

MICROUSINAGEM EM PEÇAS FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA DE METAIS: UMA REVISÃO

Daniel Víctor Carvalho Lima

Matheus André de Araújo Soares

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-900, Brasília-DF.

daniel.victorc777@gmail.com

matheus.aa.soares@gmail.com

Déborah de Oliveira

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-900, Brasília-DF.

oliveira.deborah@unb.br

Resumo: Com o avanço tecnológico há uma crescente demanda por processos que sejam capazes de originar peças com geometrias e detalhes específicos. Sendo assim, a manufatura aditiva de metais permite a produção de peças por deposição camada por camada com geometrias livres e complexas, que por depositar o material já próximo de seu formato final, reduz a necessidade de retirada de material para se atingir as dimensões e tolerâncias finais, sendo necessário o estudo das propriedades metalúrgicas e mecânicas de cada material utilizado para se obter dimensões mais próximas da planejada. Não obstante, apesar de todo o avanço na produção de partes com melhor acabamento superficial, ainda se faz necessário a utilização de processos de manufatura subtrativa (usinagem), que além de melhorar o acabamento superficial, permitem obter tolerâncias mais estreitas. Um dos métodos de usinagem, capaz de proporcionar peças com elevadas tolerâncias e detalhes, utilizados atualmente é a microusinagem, utilizando de ferramentas e processos de corte com alta precisão dimensional, permitindo um maior controle de cada parâmetro da retirada de material. Os processos de manufatura aditiva, somados a métodos de microusinagem ampliam as possibilidades de criação de peças de pequenas dimensões, para aplicações particulares que exigem de tais processos características que dificilmente poderiam ser obtidas de outra maneira. Portanto, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão acerca dos diversos métodos de microusinagem utilizados na atualidade e suas aplicações, assim como as principais limitações de cada processo na realização completa da usinagem em peças de metal depositadas por manufatura aditiva. Diante da análise realizada, é observado um crescente aumento nos estudos da área dada as peculiaridades e possibilidades de ambos os processos. Comparativamente, é possível notar uma grande diferença na microusinagem de peças fabricadas por métodos convencionais e por meio de manufatura aditiva. Pôde-se notar que as forças de corte desses materiais têm correlação direta com a densidade do material, resultando ainda em maiores desgastes. Além disso, os parâmetros de deposição se mostraram relevantes, influenciando diretamente na qualidade superficial da peça, mesmo após a microusinagem, sendo que processos de deposição com maiores aportes térmicos resultaram em maiores valores de rugosidade.

Palavras-chave: Microusinagem; Manufatura Aditiva; Qualidade Superficial.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva de metais, também conhecida como impressão 3D, possibilita a fabricação de peças com geometrias complexas através da utilização de CAD (Computer Aided Design), gerando um processo com alta eficiência e flexibilidade, quando comparado com processos convencionais de manufatura (Qin et al., 2022). Outra vantagem da manufatura aditiva é a possibilidade de reduzir processos de usinagem para se obter as geometrias finais das peças, porém apesar de todo avanço tecnológico, ainda se faz necessário utilizar processos subtrativos a fim de se alcançar tolerâncias e qualidade superficiais estreitas (Bordin et al, 2016).

Atualmente há diversos métodos de deposição de metais, classificados pela norma ISO 52900 (2015) de acordo com o estado de fusão, alimentação do material e fonte de fusão. Entre eles tem-se a deposição direta de energia (DED), na qual se deposita o material no local desejado através da utilização de laser, feixe de elétrons ou energia elétrica, a fusão de leito em pó que utiliza de laser ou feixe de elétrons para fundir localmente uma parte do pó metálico a fim de se obter a geometria desejada, e os métodos que ocorrem no estado sólido, como a utilização de laminação (Milner et al., 2021). Para Gong et al. (2022) a fonte de energia selecionada, em conjunto com o material utilizado, modo de deposição e tratamentos térmicos, geram peças com microestruturas heterogêneas e propriedades mecânicas que afetam a

usinabilidade das peças obtidas por manufatura aditiva. Ainda de acordo com os autores, faz-se necessário estudar o tamanho, densidade e orientação da microestrutura, bem como tensão residual e frações de cada fase presente nas peças produzidas, e como essas características influenciam no comportamento mecânico do material.

A microusinagem é um processo subtrativo que permite alcançar variações na rugosidade superficial das peças de até 5 nm, permitindo a fabricação de peças em miniatura, reduzindo principalmente as dimensões de produtos eletrônicos e componentes mecânicos (Serje et al., 2020). Ainda de acordo com estes autores, alguns dos parâmetros que interferem no processo de microusinagem são o efeito escala, forças de corte, formação e quebra de cavaco e formação de rebarbas. Varghese e Mujundar (2021) mencionam ainda que a microusinagem é um processo indispensável para peças feitas por manufatura aditiva, pois apenas com ela é possível ter qualidade superficial com tolerâncias estreitas e reduzir variações dimensionais. Para Rotella et al. (2014) os fatores que alteram a microusinagem de peças obtidas por esse processo de manufatura, são a microestrutura, dureza, rugosidade superficial e tensões residuais.

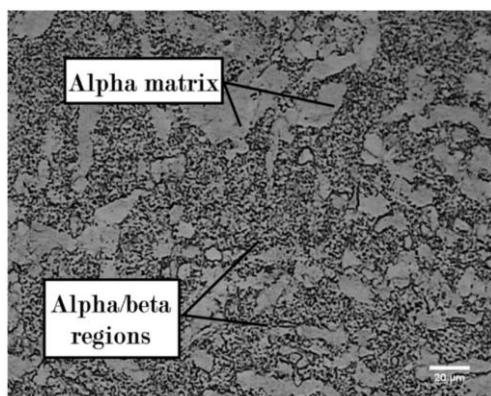
Portanto o objetivo deste estudo é apresentar uma análise da literatura sobre as influências das propriedades mecânicas e da microestrutura, de peças metálicas obtidas por métodos de manufatura aditiva, em sua microusinagem. Assim como apresentar formas de melhorar o processo com tratamentos térmicos, diferentes métodos e parâmetros de deposição, diferentes materiais de ferramenta de corte e parâmetros deste processo.

2. ANÁLISE DA LITERATURA

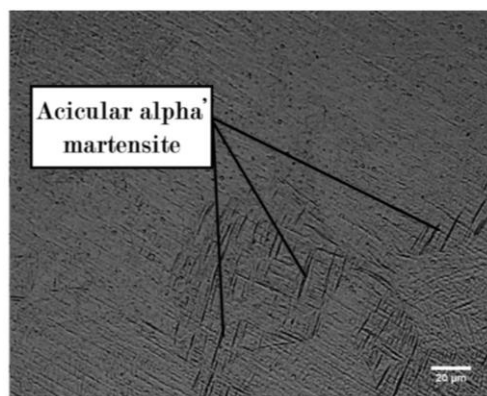
Neste item serão apresentados os principais resultados obtidos através da literatura, bem como discussões e comparações entre os diferentes trabalhos, de forma a contribuir com a compreensão das características da microusinagem de materiais obtidos por manufatura aditiva. Para isso, serão apresentados resultados agrupados em termos do parâmetro avaliado durante a microusinagem, sendo eles: força de corte, formação de rebarbas e acabamento superficial.

2.1. Forças de corte

Um dos fatores de influência na usinabilidade dos materiais é a sua microestrutura, por isso Campos et al. (2020) analisaram e realizaram a microusinagem de dois materiais, sendo uma liga comercial e outra obtida por sinterização a laser de pó metálico (SLM), ambos da liga Ti6Al4V, que apresentaram microestruturas distintas quando analisadas no microscópio (Figura 1). Com isso os autores verificaram que a peça obtida por manufatura aditiva apresentou uma maior dureza e resistência a tração, com um comportamento mais frágil que a liga convencional, essas propriedades levaram a uma menor força de corte e força de corte específico, sendo a diferença média próxima de 10%, podendo ser visto a comparação na Figura 2. esse efeito foi associado pelos autores a microestrutura mais fina do material, junto como fato de o material de liga convencional, desgastar mais a ferramenta de corte, por conta do efeito de *ploughing* mais presente.



Legenda: Alpha matrix = Matriz alfa, Alpha/beta Regions = Regiões alfa/beta.



Legenda: Acicular alpha' martensite = Martensita alfa' acicular.

Figura 1. Microestrutura dos materiais: A) liga comercial, B) obtida por SLM (CAMPOS et al., 2020)

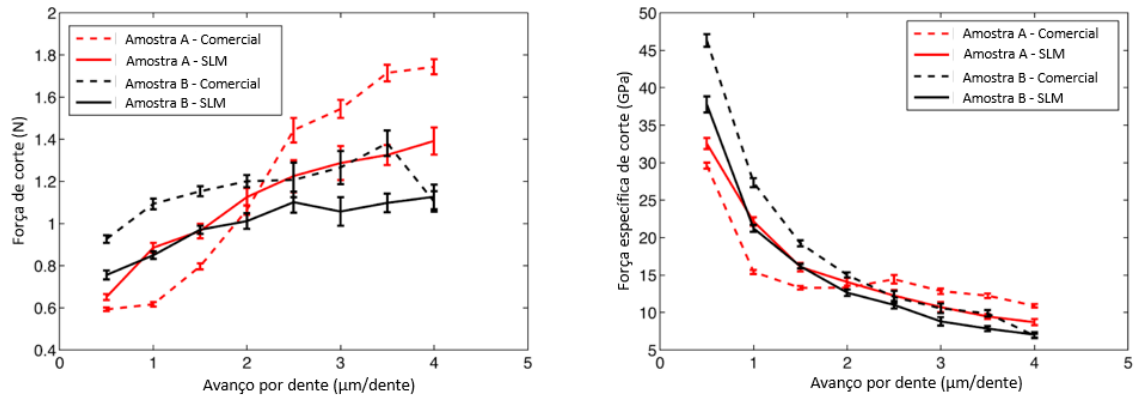


Figura 2. Forças de corte e força de corte específica para a liga comercial e a obtida por SLM (Adaptado de CAMPOS et al, 2020)

Já Greco Et al. (2020), que também utilizaram do SLM, estudaram os efeitos em uma liga de aço inoxidável 316L. Para isso dividiram as amostras em 3, sendo duas produzidas por manufatura aditiva, porém produzidas com parâmetros de potência e velocidade do laser diferentes, além de uma amostra produzida por manufatura convencional. A fim de analisar as influências do material nas forças de corte, dividiram os testes em direções de corte diferentes e avanços variados (Figura 3). o experimento resultou em diferença entre as amostras produzidas por SLM e a convencional, sendo que o parâmetro que mais afetou as forças de corte foi o desgaste da ferramenta, uma vez que quanto maior, também será maior a força de corte. Os valores de desgaste mais expressivo foram obtidos nas amostras fabricadas por SLM, por apresentar uma maior densidade e consequente retirada de material, os autores mencionam ainda que para essas amostras, ocorreram picos de força ocasionados pelas fronteiras entre camadas.

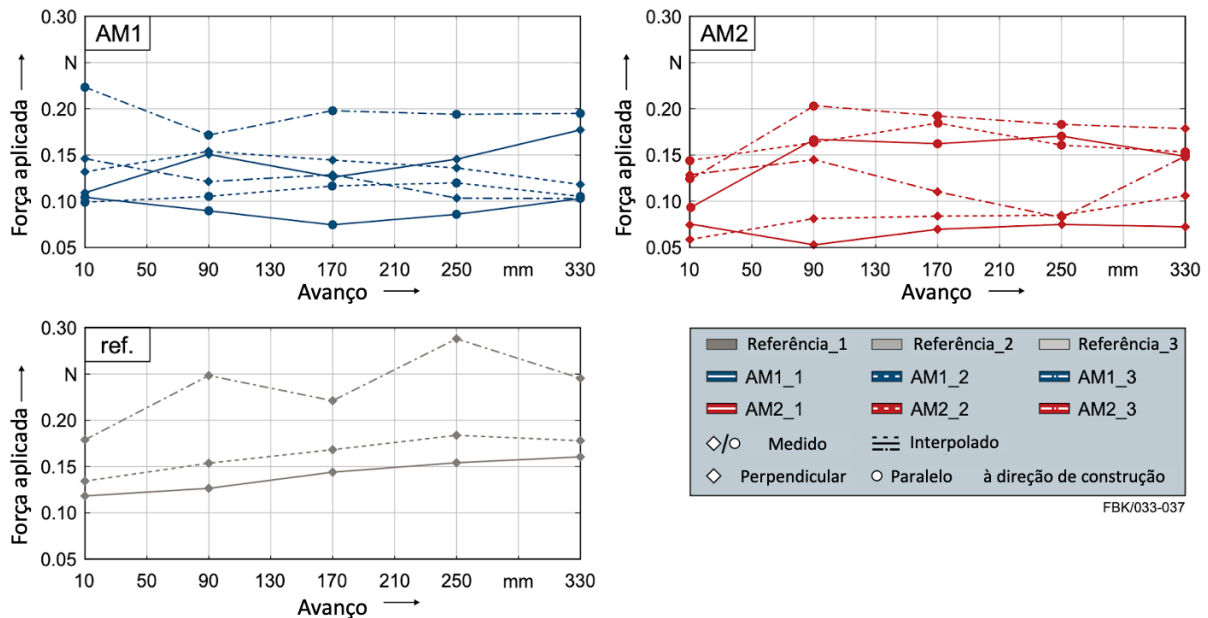


Figura 3. Forças de corte em relação ao avanço da ferramenta de corte, direções de corte é dividido para amostra 1, amostra 2 e referência (Adaptado de GRECO, 2020).

Allegri et al. (2018) realizaram a deposição de uma liga de Co-Cr-Mo, pelo método SLM e efetuaram o processo de microfresamento de canais variando os valores de avanço por dente. A partir desse experimento foi realizada a medição das forças de corte por meio de um dinamômetro KISTLER 9317C nos diferentes parâmetros de avanço. Uma vez que foram obtidos os valores das forças de corte, e sabendo a profundidade e o avanço por dente, é possível calcular a energia específica de corte. A Figura 4 apresenta um gráfico que relaciona a energia específica de corte com o avanço por dente, nele é possível observar um aumento exponencial da energia à medida em que ocorre a redução do avanço. Tal fenômeno ocorre a partir de um determinado valor de avanço conhecido como espessura mínima de corte, no qual ocorre o *ploughing* e não há uma efetiva remoção de material. Para a liga analisada, a espessura mínima de corte está entre 2 μm e 3 μm, sendo este valor aproximadamente 40% do raio da ferramenta.

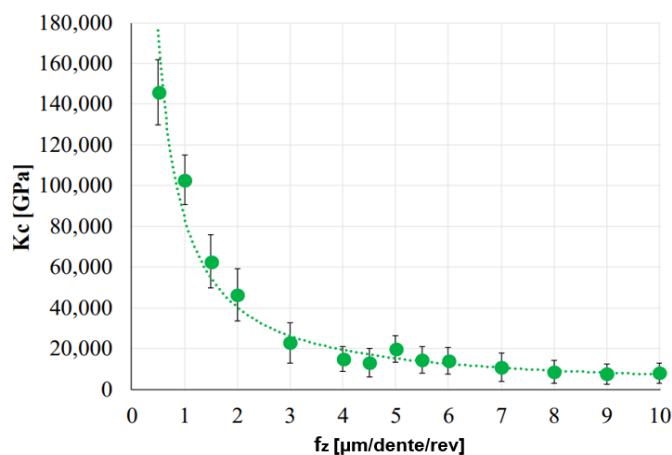


Figura 4. Energia específica de corte por avanço por dente (Adaptado de ALLEGRI et al. 2018).

Já os autores Gao et al. (2020) observaram as forças de corte no processo de microfresamento de uma parede da liga de alumínio 4043 depositado pelo método CMT (*Cold Metal Transfer*). No experimento foram utilizados dois tempos distintos de interpasse, sendo o primeiro de 5 s e o segundo de 120 s. A partir destes diferentes parâmetros de resfriamento do material, que proporcionam distintas microestruturas, foi avaliada a força de corte em diferentes regiões da parede depositada. A Figura 5 apresenta dois gráficos de força resultantes de cada uma das regiões, para os tempos de interpasse, com as três medições realizadas. Para um tempo de interpasse de 5 s, Fig. 5 (a), foi observado que ocorre um aumento na força de corte a medida para as regiões na porção superior da parede enquanto para o tempo de 120 s, Fig. 5 (b), a força se mantém constante, demonstrando a influência do método de deposição nas características mecânicas da peça e consequentemente em sua usinabilidade.

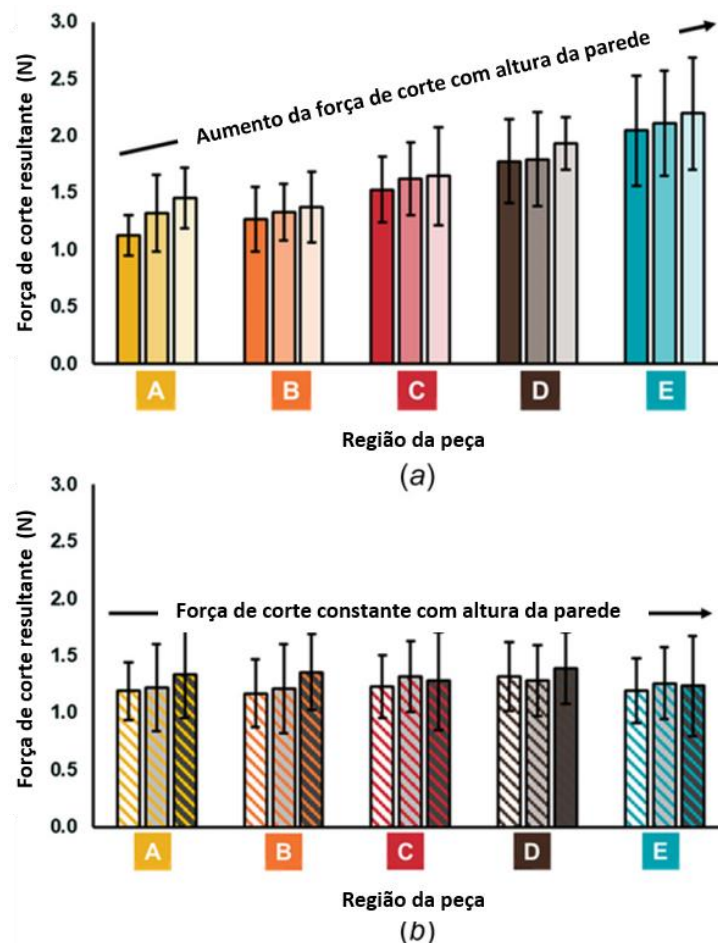


Figura 5. Força Resultante nas diferentes regiões da amostra: A) Força de corte para 5s de tempo de interpasse, B) Força de corte para 120s de tempo de interpasse (Adaptado de GAO et al. (2020)).

2.2. Formação de rebarbas

Khaliq et al. (2020) utilizaram da liga de titânio Ti6Al4V, obtida por SLM, sob condições de microusinagem a seco e utilizando da mínima quantidade de lubrificação (MQL), com intuito de analisar a formação de rebarbas, uma vez que elas representam um problema para montagem de peças e sua presença pode gerar a necessidade de outro processo de acabamento ao final da usinagem, o que não é trivial em peças na escala micro. Para isso, os autores realizaram testes com cortes concordantes e discordantes, diferentes velocidades de corte e avanço (Figura 6). A partir dos resultados, verificaram que para a formação de rebarbas, a utilização do MQL não foi benéfica, com o corte a seco apresentando menos formação de rebarba e menores tensões residuais, a velocidade de corte também apresentou influência na formação de rebarbas, pois quando esta foi aumentada, ocorreu o mesmo efeito na formação das rebarbas. Os autores concluíram então, o uso de que maiores velocidades de corte, baixo avanço combinado com uma estrutura mais refinada, assim como visto por Campos et al. (2020), podem contribuir para a redução de formação de rebarbas em materiais obtidos por manufatura aditiva.



Legenda: Up milling burr = Rebarba discordante, Down milling burr = Rebarba concordante, Feed = Avanço, Dry = seco (operação sem fluido de corte).

Figura 6. Formação de rebarba com diferentes parâmetros e utilizando o (a) corte a seco e (b) MQL (KHALIQ et al, 2020)

Em outro estudo, Hojati et al. (2020) também avaliaram a liga Ti6Al4V e para sua fabricação utilizaram da deposição por feixe de elétrons (EBM) analisando o efeito deste método na formação de rebarbas, forças de corte, qualidade superficial e morfologia dos cavacos. Para tanto, verificaram a microestrutura do material obtido por EBM e obtiveram resultados similares ao de Campos et al. (2020) com estrutura fina e em formato de agulhas, o que contribuiu para uma maior dureza quando comparado com o material obtido por extrusão, aproximadamente 100 HV de diferença. Através dos experimentos, foi obtido que a formação de rebarbas foi maior em altas forças específicas de corte, gerando menos cavaco e resultando em um maior efeito de *ploughing*, além disso a dureza foi outro fator que contribuiu para a maior formação de rebarbas, associada ainda a maiores valores de rugosidade da peça obtida por EBM. Em relação à forma das rebarbas, o material depositado apresentou formação de rebarbas descontínuas, enquanto no material extrudado as rebarbas foram contínuas e em formato ondulado.

Greco et al. em 2021, avaliaram a formação de rebarbas na formação de microcanais utilizando a microusinagem para tal, o material selecionado para o estudo foi a liga de aço 316L obtida por fusão de leito em pó (PBF). Os autores utilizaram para sua análise da qualidade da peça o recurso de obtenção da topografia 3D da peça ao final do processo, comparando com a previsão feita no *Matlab*, por classificação binária da rebarba. Os autores reportaram que os resultados foram similares, conforme apresentado na Figura 7. Outra análise realizada foi em função das vibrações presentes durante a microusinagem, para isso os autores induziram uma excitação de 510 Hz no sistema e compararam com a microusinagem sem excitação. Como resultado, os autores notam que a vibração associada a baixas velocidade de avanço geram maior formação de rebarba, porém, se estabilizam para velocidades de avanço maiores. No caso da microusinagem sem vibração, a formação de rebarbas tem correlação direta e aumenta conforme o aumento da velocidade de avanço, chegando assim a ultrapassar a quantidade no caso com vibração para valores de velocidade de avanço elevados.

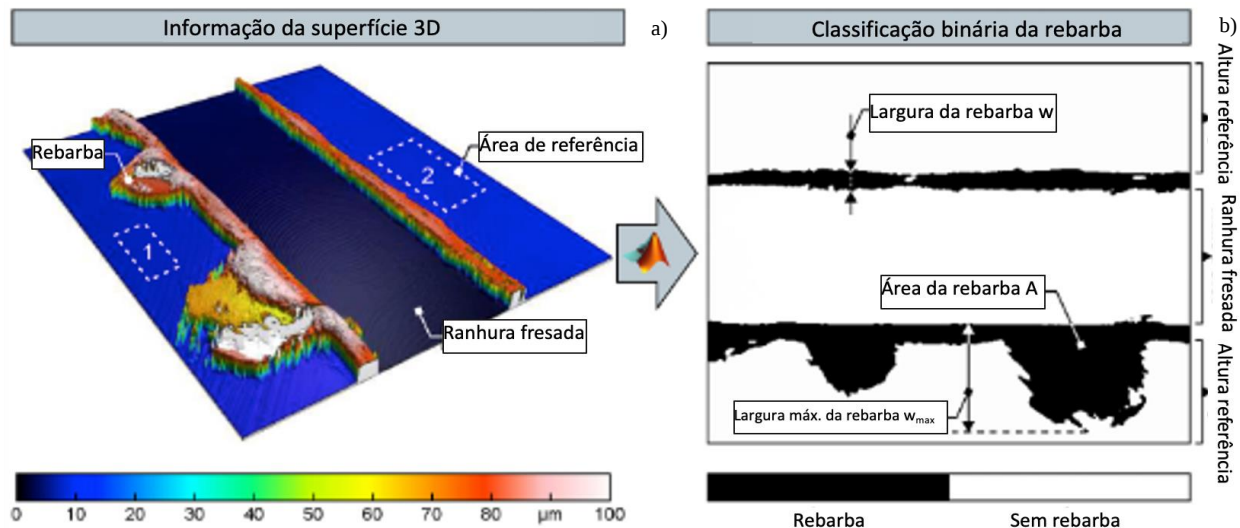


Figura 7. Topografia da peça após usinagem (a) e resultado esperado por rotina no *Matlab* (b) (Adaptado de GRECO et al., 2021).

Allegri et al. (2018) também realizaram uma análise da formação do cavaco durante o processo de microfresamento da liga de Co-Cr-Mo produzida por SLM. A partir da análise em um microscópio Hirox-Rh 2000, foram medidos os comprimentos de cavaco formados nos diferentes canais. Ademais, foi observada uma relação de proporcionalidade entre o avanço por dente e o comprimento do cavaco sendo que com maiores avanços foram obtidos maiores comprimentos, como apresentado pelo gráfico da Figura 8.

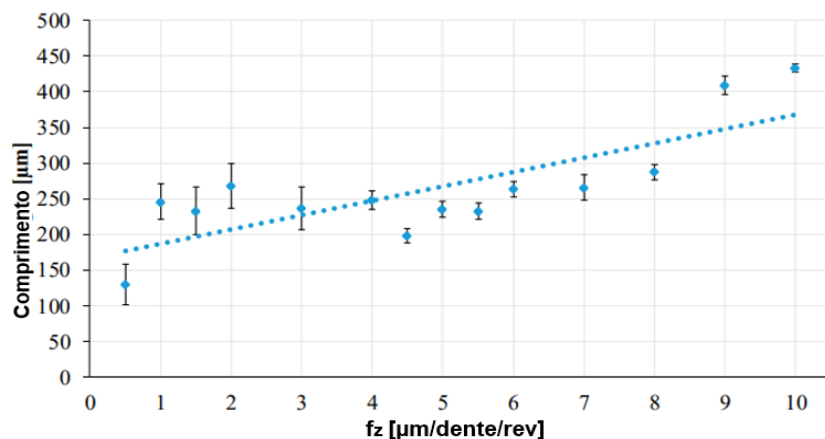


Figura 8. Relação entre comprimento do cavaco e avanço por dente (Adaptado de ALLEGRI et al., 2018).

O cavaco resultante do microfresamento da liga de Ti6Al4V, obtida tanto por deposição pelo método SLM quanto fabricado por método convencional, foram coletados e observados por Campos et. al (2020). Para realizar a análise, os autores utilizaram um microscópio eletrônico de varredura (MEV). A Figura 9 apresenta fotografias dos cavacos, pode-se notar que os cavacos têm característica majoritariamente helicoidal, somado a isso, foi observado que o comprimento do cavaco é maior para menores valores de avanço por dente.

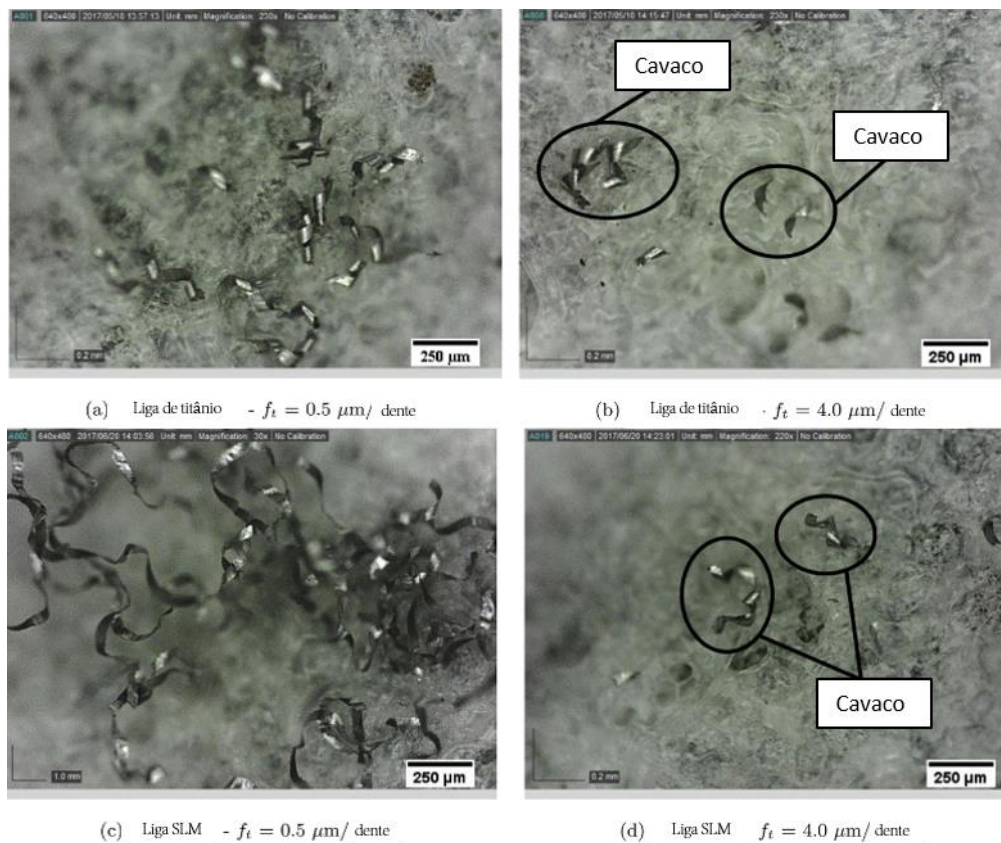


Figura 9. Morfologia do cavaco de Ti-6Al-4V (Adaptado de CAMPOS et al., 2018).

2.4. Acabamento superficial

Para avaliar o acabamento superficial, Ji et al. (2021) realizaram a deposição da liga de Inconel 718 pelo método SLM e em seguida realizaram um processo de microfresamento comparando o material produzido por manufatura aditiva com o forjado. O gráfico da Figura 10 apresenta o valor de rugosidade R_a a partir de diferentes parâmetros de rotação da ferramenta (velocidade de corte) e avanço. Neste gráfico, Fig. 10, é possível observar que os valores de rugosidade aumentaram em relação direta com o aumento da velocidade de corte, os valores por outro lado e reduziram com o aumento do avanço, o que não é esperado na literatura para usinagem macro, onde o avanço tem influência direta sobre o acabamento superficial. Os autores também concluíram que a rugosidade da peça fabricada por manufatura aditiva foi inferior à produzida por forjamento, este resultado foi associado ao menor desgaste de flanco da ferramenta.

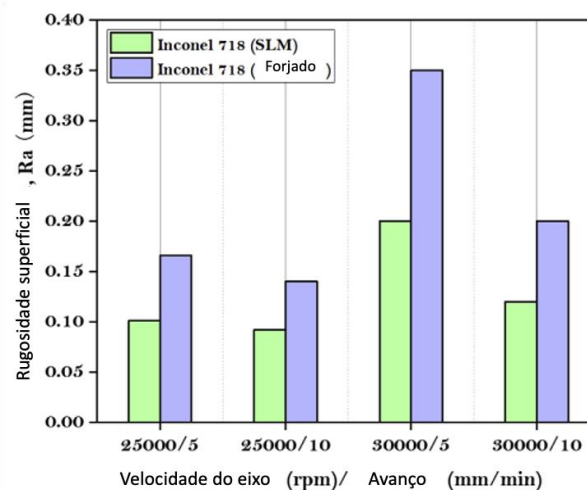


Figura 10. Rugosidade R_a por rotação e avanço (Adaptado de JI et al., 2021).

De forma similar, Danish et al. (2022), realizaram o microfresamento de uma liga de Inconel 718 produzida por SLM sob diferentes condições de lubri-refrigeração (sem fluido de corte, em abundância, ar refrigerado e MQL). Após a usinagem com os diferentes parâmetros, foi realizada a medição da rugosidade utilizando um perfilômetro óptico modelo Nanovea-ST400, sendo obtido o gráfico comparativo para as diferentes condições. Conforme pode ser observado na Figura 11, é possível identificar que o processo feito com ar refrigerado resultou numa maior rugosidade de superfície e que a rugosidade obtida com a lubrificação pelo método MQL apresentou valor semelhante ao com lubrificação em abundância. Os autores também concluíram que a utilização do método MQL resultou em uma superfície 65% menos rugosa quando comparada ao processo realizado sem fluido de corte.

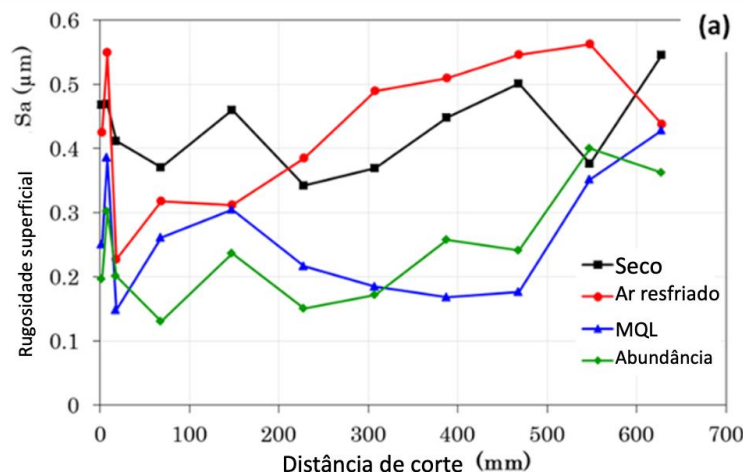


Figura 11. Rugosidade Sa por distância de corte em diferentes condições de lubrificação (Adaptado de GAO et al., 2021).

Ademais Gao et al. (2020), que conforme mencionado produziram uma parede da liga de alumínio 4043 através do método CMT, com tempos de interpasse de 5 s e 120 s, avaliaram também a qualidade superficial. Os autores realizaram a medição da rugosidade média por meio de um perfilômetro óptico e de forma análoga como ocorreu na medição de força, a amostra com tempo de interpasse de 5s apresentaram maiores valores de rugosidade a medida em que se atingiam as porções superiores da parede, indicando que a variação microestrutural decorrente do aquecimento proveniente do processo interferiu na qualidade superficial da peça, mesmo após a microusinagem. Por outro lado, na amostra de maior tempo de interpasse o valor de rugosidade se manteve relativamente constante.

2.5. Considerações gerais

O estudo dos fatores que influenciam na microusinagem de peças obtidas por manufatura aditiva mostrou que estes são diferentes dos de influência nas peças obtidas por métodos convencionais, portanto é importante que se saiba quais propriedades do material irão interferir na usinagem. Destacando-se a microestrutura do material depositado, nota-se que quanto mais frágeis, menores as forças de corte, quando comparado com ligas convencionais, ao mesmo tempo que um material mais denso ocasionará maior retirada de material, aumentando o desgaste na ferramenta e, consequentemente, as forças de corte. Notou-se ainda que os parâmetros de deposição utilizados na manufatura dos materiais também têm influência na força de corte, dependendo do material e processo escolhido;

Em termos de rebarba, sabe-se que ela é um resultado indesejado da usinagem e se torna um problema ainda mais relevante para peças em escala micro, sendo importante entender quais parâmetros favorecem uma menor formação. Para os materiais depositados, apresentados nesse estudo, a formação indesejada de rebarbas pode ser reduzida com o aumento da velocidade de corte, a redução do avanço por dente e com a obtenção de uma microestrutura mais refinada do material. Outra propriedade do material que pode aumentar a formação de rebarbas é a dureza do material fabricado, no entanto não houve uma variação direta, sendo variado de acordo com o tipo de material, o método de deposição e os parâmetros utilizados.

Somado a isto, em termos de formação de cavaco, o cavaco resultante do processo de microfresamento em peças produzidas por manufatura aditiva ainda é pouco estudado, sendo observado uma relação de proporcionalidade do comprimento deste com o avanço por dente. Por fim, tal como os outros efeitos analisados, a rugosidade é diretamente influenciada pelos parâmetros de corte (tipo de lubrificação, velocidade de rotação e avanço) e condições de fabricação do material, visto que os ciclos térmicos no qual a peça é submetida no processo de manufatura aditiva interferem na microestrutura e por consequência nas propriedades finais do material que terão efeito direto no corte e por consequência na rugosidade da peça.

3. CONCLUSÕES

Após a realização dos estudo teórico das características de microusinagem de materiais obtidos por diferentes métodos de manufatura aditiva, as seguintes conclusões podem ser obtidas:

- i. As forças de corte durante a microusinagem de materiais obtidos por manufatura aditiva têm correlação direta com a densidade do material, quanto mais denso maiores as forças de corte e consequentemente o desgaste da ferramenta.
- ii. Processos de deposição que resultam em peças mais frágeis, favorecem o corte, reduzindo as forças de corte.
- iii. Os parâmetros de deposição, com sua consequente influência nas características mecânicas finais da peça, interferem diretamente no acabamento superficial, sendo as maiores variações de rugosidade foram reportadas em peças com maiores aportes térmicos durante a deposição.
- iv. Ainda há poucos estudos sobre a formação de cavacos em microusinagem de peças obtidas por manufatura aditiva, sendo necessários novos estudos.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Brasília.

5. REFERÊNCIAS

- Blakey-Milner, B., Gradl, P., Snedden, G., Brooks, M., Pitot, J., Lopez, E., Leary, M., Berto, F. e Plessis, A., 2021. *Metal additive manufacturing in aerospace: A review*, Vol. 209, 110008.
- Bordin, A., Medeossi, F., Ghioti, A., Bruschi, S., Savio, E., Facchini, L. e Bucciotti, F., 2016. Feasibility of Cryogenic Cooling in Finishing Turning of Acetabular Cups Made of Additive Manufactured Ti6Al4V. *Procedia CIRP*, Vol. 46, p. 615-618.
- Campos, F., Araujo, A., Munhos, A. e Kapoor, S., 2020. The influence of additive manufacturing on the micromilling machinability of Ti6Al4V: A comparison of SLM and commercial workpieces. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 60, p. 299-307.
- Danish, M., Aslantas, K., Hascelik, A., Rubaiee, S., Kumar, M., Yildirim, M., Ahmed, A. & Mahfouz, A., 2022. An experimental investigations on effects of cooling/lubrication conditions in micro milling of additively manufactured Inconel 718. *Tribology International*, Vol. 173; p. 107620.
- Gabriele, A., Colpani, A., Ginestra, P. e Attanasio, A., 2018. An Experimental Study on Micro-Milling of a Medical Grade Co-Cr-Mo Alloy Produced by Selective Laser Melting. *Materials*, Vol. 12(13), 2208.
- Gao, Z., Nowak, J. F., Corbin, J., Delgado, L., and Samuel, J., 2021. Sensitivity of Micromilling Responses to Grain Variations in Wire Arc Additively Manufactured Aluminum Alloy 4043. *Journal of Micro and Nano-Manufacturing*, Vol. 8; n. 4.
- Gong, X., Zeng, D., Groeneveld-Meijer, W. e Manogharan, G., 2022. Additive manufacturing: A machine learning model of process-structure-property linkages for machining behavior of Ti-6Al-4V. *Material Science in Additive Manufacturing*, Vol. 1, 6.
- Greco, S., Kieren-Ehse, S., Kirsch, B. e Aurich, J., 2020. Micro milling of additively manufactured AISI 316L: impact of the layerwise microstructure on the process results. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 112, p. 361-373
- Greco, S., Klauer, K., Kirsch, B. e Aurich, J., 2021. Vibration-assisted micro milling of AISI 316L produced by laser-based powder bed fusion. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 71, p. 298-305.
- Hojati, F., Daneshi, A., Soltani, B., Azarhoushang, B. e Biermann, D., 2020. Study on machinability of additively manufactured and conventional titanium alloys in micro-milling process. *Precision engineering*, Vol. 62, p. 1-9.
- ISO 52900, 2015. Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. 17 Dez. 2016 < <https://www.iso.org/standard/69669.html>>.
- Ji, H., Gupta, M., Song, Q., Cai, W., Zheng, T., Zhao, Y., Liu, Z. e Pimenov, D., 2021. Microstructure and machinability evaluation in micro milling of selective laser melted Inconel 718 alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 14, p. 348-362.
- Khaliq, W., Zhang, C., Jamil, M. e Khan, A., 2020. Tool wear, surface quality, and residual stresses analysis of micro-machined additive manufactured Ti-6Al-4V under dry and MQL conditions. *Tribology International*, Vol. 151, 106408.8
- Qin, J., Hu, F., Liu, Y., Witherell, P., Wang, C., Rosen, D., Simpson, T., Lu, Y. e Tang, Q., 2022. Research and application of machine learning for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, Vol. 52, 102691.
- Rotella, G., Dillon, O.W., Umbrello, D., Settineri, S. e Jawahir, I.S., 2013. The effects of cooling conditions on surface integrity in machining of Ti6Al4V alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 71, p. 47-55.

Serje, D., Pacheco, J. e Diez, E., 2020. Micromilling Research: Current Trends and Future Prospects. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 111, p. 1889-1916.

Varghese, V. e Mujumdar, S., 2021. Micromilling-induced Surface Integrity of Porous Additive Manufactured Ti6Al4V Alloy. *Procedia Manufacturing*, Vol. 53, p. 387-394.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

MICRO MACHINING IN METALIC PARTS OBTAINED BY ADDITIVE MANUFACTURING: A REVIEW

Daniel Víctor Carvalho Lima

Matheus André de Araújo Soares

University of Brasilia, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Zip code 70910-900, Brasília-DF, Brazil
daniel.victorc777@gmail.com
matheus.aa.soares@gmail.com

Déborah de Oliveira

University of Brasilia, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Zip code 70910-900, Brasília-DF, Brazil
oliveira.deborah@unb.br

Abstract. *With the technological advance, there is a growing demand for processes that are able to originate parts with specific geometries and details. In this bias, the additive manufacturing of metals allows the production of parts by deposition layer by layer with free and complex geometries, which by depositing already in its final format, reduces the need to remove material to reach the final dimensions and tolerances, being It is necessary to study the metallurgical and mechanical properties of each material used to obtain dimensions closer to the planned one. However, despite all the progress in the production of parts with better surface finish, it is still necessary to use subtractive manufacturing processes (machining), which in addition to improving the surface finish, allow for closer tolerances. One of the machining methods capable of providing parts with high tolerances currently used is micromachining, using tools and cutting processes with high dimensional accuracy, allowing greater control of each parameter of material removal. Additive manufacturing processes, added to micromachining methods, expand the possibilities of creating small-sized parts for particular applications that demand characteristics from such processes that could hardly be obtained in any other way. Therefore, this study aims to review the various micromachining methods used today and their applications, as well as the main limitations of each process in the complete machining of metal parts deposited by additive manufacturing. In view of the analysis carried out, a growing increase in studies in the area is observed, given the peculiarities and possibilities of both processes. Comparatively, it is possible to notice a great difference in the micromachining of parts manufactured by conventional methods and by means of additive manufacturing. It could be noted that the cutting forces of these materials have a direct correlation with the density of the material, resulting in even greater wear. In addition, the deposition parameters were relevant, directly influencing the surface quality of the part, even after micromachining, and deposition processes with higher thermal inputs resulted in higher roughness values.*

Keywords: *Micro Machining; Additive Manufacturing; Surface Quality.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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