



UNICAMP



Desenvolvimento de Compósitos do tipo Ti5553-B4C via Processo de Manufatura Aditiva

Palavras-Chave: Ti5553-B4C, Dureza, Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr (Ti5553) - B4C.

Autores:

NICOLAS ANTÔNIO PASSOS SANTOS [UNICAMP]

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

INTRODUÇÃO:

Os compósitos de matriz metálica (CMMs) têm evoluído significativamente desde a década de 1960. Inicialmente restritos às indústrias aeroespacial e de defesa devido ao alto custo, a partir dos anos 80, novas aplicações surgiram com o desenvolvimento de reforços mais acessíveis e de melhor qualidade [1]. Atualmente, esses compósitos são utilizados em diversas indústrias, incluindo a aeroespacial, automotiva, ferroviária, marítima, de construção, eletrônica e esportes [1].

Para aumentar a resistência de materiais metálicos leves, como o titânio e suas ligas, são utilizados reforços duros, como carbonetos, nitretos, alótropos de carbono e óxidos [2, 3]. A combinação de diferentes materiais resulta em compósitos que atendem a variados requisitos industriais, influenciados pelas condições de operação e natureza do carregamento. Os compósitos de matriz de titânio (CMTi) destacam-se por seus reforços sintetizados in-situ durante a fabricação, proporcionando melhor desempenho devido à excelente ligação interfacial, estabilidade termodinâmica e distribuição fina dos reforços [4].

A manufatura aditiva (MA) a laser é uma tecnologia promissora para a produção de componentes complexos, permitindo a criação de compósitos funcionalmente graduados, algo difícil de alcançar com métodos convencionais [5]. Os principais métodos industriais para a fabricação desses materiais incluem a metalurgia do pó e a fundição, que enfrentam desafios como aglomeração da fase de reforço, necessidade de pós-processamento e aumento do desgaste das ferramentas [6, 7, 8].

A MA surge como uma alternativa atraente devido à sua eficiência energética, alto controle de processo e rápidas taxas de solidificação. Embora existam muitos estudos sobre a fabricação de compósitos de matriz de titânio por MA, há uma escassez de pesquisas sobre ligas beta, como a Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr (Ti5553). Além disso, a literatura carece de caracterização microestrutural detalhada da formação de fases cerâmicas durante o processo de fabricação [7, 8].

METODOLOGIA:

Foi utilizado no projeto um pó composto por matriz metálica de Ti5553 (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr) e B4C em diferentes porcentagens de peso: 0,5%, 1% e 1,5% de B4C. O preparo das amostras foi realizado no Laboratório de Metalurgia Física (LABMET). Inicialmente, o pó foi colocado em um recipiente com esferas metálicas, que foi acoplado fora do eixo de uma máquina para rotacionar, homogeneizando o pó. Em seguida, o pó foi transferido para um silo pressurizado e injetado com uma atmosfera de argônio. Posteriormente, o silo foi acoplado ao OmniSint-160 SLM, equipamento que realizou a MA pela técnica de fusão seletiva a laser (Selective laser melting, SLM). O experimento iniciou-se com uma potência de laser de 100 W, produzindo três amostras a velocidades de 500 mm/s, 700 mm/s e 900 mm/s. O processo foi repetido com potências de 200 W e 300 W, resultando em um total de nove lingotes, os parâmetros podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de fabricação das amostras de CMTi por MA.

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

Com os lingotes fabricados, as amostras foram cortadas ao meio longitudinalmente utilizando uma máquina de corte de precisão (Accutom-10). Diante disso, as amostras foram divididas em dois grupos. No primeiro grupo, ocorreu o embutimento a quente com baquelite, em seguida, foi realizado o lixamento em uma politriz metalográfica em lixas d'água com abrasividade progressiva de 200, 400, 800 e 1200 mesh, seguido de polimento em outra politriz, modelo METPREP 3, PH-3. Posteriormente, foi realizado o ataque das amostras com K-roll e estas foram analisadas em um microscópio óptico para uma primeira visualização das poças de fusão e do comportamento do laser durante o processo de MA.

O segundo grupo de amostras foi utilizado para análise de raio-x. Para isso, foi necessário cortar as amostras na direção paralela à base do lingote, separando as áreas com diferentes concentrações de B4C. Essas amostras também foram utilizadas para testes de dureza.

O material proveniente de todas as técnicas foi utilizado para montar gráficos e mosaicos, comparando como os diferentes parâmetros da MA e as diferentes concentrações de B4C afetam a microestrutura e as propriedades mecânicas dos compósitos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A partir do conjunto de amostras embutidas e preparadas para análise em microscópio óptico, foram obtidas diversas imagens com aumento de 50 vezes. Essas imagens estão apresentadas na Figura 1, que exhibe as amostras 1, 2 e 3. Enquanto na Figura 2, são mostradas as amostras 1, 4 e 7.

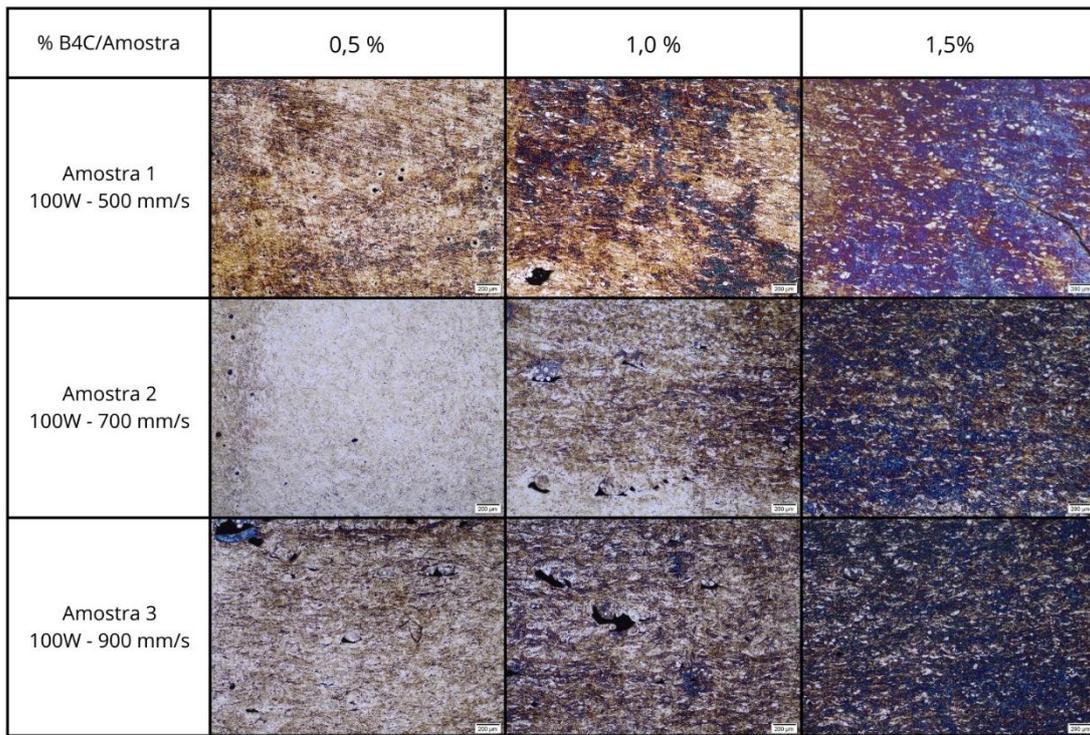


Figura 1 – Metalografia das amostras 1, 2 e 3. Fonte: Autoria própria.

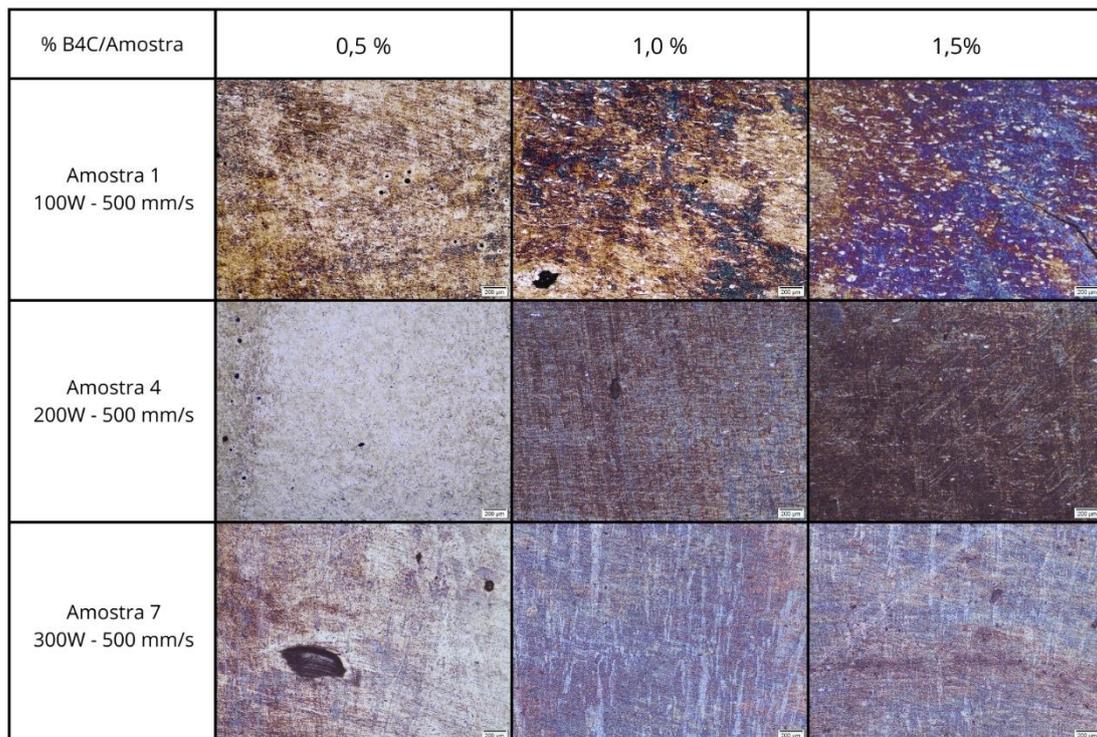


Figura 2 – Metalografia das amostras 1, 4 e 7. Fonte: Autoria própria.

A análise das imagens revela que, com a diminuição da velocidade e o aumento da potência, há uma redução significativa na fundição do B4C. Em contrapartida, com o aumento da velocidade e a diminuição da potência, observa-se um maior refino da estrutura. Isto ocorre pois o laser não consegue fundir totalmente a microestrutura, gerando estes defeitos, que podem ser observados com maior enfoque na Figura 3.

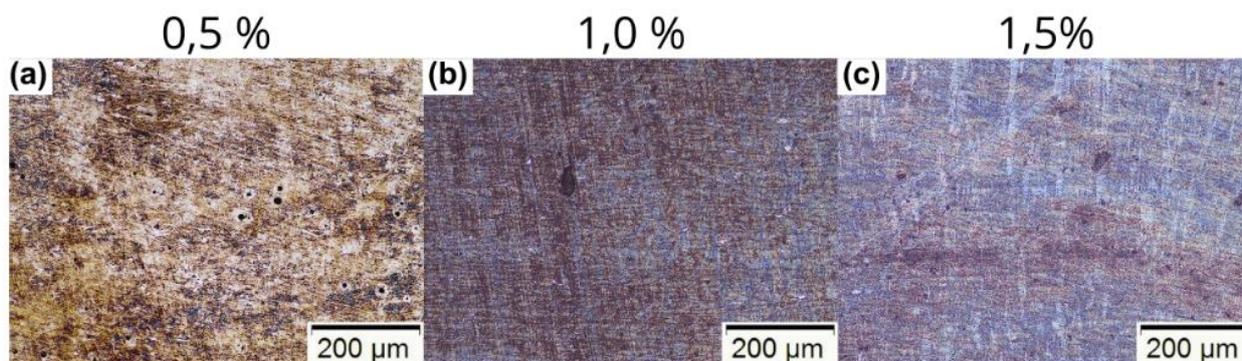


Figura 3 – Metalografia da amostra 1 (a), 4 (b) e 7 (c) em diferentes regiões de composição de B4C. Fonte: Autoria própria.

Na Figura 3 (a), contendo 0,5% de B4C, é possível notar que o B4C não se solubilizou adequadamente devido à potência utilizada. Os pontos pretos visíveis não são poros, mas sim partículas de B4C, que podem atingir até 10 micrômetros de tamanho. Com o aumento da potência, como observado na Figura 3 (b) e (c), a estrutura se apresenta mais refinada.

A difratometria de raios-X, apresentada na Figura 4, mostra os resultados para a amostra 7 com composições de 0,5%, 1,0% e 1,5% de B4C.

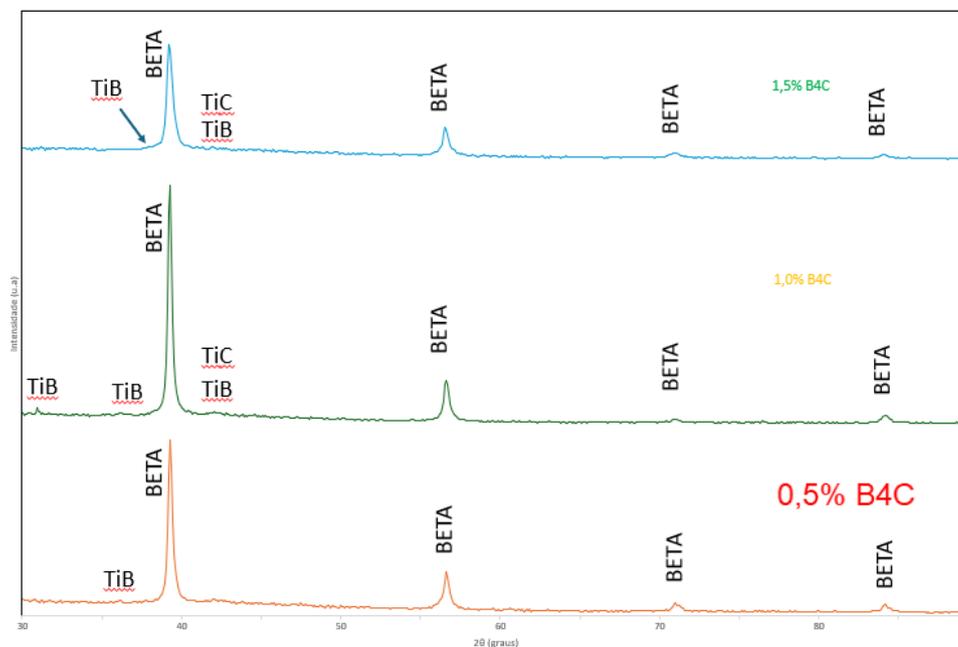


Figura 4 – Difratometria de raio-X para a amostra 7 em diferentes regiões de composição de B4C.

Os picos característicos da fase β , esperada para a liga de titânio Ti5553, são claramente visíveis, estes também são os de maior intensidade, além disso, é possível observar picos menores correspondentes às fases TiB e TiC.

CONCLUSÕES:

A partir dos resultados e análises preliminares até o momento, podemos afirmar que a técnica de manufatura aditiva, especificamente a Selective Laser Melting (SLM), é capaz de criar ligas Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr-B4C em diferentes proporções de carvão de boro. Ainda, observou-se que a relação entre velocidade e potência do laser influencia diretamente a fundição do B4C, onde maiores velocidades e menores potências resultam em maior porosidade, enquanto menores velocidades e maiores potências promovem um maior refino da estrutura. A difratometria de raios-X das amostras revelou picos correspondentes às fases TiC, TiB, e beta, conforme descrito na literatura, confirmando a presença dessas fases nos CMTi produzidos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 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.
- [2] MUSSATTO, A.; AHAD, I. U.; MOUSAVIAN, R. T.; DELAURE, Y.; BRABAZON, D., Engineering Reports, 2021, 3, (5), e12330. 10.1002/eng2.12330.
- [3] DADBAKSH, S.; MERTENS, R.; HAO, L.; VAN HUMBEECK, J.; KRUTH, J.-P., Advanced Engineering Materials, 2019, 21, (3), 1801244. 10.1002/adem.201801244.
- [4] BANDYOPADHYAY, N. R.; GHOSH, S.; BASUMALLICK, A., New generation metal matrix composites. Materials and Manufacturing Processes, 22 (2007), pp. 679-682. 10.1080/10426910701384872.
- [5] ZHANG, Y.; SUN, J.; VILAR, R., Characterization of (TiB+ TiC)/TC4 in situ titanium matrix composites prepared by laser direct deposition. Journal of Materials Processing Technology, 211 (2011), pp. 597-601.
- [6] HAYAT, M. D.; SINGH, H.; HE, Z.; CAO, P., Titanium metal matrix composites: an overview. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 121 (2019), pp. 418-438. 10.1016/j.compositesa.2019.04.005.
- [7] ZHANG, Y.; SUN, J.; VILAR, R., Characterization of (TiB+ TiC)/TC4 in situ titanium matrix composites prepared by laser direct deposition. Journal of Materials Processing Technology, 211 (2011), pp. 597-601.
- [8] XIA, M.; LIU, A.; HOU, Z.; LI, N.; CHEN, Z.; DING, H., Microstructure growth behavior and its evolution mechanism during laser additive manufacture of in-situ reinforced (TiB+TiC)/Ti composite. Journal of Alloys and Compounds, 728 (2017), pp. 436-444.