et al. (2014), a barra de mandrilar é uma ferramenta longa e fina na qual a vibração ocorre devido ao movimento relativo entre a barra e a peça usinada nas direções

de corte e avanço. Segundo Biju e Shunmugam (2014), a barra de mandrilar tem baixa estabilidade devido à elevada relação entre o comprimento e diâmetro (relação L/D), tornando-a mais propensa à vibração.

Devaraj et al. (2014), mostraram que o amortecedor de partículas na barra de mandrilar com finas partículas contribuiu para a redução da rugosidade no processo de torneamento interno pela atenuação da vibração.

Uma vez que os amortecedores de impacto por partículas retiram energia do sistema por meio das colisões entre as partículas e a cavidade, o presente trabalho visa mostrar a eficiência do amortecedor de partículas com o auxílio do ar comprimido para atenuar a vibração de uma ferramenta de mandrilar. Para isso, foram feitas comparações das taxas de amortecimentos para as condições com e sem amortecedores de partículas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma barra de aço 1045 foi confeccionada com dimensões semelhantes a uma barra de mandrilar, com a cavidade para inserir as esferas como mostrado na Figura 1a. O dimensionamento da mesma foi feita de modo que as alterações realizadas (furos) não comprometessem sua integridade estrutural, de acordo com as análises e simulações feitas por Suyama (2015).

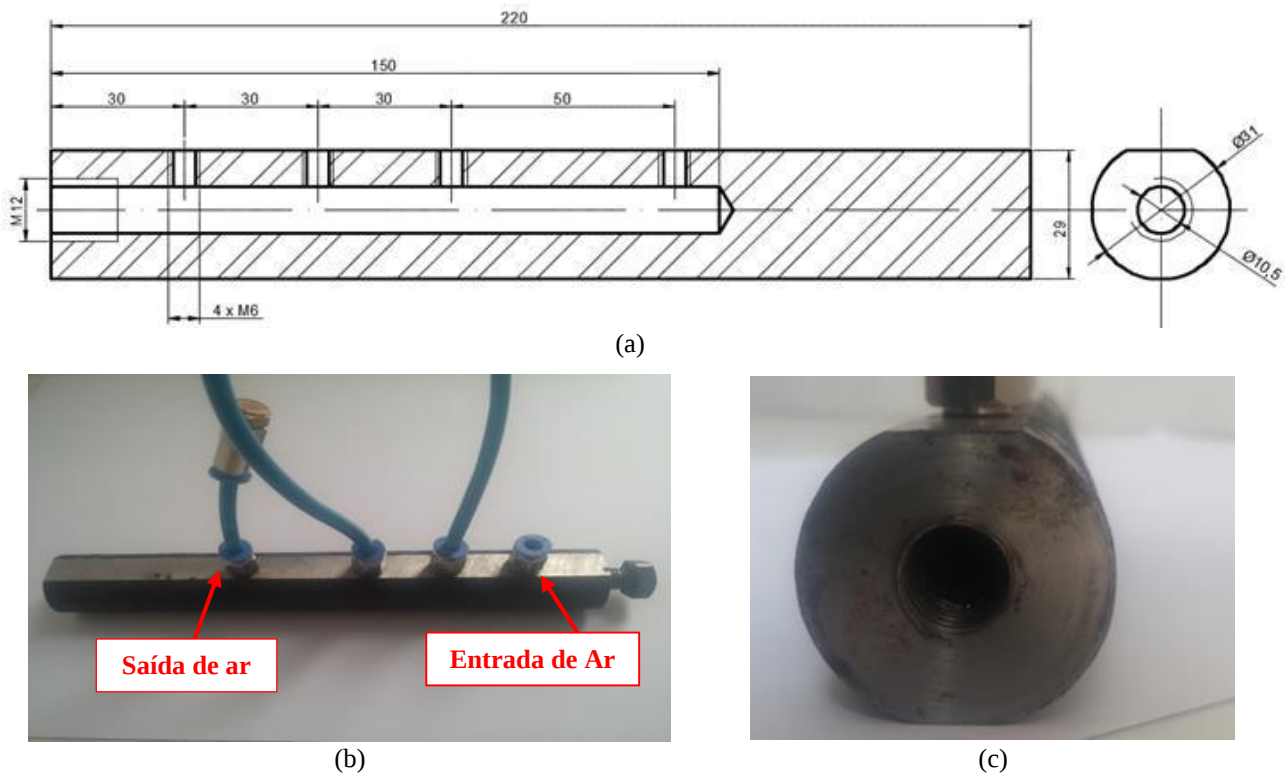


Figura 1. Barra adaptada com amortecedor de partícula: (a) dimensões utilizadas; (b) Identificação das conexões de ar e (c) detalhe da cavidade.

A Figura 1b mostra as conexões de ar comprimido embutidas na barra. O parafuso localizado em uma das extremidades indica a parte livre da cavidade Fig. 1c. Neste trabalho, o ar comprimido tinha apenas uma entrada e uma saída. As demais conexões mostradas foram isoladas pois, em testes preliminares, não apresentaram resultados significativos.

Na cavidade mostrada na Fig. 1c foram inseridas partículas de aço com diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm. A quantidade de partículas inserida na cavidade foi definida através da Eq. (1).

$$m = xV_{cav}\rho_{aço} \quad (1)$$

Na qual m é a massa das esferas de aço inseridas na cavidade, x o volume da cavidade preenchida em porcentagem, V_{cav} volume da cavidade da barra e $\rho_{aço}$ é a densidade do aço. Para efeito de comparação das condições de amortecimento o valor adotado de $x = 30\%$.

Na montagem experimental montada em bancada, mostrada na Fig. 2, o balanço adotado foi de 120 mm (relação L/D ≈ 4).

Todos os equipamentos pneumáticos foram fornecidos pela Festo Didatic. O atuador pneumático, que teve a função de excitar as partículas, foi ajustado por meio de um sensor de pressão, a uma pressão de 4 bar. A vazão e a frequência dos impactos do atuador não foram consideradas neste trabalho. O posicionamento do atuador foi alinhado de modo que excitação ocorresse na extremidade da barra, simulando o contato entre ferramenta e peça durante o processo de usinagem.

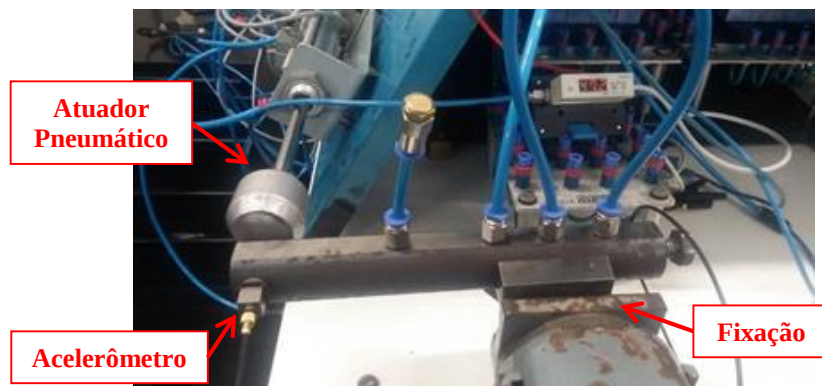


Figura 2. Montagem experimental.

Para a aquisição dos sinais de vibração foi utilizado um acelerômetro piezelétrico Brüel & Kjaer, modelo 4500 em conjunto com uma placa de aquisição modelo Photon. Os valores de aceleração foram obtidos com acelerômetro preso na ponta da barra, de modo a medir as vibrações na direção radial da peça, isto porque as vibrações na direção radial influenciam no acabamento da peça.

2.1 Experimento

Após o impacto do atuador, o sinal bruto de aceleração foi adquirido no domínio do tempo até que o sistema entrasse em repouso. Para este trabalho, não foram levados em consideração os picos de aceleração menores que 5 m/s^2 (valores menores eram considerados ruído do próprio sistema).

Para comprovar a eficiência do amortecedor de partículas com o auxílio do ar comprimido, a aquisição dos sinais de vibração foi feita em três condições conforme a Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis do experimento.

Condição 1		Barra furada sem esferas
Condição 2		Barra preenchida com esferas
Condição 3		Barra preenchida com esferas e fluxo de ar comprimido

Foi utilizada a Eq. (2) para calcular a taxa de amortecimento através do decremento logarítmico que é empregado para o sistema sub-amortecido em que $\varepsilon < 1$ (Thompson e Dahleh, 2007).

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{x_0}{x_n} \right) = \frac{2\pi\varepsilon}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \quad (2)$$

Na qual δ é o decremento logarítmico, x_0 a amplitude inicial, x_n a amplitude depois 'n' ciclos, e ε a taxa de amortecimento.

3. RESULTADOS

Realizados os ensaios, a Fig. 3 mostra os valores de aceleração medidos.

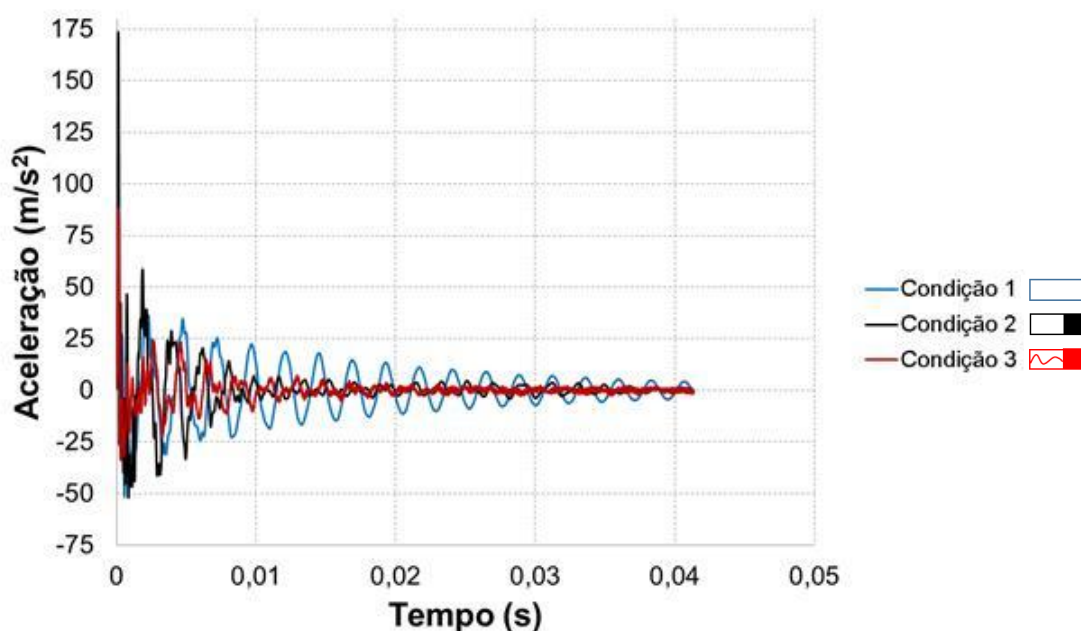


Figura 3. Sinais bruto de aceleração no domínio do tempo para a condição 1 (barra furada sem esferas); condição 2 (barra preenchida com esferas) e condição 3 (barra preenchida com esferas e fluxo de ar comprimido).

A Figura 3 mostra um sistema sub-amortecido para as três condições validando a Eq. (2) para o cálculo da taxa de amortecimento.

Ao observar os picos de aceleração, nota-se que a condição 3 apresentou menor quantidade de picos e com menores intensidades. A atenuação da amplitude de aceleração é diferente para as condições apresentadas. A presença do amortecedor de partículas faz com que o decaimento da aceleração seja maior do que na condição na qual as partículas não estão presentes.

Com a inserção do ar comprimido, a taxa de decaimento se acentua. Tal fato é indício de que o mecanismo que promove o amortecimento é ocasionado pelo impacto entre as partículas e a cavidade e, quando excitadas pela presença do ar comprimido, a quantidade de impactos aumenta. Além disso, a inserção do ar comprimido direcionado da parte de trás para frente empurra as partículas para a região mais susceptível às vibrações, tornando o amortecedor mais eficiente do que quando ocorre apenas a presença das partículas.

A Tab. (2) apresenta os valores de tempo de acomodação e taxa de amortecimento, obtidos a partir da Eq. (2).

Tabela 2. Tempo de acomodação e taxa de amortecimento calculado para as variáveis do experimento.

Ensaio	Tempo de acomodação (s)	Taxa de amortecimento
Condição 1	0,036	0,030
Condição 2	0,016	0,069
Condição 3	0,015	0,074

Nota-se que a presença do amortecedor de partículas (condições 2 e 3) faz com que a absorção de vibração ocorra de forma bem mais rápida do que quando se utiliza a barra furada sem partículas (condição 1).

O tempo de acomodação mostrado na tabela 2 é o intervalo entre o primeiro pico e o último pico de aceleração maior que 5 m/s². Embora o tempo de acomodação para as condições 2 e 3 sejam próximos, o mesmo não acontece quando se analisa a taxa de amortecimento da condição 3 foi melhor. O desempenho do amortecedor de partículas com ar comprimido pode estar associado ao fluxo do ar que aumenta a quantidade de impactos das partículas com a parede da cavidade e/ou o atrito entre elas.

4. CONCLUSÃO

Com base nos testes apresentados, é possível concluir que:

- Os amortecedores de partículas são alternativas de fácil construção e baixo custo quando se deseja atenuar as vibrações de um sistema.
- A inserção do ar comprimido melhora o desempenho do amortecedor de partículas.

O amortecedor de partículas com fluxo de ar comprimido comparado ao sistema de amortecimento de partículas tradicional para a barra de mandrilar apresentou resultados promissores que motivou futuros testes para a otimização do método.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas (FEM/UNICAMP), ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) e à empresa Festo Didatic pelo fornecimento dos equipamentos para a realização dos ensaios.

5. REFERÊNCIAS

- Biju, C. V. and Shunmugam, M. S., 2014, "Investigation into Effect of Particle Impact Damping (PID) on Surface Topography in Boring Operation", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 75, No. 5–8, pp. 1219–1231.
- Devaraj, S., Shivalingappa, D., Channankaiah and Jangaler R. S., 2014, "Surface Quality Enrichment Using Fine Particle Impact Damper in Boring Operations", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 2, pp.531–535.
- Mohanasundaram, K. M., Sathishkumar, B. and Kumar, M. S., 2014, "Impact of Particle Damping Parameters on Surface Roughness of Bored Surface", *Arab J Sci Eng*, Vol. 39, pp. 7327–7334.
- Kumar, M. S., Mohanasundaram, K. M. and Sathishkumar, B., 2011, "A Case Study on Vibration Control in a Boring Bar Using Particle Damping", *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 3, No. 8, pp. 177–184.
- Panossian, H. V., 1992, "Structural damping enhancement via non-obstructive particle damping technique", *Shock and Vibration Digest*, Vol. 1, No. 6, pp. 4-10.
- Thomson, W.T, Dahleh M.D., 2007, "Theory of vibrations with applications", 5th Edition, Pearson Education Inc., Delhi, India.
- Suyama, D. I., 2015, "Uma contribuição ao estudo do torneamento interno de aços endurecidos de furos longos", Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Wang, M.Y., Xu, Z. and Chen, T., 2004, "An Experimental Study of Particle", *Journal of Vibration and Acoustics*, Vol. 126, pp. 141–148.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

VIBRATION REDUCTION BY MEANS OF PARTICLE DAMPER AIDED BY COMPRESSED AIR

Herbert Cesar Gonçalves de Aguiar, hcaguiar@hotmail.com.br¹

Amauri Hassui, ahassui@fem.unicamp.br²

Henrique Kull Neto, henriquek@fem.unicamp.br²

Daniel Iwao Suyama, disuyama@fem.unicamp.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625 - Canindé - São Paulo - SP - CEP: 01109-010.

²Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleyev, 200 - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Campinas - SP - CEP 13083-860.

Abstract: *Machining is one of the most used processes in the metal-mechanic industry and its purpose is to obtain shape, dimensions, finishing or a combination these characteristics by means of material removal. This process is subject to vibrations from several sources, and if these vibrations are of high amplitudes or frequencies close to the natural frequency of the system they can severely decrease tool life and damage the machined surface. The effect of vibrations is intensified in the boring of long holes, where tool behaves as a crimped beam. In order to minimize vibrations, one of the solutions is the using of different types of passive and active dampers. This work used a particle damper combined with compressed air in order to induce agitation in the particles and increase its amount of impact against the tool's body. The tests were carried out on an experimental bench, with a tool having a cavity filled with 30% (bulk vol.) of steel balls aided by compressed air at 4 bar, excited by a pneumatic actuator. It was simulated: filled and empty boring bars, with and without compressed air. The particle damper with the aid of compressed air showed lower acceleration amplitudes and periods, with a better damping of tool vibrations.*

Keywords: *Chatter, Damper, Vibration, Turning*