

INFLUÊNCIA DA VAZÃO E DO POSICIONAMENTO DO BOCAL DO FLUIDO DE CORTE NO FRESAMENTO DE PEÇAS DE ER70S-6 OBTIDAS POR MADA

Guilherme Menezes Ribeiro

Marcos Vinicius Gonçalves

Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Gleba A, Setor Norte, via L3 Norte
marcos.1906.goncalves@gmail.com, guilhermemribeiro1@gmail.com

Déborah De Oliveira

Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Gleba A, Setor Norte, via L3 Norte
oliveira.deborah@unb.br

Resumo: Materiais fabricados por manufatura aditiva têm ganhado grande espaço nas indústrias atualmente devido à grande versatilidade do processo em fabricar peças cada vez mais complexas. Dentre os diferentes tipos de manufatura aditiva, destaca-se para fabricação de peças metálicas, o processo de manufatura aditiva a arco elétrico, que apresenta elevadas taxas de deposição, quando comparado a outras metodologias. Porém, esse processo ainda não garante os melhores parâmetros de acabamento superficial, o que impede o uso imediato da peça após fabricação. De forma mais específica, problemas como diferentes propriedades mecânicas, baixa precisão dimensional e pobre acabamento superficial, são alguns dos itens que fazem com que seja preciso uma etapa de pós processamento. Assim, a usinagem se faz necessária para atingir as tolerâncias e geometrias finais da peça, sendo o fresamento um dos processos mais utilizados. Analisando-se a usinagem, sabe-se que para melhorar o acabamento da peça a literatura mostra algumas opções principais como: ajustar os parâmetros de corte, principalmente o avanço, mudar a geometria da ferramenta e utilizar fluido de corte. Nesse contexto, a fim de se obter os melhores resultados em termos de qualidade superficial no fresamento de peças impressas por manufatura aditiva a arco elétrico, este trabalho tem como objetivo verificar a influência da vazão e do posicionamento dos bocais do fluido de corte na qualidade superficial de peças de ER70S-6 obtidas por manufatura aditiva a arco elétrico. Para isso, o bocal de saída do fluido de corte será posicionado em 3 diferentes posições e 2 vazões serão avaliadas, resultando em 6 combinações. O processo de fresamento será realizado em um centro de usinagem CNC XH7132, com fresas de metal duro de 5 mm, com revestimento TiAIN. Em seguida, o material será submetido a ensaios de rugosidade e análise superficial, a fim de comparar os acabamentos superficiais das diferentes configurações de lubri-refrigeração e assim contribuir para o acabamento de peças impressas. Os resultados do experimento que utilizou um bocal alinhado na direção de avanço com vazão de 10 l/min, obteve o melhor acabamento superficial e menor rugosidade com $Ra=0,48 \mu m$ e $Rz=3,43 \mu m$. Utilizando-se vazão de 10 l/min, o posicionamento de 15° gerou um acabamento inferior e a posição 45° um acabamento intermediário. Os experimentos com vazão de 20 l/min obtiveram rugosidades elevadas e acabamentos inferiores, sendo o maior valor obtido para 45° com Ra igual a $0,77 \mu m$. Assim, os parâmetros utilizados mostraram-se que aumentaram numericamente o valor da rugosidade, todavia geraram superfícies com menos defeitos que trabalhos similares, apresentando-se apropriados para o uso na usinagem de peças de ER70S-6 obtidas por MADA.

Palavras-chave: Fluido de Corte; Fresamento; Manufatura Aditiva por Deposição a Arco; Qualidade superficial; Rugosidade

1. INTRODUÇÃO

Historicamente o setor industrial tem forte ligação com o setor de usinagem, seja para fabricação, recuperação, aperfeiçoamento ou até mesmo fabricação de componentes. Por esse motivo tornou-se um setor que está em constante evolução apresentando novas técnicas, máquinas, ferramentas, processos e outros (Crispim, 2022).

Com as constantes evoluções nos métodos de fabricação surgiu a manufatura aditiva, esta por sua vez tomou destaque nas últimas décadas, sendo estudada justamente pela sua capacidade de economia no processo (Hackenhar, 2020). Este método de fabricação ramificou-se em algumas formas definidas pelo material a ser utilizado, existindo manufatura aditiva para polímeros, metal em pó, por deposição a arco (MADA). De modo geral a manufatura aditiva é um modo de fabricação que possibilita a criação de objetos, peças, componentes com as mais variadas formas e geometrias por meio da sobreposição de várias camadas de material e essas camadas são depositadas com base no desenho digital definido pelo software de processamento utilizado, logo é um processo que demanda de três etapas a primeira seria a modelagem,

etapa de criação do objeto computacionalmente, a segunda seria a camada ou fatiamento do objeto para que a máquina consiga ler e realizar os movimentos para deposição da camada e por último como conhecido popularmente a impressão 3D, etapa de concretização do objeto (Certi, 2022).

Mesmo sendo um modelo de produção bastante estudado nas últimas décadas, o MADA possui fatores e parâmetros que influenciam sobre a confecção das peças. Por ser um método que consiste em deposições de material por arco elétrico o MADA fica sujeito a defeitos típicos dos processos de soldagem como trincas, porosidade, oxidação, mas o mais complexo de ser controlado por hora são as inconsistências geométrica dos cordões e a tensão residual oriundas de excessivas aplicações térmicas (Rosa, 2020). É fácil notar variações geométricas (Fig. 1) e empenamento devido às tensões residuais do processo quando se deposita o metal.

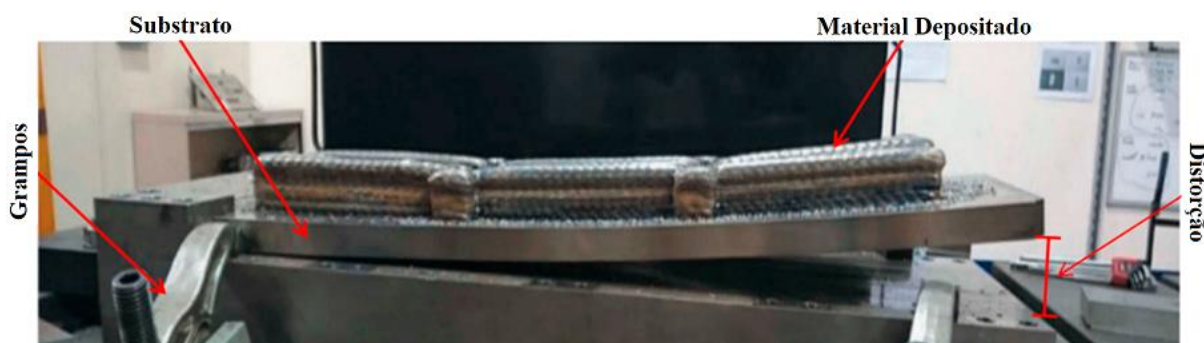


Figura 1. Empenamento por tensões residuais (Rodrigues et al., 2019).

Devido a estas características do processo de fabricação MADA, a associação com etapas de pós-processamento se torna inevitável, uma vez que em alguns casos há a necessidade de uma peça com um acabamento mais polido. Ademais, faz-se necessário a realização de correções sobre as inconsistências geométricas na peça, até mesmo para superar limitações do processo como a produção de certos tipos de curva, devido ao efeito “escada” gerado pelo fatiamento da peça e deposições de camadas (Rosa, 2020).

Um processo utilizado como etapa de pós-processamento em peças confeccionadas por MADA é o fresamento. O fresamento é um processo de usinagem onde a remoção de material da peça é realizada de forma intermitente, pelo movimento rotativo da ferramenta, esta geralmente é multicortante, denominada fresa (Stemmer, C. E, 1992).

O processo de fresamento possui diversas variáveis intrínsecas do processo como velocidade de corte, avanço/profundidade de corte, tipo de ferramenta, estas por sua vez influenciam diretamente no resultado da peça confeccionada (Machado et. al, 2011).

Um dos parâmetros que pode ser facilmente modificado é o fluido refrigerante e a forma como ele é aplicado no processo. Os fluidos de corte são classificados por sua composição e objetivo, dividem-se em três categorias principais sendo elas óleos, emulsões e soluções. Estes exercem funções importantes no processo podendo ter seu foco em obter um melhor resultado em lubrificação ou em refrigeração, buscando sempre reduzir o desgaste da ferramenta e assim melhorar o acabamento da peça evitando dano térmico na mesma e mitigando os desgastes ocasionados sobre a ferramenta (Diniz; Marcondes; Coppini, 2001).

E para obter o melhor rendimento com a aplicação do fluido faz-se necessário uma aplicação correta dele no processo, posicionando os bocais de injeção de fluido da melhor forma possível a fim de evitar desperdício do mesmo e fazer com que o fluido possa penetrar na interface cavaco-ferramenta para que realize adequadamente a função de refrigerar/lubrificar (Ferraresi, 1969). Quanto aos posicionamento para injeção de fluido é possível classificá-los em três tipos, sendo eles a direção sobre o cavaco, na superfície de saída da ferramenta, superfície de folga da ferramenta ou até mesmo por dentro da ferramenta (Diniz; Marcondes; Coppini, 2001).

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo a análise da influência do posicionamento do bocal e da vazão de fluido de corte no fresamento de uma peça de ER70S-6 fabricado por manufatura aditiva por deposição a arco. Esta análise foi voltada para a integridade da superfície da peça, em que mediu-se os parâmetros de rugosidade e obteve-se imagens da superfície para identificação de possíveis defeitos.

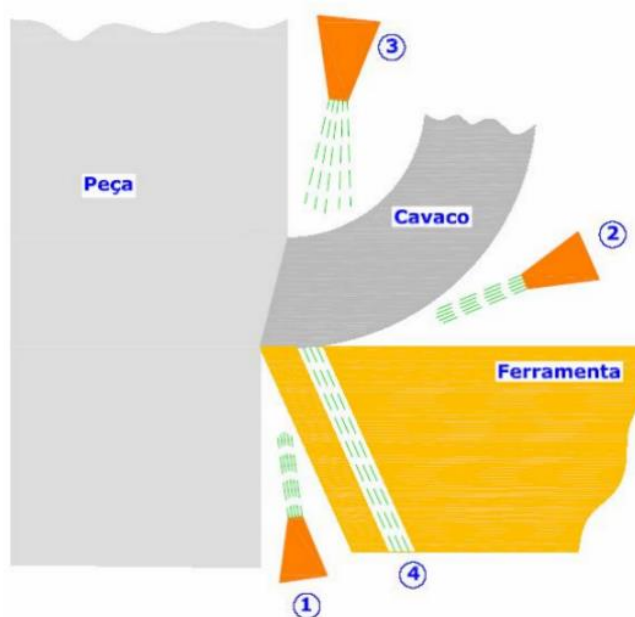


Figura 3. Direções de injeção de fluido de corte: 1) superfície de folga; 2) saída do cavaco; 3) sobre-cavaco; 4) por dentro da ferramenta (Almeida et al., 2006).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Procedimento Experimental

A peça utilizada nos experimentos é fabricada do arame ER70S-6 de 1,2 mm de diâmetro. Esse é um material comumente utilizado como arame de soldagem e foi o material utilizado para deposição realizada por MADA. Os demais parâmetros da deposição e maiores detalhes do processo podem ser encontrados no trabalho de Novelino (2021). Algumas propriedades mecânicas e químicas importantes do ER70S-6 podem ser vistas na Tab. 1.

Tabela 1. Propriedades químicas e mecânicas do arame ER70S-6 (Boehler, 2022).

Composição química do arame			
Carbono (C)	Silício (Si)	Magnésio (Mn)	
0,07	0,85	1,5	
Propriedas mecânicas			
Limite de Escoamento (Mpa)	Resistência à tração (Mpa)	Alongamento %	Resistência ao impacto Charpy-J
450	575	30	27 J Mín. (-30°C)

A peça que foi utilizada no experimento pode ser vista na Fig. 2. A peça possui 40 mm de largura, 160 mm de comprimento e 5 mm de espessura. No experimento foram realizados doze canais na peça com comprimento de 20 mm cada canal.



Figura 2. Peça utilizada no experimento.

A máquina ferramenta utilizada é o centro vertical VEGA XH7132 localizado no Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. A ferramenta utilizada foi uma fresa de metal duro de 5 mm, duas arestas de corte, com revestimento de TiAlN (G9A69050) da fabricante YG-1. O fluido de corte utilizado nos

experimentos foi o fluido solúvel sintético biodegradável BIO100e da Biolub Química Ltda, esse fluido possui boa durabilidade, bom poder lubrificante, refrigerante e anticorrosivo.

Outro fator importante a se controlar são os parâmetros de corte do processo. Dentre os parâmetros selecionados pode-se citar velocidade de corte de 10 m/min, rotação de 637 rpm, avanço de 0,025 mm/dente, profundidade de corte de 0,5 mm e penetração de trabalho de 5 mm. Esses parâmetros foram selecionados com base na melhor configuração obtida no trabalho de Barreto (2022).

Para a aplicação do fluido de corte foram utilizados dois bocais, nos quais serão posicionados em diferentes configurações para obter a configuração mais otimizada. Os bocais tiveram suas posições alteradas em três ângulos em relação a direção de avanço, em um plano de vista superior do processo, são eles 15°, 45° e alinhado na direção de avanço. Ademais, o fluido de corte foi aplicado com duas vazões diferentes, a fim de observar a influência da vazão no processo, são elas 10 l/min e 20 l/min. As configurações de cada experimento podem ser vistas na Tab. 2. Por último, um esquema das posições dos bocais é mostrado na Fig. 3.

Tabela 2. Configurações de posicionamento dos bocais.

Teste	Canal	Número de Bocais	Vazão do Fluido (l/min)	Ângulo dos Bocais
1	1	2	20	45°
	2	2	20	45°
2	3	2	20	15°
	4	2	20	15°
3	5	2	10	15°
	6	2	10	15°
4	7	2	10	45°
	8	2	10	45°
5	9	1	10	0°
	10	1	10	0°
6	11	1	5	0°
	12	1	5	0°

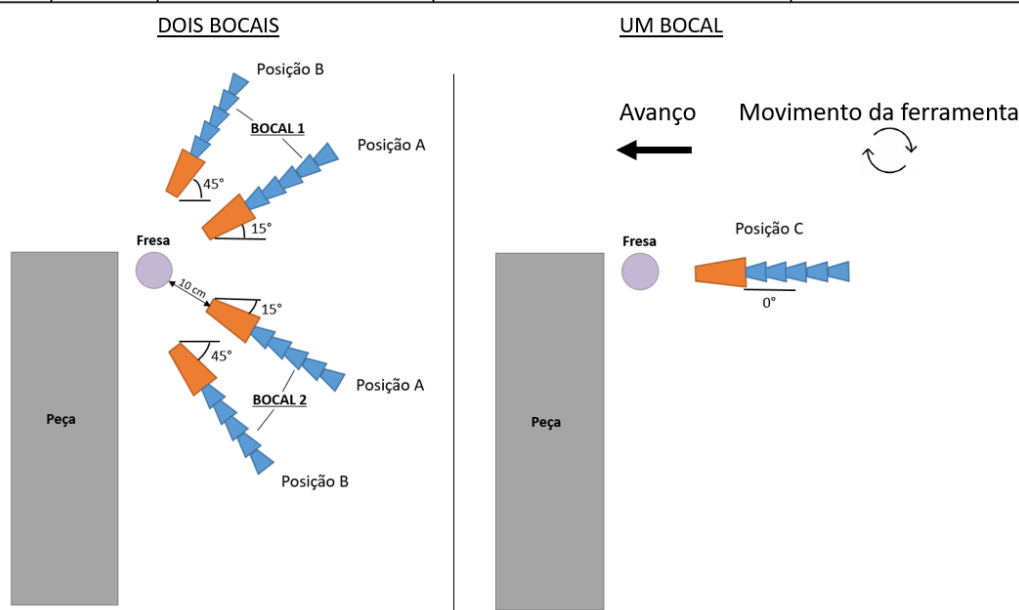


Figura 3. Esquema de posicionamento dos bocais.

2.2. Variáveis de saída

Dentre as diferentes formas de avaliar o resultado do fresamento selecionou-se: rugosidade e imagens da superfície. As medições foram realizadas da seguinte forma:

- Rugosidade: realizou-se três medições em cada canal, o valor final será apresentado como média das medições com desvio padrão. O rugosímetro utilizado será o rugosímetro portátil modelo SJ-201 da Mitutoyo, o comprimento de amostragem foi de 4 mm, utilizou-se um cut-off de 0,8 mm e de acordo com a norma NBR ISO 4287 (2002).
- Análise Superficial: realiza-se a verificação da superfície da peça por microscópio seguindo a norma NBR NM 315 (Amn, 2017). O microscópio utilizado foi um de medição 3D a laser LEXT OLS4100 da Olympus.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores encontrados para os parâmetros de rugosidade média (Ra) e altura máxima (Rz) são mostrados na Tab.3. Além disso, são representados por meio de gráficos de barras nas Fig. 4 e 5. Os gráficos apresentam os valores médios das medições e o desvio padrão (DP).

Tabela 3. Valores encontrados para rugosidade.

Canal	Ra		Rz	
	Média	DP	Média	DP
1	0,793333	0,020817	4,17	0,363731
2	0,766667	0,040415	4,066667	0,211266
3	0,773333	0,049329	4,036667	0,388887
4	0,723333	0,025166	4,06	0,415812
5	0,706667	0,040415	3,81	0,225167
6	0,603333	0,041633	3,506667	0,228546
7	0,566667	0,020817	3,433333	0,056862
8	0,53	0,055678	3,37	0,170587
9	0,483333	0,015275	3,256667	0,049329
10	0,683333	0,064291	4,2	0,915369
11	0,69	0,026458	3,456667	0,258908
12	0,636667	0,037859	3,823333	0,257164

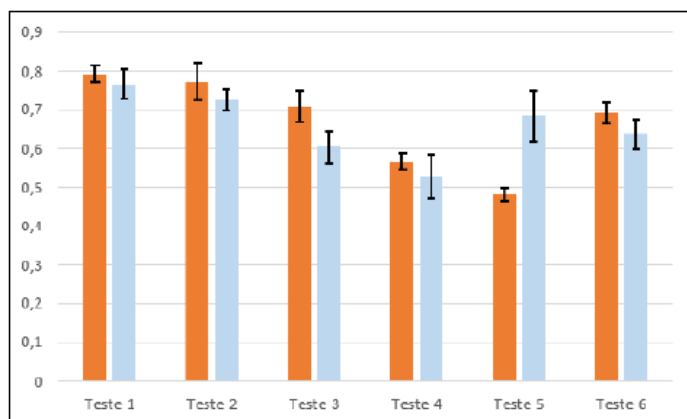


Figura 4. Resultado da rugosidade média (Ra) para os seis testes, em que o canal laranja é o teste original e o azul a réplica de cada teste.

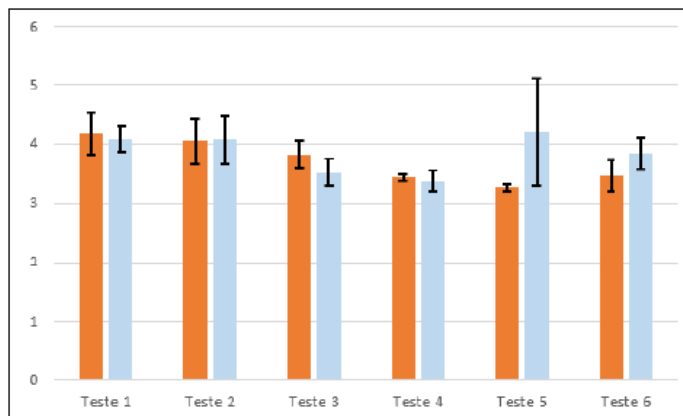


Figura 5. Resultado da altura máxima (Rz) para os seis testes, em que o canal laranja é o teste original e o azul a réplica de cada teste.

Ao analisar as Fig 4,5 e 6 pode-se notar que o menor valor de rugosidade foi encontrado para o primeiro canal do teste 5, $Ra=0,48 \mu m$ e $Rz=3,25 \mu m$, referente a utilização de um bocal na direção de avanço e com vazão de 10 l/min. Esse bom resultado pode ter sido justamente pelo posicionamento do bocal na direção de avanço da peça.

Os maiores valores de rugosidade para os dois parâmetros ficaram para o teste 1 e 2, em que no canal 1 mediu-se $Ra=0,79 \mu m$, $Rz=4,17 \mu m$. Nesses testes 1 e 2 utilizou-se dois bocais posicionados a 45° e 15° , respectivamente, com vazão de 20 l/min.

A réplica do teste 5 teve sua rugosidade maior que a original nos três parâmetros analisados. Esse fato pode ter se dado pela presença de alguma irregularidade oriunda do processo de deposição.

Além disso, pode-se observar pelos gráficos que vazões de 10 l/min geraram rugosidades menores que as de 20 l/min. Esse resultado indica que a utilização de vazões não tão elevadas pode ser benéfica ao processo, uma vez que aplicar vazões excessivas podem acabar expulsando o fluido da zona de corte.

Os resultados de rugosidade podem ser comparados com a pesquisa da autora Barreto (2022) que realizou o fresamento do mesmo tipo e método de fabricação da amostra. Ao medir a rugosidade a autora na sua melhor superfície obteve uma rugosidade $Ra=0,23 \mu m$ e $Rz=1,49 \mu m$, valores menores que a melhor superfície dessa pesquisa. A menor rugosidade da autora pode ter se dado pela elevada heterogeneidade desse tipo de material, uma vez que se utilizou os mesmos parâmetros de corte da autora, além de se utilizar uma fresa de metal duro no lugar da de aço rápido. Ademais, a pesquisadora não realizou as medições de rugosidade no centro do canal, mas sim no lado concordante, devido a presença de uma avaria deixada pela ferramenta no centro de canal, o que favoreceu a obtenção de rugosidades menores.

O autor Ávila (2022) também realizou um estudo voltado para o fresamento de peças impressas por MADA. Nos seus estudos o pesquisador utilizou uma ferramenta de aço rápido, velocidade de corte de 10 m/min, rotação de 637 rpm, velocidade de avanço de 63,7 mm/min e profundidade de corte de 0,5 mm. Para a mesma velocidade de corte de 10 m/min dessa pesquisa o autor encontrou uma rugosidade $Ra=0,16 \mu m$ e $Rz=0,96 \mu m$. Essas medições também estão abaixo das realizadas nessa pesquisa, porém assim como a autora Barreto (2022), o autor relatou a ocorrência de grande arrancamento de material e avarias na superfície, o que não ocorreu no atual trabalho.

Em conformidade com os dados obtidos sobre a rugosidade, foi possível observar no microscópio de medição 3D a laser, que os testes realizados com injeção de fluido por dois bocais com uma vazão de 20 litros por minuto e inclinados a 45° (Fig. 7A) obtiveram uma qualidade superficial baixa com alguns defeitos aparentes. No caso dos testes que possuem uma vazão de 10 litros por minuto (Fig. 7B) as marcas de avanço estão homogêneas e sem grandes defeitos aparentes pela superfície.

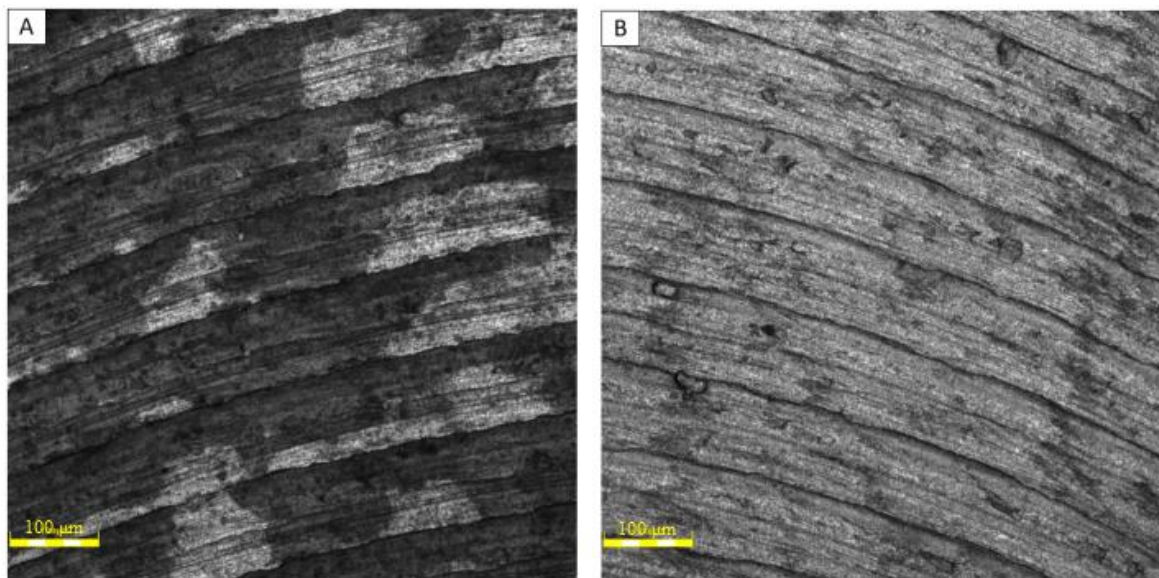


Figura 7. Imagens dos canais usinados: A) Canal 1 - Usinado com um bocal à 45° e com vazão de 20 l/min. e B) Canal 8 - Usinado com bocal à 45° e com vazão de 10 l/min.

Embora defeitos de um possível arrancamento de material na superfície tenham sido apresentados (Fig. 8A) é possível constatar que a utilização do fluido de corte de forma constante, com uma vazão controlada e com uma ferramenta de corte revestida obteve-se resultados melhores quando comparado com o teste da autora Barreto (2022), onde a mesma utilizou de injeção de fluido manualmente e uma ferramenta de corte sem revestimento (Fig. 8B).

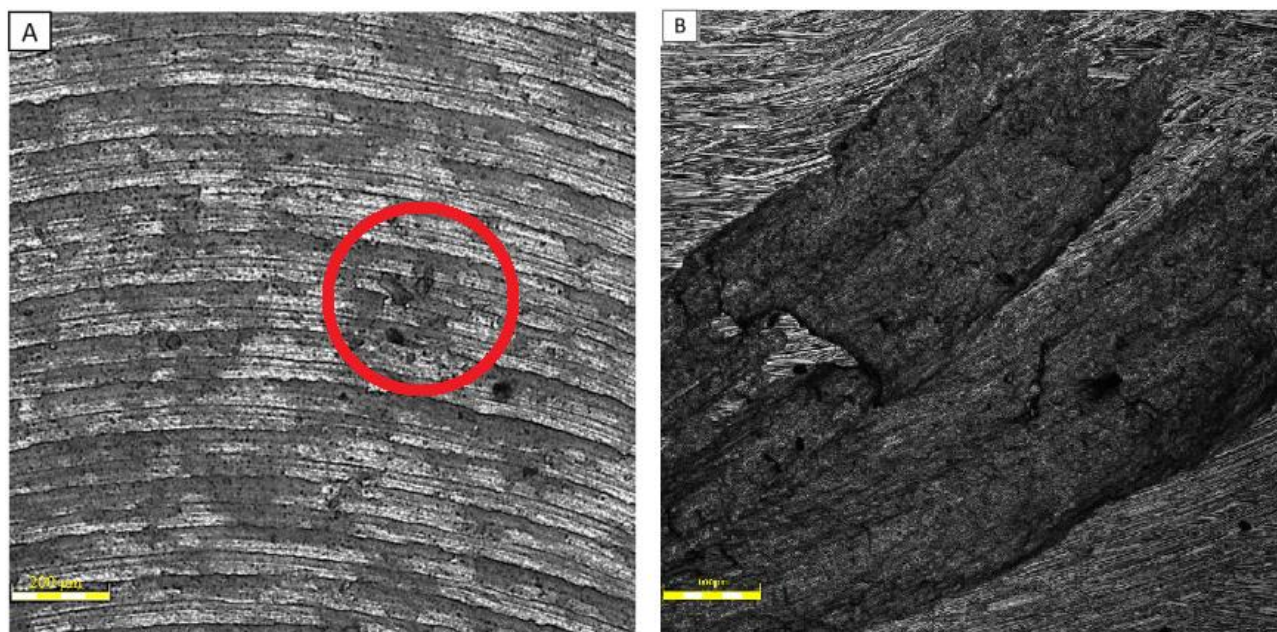


Figura 8. Defeito de um possível arrancamento de material no canal 1.

4. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento dessa pesquisa, as seguintes conclusões podem ser tomadas:

- i. Os melhores acabamentos, em termos da rugosidade e da análise da superfície, foram encontrados aplicando-se uma vazão de 10 l/min. Observa-se uma redução de aproximadamente 20% nos parâmetros de rugosidade quando compara-se os canais com vazão de 20 l/min para os de 10 l/min.
- ii. O canal 9 obteve o melhor acabamento superficial, no qual utilizou 1 bocal posicionado na direção de avanço com vazão de 10 l/min. Nesse canal mediu-se rugosidades de $R_a=0,48 \mu m$ e $R_z=3,43 \mu m$.
- iii. Comparando-se as posições dos bocais, a posição alinhada à direção de avanço favoreceu a lubrificação e redução da rugosidade, a posição 15° se mostrou menos eficiente. No caso da vazão de 10 l/min a posição 45° gerou valores intermediários.
- iv. Os maiores valores de rugosidade foram obtidos para o canal 1, referente a utilização de dois bocais a 45° e vazão de 20 l/min, resultando em um R_a igual a $0,77 \mu m$. Por outro lado, os menores valores foram do canal 9, no qual se utilizou 1 bocal na direção de avanço e vazão 10 l/min, com R_a igual a $0,48 \mu m$, representando uma variação de aproximadamente 60%.
- v. Os parâmetros de usinagem utilizados nesta pesquisa aumentou numericamente o valor da rugosidade, entretanto gerou superfícies com menos defeitos quando comparados a trabalhos similares. Assim, os parâmetros mostraram-se apropriados para o uso na usinagem de peças de ER70S-6 obtidas por MADA.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento da Engenharia Mecânica (ENM), à Faculdade de Tecnologia (FT), e à Universidade de Brasília (UnB). Agradecem ainda ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG).

5. REFERÊNCIAS

- Alberti, E. A.; Silva, L. J. D'Oliveira, A. S. C. M. *Manufatura Aditiva: o papel da soldagem nesta janela de oportunidade – Revista Soldagem e Inspeção*. 19 Jun. 2014 <<https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI1902.11>>.
- Almeida, D. O.; Naves, V. T. Machado, A.; Silva, M. *Influência da direção de aplicação do fluido de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta*. Minas Gerais. Universidade Federal de Uberlândia, 2006.
- AMN, A. M. d. N. NBR NM 315. *Ensaio não destrutivo - Ensaio Visual - Requisitos e práticas recomendadas*. 2017.
- Barreto, T. S. M. *Estudo das características de usinagem de peças metálicas obtidas por manufatura aditiva a arco*. Brasília. Universidade de Brasília, 2022.
- Certi. *Evolução da usinagem de peças: Como a indústria brasileira está avançando*. 10 Dez. 2022 <<https://certi.org.br/blog/manufatura-aditiva-conheca-a-tecnologia-e-suas-vantagens/>>.
- Crispim, C. T. *Evolução da usinagem de peças: Como a indústria brasileira está avançando*. 1 Jun. 2022 <<https://www.senai-ce.org.br/blog/evolucao-da-usinagem-de-pecas-como-a-industria-brasileira-esta-avancando/>>.

- Diniz, A. E.; Marcondes, F. C. Coppini, N. L., 2001. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais* - São Paulo, SP.
- Ferraresi I, D. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. São Carlos: Edgard Blücher LTDA, 1969.
- Hackenhaar, W. *Estudo das propriedades mecânicas e do resfriamento em manufatura aditiva por deposição a arco*. Rio Grande do Sul. UFRGS, 2020.
- Machado, Álisson R., Abrão, A. M.; Silva, M. B. Coelho, R. T. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. Brasil: Blucher, 2011.
- Novelino, A.L.B. *Estudo da geometria dos cordões fabricados pelo processo de manufatura aditiva por deposição a arco*. Brasília. Universidade de Brasília, 2021.
- Rosa, F.G. *Manufatura aditiva por deposição a arco: uma análise crítica da Tecnologia e perspectivas para o futuro*. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil, 2020.
- Stemmer, C. E. *Ferramentas de Corte 2*. Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1992.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF FLOW AND POSITIONING OF THE NOZZLE OF THE CUTTING FLUID IN THE MILLING OF ER70S-6 PARTS OBTAINED BY MADA

Guilherme Menezes Ribeiro

Marcos Vinicius Goncalves

Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Gleba A, Setor Norte, via L3 Norte
marcos.1906.goncalves@gmail.com, guilhermemribeiro1@gmail.com

Déborah De Oliveira

Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Gleba A, Setor Norte, via L3 Norte
oliveira.deborah@unb.br

Abstract. Materials manufactured by additive manufacturing have gained great space in the industries today due to the great versatility of the process in manufacturing increasingly complex parts. Among the different types of additive manufacturing, the electric arc additive manufacturing process stands out for the manufacture of metallic parts, which presents high deposition rates when compared to other methodologies. However, this process still does not guarantee the best surface finish parameters, which prevents the immediate use of the part after manufacturing. More specifically, problems such as different mechanical properties, low dimensional accuracy, and poor surface finish are some of the items that make a post-processing step necessary. Thus, machining is necessary to achieve the final tolerances and geometries of the part, and milling is one of the most used processes. Focusing on machining, it is known that to improve the finishing of the part the literature shows some main options such as: adjusting the cutting parameters, mainly the feed rate, changing the tool geometry and using cutting fluid. In this context, in order to obtain the best results in terms of surface quality when milling printed parts by electric arc additive manufacturing, this work aims to verify the influence of flow rate and positioning of the cutting fluid nozzles on the surface quality of ER70S-6 parts obtained by electric arc additive manufacturing. For this, the cutting fluid outlet nozzle will be positioned in 3 different positions and 2 flow rates will be evaluated, resulting in 6 combinations. The milling process will be performed in a CNC machining center XH7132, with 5 mm carbide cutters, TiAlN coated. Then, the material will be subjected to roughness tests and surface analysis, in order to compare the surface finishes of the different lubrication-cooling configurations and thus contribute to the finish of printed parts. The results of the experiment that used a nozzle aligned in the feed direction with a flow rate of 10 l/min, obtained the best surface finish and lowest roughness with $Ra=0.48 \mu m$ and $Rz=3.43 \mu m$. Using a flow rate of 10 l/min, the 15° position generated a lower finish and the 45° position an intermediate finish. The experiments with 20 l/min flow rate obtained high roughness and inferior finishes, the highest value being obtained for 45° with Ra equal to $0.77 \mu m$. Thus, the parameters used were shown to numerically increase the roughness value, but generated surfaces with fewer defects than similar works, presenting themselves suitable for use in the machining of ER70S-6 parts obtained by WAAM.

Keywords: Cutting Fluid; Milling; Wire Arc Additive Manufacturing; Surface Quality; Roughness.

RESPONSIBILITY NOTICE

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