



Reconectando Pessoas,
Ciências, Artes e
Tecnologia

Anais do

XI Congresso de Engenharias da UFSJ

Part of ISSN 2237-0358

Conteúdo disponível em: doi.org/10.29327/1317088.11-1



UM ESTUDO SOBRE A TEMPERATURA DE CORTE NA FURAÇÃO DA LIGA AL7075

Guilherme Lopes Brandão ⁽¹⁾ (gui.lopes.brandao@gmail.com)

Lincoln Cardoso Brandão ⁽¹⁾ (lincoln@ufs.br)

Robson Bruno Dutra Pereira ⁽¹⁾ (robsondutra@ufs.br)

Étory Madrilhes Arruda ⁽¹⁾ (etory@ufs.br)

Carlos Henrique Lauro ⁽¹⁾ (carloslauro@ufs.br)

⁽¹⁾ Centro de Inovação em Manufatura Sustentável (CIMS) Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) - Departamento de Engenharia Mecânica e Produção – DEMEP – Praça Frei Orlando, 170

RESUMO: A definição dos parâmetros de corte é uma das mais árduas tarefas do processo de furação, pois podem influenciar no tempo de vida da ferramenta, qualidade da superfície usinagem, custo e várias outras respostas que podem ser analisadas. A temperatura de corte é uma dessas respostas que deve ser considerada na definição dos parâmetros de corte, pois, por exemplo, embora não afete a produtividade do processo, pode impactar na qualidade da superfície usinada. Assim, observar o comportamento da temperatura sem gerar influência na produtividade é uma lacuna no processo de furação. Para contribuir com a questão, este trabalho desenvolveu um modelo, usando o método de elementos finitos (FEM), no processo de furação da liga de alumínio 7075. Comparou-se a temperatura na zona de cisalhamento entre condições de furação variando os parâmetros de entrada, mas mantendo-se a taxa de remoção de material. Os resultados apontam que não há uma diferença elevada na temperatura de corte quando mantida a taxa de remoção de material.

PALAVRAS-CHAVE: Furação, Método dos Elementos Finitos, Temperatura, Liga de Alumínio 7075 .



Os autores são os únicos detentores dos direitos autorais.

São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil

25-29 de setembro de 2023

[B.L. Resende](#), [C.M. Vale](#) & [R.J. Silva](#) (Organização & Edição)

1. INTRODUÇÃO

Dentro da indústria manufatureira, um dos principais processos de usinagem é a furação. No meio industrial, o processo de furação tem quase mesma utilização que o torneamento e o fresamento juntos, 30% contra 20% e 16%, respectivamente (MOTORCU; KUŞ; DURGUN, 2014). Na indústria aeronáutica, pode-se destacar o grande interesse na furação de ligas de alumínio devido a relação peso resistência mecânica.

Na literatura, é possível encontrar diversos estudos para melhoria da produtividade no processo de furação. Aamir et al. (2020) analisaram a usinabilidade na furação de diferentes ligas de alumínio utilizando um cabeçote para múltiplas ferramentas. Este dispositivo foi montado em uma fresadora CNC e permite realizar três furos simultaneamente com o ajuste facilmente alterado, se necessário. Entretanto, métodos que possibilitem a redução do tempo de corte são mais objetivados por apresentarem menores necessidades de adaptação e recursos de máquina. Há um constante desenvolvimento do material e/ou coberturas de ferramentas para possibilitar o aumento da velocidade de corte e de avanço.

Na furação profunda da SAE 4144M, Polli e Cardoso (2018) observaram que a menor velocidade de corte e maior avanço resultaram no melhor formato do cavaco e baixa temperatura na peça. Assim, a alta taxa de alimentação pode levar a resultados benéficos na perfuração profunda na liga de titânio. Pacheco et al. (2019) estudaram a furação com alto avanço na liga de alumínio 2011. Os autores perceberam que em alguns casos houve uma melhoria nas respostas de rugosidade, indicando que o processo pode ser interessante industrialmente por reduzir o tempo do processo. Entretanto, os autores ressaltam a dificuldades na realização dos experimentos devido à máquina. Biermann e Iovkov (2015) observaram a viabilidade do alto avanço na furação profunda de ligas de alumínio, em que a entrada de calor na peça diminuiu significativamente quando os valores de avanço aumentaram.

Os processos de furação e rosqueamento são caracterizados pela dificuldade específicas, como a saída de cavaco e a dispersão de calor, por exemplo. Para estudos desses processos, o Método de Elementos Finitos (*Finite Elements Method* – FEM) é uma técnica que pode ajudar a entender melhor os fenômenos que ocorrem durante os processos de furação e rosqueamento.

Davoudinejad e Tosello (2017) desenvolveram um modelo para estudar a furação na liga de alumínio Al2024-T3 com brocas de duas e quatro arestas. Segundo os autores, o FEM pode

permitir uma melhor observação das prioridades e melhor confiabilidade para avaliar a força de avanço e formação de cavacos. Quando compararam os resultados experimentais e numéricos, o desvio entre os resultados foi de aproximadamente 20%.

Carvalho et al. (2020) destaca entre as técnicas de usinagem inteligente modelos de inteligência artificial e o uso do FEM. Entretanto, embora o FEM é uma técnica comumente aplicada para desenvolvimento de produtos, ainda há grandes lacunas que desmotiva a utilização na usinagem, muitas vezes devidos as complexidades dos processos de usinagem. Arrazola et al. (2013) enfatizam a necessidade de esforços contínuos para a modelagem dos processos de usinagem. A aproximação entre os ensaios numéricos e experimentais dependem da exatidão dos equipamentos utilizados no monitoramento (ASTAKHOV e OUTEIRO, 2008).

Modelos matemáticos para avaliar alterações no material podem ser empregados em conjunto com o método dos elementos finitos para prever falhas e danos no componente final, como o estudo de Duan et al. (2013) para observar a espessura da camada branca na usinagem do aço AISI 52100. Wang et al. (2016) também utilizaram essa combinação de técnicas para analisar o tamanho de grão e dureza no corte da liga de titânio ti-6Al-4V. Assim, este trabalho analisou a temperatura de corte durante o processo de furação com alto avanço por meio do método dos elementos finitos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolver dos ensaios numéricos, o software DeformTM 3D Machining foi utilizado, ver Figura 1. O material do corpo de prova foi considerado da liga de alumínio 7075. As ferramentas foram consideradas como de Carbetto de Tungstênio com revestimento de Nitreto de Titânio (TiN) de espessura de 5 μm . Os testes foram divididos em duas categorias, ensaios com avanço convencional, para validação do modelo, e ensaios com alto avanço, o *high-feed*, para observar o crescimento dos grãos. Para ambos os ensaios, foi considerado o corte a seco, empregando um coeficiente de convecção (h) de 20 $\text{W}/\text{m}^2 \times \text{K}$. Foi escolhido analisar o corte a seco devido a questões ambientais, além disso, na furação, o uso de um sistema de lubrificação que não seja o interno, fluido passando por dentro da ferramenta, pode gerar dificuldades a saída do cavaco, o que pode danificar a superfície usinada (PACHECO et al., 2019).

Os parâmetros de entrada no processo de furação, avanço convencional (f), diâmetros das brocas (D_{tool}), velocidade de corte (v_c) e valor de alto avanço (f_H) foram calculados de forma que

fosse mantida a taxa de remoção de material contante. Para a definir os parâmetros de entrada no processo, os valores de avanço convencional foram baseados em encontrados na literatura. Para a velocidade de corte e alto avanço, foram baseados a limitação de velocidade de avanço em um centro de usinagem vertical. Na Tabela 1 são apresentadas as combinações dos parâmetros de corte para cada condição ensaiada.

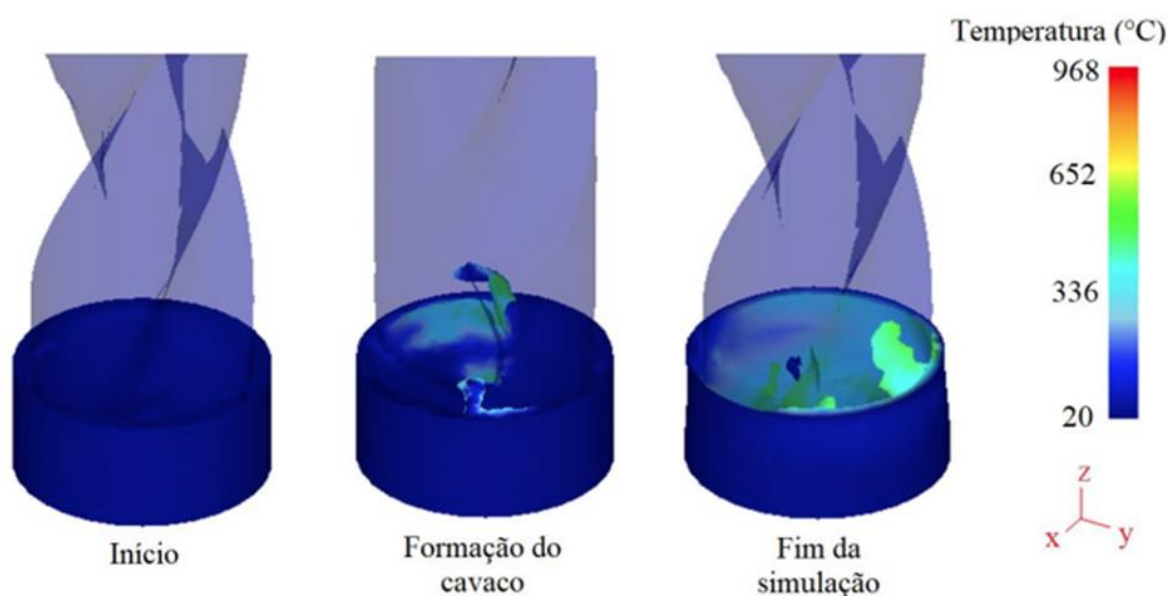


FIGURA 1. Etapas do processo de simulação (**Fonte:** autoria própria)

TABELA 1. Combinações dos parâmetros de corte (**Fonte:** autoria própria)

Diâmetro (mm)	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rot)	Rotação (rpm)	Seção de corte (mm ²)	Taxa de remoção de Material (mm ³ /min)
Avanço convencional					
8	40	0,2000	1591,55	0,40	16000
8	60	0,1335	2387,32	0,27	16020
12	40	0,1335	1061,03	0,40	16020
12	60	0,0890	1591,55	0,27	16020
Alto avanço					
8	40	1,0	1591,55	2,00	80000
8	40	1,5	1591,55	3,00	120000
8	40	2,0	1591,55	4,00	160000
8	60	1,5	2387,32	3,00	180000

O coeficiente de atrito aplicado para os ensaios com avanço convencional seguiu o modelo de Coulomb, assim foi considerado como 0,5. Já para os ensaios com alto avanço, o coeficiente de atrito foi considerado de 0,3. Para a construção do corpo de prova, foi aplicado o modelo com o pré-furo para garantir o contato de toda a resta de corte no processo, de acordo com a Figura 2. O diâmetro externo do corpo de prova foi definido com 2 mm maior que o diâmetro da ferramenta e espessura de 2 mm. O tamanho da malha para o corpo de prova foi definido em função do menor valor de avanço utilizado, 0,089 mm. Nos dois processos de furação, o tempo de simulação foi definido considerando uma volta e meia da ferramenta.

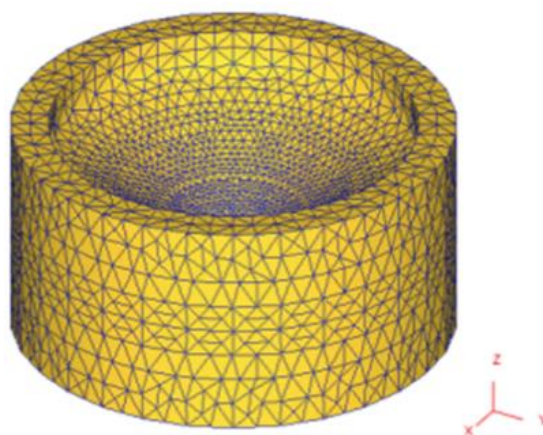


FIGURA 2. Geometria do corpo de prova para o estudo de furação.

Para validar os modelos, foram levantados valores de ensaios experimentais de furação na liga de alumínio 7075 encontrados na literatura, Tabela 2. A partir destes valores, foram criados modelos matemáticos para prever os valores de força de avanço, Eq. 1, e torque, Eq. 2 e compará-los com as condições ensaiadas.

TABELA 2. Resultados obtidos na literatura com avanço convencional (**Fonte:** autoria própria)

Autor	Diâmetro (mm)	Material	Fluido	Veloc. de corte (m/min)	Avanço (mm/rot)
Flachs, Salahshoor e Melkote (2014)	8,02	HSS*	Seco	76 a 151	0,102 a 0,229
Kyratsis, Efkolidis e Kakoulis (2018)	de 8 a 14	WC**	Emulsão	10 a 70	0,2 a 0,6
Kyratsis <i>et al.</i> (2018)	de 8 a 12	WC**	Emulsão	50 a 150	0,15 a 0,25

* HSS – Aço rápido (*High Speed Steel*), **WC – Carbeto de Tungstênio

$$F_f = -98 + 3,65 \times D_{tool}^2 + 0,00687 \times v_c^2 - 1076 \times f^2 - 10,5 \times D_{tool} - 1,45 \times v_c + 2279 \times f - 0,176 \times D_{tool} \times v_c + 60,7 \times D_{tool} \times f + 4,48 \times v_c \times f \quad \text{Eq. 1}$$

$$T = 7,923 + 0,06740 \times D_{tool}^2 - 0,000044 \times v_c^2 - 2,71 \times f^2 - 1,218 \times D_{tool} + 0,01156 \times v_c - 8,24 \times f - 0,001216 \times D_{tool} \times v_c + 1,9239 \times D_{tool} \times f + 0,02416 \times v_c \times f \quad \text{Eq. 2}$$

Para comparação dos resultados, as repostas foram tratadas para obter uma suavização das curvas e descartando o início da furação (tempo de aproximadamente 0,2 segundos) devido a inércia da operação, conforme pode ser visto na Figura 3. Para observar a influência dos parâmetros de corte, foi empregado a análise de Taguchi.

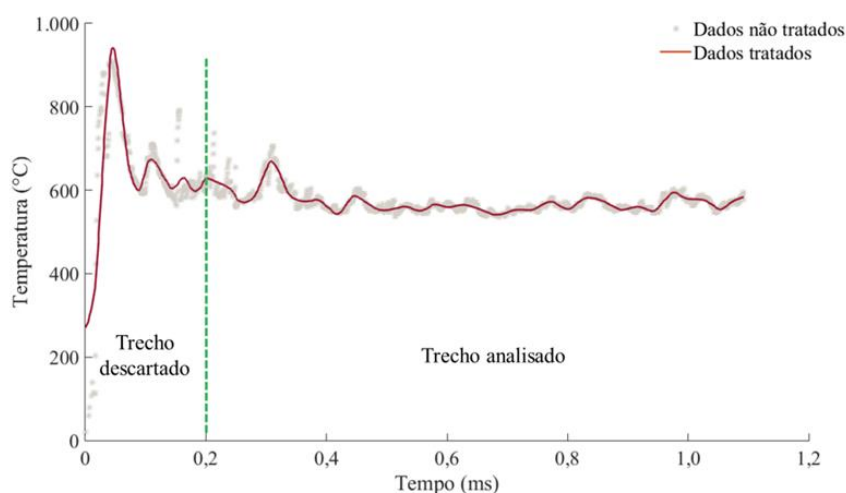


FIGURA 3. Exemplo de trecho analisado (**Fonte:** autoria própria)

Baseando nos trabalhos de Imbrogno *et al.* (2016), Rottela *et al.* (2013, 2012) e Caruso *et al.* (2015), para calcular a variação no tamanho do grão, foi considerada a Eq. 3 abaixo. Nestes trabalhos foram considerados uma dureza inicial de 160 HV e um tamanho médio de grão de 30 μm .

$$d = b \times Z^m \quad \text{Eq. 3}$$

onde b e m são as constantes do material, sendo usado os valores de 54300 e -0,25, respectivamente (ROTELLA *et al.*, 2013). O valor de Z considerado como constante de Zener-Hollomon foi calculado pela Eq. 4.

$$Z = \dot{\epsilon} \times \exp\left(\frac{Q}{R \times T}\right) \quad \text{Eq. 4}$$

onde ϵ é a taxa de deformação, R é a constante universal dos gases ($8,314 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$), Q é a energia de ativação aparente para o processo de deformação mecânica (134580 kJ/mol) e T é a temperatura absoluta em Kelvin (SHEPPARD, TUNNICLIFFE e PATTERSON, 1982).

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na Figura 4 são apresentados os valores obtidos nos ensaios numéricos da temperatura na furação da liga de alumínio 7075. Observou-se que com o aumento do diâmetro da broca, houve um aumento da temperatura, em média, de 7,67%. Quando comparado os furos realizados com a broca de 8 mm, observou-se que a mudança dos parâmetros, avanço e velocidade de corte, elevaram a temperatura no corte em 5,62%. Por outro lado, para a furação com a broca de diâmetro de 12 mm, observou-se que a mudança das condições de corte gerou uma redução de 9,71% da temperatura de corte. Isto pode ser explicado devido ao fato de; apesar de ocorrer uma redução da seção de corte similar nas duas condições, a saber; 49,8% para o diâmetro de 8 mm e 50% para o diâmetro de 12 mm na segunda condição o valor de avanço de 0,089 mm/rot contribuiu para a redução da temperatura considerando a maior facilidade de dissipar o calor gerado no processo com um valor de avanço menor.

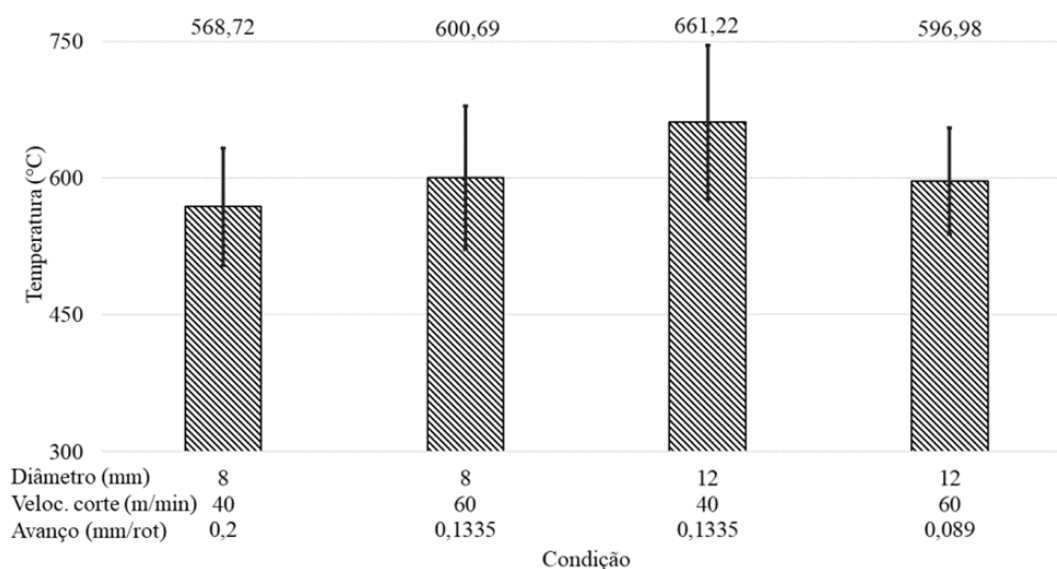


FIGURA 4. Valores das temperaturas de corte com avanço convencional

Na Tabela 3 é apresentada a análise razão sinal-ruído para a furação com avanço convencional da liga de alumínio 7075. Pela análise de Taguchi, observa-se que o diâmetro é o

principal parâmetro de influência. Por outro lado, a velocidade de corte e a seção de corte apresentaram o mesmo impacto.

TABELA 3. Sinal-ruído para o avanço convencional (Menor é melhor)

Nível	Diâmetro	Velocidade de corte	Seção de corte
1	-55,34	-55,75	-55,55
2	-55,96	55,55	-55,75
Delta	0,63	0,21	0,21
Rank	1	2,5	2,5

A variação do valor de temperatura cabe uma discussão sobre a escolha da combinação dos parâmetros. Embora o aumento da velocidade de corte tenha variação sobre a temperatura de corte, a variação pode não ser significativa para a qualidade da superfície usinada. Analisando a vida da ferramenta, embora os valores de avanço sejam diferentes, a condição com velocidade de corte menor poderá fornecer um tempo de vida maior, podendo ser a ideal para aumentar a produtividade devido à redução de parada de trocas de ferramenta. É importante ressaltar que o desvio dos ensaios numéricos em relação ao previsto através dos valores dos ensaios experimentais não deveria ser maior que 30%, sendo melhores para a broca com diâmetro de 8 mm.

Na Figura 5 são apresentadas as temperaturas na furação da liga de alumínio 7075 com alto avanço. Pode-se observar que com o aumento do valor de avanço, há um aumento da temperatura de furação que pode ser considerado desprezível com menos de 1%. Por outro lado, quando houve um aumento da velocidade de corte, o aumento da temperatura de corte apresentou um aumento mais significativo de 3,14%. Quando comparado com processo de furação com avanço convencional, as temperaturas de corte foram relativamente maiores. Isto pode ser explicado pelo fato de ocorrer uma maior deformação do cavaco com altos valores de avanço, necessitando de maior energia de deformação na zona de cisalhamento do material e, conseqüentemente, ocorre um maior aumento da temperatura.

Na Tabela 4 é apresentada a análise razão sinal-ruído para a temperatura de corte na furação com alto avanço da liga de alumínio 7075. Assim como ocorreu nos testes com avanço convencional a velocidade de corte foi o parâmetro de maior influência. Na Tabela 5 são apresentados os valores previstos para o tamanho de grão após a furação, considerando as Equações 3 e 4. Pode-se observar

que com o aumento do avanço ocorreu uma redução na granulometria do corpo de prova de 5,7%. Por outro lado, com o aumento da velocidade de corte ocorreu uma redução no tamanho de grão de aproximadamente 10,0%. Dahnel *et al.* (2022) observaram que seus resultados indicaram que menor velocidade de corte e menor taxa de avanço são favoráveis para produzir baixo desgaste da ferramenta e melhor qualidade do furo em termos de diâmetro, circularidade, rugosidade superficial e rebarba. No torneamento da liga de alumínio 7075, Rotella *et al.* (2013) observaram que o tamanho do grão foi menor quando maiores velocidades de corte e raios da ponta da ferramenta, sendo a velocidade de corte tende a apresentar uma influência maior nas mudanças microestruturais do que o raio da ponta da ferramenta, refletindo um valor mais alto do parâmetro Zener-Hollomon.

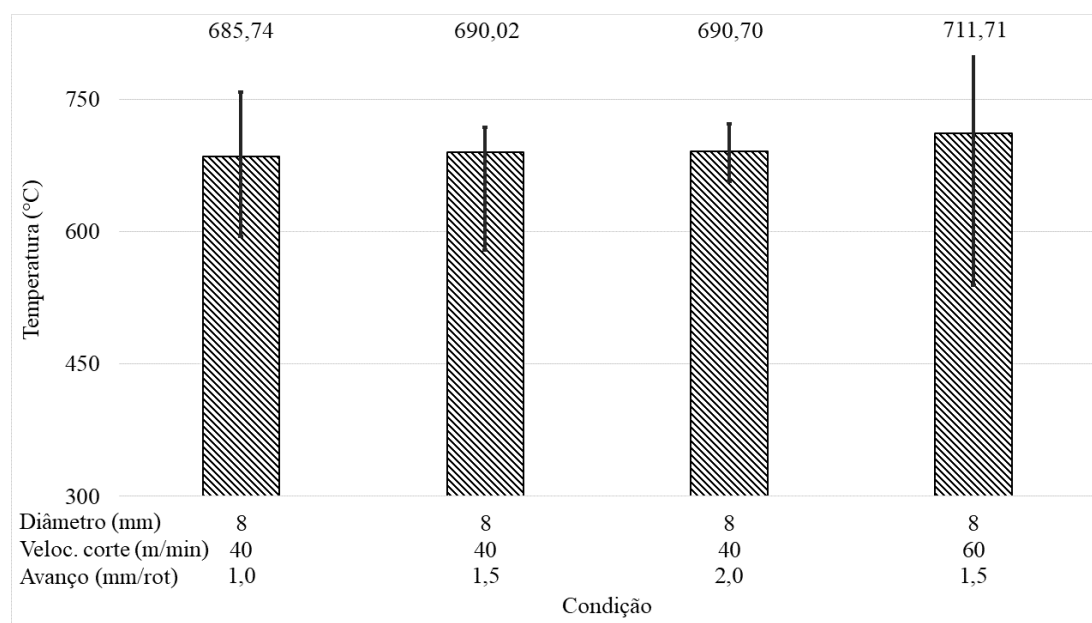


FIGURA 5. Valores das temperaturas de corte com alto avanço (Fonte: autoria própria)

TABELA 4. Sinal-ruído para o alto avanço (Menor é melhor)

Nível	Diâmetro	Velocidade de corte	Avanço
1	-56,83	-56,76	-56,72
2		-57,05	-56,91
3			-56,79
Delta	0,00	0,28	0,19
Rank	3	1	2

TABELA 5. Valores para tamanho de grão previstos

Diâmetro	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/rot)	Tamanho do grão (μm)
8	40	1,0	29,40
8	40	1,5	27,73
8	40	2,0	26,15
8	60	1,5	24,96

Quando observado as análises na furação da liga de alumínio 7075, empregando o método de elementos finitos, pode-se concluir que:

- ✓ Na furação com avanço convencional há uma aproximação dos valores de temperatura de corte quando mantida a mesma taxa de remoção. Essa informação é importante na seleção dos parâmetros, pois pode não apresentar diferença significativa na qualidade da superfície usinada, podendo ser selecionada a condição que forneça a maior vida de ferramenta.
- ✓ Na furação com alto avanço, não se percebeu grande variação da temperatura de corte com a variação dos parâmetros de corte. Os valores previstos para o alto avanço foram maiores que para o avanço convencional, entretanto, há uma redução significativa do tempo de corte.
- ✓ A previsão do tamanho de grão indicou que, com o aumento da velocidade de corte e do avanço, houve uma redução do tamanho do grão quando empregado o alto avanço.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM) pelo apoio para o desenvolvimento deste estudo. Agradecimento adicionais ao Prof. Dr. Lincoln Cardoso Brandão e Prof. Dr. Robson Bruno Dutra Pereira, ambos do Departamento de Engenharia Mecânica e Produção (DEMEP) da Universidade Federal de São João del Rei.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

6. REFERÊNCIAS

AAMIR, M. *et al.* Machinability of Al2024, Al6061, and Al5083 alloys using multi-hole simultaneous drilling approach. *Journal of Materials Research and Technology* v. 9, n. 5, p. 10991–11002, 1 set. 2020.

ARRAZOLA, P. J. *et al.* Recent advances in modelling of metal machining processes. CIRP Annals - Manufacturing Technology v. 62, p. 695–718 , ago. 2013.

ASTAKHOV, V. P.; OUTEIRO, J. C. Metal Cutting Mechanics Finite Element Modelling. In: DAVIM, J.P. (Org.). . Machining – Fundamentals and Recent Advances. 1. ed. London: Springer, 2008. p. 13–25. 978-1-84800-212-8.

BIERMANN, D.; IOVKOV, I. Investigations on the thermal workpiece distortion in MQL deep hole drilling of an aluminium cast alloy. CIRP Annals - Manufacturing Technology v. 64, n. 1, p. 85–88 , 2015.

CARUSO, S. *et al.* Numerical simulation of surface modification during machining of nickelbased superalloy. Procedia CIRP v. 31, p. 130–135 , 2015.

CARVALHO, S. R. *et al.* Intelligent machining methods for Ti6Al4V: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering p. 095440892097479 , 26 nov. 2020.

DAHNEL, A. N. *et al.* Drilling of 7075 Aluminum Alloys. In: TIMELLI, G. (Org.). . Aluminium Alloys - Design and Development of Innovative Alloys, Manufacturing Processes and Applications [Working Title]. London: IntechOpen, 2022. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/online-first/80920>>. Acesso em: 9 maio 2022. 978-1-83968-730-3.

DAVOUDINEJAD, A.; TOSELLO, G. 3D Finite Element Modelling of Drilling Process of Al2024-T3 Alloy with solid tooling and Experimental Validation. 2017, Hannover: [s.n.], 2017.

DUAN, C. *et al.* Modeling of white layer thickness in high speed machining of hardened steel based on phase transformation mechanism. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology v. 69, n. 1–4, p. 59–70 , 21 abr. 2013.10.1007/s00170-013-5005-y.

EFKOLIDIS, N. *et al.* Modelling and prediction of thrust force and torque in drilling operations of Al7075 using ANN and RSM methodologies. Journal of Mechanical Engineering v. 64, n. 6, p. 351–361 , 2018.

FLACHS, J. R.; SALAHSHOOR, M.; MELKOTE, S. N. Mechanistic models of thrust force and torque in step-drilling of Al7075-T651. Production Engineering v. 8, n. 3, p. 319–333 , 30 jan. 2014.

IMBROGNO, S. *et al.* 2D Finite Element Model and Microstructural Changes During Cutting of Ti6Al4V in Dry Condition. 2016, Nantes: AIP Publishing, 2016. p.080010–1 – 080010–6.

KYRATISIS, P. *et al.* Prediction of Thrust Force and Cutting Torque in Drilling Based on the Response Surface Methodology. Machines 2018, Vol. 6, Page 24 v. 6, n. 2, p. 24 , 4 jun. 2018.

KYRATISIS, P.; EFKOLIDIS, N.; KAKOULIS, K. Modelling Drilling Experiments on Al7075 Using the Response Surface Methodology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering v. 416, n. 1, p. 012091 , 1 set. 2018.

MOTORCU, A. R.; KUŞ, A.; DURGUN, İ. The evaluation of the effects of control factors on surface roughness in the drilling of Waspaloy superalloy. *Measurement* v. 58, p. 394–408 , 1 dez. 2014.

PACHECO, R. E. R. *et al.* Enhancing Productivity by Means of High Feed Rate in the Drilling of Al 2011 Aluminium Alloy. *Arabian Journal for Science and Engineering* p. 1–8 , 6 jul. 2019.

POLLI, M. L.; CARDOSO, M. J. Effects of process parameters and drill point geometry in deep drilling of SAE 4144M under MQL. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* v. 40, n. 3, p. 137 , 14 mar. 2018.

ROTELLA, G. *et al.* Finite element modeling of microstructural changes in turning of AA7075-T651 Alloy. *Journal of Manufacturing Processes* v. 15, n. 1, p. 87–95 , 2013.

SHEPPARD, T.; TUNNICLIFFE, P. J.; PATTERSON, S. J. Direct and indirect extrusion of a high strength aerospace alloy (AA 7075). *Journal of Mechanical Working Technology* v. 6, n. 4, p. 313–331 , 1 jun. 1982.

WANG, Q. *et al.* Evolutions of grain size and micro-hardness during chip formation and machined surface generation for Ti-6Al-4V in high-speed machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* v. 82, n. 9–12, p. 1725–1736 , 1 fev. 2016.

A STUDY ON THE CUTTING TEMPERATURE IN THE DRILLING OF ALLOY AL7075

Guilherme Lopes Brandão *et al.*

(gui.lope.brandao@gmail.com)

Federal University of São João del-Rei (UFSJ)

ABSTRACT: *The cutting parameters setting is one of the most arduous tasks in the drilling process, as it can influence tool life, machining surface quality, cost and several other responses that can be analysed. The cutting temperature is one of these responses that must be considered when defining the cutting parameters, because, although it does not affect the productivity of the process, it impacts the quality of the machined surface, for example. Thus, observing the temperature behaviour without impacting productivity is a gap in the drilling process. To contribute to the issue, this work developed a model, using the finite element method (FEM), for the drilling of aluminium alloy 7075. The temperature in the shear zone was compared between drilling conditions varying the parameters, however, the material removal rate was kept. The numerical experiments indicated that there is not a high difference in the cutting temperature when the material removal rate is maintained.*

KEYWORDS: *Drilling, Aluminium alloy Al-7075, Finite Element Method, Temperature, Grain-size.*