

## ESTUDO DA RUGOSIDADE DA LIGA Ti-6Al-4V APLICADA EM IMPLANTES PRODUZIDA POR MANUFATURA ADITIVA E MICROFRESAMENTO

Guilherme Santos Galvão

Alessandro Roger Rodrigues

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

guilherme.s.galvao@usp.br

### Objetivos

Aplicar o processo de microfresamento em amostras manufaturas aditivamente, e comparar a rugosidade das amostras da liga Ti-6Al-4V.

### Métodos e Procedimentos

As amostras de Ti-6Al-4V foram impressas pela máquina BeAM Módulo 250 pelo método de Deposição de Energia Direcionada a Laser (L-DED) no formato de cubos de dimensões 15 x 15 x 6 mm empregando potência do laser de 300 W. O microfresamento foi realizado por um centro de usinagem CNC Romi D600, adaptado com um cabeçote pneumático de alta rotação NSK Nakanishi™ modelo NR3060S. Os parâmetros de corte foram: velocidade de corte ( $v_c$ ) 24 m/min, profundidade de usinagem ( $a_p$ ) 30  $\mu\text{m}$ , largura de usinagem ( $a_e$ ) 300  $\mu\text{m}$ , percurso de corte ( $L_f$ ) 12 mm e avanços ( $f_z$ ) 12  $\mu\text{m}/z$  e 24  $\mu\text{m}/z$ . Em cada amostra foram usinados 6 canais, contando com um corte em cheio seguido de 3 passes adjacentes, sem aplicação de fluido lubrificante. A caracterização das superfícies se deu através do microscópio confocal Olympus OLS4100, adotando-se principalmente os parâmetros de rugosidade média aritmética planar ( $S_a$ ), rugosidade máxima ( $S_z$ ), Skewness planar ( $S_{sk}$ ) e Kurtosis planar ( $S_{ku}$ ).

### Resultados

A Tabela 1 mostra que a rugosidade pico-vale ( $S_z$ ) é 7,7 vezes maior que a média ( $S_a$ ), o que caracteriza o processo de L-DED como robusto, o qual se deve às condições térmicas da técnica. Também se nota a assimetria ( $S_{sk}$ ) predominante de picos e Kurtosis ( $S_{ku}$ ) tendendo a vale e picos íngremes, e como estão próximos de seus limites (0 e 3, respectivamente), a superfície tende a um perfil Gaussiano.

Tabela 1: Valores de rugosidade 3D das amostras produzidas pelo processo L-DED

Medida	$S_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$S_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$S_{sk}$ [-]	$S_{ku}$ [-]
1	117,5	924,2	0,66	3,65
2	92,06	776,3	0,34	3,61
3	97,07	660,2	0,38	2,53
4	97,23	753,9	0,51	3,05
<b>Média</b>	100,97	778,65	0,47	3,21
<b>Desvio <math>\pm</math></b>	9,77	94,65	0,13	0,46
<b>Varição %</b>	9,68	12,16	26,49	14,29

Na Figura 1, é possível observar usando microscopia laser confocal a superfície das amostras produzidas por L-DED para análise das rugosidades 3D. Na escala de cores da Figura 1(a), nota-se cores frias (azul e roxo) que representam vales na superfície, ao passo que cores quentes (vermelho e laranja) representam picos. Na Figura 1(b), observa-se uma direcionalidade da rugosidade na

orientação horizontal, ora indicada pela cor azul clara, ora indicada pela cor verde.

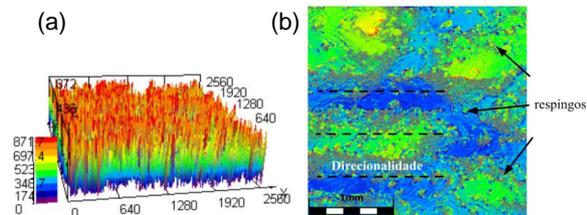


Figura 1: (a) Topografia tridimensional e (b) superficial das amostras geradas por L-DED

A Tabela 2 apresenta os resultados de rugosidade das amostras microfresadas.

Tabela 2: Valores de rugosidade 3D das amostras microfresadas

Medida	$f_z = 12 \mu\text{m/z}$				
	Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Ssk [-]	Sku [-]	
1	2,7	195,8	6,04	88,03	
2	2,66	119,7	2,38	-	
3	2,7	194,8	6,04	88,01	
4	2,79	144,6	-	-	
<b>Média</b>	2,71	163,73	4,82	88,02	
<b>Desvio <math>\pm</math></b>	0,05	32,78	1,73	0,01	
<b>Variação %</b>	1,76	20,02	35,8	0,01	
Medida	$f_z = 24 \mu\text{m/z}$				
	Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Ssk [-]	Sku [-]	
1	2,81	207,6	5,56	69,81	
2	3,6	153,3	-	-	
3	3,29	145,7	3,97	35,41	
4	3,27	112,1	-	-	
<b>Média</b>	3,24	154,68	4,76	52,61	
<b>Desvio <math>\pm</math></b>	0,28	34,26	0,79	17,2	
<b>Variação %</b>	8,69	22,15	16,68	32,69	

Comparando estes resultados aos de L-DED, constata-se que o microfresamento melhorou consideravelmente o acabamento da peça, com reduções de rugosidade de 78,97% a 97,32%. Nota-se também que Ssk e Sku tiveram grandes aumentos, ou seja, a superfície perdeu seu comportamento Gaussiano. Também se nota que Sa e Sku têm comportamentos proporcionais e inversamente proporcionais ao avanço, respectivamente, mas Sz e Ssk mantiveram-se sem alterações significativas.

Analisando-se a topografia das amostras de L-DED microfresadas, na Figura 2(a) é observada a imagem da topografia tridimensional e na Figura 2(b) a imagem bidimensional da superfície usinada.

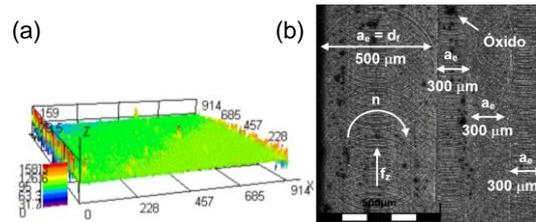


Figura 2 - (a) Topografia tridimensional e (b) superfície microfresada com  $f_z = 12 \mu\text{m/z}$ .

Nota-se na Figura 2(a) que a topografia microusinada encontra-se basicamente no plano médio entre picos e vales, representado pela cor verde. Apenas picos e vales pontuais nas cores vermelha e azul, respectivamente, são evidenciados na superfície. Não se observa na Figura 2(b) danos na superfície microfresada, nem rebarbas nas interfaces entre passes, tampouco nas extremidades do canal, o que indica que a formação de cavaco deu-se de forma adequada ante os parâmetros de usinagem especificados.

## Conclusões

As amostras de L-DED apresentaram rugosidade 3D em torno de  $100 \mu\text{m Sa}$  e  $780 \mu\text{m Sz}$ , produziu topografias de predominantemente de picos e picos e vales íngremes, e evidenciou superfícies tendencialmente gaussianas. Após o microfresamento, a superfície alcançou a rugosidade entre  $2,7$  e  $3,2 \mu\text{m Sa}$ , e  $154$  e  $164 \mu\text{m Sz}$ , para avanços por aresta de  $12$  e  $24 \mu\text{m/z}$ , uma redução de mais de 90%.

## Referências

BONAITI, G. et al. Micro-milling machinability of DED additive titanium Ti-6Al-4V. In: **45th SME North American Manufacturing Research Conference**. Elsevier BV, 2017. p. 497-509.