

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE CANAIS NO MACHO DE CORTE NO ROSQUEAMENTO INTERNO COM AUXÍLIO DO SOFTWARE ADVANTEDGE

Gustavo Vilela Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia – Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1O – Santa Mônica, Uberlândia - MG
gustavovilela_oliveira@hotmail.com

Marcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia – Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1O – Santa Mônica, Uberlândia - MG
mbacii@ufu.br

Resumo. O rosqueamento interno com macho de corte é um processo de usinagem complexo e que ainda tem muito a ser estudado, principalmente acerca da ferramenta utilizada no processo. Com o avanço da técnica de discretização de elementos mecânicos, os softwares que resolvem problemas numéricos através do método dos elementos finitos vêm tendo cada vez mais espaço na indústria. Pensando nisso, esse trabalho teve como objetivo analisar a influência do número de canais no macho de corte, utilizando o software AdvantEdge. Os resultados das simulações, analisando ferramentas com dois, três, quatro e cinco canais, mostraram que um aumento no número de canais no macho de corte gerou uma diminuição nos valores da força na direção do avanço e no torque.

Palavras chave: Rosqueamento. Macho de Corte. Número de canais. Elementos finitos. AdvantEdge

1. INTRODUÇÃO

O rosqueamento interno com macho de corte é um processo de usinagem utilizado para a abertura de roscas em furos (Machado, *et al.*, 2011) e é uma das operações de usinagem mais complexas. Isso ocorre devido a fatores como: dificuldade de remoção de cavaco, lubrificação e refrigeração adequada das arestas de corte e a necessidade de uma relação fixa e inalterável entre velocidades de corte e avanço, definido pelo passo da rosca da ferramenta (Reis, 2004).

A geometria do macho de corte, ainda pouco estudada, está intimamente ligada ao torque gerado no processo (Drozda, 1983). Um torque excessivo pode levar à quebra da ferramenta e esse tipo de falha pode acarretar em um descarte da peça semi-acabada ou ainda gerar um tempo extra indesejado para se retirar a ferramenta que quebrou de dentro do furo (Cao e Sutherland, 2002). Segundo Agapiou (1994) um dos parâmetros mais importantes do macho de corte é o número de canais que ele possui.

Atualmente, apenas o estudo experimental do rosqueamento interno e de sua complexa ferramenta não consegue sanar todas as dúvidas que cercam o processo. Um modelo utilizando a técnica dos elementos finitos é de grande valia para o entendimento do mesmo (Cao e Sutherland, 2002). Esse método pode ser usado para resolver numericamente qualquer problema regido por equações diferenciais, através da discretização dos componentes envolvidos, criando elementos simplificados que interagem entre si.

Desta maneira, o objetivo desse trabalho é analisar a influência do número de canais do macho de corte, no rosqueamento interno, através de um software comercial para a simulação tridimensional desse processo, utilizando o método dos elementos finitos.

2. METODOLOGIA

Simulações na usinagem normalmente são feitas em interfaces bidimensionais, num plano ortogonal, uma técnica que simplifica a análise e diminui o tempo de processamento para cálculos. No rosqueamento interno com macho de corte esse artifício não é muito eficaz, já que o torque é produzido por toda a região do chanfro da ferramenta. Assim, simulações desse processo devem ser realizadas num ambiente tridimensional, o que é muito complexo e demanda longas horas de processamento (Oezkaya e Biermann, 2017).

Esse trabalho fará a análise do rosqueamento interno, num ambiente tridimensional, buscando o equilíbrio entre simplificações possíveis e bons resultados. Para isso, será utilizado o software AdvantEdge. A aplicação de softwares comerciais para análise é vista com bons olhos pela indústria (Bil, *et al.*, 2004) e esse é um software focado nos processos de usinagem, o que se alia com o objeto de estudo desse artigo.

O programa utiliza da técnica explícita de integração no tempo para resolver o problema numérico (AdvantEdge User's manual, 2017) além de usar um código Lagrangiano para a modelagem dos processos de fabricação. Esse

modelo permite simular melhor as grandes quantidades de material que se deformam plasticamente na interface ferramenta-peça (Marusich e Ortiz, 1995).

2.1. Modelo constitutivo

A fim de descrever corretamente o comportamento dos materiais, o modelo constitutivo utilizado nesse trabalho foi idealizado por Marusich e Ortiz (1995) e é denominado como “Power Law”. Esse modelo matemático tenta, através de equações diferenciais, prever as tensões na zona de corte, onde a taxa de deformação e a temperatura são muito altas. Dessa forma, de maneira simplista e geral, o modelo constitutivo pode ser escrito como na Eq.1, onde: $g(\epsilon^p)$ representa o endurecimento por deformação, $\Gamma(\dot{\epsilon})$ é a sensibilidade da taxa de deformação e $\Theta(T)$ é o termo que leva em consideração a perda de resistência do material pelas altas temperaturas. Esses fatores dependem, por exemplo, da deformação plástica (ϵ^p), da taxa de deformação ($\dot{\epsilon}$) e da temperatura de fusão dos materiais.

$$\sigma(\epsilon^p, \dot{\epsilon}, T) = g(\epsilon^p) \times \Gamma(\dot{\epsilon}) \times \Theta(T) \quad (1)$$

O modelo de equações completo pode ser melhor entendido no trabalho de Marusich e Ortiz (1995).

2.2. Planejamento das simulações e materiais utilizados

O software AdvantEdge permite que a execução de várias etapas do pré-processamento da simulação seja feita através de sua interface. É sabido que as decisões tomadas nessa etapa são determinantes para a qualidade dos resultados obtidos. Sabendo disso, a configuração experimental idealizada para esse trabalho pode ser vista na Fig. 1.

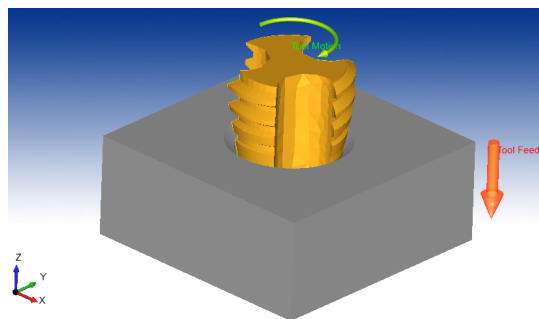


Figura 1. Modelo idealizado para a simulação do rosqueamento interno usando o macho de corte.

O corpo de prova da Fig. 1 tem as seguintes dimensões: 12 mm de largura, 12 mm de comprimento e 5 mm de altura. O pré-furo tem diâmetro de 5 mm, definido pelo diâmetro da rosca a ser usinada, e esse furo é passante.

O material escolhido para os testes foi o ferro fundido nodular, pois ele possui uma boa resistência mecânica, um limite de escoamento alto, se comparado com o ferro fundido cinzento, além de uma grande aplicabilidade na indústria (Chiaverini, 1988). Esse material atende ao modelo constitutivo acima explicado, e por isso foi selecionado a partir do banco de dados do software, para tirar vantagem das necessárias propriedades mecânicas, físicas e químicas do ferro fundido nodular. A composição química do material utilizado, o ferro fundido “Nodular 4040” pode ser vista na Tab. 1 e algumas de suas propriedades estão listadas na Tab. 2.

Tabela 1. Composição Química do Ferro Fundido Nodular utilizado

Composição Química	C	Cr	Mn	Ni	P	S	Si
Peso [%]	3.7	0.1	0.5	0.05	0.02	0.014	2.5

Tabela 2. Propriedades do Ferro Fundido Nodular

Dureza Brinell	217
Limite de resistência à tração [Mpa]	375
Limite de escoamento [Mpa]	210
Ponto de Fusão [°C]	1150

Quatro ferramentas de corte foram utilizadas nos testes, com apenas uma diferença entre elas: o número de canais. Foram utilizadas ferramentas com dois, três, quatro e cinco canais. Todas foram modeladas usando um software CAD 3D, tendo como referência o macho M6x1 166 GGMS, de três canais, de aço rápido HSS-M2, sem revestimento (OSG, 2012). Assim, todas as ferramentas possuem as mesmas características geométricas, salvo o número de canais. A Tabela 3 elenca algumas importantes características compartilhadas por todas as ferramentas utilizadas.

Tabela 3. Características dos machos de corte

Ângulo de saída [graus]	8
Ângulo de folga do chanfro [graus]	4
Conicidade da ponta [graus]	10
Ângulo de folga radial [graus]	17
Número de dentes na parte cônica [por canal]	3

Um dos fatores complicadores para a simulação do processo de rosqueamento interno com o macho de corte é a característica singular que cada aresta de corte na parte chanfrada possui. Isso impede técnicas de simplificação de modelo (Oezkaya e Biermann, 2017). Pensando nisso, a ferramenta foi cortada após o segundo filete que não está na parte chanfrada do macho, reduzindo o seu comprimento. Além disso, o macho foi modelado de forma a não se deformar plasticamente, apenas elasticamente.

Os testes foram realizados com os seguintes parâmetros de corte: rotação de 750 rpm e avanço de 1 mm por volta (o avanço depende do passo da rosca da ferramenta). Para simplificar a simulação, as ferramentas efetuaram apenas três voltas, de maneira que o primeiro filete de rosca fosse formado no pré-furo. Isso foi feito pois, com o avanço da ferramenta, sua parte chanfrada já entrou totalmente no furo, desenvolvendo os máximos valores de torque e força (na direção do avanço) (Ahn, *et al.*, 2003). O estudo desse período do processo do rosqueamento permite melhorar as condições de corte, além de ser o foco em pesquisas que buscam otimizar a geometria da ferramenta (Diniz, 2018).

Um parâmetro muito importante para o método dos elementos finitos é a malha. A qualidade da discretização tanto da ferramenta quanto da peça vai definir a qualidade dos resultados obtidos. Uma malha muito fina gerará resultados melhores, a um preço de elevar o tempo computacional; o contrário também pode ser dito. Dessa forma, foi decidido que o menor elemento a ser utilizado, tanto para a ferramenta quanto para a peça, teria um tamanho de 0,1 mm, enquanto o maior elemento teria 1 mm para a ferramenta e 2,5 mm para a peça.

O modelo de atrito utilizado nessa simulação foi a lei de Coulomb. O coeficiente de atrito é tido como constante e foi utilizado o valor padrão do software, que é de 0,5.

As simulações foram feitas utilizando um computador com processador Intel Core i7-7700 com 3.6 GHz e 4 núcleos de processamento e 32 GB de memória RAM.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações do rosqueamento usando os quatro machos de corte retornaram os valores da força na direção do avanço e do torque. Como as ferramentas efetuaram 3 voltas, elas avançaram 3 mm, formando assim, o primeiro filete de rosca no furo. Esse processo possibilitou que toda a parte do chanfro das ferramentas entrasse no furo, caracterizando o máximo torque imprimido nos machos. O tempo total de usinagem foi de aproximadamente 0,24 segundos.

Os gráficos de força na direção Z, mostrada em Newtons e do torque, em Newton-metro, podem ser visualizados nas Fig. 2 e Fig. 3, respectivamente. Os resultados, por terem sido adquiridos numa frequência de 20000 Hz, foram tratados para melhor visualização. Tanto para a força como para o torque, os pontos foram ajustados numa curva polinomial de décimo grau.

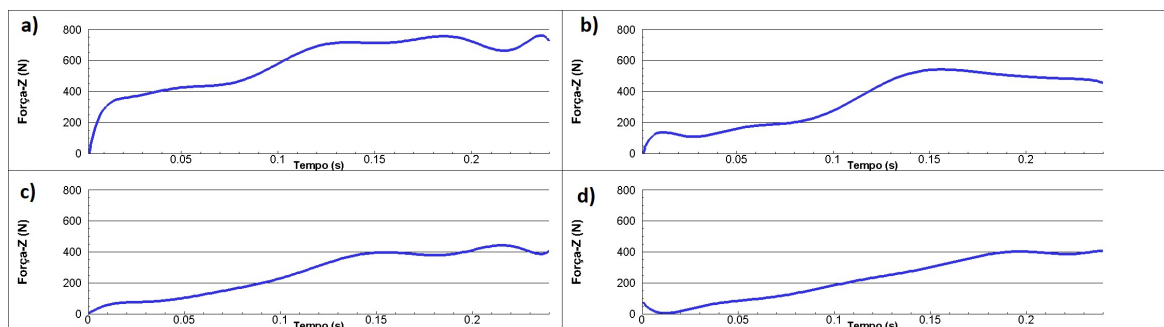


Figura 2. Força na direção do avanço dos machos com: a) 2 canais; b) 3 canais; c) 4 canais e d) 5 canais

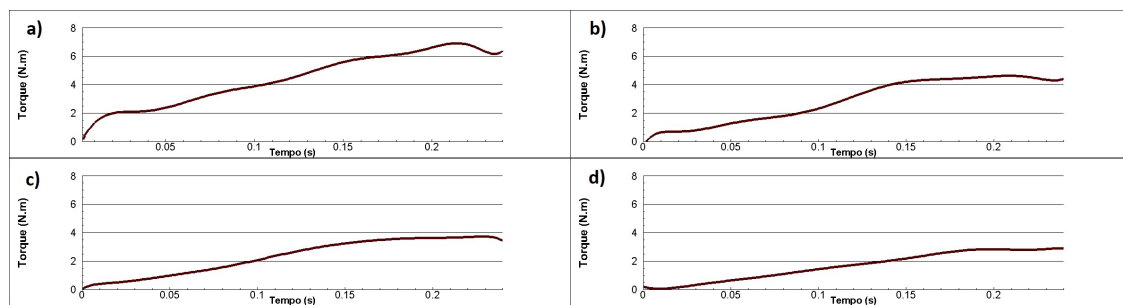


Figura 3. Torque dos machos com: a) 2 canais; b) 3 canais; c) 4 canais e d) 5 canais

As duas grandezas analisadas se comportaram de maneira similar: alcançaram menores valores com o aumento do número de canais no macho de corte. Os maiores valores de força na direção do avanço e torque encontrados foram no teste com a ferramenta de dois canais, enquanto os menores valores dessas duas grandezas ocorreram no teste com a ferramenta de 5 canais.

Para a usinagem do ferro fundido nodular, que produz cavacos curtos, é aconselhável o uso de uma ferramenta com mais canais, como um macho de corte de quatro canais. Como o cavaco produzido é curto, o espaço para a sua remoção pelos canais da ferramenta é adequado e ainda existem mais arestas de corte para se produzir a rosca no furo. O resultado das simulações corrobora essa afirmação, mostrando que as ferramentas com um maior número de canais (quatro e cinco), apresentaram uma força semelhante na direção do avanço, que é menor que a encontrada nas ferramentas com menor número de canais (dois e três). Ainda, a ferramenta com cinco canais alcançou um torque máximo menor que a ferramenta que possui um canal a menos, o que é aconselhável, já que o torque excessivo é um dos responsáveis pela quebra do macho de corte.

O fator que se alterou nesse trabalho, a geometria do macho de corte, através da mudança do número de canais nas ferramentas utilizadas, significa uma mudança no avanço por dente na ferramenta. O avanço da ferramenta permaneceu sempre o mesmo, sendo 1,0 mm/volta, que é o passo da rosca a ser usinada, porém, o avanço por dente diminuiu com o aumento do número de canais. Isso pode ser observado pela Eq. 2.

$$h = f_z * z \quad (2)$$

Na Equação 2, h é a altura do filete de rosca e z o número de dentes necessários para usinar um filete completo. Logo, com o aumento do número de canais no macho de corte, aumenta-se o número de dentes e, consequentemente, diminui-se o avanço por dente. O número de dentes necessários para usinar um filete completo de rosca é definido pela quantidade de ferramentas na parte cônica, definida pelo número de canais e a conicidade da ferramenta. Neste caso, a conicidade é constante.

O modelo de atrito adotado pelo software AdvantEdge, o modelo de Coulomb, é um importante fator que deve ser considerado nas equações matemáticas utilizadas na simulação, principalmente aquelas usadas para o cálculo das forças que atuam no processo de rosqueamento (Bil, *et al.*, 2004). O atrito, extremamente presente no fenômeno da formação do cavaco, é dependente, dentre outros fatores, do avanço por dente da ferramenta (Mishra, *et al.*, 2018).

Dessa forma, quando se aumenta o número de dentes na parte do chanfro do macho de corte, diminui-se, por conseguinte, a contribuição do atrito gerado por cada uma dessas arestas de corte, já que elas contribuíram menos, individualmente, para a remoção de material. Esse efeito pode ter um peso muito grande no cálculo da força na direção do avanço e do torque, e isso pode explicar a diminuição de ambas, à medida que se aumenta o número de canais na ferramenta.

4. CONCLUSÕES

O aumento do número de canais nas ferramentas de corte utilizadas gerou uma diminuição na magnitude da força de avanço e do torque exercidos nas mesmas. Portanto, a geometria dessas ferramentas influencia diretamente nessas variáveis de saída. Esse comportamento ficou bem claro ao analisar as Fig. 2 e Fig. 3.

O modelo de atrito utilizado nas simulações, o modelo de Coulomb, segundo Machado, *et al.* (2011), não é o mais adequado para representar o movimento do cavaco que acontece na superfície de saída da aresta de corte, pois, nessa região, as tensões normais são muito elevadas, o que provocaria um erro na estimativa das forças envolvidas no processo.

É interessante um estudo experimental sobre o assunto, utilizando o mesmo conceito aplicado nesse trabalho, para se comparar os resultados e se entender melhor a influência que a quantidade de canais exerce sobre a geometria do macho de corte.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às agências de fomento CAPES, CNPQ e Fapemig, além da Universidade Federal de Uberlândia e o programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

6. REFERÊNCIAS

- (2017). *Advantedge User's manual*. Third Wave Systems.
- Agapiou, J. S. (November de 1994). Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping. *Journal of Engineering for Industry*, 116, 457-462.
- Ahn, J. H., Lee, D. J., Kim, S. H., & Cho, K. K. (2003). Effects of Synchronizing Errors on Cutting Performance in the Ultra-High-speed Tapping. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 52, pp. 53-56.
- Bil, H., Kiliç, S. E., & Tekkaya, A. E. (2004). A comparison of orthogonal cutting data from experiments with three different finite element models. *Machine Tools & Manufacture*, 44, 933-944.
- Cao, T., & Sutherland, J. W. (Novembro de 2002). Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42, pp. 1527-1538.
- Chiaverini, V. (1988). *Aços e Ferros Fundidos* (6ª ed., Vol. 1). São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- Diniz, A. O. (2018). *Estudo do Processo de Rosqueamento Interno de Ferro Fundido Cinzento Utilizando Diferentes Sistemas de Indexação de Machos de Corte*. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Drozda, T. J. (Ed.). (1983). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook* (4ª ed., Vol. I). Dearborn: Mcgraw-Hill.
- Machado, Á. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., & Da Silva, M. B. (2011). *Teoria da Usinagem dos Materiais* (2ª ed.). São Paulo: Edgar Blucher Ltda.
- Marusich, T. D., & Ortiz, M. (31 de Janeiro de 1995). Modeling and Simulation of High-Speed Machining. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 38, pp. 3675-3694.
- Mishra, S. K., Ghosh, S., & Aravindan, S. (9 de April de 2018). 3D Finite element investigations on texture tools with different geometrical shapes for dry machining of titanium alloys. *International Journal of Mechanical Sciences*, pp. 424-449.
- Oezkaya, E., & Biermann, D. (Abril de 2017). Segmented and matheatical model for 3D FEM tapping simulation to predict the relative torque before tool production. *International Journal of Mechanical Sciences*, 128, 695-708.
- OSG. (2012). *Catálogo de Produtos 2012-2013*. OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda, São Paulo.
- Reis, A. M. (2004). *Avaliação de Desempenho de Diferentes Materiais de Ferramenta no Processo de Rosqueamento Interno de Ferro Fundido Cinzento, através do Monitoramento do Desgaste*. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Analysis on the Influence of the Flute Number in Cutting Taps Aided by AdvantEdge Software

Abstract. The tapping process is one the most complex machining operations and still has a lot to be studied, mainly about the tool that is used. With the advance in the processing capability in the computers, the softwares that uses the finite element method to solve numerical problems are being widely use in the industry. So, this paper aimed to analyze the influence in the flute number on cutting taps, using the commercial software AdvantEdge. The simulations results, analyzing tools with two, three, four and five flutes, showed that an increase in the flute number generates a decrease in the torque and in the thrust force in the process.

Keywords: Tapping. Cutting Tap. Flute Number. Finite Element. AdvantEdge.

RESPONSIBILITY NOTICE

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