



INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS DE TRATAMENTOS TÉRMICOS SOBRE COMPÓSITOS Ti- β (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr, liga Ti 5553) + B₄C DESENVOLVIDOS PELO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA VIA FUSÃO EM LEITO DE PÓ

Palavras-Chave: Ti5553-B₄C, Manufatura Aditiva, Tratamento Térmico.

Autores(as):

ANA CLARA PELEGRINO ETECHEBER [UNICAMP]

Prof. Dr. RODRIGO JOSÉ CONTIERI (orientador) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos de matriz metálica (CMMs), tem ganhado grande espaço em diversas aplicações da atualidade. A partir da década de 1980, com a introdução de reforços de alta qualidade a custos reduzidos, novas utilizações começaram a ser exploradas. Nos dias atuais, os CMMs tem ampla aplicação em indústrias de transporte, incluindo setores aeroespacial, automotivo, ferroviário e marítimo, devido às suas propriedades elevadas em comparação com as ligas metálicas mais habituais [2].

Em metais mais leves, como o titânio, são utilizados reforços com materiais duros (carbonetos, nitretos, óxidos de carbono), a fim de melhorar a resistência ao desgaste. A combinação de diferentes reforços resulta em compósitos leves (CMMLs), classificados conforme a forma e tipo do reforço: partículas, fibras curtas ou longas. Os compósitos de matriz de titânio (CMTi) se destacam por serem produzidos in-situ, o que melhora a ligação entre matriz e reforço, a estabilidade térmica e a distribuição das fases. Além disso, a manufatura aditiva a laser permite produzir compósitos graduados com precisão, que é um processo mais difícil e delicado quando utilizado métodos tradicionais [3,4,5].

Os principais métodos de fabricação desses materiais são a metalurgia do pó, ideal para reforços com partículas ou Whiskers, visto que proporciona um aumento na rigidez, e a fundição, que enfrenta desafios como segregação de fases, visto que pode resultar em dispersões não homogêneas de reforço. Atualmente, uma alternativa viável apresentada, é a manufatura aditiva, uma vez que permite o controle preciso e boa eficiência energética, além de altas taxas de solidificação. Todavia, a literatura ainda apresenta uma carência de caracterizações microestruturais detalhadas na formação de fases cerâmicas durante o processo de fabricação. Assim, o propósito da pesquisa apresentada é desenvolver compósitos CMTi com pequenos gradientes de B₄C, a partir de uma matriz tipo Ti- β , pouco explorada, mas com ótimas propriedades de tenacidade e ductilidade [1,4,6].

METODOLOGIA

Foi realizado o preparo dos compósitos da liga Ti 5553 com gradientes de B4C, por meio da técnica de manufatura aditiva, fusão a laser em leito de pó, em atmosfera controlada. A partir da revisão bibliográfica, foi possível definir parâmetros de processamento do compósito, na qual foram produzidas nove amostras distintas, totalizando 26 corpos de prova, visto que no desenvolvimento e preparo dos compósitos, a amostra 3 apresentou um defeito na sua preparação, corrompendo a análise da variação de seu gradiente em 0,5% de B4C. Os parâmetros variáveis utilizados no experimento foram: três diferentes teores de B4C (0,5%, 1,0% e 1,5% em volume), três níveis de potência do laser (100 W, 200 W e 300 W) e três velocidades de varredura (500 mm/s, 700 mm/s e 900 mm/s), indicados na Tabela 1. Essa abordagem possibilita a análise microestrutural, a fim de verificar as propriedades dos compósitos.

Tabela 1: Composição Nominal das Amostras e Parâmetros de Processamento utilizados.

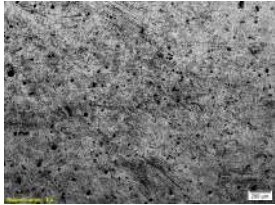
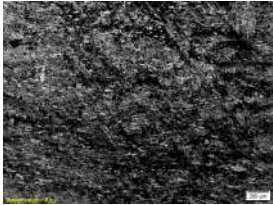
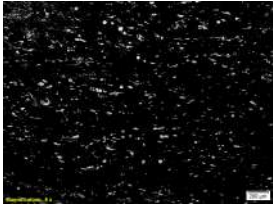
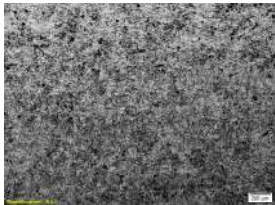
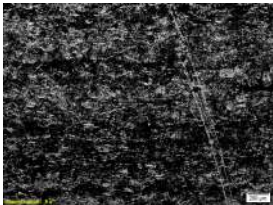
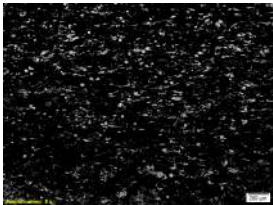
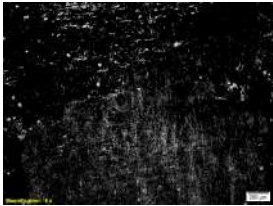
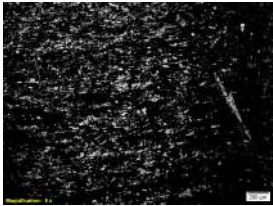
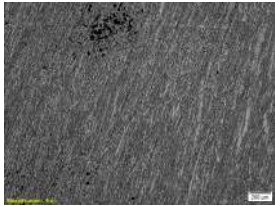
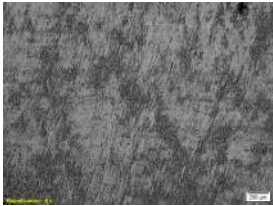
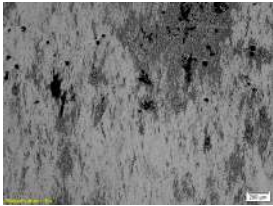
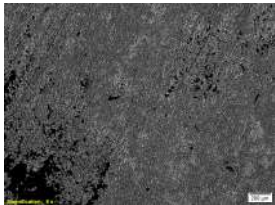
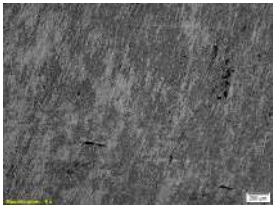
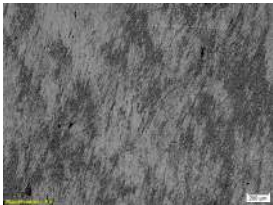
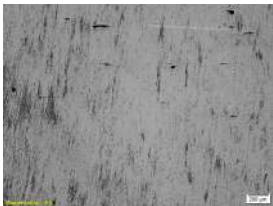
Amostra	B4C (%)	Potência (W)	Velocidade (mm/s)
1	0,5 1,0 1,5	100	500
2			700
3			900
4		200	500
5			700
6			900
7		300	500
8			700
9			900

As amostras foram seccionadas longitudinalmente e, em seguida, analisadas por microscopia óptica para observação da microestrutura em cada seção, com ampliações de 5×, 10×, 20× e 50×. Posteriormente, será realizado o tratamento térmico, cuja primeira etapa consiste em uma solubilização (ST), na qual a liga Ti-5553 será submetida a 800 °C por 3 h, com o objetivo de dissolver precipitados indesejados e refinar a microestrutura. Após essa etapa, será feito o resfriamento em água (WC). Na sequência, será aplicado o processo de envelhecimento (STA), que envolve um segundo aquecimento a 500 °C por 0,5 h, visando promover o crescimento de partículas secundárias e ajustar a distribuição das fases da microestrutura. Neste caso, o resfriamento ocorrerá de forma natural. Embora o tratamento térmico ainda não tenha sido executado, seus parâmetros foram definidos com base no trabalho de Ramachandiran et al. (2023).

Finalizando os tratamentos térmicos, as propriedades mecânicas das amostras serão avaliadas por meio de ensaios de Vickers de microdureza e nanodureza, em escala macro, micro e nano, e medições do módulo de elasticidade, por meio técnica excitação por impulso a fim de avaliar influências do processo e dos elementos de liga.

ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir das amostras estudadas, por meio do microscópio óptico, foi possível obter as seguintes análises, presentes na Figura 1, que revelam diferenças entre as composições, principalmente quanto à homogeneidade das regiões e à presença de defeitos, como descontinuidade e presença de poros.

Volume/Região de B4C	0,5%	1,0%	1,5%
Amostra 1 100 W - 500 mm/s			
Amostra 2 100 W - 700 mm/s			
Amostra 3 100 W - 900 mm/s			
Amostra 4 200 W - 500 mm/s			
Amostra 5 200 W - 700 mm/s			
Amostra 6 200 W - 900 mm/s			

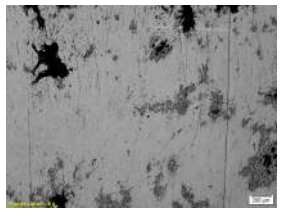
Amostra 7 300 W - 500 mm/s			
Amostra 8 300 W - 700 mm/s			
Amostra 9 300 W - 900 mm/s			

Figura 1: Análises de Microscopia Óptica das amostras de Ti5553 + B₄C.

A análise das amostras indica que, com o aumento da potência e a redução da velocidade, ocorre menor fusão do B₄C. Por outro lado, a redução da potência associada ao aumento da velocidade resulta em um maior refino e em superfícies mais uniformes na microestrutura. Esse comportamento se deve ao fato de que, nessas condições, o laser não consegue fundir completamente a região determinada, o que pode gerar defeitos.

Como se trata de uma pesquisa em andamento, o tratamento térmico ainda será realizado, compreendendo uma etapa de solubilização (ST), seguida de resfriamento rápido em água (WC) e, posteriormente, o processo de envelhecimento (STA). Assim, será possível avaliar os efeitos do tratamento térmico sobre as diferentes amostras, bem como seu impacto nas propriedades mecânicas, incluindo dureza e módulo de elasticidade.

Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para o avanço do conhecimento em Manufatura Aditiva e evidenciem seu potencial para a produção de compósitos com propriedades mecânicas superiores.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que os parâmetros de processamento na Manufatura Aditiva influenciam fortemente a microestrutura e as propriedades das ligas Ti-Cu e dos compósitos estudados. Potências mais altas reduziram a porosidade em amostras com alto teor de

cobre, enquanto potências menores e maiores velocidades resultaram em microestruturas mais refinadas, porém com risco de defeitos.

A Manufatura Tradicional apresentou menor porosidade e maior regularidade dos poros, sendo vantajosa para geometrias simples e alta confiabilidade, enquanto a MA se destacou pelo potencial de produzir peças personalizadas com boa combinação de dureza e porosidade quando otimizadas.

O tratamento térmico ainda será executado e espera-se que melhore as propriedades mecânicas, ampliando as aplicações desses materiais em setores industriais e biomédicos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ATTAR, H.; LOBER, L; FUNK, A.; CALIN, M.; ZHANG, L.C.; PRASHANTH, K.G.; SCUDINO, S.; ZHANG, Y.S.; ECKERT, J. Mechanical behavior of porous commercially pure Ti and Ti-TiB composite materials manufactured by selective laser melting. *Mater. Sci. Eng. A*, 625 (2015), pp. 350-356.
- [2] NTURANABO, F.; MASU, L.; KIRABIRA, J. B., Novel Applications of Aluminium Metal Matrix Composites. In: COOKE, K. (Ed.). *Aluminium Alloys and Compounds*. London: Intech Open Ltd, 2020. p. 24. 10.5772/intechopen.86225.
- [3] RAMACHANDIRAN, Nivas; ASGARI, Hamed; DIBIA, Francis; EYBEL, Roger; MUHAMMAD, Waqas; GERLICH, Adrian; TOYSERKANI, Ehsan. Effects of post heat treatment on microstructure and mechanical properties of Ti5553 parts made by laser powder bed fusion. *Canadá, 2023, Elsevier - Journal of Alloys and Compounds*.
- [4] SALVADOR, Camilo A.F.; OPINI, Victor C.; MELLO, Mariana G.; CARAM, Rubens. Effects of double-aging heat-treatments on the microstructure and mechanical behavior of an Nb-modified Ti-5553 alloy. *Campinas, Brasil, 2019, UNICAMP, Elsevier - Materials Science & Engineering A*.
- [5] SCHWAB, Holger; BÖNISCH, Matthias; GIEBELER, Lars; GUSTMANN, Tobias; ECKERT, Jürgen; KÜHN, Uta. Processing of Ti-5553 with improved mechanical properties via an in-situ heat treatment combining selective laser melting and substrate plate heating. *Dresden, Alemanha, 2017, IFW, Elsevier - Materials & Design*.
- [6] YANG, Pin; JOHNSON, Kyle L.; CARROLL, Jay D.; BUCKNER, Jessica L.; BLEA- KIRBY, Mia A.; GROVES, Catherine; COKER, Eric N. Thermophysical properties of additively manufactured Ti-5553 alloy. *Albuquerque, Estados Unidos, 2023, Elsevier - Additive Manufacturing*.