

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE NA QUALIDADE SUPERFICIAL NO FRESAMENTO DE CANAIS EM PEÇA DE ER70S-6 OBTIDA POR MADA

Carlos Toshiro Araki Ávila

Déborah de Oliveira

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

ctarakia@gmail.com e oliveira.deborah@unb.br

Resumo: A manufatura aditiva por deposição a arco é um processo de manufatura que consiste em produzir peças por meio de deposições de camadas geradas por um arame sobre um substrato, a deposição de sucessivas camadas gera a peça que pode ter geometria simples ou complexa, e usualmente apresenta acabamento superficial irregular. O principal objetivo desse processo é melhorar a eficiência na fabricação diminuindo o desperdício de material e energia na fabricação, no entanto para que a peça seja aplicada é necessário passar por um pós-processamento, usualmente obtido por usinagem. O processo de fresamento permite a obtenção de tolerâncias dimensionais e geométricas, bem como rugosidades adequadas para componentes mecânicos, além disso, ele se destaca por ser capaz de usinar geometrias que vão de simples às mais complexas. Assim, este estudo teve como principal objetivo estudar a influência da velocidade de corte, de fresamento, no acabamento superficial de uma peça de ER70S-6 produzida por MADA. Para isso, foi utilizada uma fresa de aço rápido de quatro arestas, 5 mm de diâmetro e sem revestimento. Foram empregadas cinco velocidades de corte variando de 10 m/min a 50 m/min, com avanço por dente mantido constante em 0,025 mm e profundidade de corte de 0,5 mm, com fluido de corte sintético BIO100E na diluição 1:9, aplicado pelo método convencional, com uma vazão de 346 l/h, para evitar danos térmicos na peça, para cada condição de corte foi realizada uma réplica. Para avaliar a qualidade superficial da peça usinada, analisou-se a rugosidade superficial, a dureza no local usinado e imagens das superfícies usinadas. Esperava-se encontrar uma faixa de velocidades de corte que resultasse em melhor acabamento superficial, no entanto, os resultados apontaram que, diferente do esperado, a maior influência na qualidade superficial foi causada por destacamentos de material, possivelmente causados pela seleção dos parâmetros de deposição, que estiveram presentes em todas as condições de corte, e deterioraram a superfície da peça, resultando em valores de rugosidade elevados.

Palavras-chave: Manufatura aditiva; MADA; Usinagem; Fresamento; Acabamento superficial.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva é um tipo de manufatura que permite fabricar peças mediante a deposição sucessiva de material depositando camada por camada, seguindo um modelo gerado por um modelo CAD (Saber et al., 2010). De acordo com Vafadar et al. (2021), essa característica possibilita a produção de peças com geometrias complexas por meio da manufatura aditiva, peças estas que seriam consideradas de difícil obtenção ou mesmo com sua fabricação impossibilitada pelos métodos tradicionais.

Nota-se então, que a manufatura aditiva é um processo que permite aos projetistas criarem modelos mais complexos que na manufatura tradicional, com menos limitações na hora de fabricação, menos desperdício de material e utilizando menor número de processos (Vafadar et al., 2021). Além disso, é possível reduzir a quantidade de peças totais para poder produzir uma mesma estrutura, comparando com a manufatura tradicional. Devido à essa redução de peças, é reduzido também o tempo para montar a estrutura final, podendo-se inclusive eliminar a etapa de montagem (Wong e Hernandez, 2012). O processo possui ainda um potencial de minimizar o desperdício de energia e material na hora da produção, em comparação ao método tradicional, uma vez que mesmo que um processo de manufatura convencional seja eficiente, sempre haverá um desperdício de material. Destaca-se ainda que esse desperdício pode chegar a níveis elevados devido a possíveis erros humanos e de operação (Rejeski et al., 2018).

Dentre as técnicas de manufatura aditiva, está a manufatura aditiva por deposição a arco (MADA). Dentro deste conjunto de processos, está o método de CMT (*cold metal transfer*), que é um processo de manufatura aditiva por deposição a arco com base em GMAW (*Gas Metal Arc Welding*). Esse processo consiste em gerar curto-circuitos e é um modo de transferência caracterizado pela baixa corrente e tensão, com isso, transfere pouco calor ao material (Imoudou et al., 2017).

No entanto, apesar das vantagens apresentadas pelo processo em alguns casos as peças não atingem as tolerâncias de projeto, assim, ainda é necessário o pós-processamento, através da remoção de material, o que usualmente é realizado por usinagem. Dentre os processos de usinagem, o fresamento é um método que se destaca pela versatilidade, e que tem como aplicações a obtenção de superfícies planas, rasgos, ranhuras, perfis, contornos, cavidades e roscas (Kratovich, 2004).

Somado a isto, o fresamento consegue obter diferentes níveis de acabamento superficial. A rugosidade de uma peça é um parâmetro que serve para analisar a qualidade do fresamento. As combinações dos parâmetros de fresamento geram uma rugosidade na superfície e quando se deseja melhorar o acabamento superficial na peça, é preciso definir a melhor combinação das forças e velocidades de operação (Martins, 2019). Portanto, é possível notar que dentre os diferentes processos de usinagem, o fresamento destaca-se por sua versatilidade e pode ser aplicado para peças obtidas por manufatura aditiva, que possuem geometrias variadas e necessitam de pós processamento. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da velocidade de corte, de fresamento, no acabamento superficial de uma peça de ER70S-6 produzida por MADA.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de fresamento foram realizados em uma fresadora CNC H7132 de 3 eixos. A amostra selecionada para o estudo foi uma parede produzida por manufatura aditiva a arco, utilizando um substrato com 6,35 mm, feito de aço carbono 1020. O arame utilizado foi o ER70S-6, suas propriedades mecânicas podem ser observadas na tabela 1. A peça foi produzida por Novelino (2021), seguindo os parâmetros médios da tabela 2. A parede formada seguindo esses parâmetros foram produzidas depositando-se 100 camadas, terminando com dimensões finais de $85,43 \pm 1,56$ mm de altura, 160 mm de comprimento e $7,26 \pm 0,94$ mm de espessura.

Tabela 1. Composição química típica do arame ER70S-6 (Bohler, 2022)

Composição química (%)		
Carbono (C)	Silício (Si)	Manganês (Mn)
0,07	0,85	1,5

Tabela 2. Parâmetros médios para a obtenção da peça de estudo com deposição bidirecional a arco contínuo (Novelino, 2021)

Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de alimentação do arame (m/min)	Velocidade de deposição vertical (mm/s)	Velocidade de deposição horizontal (mm/s)
62,0	20,6	2,6	24,0	8,0

O sistema utilizado para realizar a deposição do arame foi o robô cartesiano MAXR23R-S42-H42-C42 da Schneider Electric que possui uma resolução de 0,2 mm em um volume de trabalho de $X \cdot Y \cdot Z = 750 \times 540 \times 480$ mm e com a trajetória programada pelo código G (Fernandes, 2016). Foi utilizada a fonte TransPuls Synergic 5000 CMT da Fronius com termômetro infravermelho digital KLX com resolução de 0,10 °C e precisão de $\pm 1,50$ °C para monitorar a temperatura. O arame ER70S-6 de 1,20 mm de diâmetro foi utilizado junto com o gás de proteção com a mistura de Ar + 18% de CO₂, uma vazão de 15 l/min, com deposição bidirecional com arco contínuo pelo método de CMT.

Para o processo de fresamento, foco do estudo, a ferramenta utilizada foi a fresa de topo, aço rápido da Vonder HSS 5.0, ela possui características que são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Características da fresa (Vonder, 2022)

Diâmetro	5,0 mm
Medida da haste	6,0 mm
Comprimento útil	15,0 mm
Comprimento total	56,0 mm
Número de cortes	4
Sentido de corte	Direita
Material	Aço rápido
Tipo de haste	Cilíndrica
Cobertura	Sem cobertura
Segue a Norma	DIN 844

Os ensaios foram realizados com fluido de corte BIO100E. Foram realizados 10 canais retos com 0,5 mm de profundidade, atravessando a peça no sentido perpendicular à deposição, como se observa na figura 1. Dentre estes 10 canais, 5 foram considerados ensaios e 5 foram as réplicas. Os ensaios seguiram os parâmetros de corte que apresentados na tabela 4.

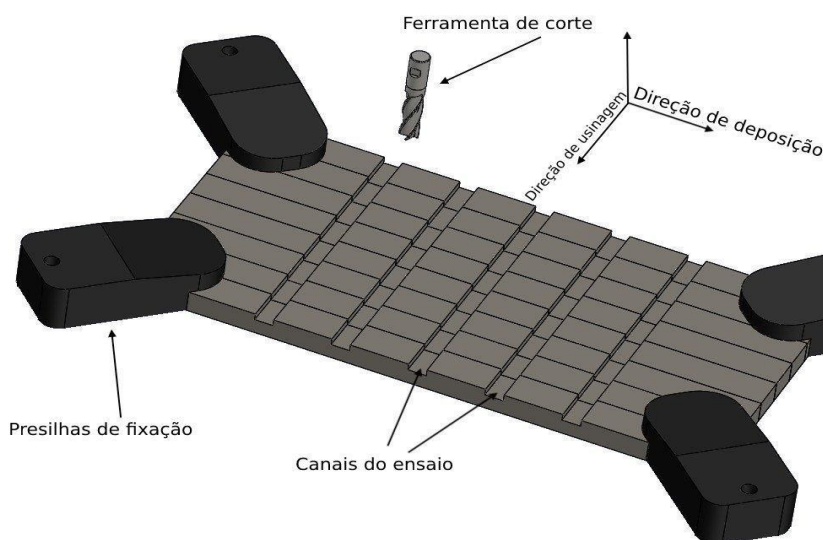


Figura 1. Representação do processo de usinagem da peça

Tabela 4. Parâmetros de corte dos ensaios

Condição	Canal	Vc (m/min)	n (rpm)	Vf (mm/min)	fz (mm)	ap (mm)	ae (mm)
Ensaio	1	10	637	63,7	0,025	0,5	5
	2	20	1274	127,4			
	3	30	1911	191,1			
	4	40	2548	254,8			
	5	50	3185	318,5			
Réplica	6	10	637	63,7			
	7	20	1274	127,4			
	8	30	1911	191,1			
	9	40	2548	254,8			
	10	50	3185	318,5			

Como variáveis de saída foram selecionados os seguintes parâmetros: rugosidade, imagens da superfície e dureza. A avaliação superficial foi realizada utilizando o microscópio OLS4100 da marca Olympus, com capacidade de medir superfícies de até 10 nanômetros de resolução (Olympus, 2022).

A rugosidade foi medida utilizando o rugosímetro portátil MITUTOYO Modelo SJ-201, se utilizaram os parâmetros Ra (desvio aritmético médio), Rz (altura média do perfil) e Rq (desvio médio quadrático) seguindo a norma NBR ISO 4287 (2002) utilizando um cut-off de 0,8 mm, um comprimento de amostragem de 4 mm e aplicando o filtro de Gauss. Devido às características observadas após o fresamento, foram medidos de forma independente os valores de rugosidade dos lados concordante e discordante, para cada canal.

Por fim, a dureza foi medida utilizando o durômetro Zwick Roell ZHU250, utilizando a escala de dureza Brinell (HB) com um indentador esférico de 1 mm, utilizando uma velocidade de aproximação de 30,00 mm/min, uma carga de 294,21 N aplicada durante 5,0 s. Vale ressaltar que tanto a dureza quanto a rugosidade foram medidas três vezes e o resultados serão apresentado na forma das médias com o duas vezes o desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente será realizada a avaliação da Rugosidade Ra. Na figura 2 tem-se apresentado a comparativa entre os dez canais e o desvio aritmético médio (Ra). Nela pode-se observar 20 colunas, nas quais as colunas que estão de cor vermelha representam a rugosidade do canal no sentido de corte discordante e as colunas que estão de cor azul representam a rugosidade do canal no sentido de corte concordante. As colunas que estão com uma linha tracejada ao redor representam as réplicas dos ensaios.

Como pode-se observar, o canal que obteve melhor resultado no acabamento superficial foi o ensaio com a velocidade de corte de 10 m/min, tanto no sentido de corte discordante como no sentido de corte concordante. O canal que obteve o pior acabamento superficial foi o canal 4. Os canais com a velocidade de corte de 10 m/min tiveram um valor médio de 0,235 μm no sentido de corte discordante e um valor médio de 0,155 μm no sentido de corte concordante. Já os canais com a velocidade de corte de 40 m/min apresentaram um valor médio de 0,230 μm no sentido de corte discordante e um valor médio de 0,335 μm no sentido de corte concordante.

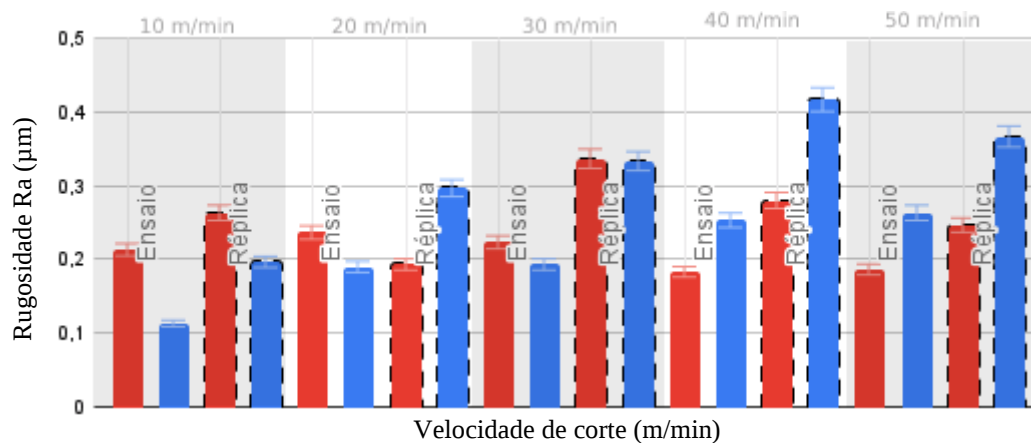


Figura 2. Comparativa entre os dez canais e o desvio aritmético médio (Ra)

Estes valores de rugosidade seriam adequados para o acabamento da peça, de acordo com Baptista e Simoes (2000), todos os canais ficaram com um acabamento superficial equivalente ao de um polimento manual, ou seja, com um $Ra < 0,5 \mu\text{m}$. Em comparação com a superfície preparada para usinar que teve um $Ra = 5,8 \mu\text{m}$, pode-se considerar que a usinagem cumpre com o requisito de diminuir a rugosidade e melhorar o acabamento superficial.

Na figura 3 pode-se observar os diferentes valores da dureza dos dez canais e a dureza da peça em um local que não foi usinado, identificado como amostragem. Tanto o canal que obteve o pior acabamento superficial como o que obteve o melhor acabamento superficial tiveram um valor de dureza similar. A diferença desses valores pode ter sido diferente pela estrutura heterogênea do material ou inclusive pela estrutura cristalina do material, assim não se pode afirmar que houve influência do processo de fresamento na dureza.

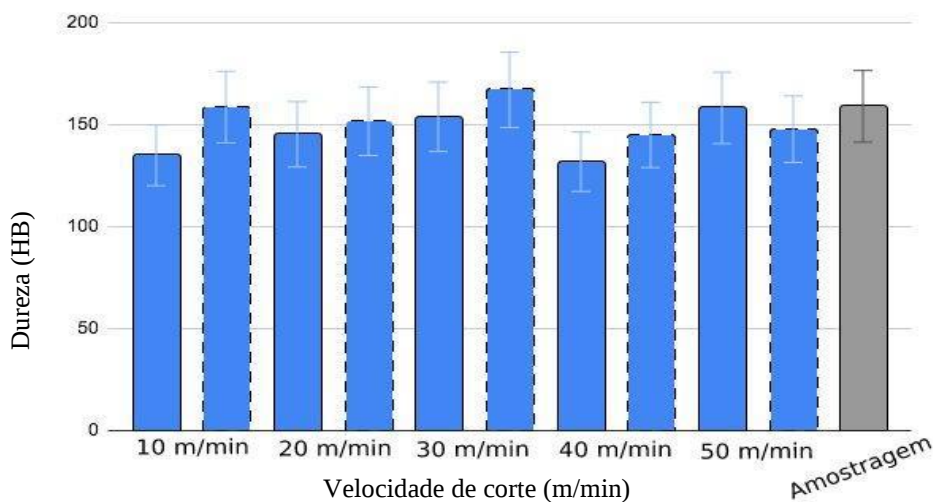


Figura 3. Comparativa da dureza entre os dez canais e a amostragem

Durante a análise visual, foram observadas variações entre o lado concordante e discordante dos canais, bem como um defeito central, conforme pode ser observado na figura 4 a). O canal 9 ($V_c = 40 \text{ m/min}$), foi selecionado por ser representativo dessa variação. Ele apresentou o menor valor de Ra no sentido discordante, já o valor de Ra no sentido concordante foi o segundo maior valor. Ressalta-se ainda que a dureza no canal 4 foi inferior em comparação aos outros canais (com média de $131,9 \text{ HB}$) o que pode ter interferido no acabamento superficial foi inferior, com esta variação podendo ser proveniente do processo de deposição. Na figura 4, podem ser observadas as irregularidades ocorridas no canal.

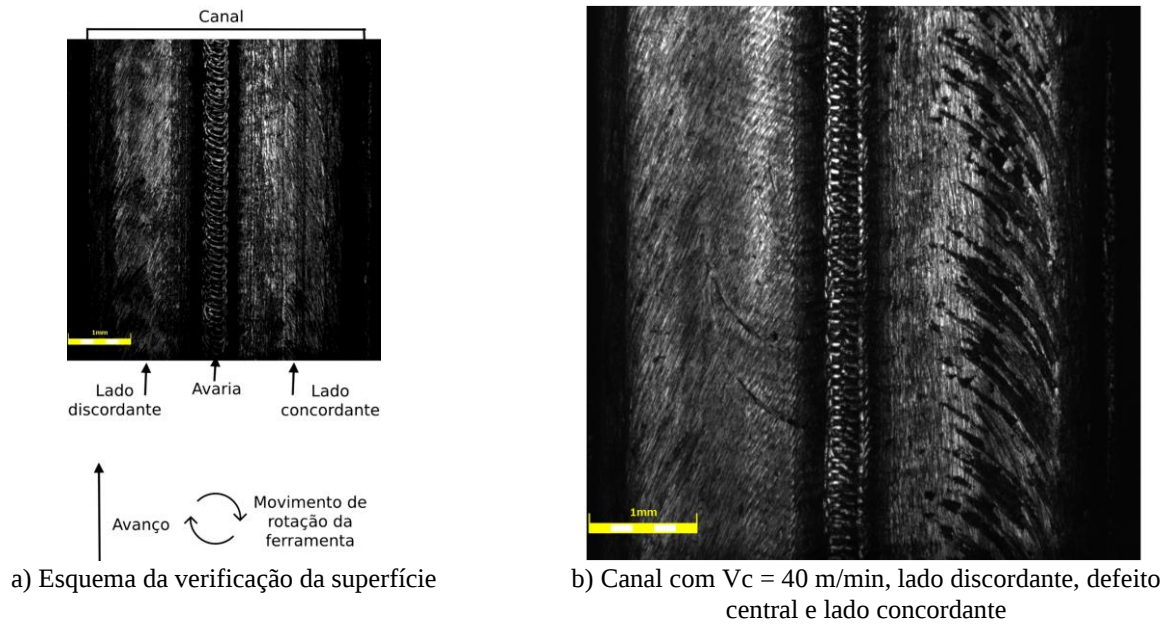


Figura 4. Detalhes do canal fresado, a) Esquema da verificação da superfície e b) Canal com $V_c = 40$ m/min, lado discordante, defeito central e lado concordante

O canal representado na figura 4, dentre os cinco canais, foi o canal que qualitativamente possuía pior acabamento, apresentando maior quantidade de possível arrancamento de material pela fresa e também apresentando certa quantidade de poros dentro do canal.

Na figura 5 pode-se observar como o canal com a velocidade de corte de 10 m/min (figura 5 a) tem um acabamento superficial bem melhor, visualmente, em comparação ao canal com a velocidade de corte de 40 m/min (figura 5 b). Foi possível encontrar imperfeições como possível arrancamento do material ocasionado na hora do fresamento, também foram observados poros e discontinuidades na peça, porém, não se pode afirmar se foram produzidas pelo fresamento.

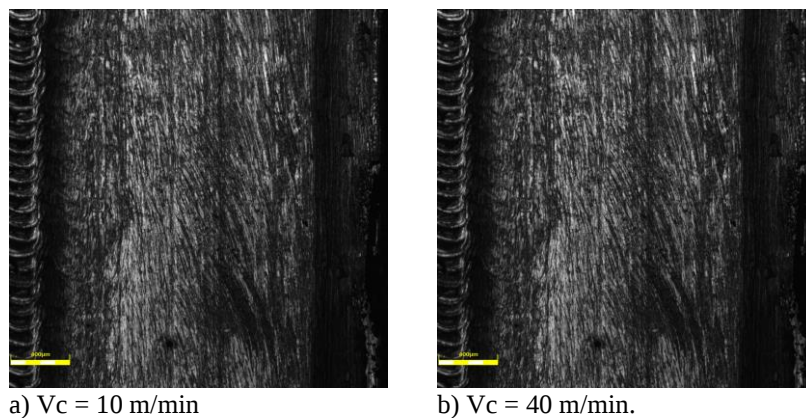


Figura 4. Canais no sentido de corte concordante, a) $V_c = 10$ m/min e b) $V_c = 40$ m/min

4. CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios de fresamento do arame ER70S-6 obtido por MADA e a análise dos canais, as seguintes conclusões puderam ser obtidas:

- Em geral, os melhores valores de rugosidade foram encontrados aplicando-se a menor velocidade de corte, quando considerados ensaio e réplica. Esta condição ocorreu independentemente de a medição ocorrer sentido discordante e concordante.
- A dureza foi pouco influenciada pelo processo de fresamento, o desvio padrão apresentado pode ter ocorrido devido à heterogeneidade do material produzido por MADA.
- O canal 4 (canal com $V_c = 40$ m/min) foi o que apresentou maior quantidade de imperfeições visuais, apresentou ainda dureza inferior em comparação aos outros canais (com média de 131,9 HB) o que pode ter interferido na superfície. No entanto foi o canal que obteve menor valor de R_a (com média de $0,22\mu\text{m}$), mostrando que o material obtido por MADA não se comporta conforme o esperado para fresamento de materiais convencionais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Mecânica, à Faculdade de Tecnologia e à Universidade de Brasília (UnB).

6. REFERÊNCIAS

- Baptista, R.; Simoes, J. A. Three and five axes milling of sculptured surfaces. *Journal of materials processing technology*, Elsevier, v. 103, n. 3, p. 398–403, 2000.
- Bohler, 2022. SG 2, Solid Wire, mild steel. <http://www.vabw-service.com/documents/bohler/datenblaetter/en/L1_16699_en_BOEHLER_SG_2_3U10B20G_3291525_EN.pdf?cache=1648417168>.
- Callister, W., 2000. *Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. Grupo Gen-LTC.
- FERNANDES, M., 2016. Projeto de instalação de um robô cartesiano de 3 graus de liberdade. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação. Publicação FT. TG-nº06, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 85p
- Ferraresi, D., Pallerosi, C. A., & Ruffino, R. T., 1970. Fresamento.
- Imoudu, N. E., Ayele, Y. Z., & Barabadi, A., 2017. The characteristic of cold metal transfer (CMT) and its application for cladding. In 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. 1883-1887). IEEE.
- Kratochvil, R., 2004. Fresamento de acabamento em altas velocidades de corte para eletrodos de grafita industrial.
- Novelino, A. L. B., 2021. Estudo da geometria dos cordões fabricados pelo processo de manufatura aditiva por deposição a arco. UNIVERSIDADE Brasília.
- Martins, R. M. E., 2019. Ferramenta Computacional para Auxílio na Tomada de Decisão no Processo de Fresagem (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal)).
- Olympus, 2022. OLS4100 LEXT. <http://www.techsansystem.co.kr/image/4100/OLS4100_.pdf>
- Rejeski, D., Zhao, F., & Huang, Y. , 2018. Research needs and recommendations on environmental implications of additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, Vol. 19, p. 21-28.
- Saberi, S., Mohd Yusu, R., Zulkifli, N., & Megat Ahma, M. M. H., 2010. Effective factors on advanced manufacturing technology implementation performance: a review. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 10(13), p. 1229-1242.
- Vafadar, A., Guzzomi, F., Rassau, A., & Hayward, K., 2021. Advances in metal additive manufacturing: a review of common processes, industrial applications, and current challenges. *Applied Sciences*, Vol. 11(3), p. 1213.
- Vonder, 2022. Fresa de topo em aço rápido 5,0 mm, com 4 cortes, DIN 844A, VONDER53.15.050.000. <https://www.vonder.com.br/produto/fresa_de_topo_em_aco_rapido_50_mm_com_4_cortes_din_844a_vonder/7365>.
- Wong, K. V., & Hernandez, A., 2012. A review of additive manufacturing International scholarly research notices.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF CUTTING SPEED ON SURFACE QUALITY IN CHANNEL BY MILLING IN ER70S-6 OBTAINED BY WAAM

Carlos Toshio Araki Ávila
Déborah de Oliveira

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

ctarakia@gmail.com e oliveira.deborah@unb.br

Abstract. Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) is a manufacturing process that consists of producing parts through deposition of layers generated by a wire on a substrate, the deposition of successive layers generates the part that can have simple or complex geometry, and usually has an uneven surface finish. The main objective of this process is to improve manufacturing efficiency by reducing the waste of material and energy in manufacturing, however for the part to be applied it is necessary to go through a post-processing, usually obtained by machining. The milling process allows obtaining dimensional and geometric tolerances, as well as roughness suitable for mechanical components, in addition, it stands out for being able to machine geometries ranging from simple to more complex. This study had as main objective to study the influence of the cutting speed, of milling, on the surface finish of an ER70S-6 part produced by WAAM. For this, a four-edged, 5 mm diameter, uncoated high speed steel milling cutter was used. Five cutting speeds were used, ranging from 10 m/min to 50 m/min, with feed per tooth kept constant at 0.025 mm and cutting depth of 0.5 mm, with synthetic cutting fluid BIO100E at a 1:9 dilution, applied by the conventional method, with a flow of 346 l/h, to avoid thermal damage to the part, a replica was performed for each cutting condition. To evaluate the surface quality of the machined part, the surface roughness, the hardness at the machined location and images of the machined surfaces were analyzed. It was expected to find a range of cutting speeds that would result in better surface finish, however, the results showed that, different from what was expected, the greatest influence on surface quality was caused by material detachments, possibly caused by the selection of WAAM parameters, that were present in all cutting conditions, which deteriorated the surface of the part, resulting in high roughness values.

Keywords: Additive Manufacturing; WAAM; Machining; Milling; Surface Finishing.

RESPONSIBILITY NOTICE

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