

EFEITO DO MATERIAL DAS PARTÍCULAS NO AMORTECIMENTO DO TORNEAMENTO INTERNO AUXILIADO PELO FLUXO DE AR

Herbert Cesar Gonçalves de Aguiar

Amauri Hassui

Aristides Magri

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Mendeleev, 200 - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Campinas - SP - CEP 13083-860.

herbert.cga@ifsp.edu.br

ahassui@fem.unicamp.br

arimagri@fem.unicamp.br

Daniel Iwao Suyama

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas, Rua Pedro Zaccaria, 1300 - Limeira - SP - CEP 13484-350.
daniel.suyama@fca.unicamp.br

Resumo. No torneamento interno do material endurecido com pastilhas de CBN a principal preocupação é com o acabamento da peça, o objetivo é atingir uma qualidade superficial semelhante ao processo de retificação obtendo ganhos na produtividade. Mas as vibrações oriundas do processo muitas vezes causam avarias prematuras na ferramenta e/ou danos ao acabamento da peça. Para minimizar as vibrações, uma das soluções é a utilização de amortecedores passivos e ativos com diferentes tipos de construções. Este trabalho se utilizou de um amortecedor passivo por impacto de partículas, auxiliado pelo fluxo de ar comprimido de modo a amplificar o volume de impacto dentro da cavidade. Foram testados diferentes materiais das partículas de modo a verificar a influência destes no amortecimento. Com base nos resultados, o amortecedor com partículas de chumbo, com auxiliado do fluxo de ar, apresentou o melhor desempenho e contribuiu com a diminuição da vibração na ferramenta e, conseqüentemente, diminuiu a rugosidade da peça.

Palavras chave: Vibração. Amortecedores. Mandrilamento. CBN. Acabamento

1. INTRODUÇÃO

No torneamento interno do material endurecido com pastilhas de CBN a principal preocupação é com o acabamento da peça, o objetivo é atingir uma qualidade superficial semelhante ao processo de retificação obtendo ganhos na produtividade.

Na comparação do torneamento duro e o processo de retificação, o torneamento duro leva vantagem: na alta remoção do material, baixo consumo de energia, múltiplas operações em um só “set-up” e é mais sustentável, pois os cavacos são fáceis de reciclar e na maioria das vezes não é utilizado sistema de refrigeração. Porém o torneamento duro não é indicado em peças em que a razão diâmetro/comprimento sejam grandes, pois a rigidez na máquina tem grande influência no acabamento da peça, podendo aumentar o custo do processo em relação a retificação (Siwiec & Zębala, 2012).

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.

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 da peça (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, conseqüentemente, 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 entre as partículas (Kumar *et al.*, 2011).

Os materiais das partículas são um dos principais parâmetros que influenciam na capacidade do amortecimento. Mas as literaturas divergem sobre quais características do material das partículas exercem maior influência no amortecimento. Segundo Sims *et al.* (2005) a irregularidade da superfície da partícula contribui para aumento do amortecimento por atrito, a densidade do material é questionável e a viscoelasticidade é insignificante. No caso de Xu *et al.* (2005) em tese o amortecimento de partículas se dá por dois fenômenos, atrito entre as partículas que depende principalmente do coeficiente de atrito e a força impacto das partículas que é influenciado pela massa e o tamanho das partículas. Bai *et al.* (2009) em suas simulações do pistão baseado em amortecedor de partículas concluíram que o coeficiente de atrito e densidade do material tem maior influência no amortecimento. Enquanto as outras características do material das partículas como coeficiente de restituição e módulo de elasticidade exercem pouca influência no amortecimento. Já Mohanasundaram *et al.* (2014) mostraram que as durezas do material das partículas exercem a maior influência no amortecimento das partículas e a densidade não tem influência significativa.

Não havendo consenso na literatura, os autores se propõem a estudar o material das partículas com e sem auxílio do fluxo de ar para atenuar a vibração na ferramenta de mandrilar. Para isso, foram feitas comparações das rugosidades e dos sinais de vibrações obtidos no processo de torneamento interno com ferramenta de CBN no aço 4340 endurecido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nos experimentos foram utilizados corpos de prova de aço SAE 4340 com dureza de 55 HRC e com as dimensões mostradas na Fig. 1(a). Foi realizado torneamento interno no furo de diâmetro de 30 mm, de modo a alargar este. Para os testes, o comprimento usinado foi de 12 mm, utilizando os parâmetros de corte indicados na Fig. 1(c).

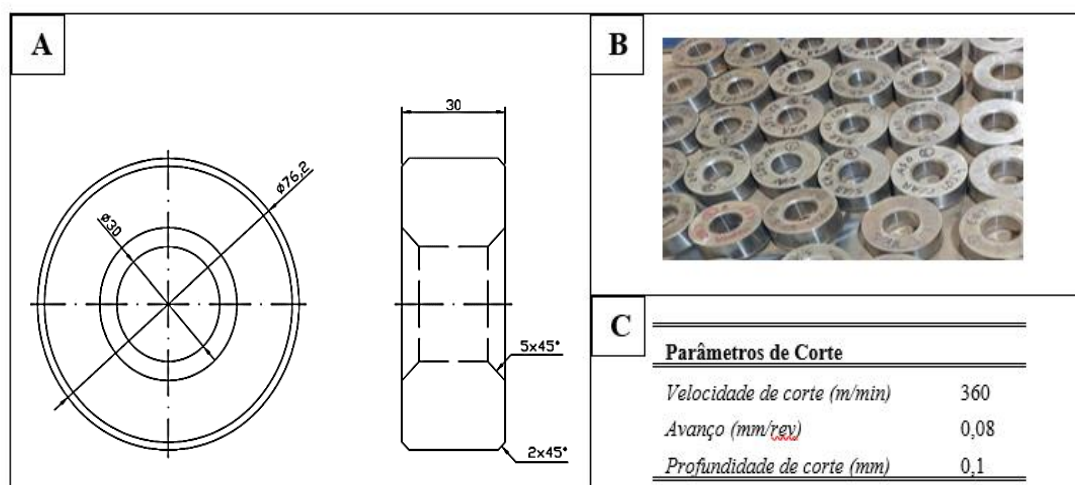


Figura 1. a) dimensões da peça, b) imagem das peças e c) parâmetros de corte utilizados.

O suporte da ferramenta (também conhecido por barra de mandrilar) era de aço (ISO A20S-SCLCR 09-R). A Fig. 2 mostra as modificações realizadas na mesma (cavidade de 10,5 mm de diâmetro e 160 mm de comprimento) para inserir as partículas de modo semelhante ao realizado por Suyama, Diniz e Pederiva (2016). O furo de saída do fluido refrigerante permitia a saída do fluxo de ar comprimido.

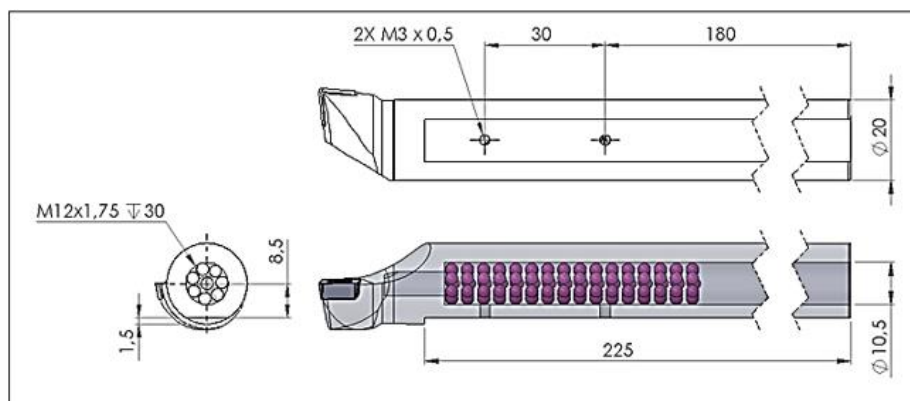


Figura 2. Modificações elaboradas para utilização do amortecedor de partículas com o auxílio de fluxo de ar.

Para os testes foram utilizadas esferas de 3 mm de diâmetro de diferentes materiais mostrados na Tab. 1. A barra de mandrilar foi preenchida por esferas até atingir 90% do volume da cavidade.

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos materiais das esferas.

Materiais das esferas	Massa	Módulo de Elasticidade	Dureza
Chumbo	0,22 g	16 GPa	40 HB
Latão	0,12 g	110 GPa	150 HB
Aço	0,12 g	200 GPa	700 HB
Alumina	0,07 g	365 GPa	1000 HB
Vidro	0,05 g	70 GPa	500 HB

Para a compreensão dos efeitos do amortecedor de partículas foram feitas para cada material da Tab. 1 e uma condição sem amortecedor quatro medições de aceleração, sendo duas com fluxo de ar e duas sem fluxo de ar. Na mesma superfície usinadas anteriormente foram feitas dezesseis medições de rugosidade, sendo oito com fluxo de ar e oito sem fluxo de ar.

Para a usinagem do material endurecido foram utilizados insertos de CBN de código CCGW09T308S1020F (ISO H10). Estes insertos são feitos de 50% CBN, TiCN e Al₂O₃. Para a aquisição dos sinais de vibração da ferramenta de corte 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 aderido na ponta da barra com o balanço de 60 mm (L/D = 3), de modo a medir as vibrações na direção radial da peça, isto porque as vibrações na direção radial influenciam o acabamento da peça. A inserção do fluxo de ar foi feita por trás da ferramenta na pressão de 7 bar e vazão de 90 l/min controlado por uma válvula reguladora de fluxo da fabricante Festo e um sensor de vazão IFM modelo SD6100.

A Fig. 3 mostra a montagem dos equipamentos citados no Torno CNC Romi Galaxy 20.

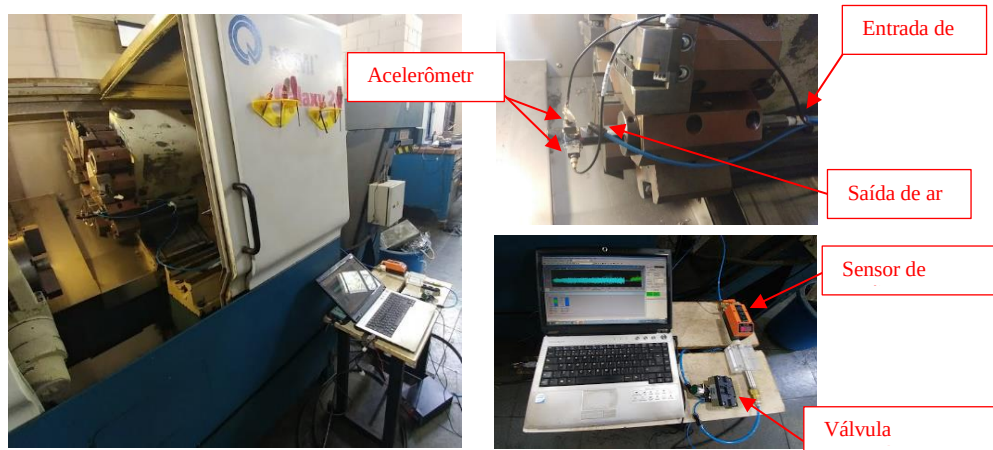


Figura 3. Equipamentos utilizados nos ensaios.

3. RESULTADOS

Após os ensaios de usinagem, foram feitas RMS dos sinais brutos de aceleração para a comparação das condições estudadas (Fig. 4).

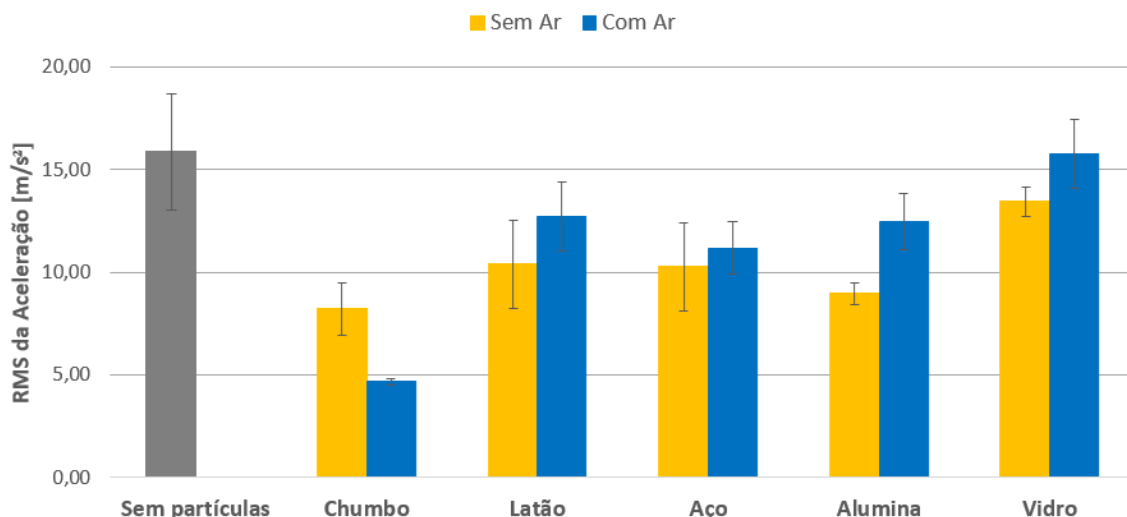


Figura 4. RMS da aceleração utilizando amortecedor de partículas com diferentes materiais em condições com e sem fluxo de ar.

Os resultados apresentados na Fig. 4 mostram que o amortecedor de partículas é uma boa solução para atenuação da vibração. Os amortecedores de partículas sem ar preenchidos com chumbo, latão, aço e alumina apresentaram menores acelerações comparados com a barra de mandril sem partículas, com destaque para o amortecimento com partículas de chumbo. Porém quando comparamos as acelerações entre os materiais das partículas as diferenças não são significativas, pois devido ao baixo balanço 60 mm ($L/D = 3$) não gerou energia suficiente para promover agitação das esferas o suficiente para o amortecimento do sistema.

No caso do amortecedor de partículas com ar, a diferença entre os materiais são mais perceptíveis para as esferas de chumbo, alumina e vidro. Sendo que para o chumbo o efeito para o amortecimento foi positivo diminuindo a aceleração, já no caso das partículas de alumina e vidro o efeito foi o inverso. O melhor desempenho do amortecedor com partículas de chumbo se deve ao maior atrito devido a irregularidade da superfície e a sua maior massa que ajuda na força de impacto.

A Fig. 5 indica que o amortecedor de partículas independentemente do tipo do material das partículas e do auxílio do fluxo de ar foi favorável na redução da rugosidade média (R_a).

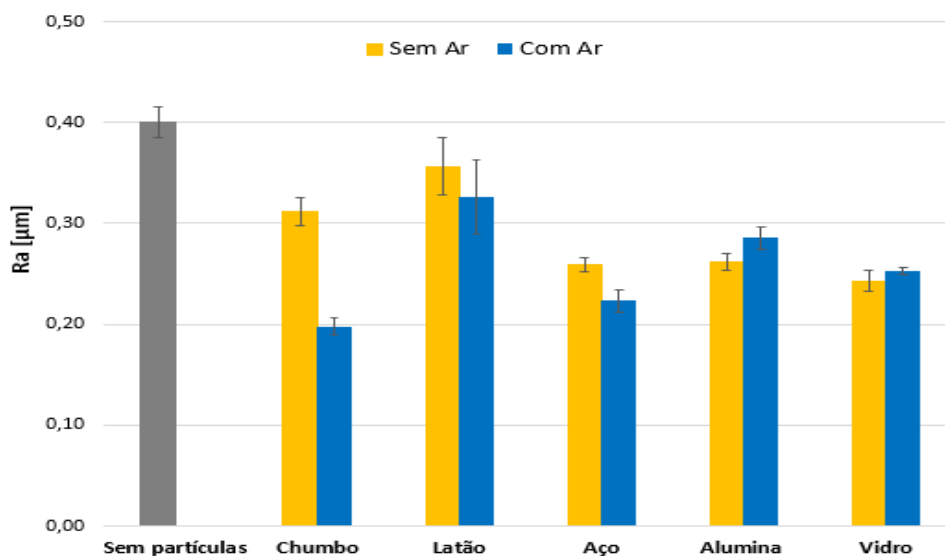


Figura 5. Rugosidades médias utilizando amortecedor de partículas com diferentes materiais e com e sem fluxo de ar.

De acordo com a Fig. 5, partículas de chumbo e de aço com inserção do fluxo de ar deram menores rugosidades. 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 fluxo de ar, a quantidade de impactos aumenta. Além disso, a inserção do fluxo de ar 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.

As esferas de vidro não apresentaram diferença significativa nos resultados de rugosidade nas condições com e sem ar., contudo a Fig. 6b mostra que o perfil de rugosidade apresentado pela superfície da peça é mais homogêneo (ou menos susceptível a vibrações) possivelmente devido ao amortecimento com o auxílio do fluxo de ar.

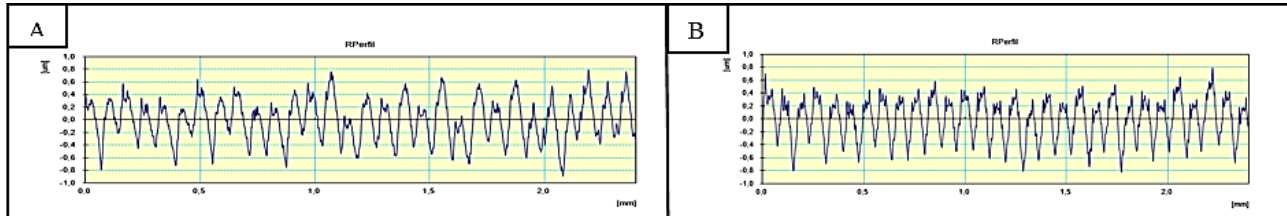


Figura 6. Perfil de rugosidade devido às partículas de vidro. a) Sem fluxo de ar e b) Com fluxo de ar.

4. CONCLUSÕES

Com base nos testes apresentados, é possível concluir que:

- A utilização do amortecedor de partículas é um recurso de baixo custo com efeitos positivos independente dos materiais das partículas utilizadas. Ele se mostra adequado para as operações de torneamento interno devido às características da operação.
- Entre os materiais das esferas analisadas, as esferas de chumbo apresentaram melhor amortecimento com e sem fluxo de ar.
- A partir de determinado nível, as vibrações afetam a rugosidade. Sua diminuição leva a melhores acabamentos.

5. 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.

6. REFERÊNCIAS

- Bai, X.M., Keer, L. M., Wang, Q. J. e Snurr, R. Q., 2009. "Investigation of particle damping mechanism via particle dynamics simulations", *Granular Matter*, p. 417–429.
- 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, N°. 5–8, p. 1219–1231.
- 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, p. 177–184.
- Mohanasundaram, K. M., Sathishkumar, B. e Kumar, M. S., 2014, "Impact of Particle Damping Parameters on Surface Roughness of Bored Surface", *Arab J Sci Eng*, Vol. 39, p. 7327–7334.
- Panossian, H. V., 1992. "Structural damping enhancement via non-obstructive particle damping technique", *Shock and Vibration Digest*, Vol. 1, N°. 6, p. 4–10.
- Sims, N. D., Sheffield, S. e Ridgway, K., 2005. "Particle dampers for workpiece chatter mitigation", In *2005 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. Orlando, Florida, USA, p. 1–8.
- Siwiec, J. e Zębala, W., 2012. "Hard Turning Of Cold Work Tool Steel", *Advances In Manufacturing Science And Technology*, Vol. 36, n. 4, p. 20–32.
- Suyama, D. I., Diniz, A. E. e Pederiva, R. 2016, "The use of carbide and particle-damped bars to increase tool overhang in the internal turning of hardened steel", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 86, p. 2083–2092.

Xu, Z., Yu, Michael e Chen, T., 2005. "Particle damping for passive vibration suppression: numerical modelling and experimental investigation", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 279, p. 1097–1120.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

PARTICLE MATERIAL EFFECT OVER VIBRATIONS IN PARTICLE IMPACT DAMPER AIDED BY AIR FLOW

Herbert Cesar Gonçalves de Aguiar

Amauri Hassui

Aristides Magri

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Mendeleyev, 200 - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Campinas – SP - CEP 13083-860.

herbert.cga@ifsp.edu.br

ahassui@fem.unicamp.br

arimagri@fem.unicamp.br

Daniel Iwao Suyama

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas, Rua Pedro Zaccaria, 1300 - Limeira – SP - CEP 13484-350.

daniel.suyama@fca.unicamp.br

Abstract. *In the boring of the hardened materials with CBN inserts, the main concern is with the finishing of the part and the goal is to achieve a surface quality similar to the attained in grinding process. This leads to gains in productivity. But vibrations from the process often cause premature breakdowns in the tool and/or damage to the workpiece finish. To minimize vibration, one of the solutions is the use of passive and active dampers with different types of construction. This work used a passive particle impact damper, aided by compressed air flow in order to amplify the impact volume inside the cavity. Different materials of the particles were tested in order to verify their influence on the damping. Based on the results, the particle damper aided by air flow presented the best performance and contributed to the reduction of vibration in the tool and, consequently, decreased the roughness of the part.*

Keywords: *Vibration. Dampers. Boring. CBN. Finishing.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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