cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Efeito da adição de SiO_2 na microestrutura de ligas β Ti-35Nb-6Ta impressas em 3D

Giovanna E. Santo[1]; Bruno M. Casarin[1]; Lucas D. Duro[1]; Renan A. F. Dias[1] e Conrado R. M. Afonso[1].

[1] Laboratório BioMet-CAM, Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 13565-905, São Carlos/SP, Brasil

Introdução

As ligas de β de Titânio destacam-se em aplicações biomédicas e por sua biocompatibilidade, resistência à corrosão e propriedades mecânicas favoráveis, incluindo menor módulo de elasticidade. Entre elas, a Ti-35Nb-6Ta apresenta potencial para aplicações ortopédicas e odontológicas, devido à presença de nióbio e tântalo, elementos biocompatíveis e estabilizadores da fase β. Adicionalmente, a incorporação de partículas de SiO_2 pode modificar a formação de fases e a morfologia dos grãos, influenciando as propriedades mecânicas e biológicas dos componentes produzidos por manufatura aditiva [1, 2].

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo investigar o efeito da adição de partículas de SiO_2 na liga Ti-35Nb-6Ta processada por manufatura aditiva, avaliando as alterações microestruturais e propriedades mecânicas resultantes.

Metodologia

A caracterização estrutural e morfológica de todas as condições de processamento foi realizada por DRX e MEV A identificação de precipitados em escala nanométrica foi conduzida por MET acoplada ao EDS. O comportamento mecânico foi avaliado por ensaios de microdureza Vickers e nanodureza, esta última por nanoindentação, com dureza e módulo de elasticidade calculados pelo método de Oliver e Pharr.

Resultados e Discussão

A adição de SiO_2 alterou as propriedades mecânicas da liga Ti-35Nb-6Ta, elevando significativamente a micro e nanodureza, enquanto o módulo elástico aumentou com 0,5% e apresentou leve redução com 1% de SiO_2. Embora a difração de raios X tenha identificado apenas a fase β, análises por STEM-HAADF/EDS sugeriram a formação de precipitados nanométricos de Ti_5Si_3, resultantes da reação entre SiO_2 e Ti durante o processamento a laser. Esses precipitados podem reforçar a matriz por dispersão, enquanto concentrações maiores podem favorecer silicetos maiores ou distribuídos de forma heterogênea. Além disso, a maior dispersão dos resultados de nanodureza pode estar relacionada à distribuição heterogênea dos precipitados e ao pequeno volume de material investigado por cada indentação, tornando as medidas mais sensíveis às variações microestruturais locais. Por outro lado, a microdureza fornece uma resposta mecânica mais representativa de uma região maior do material, na escala micrométrica [4–11].

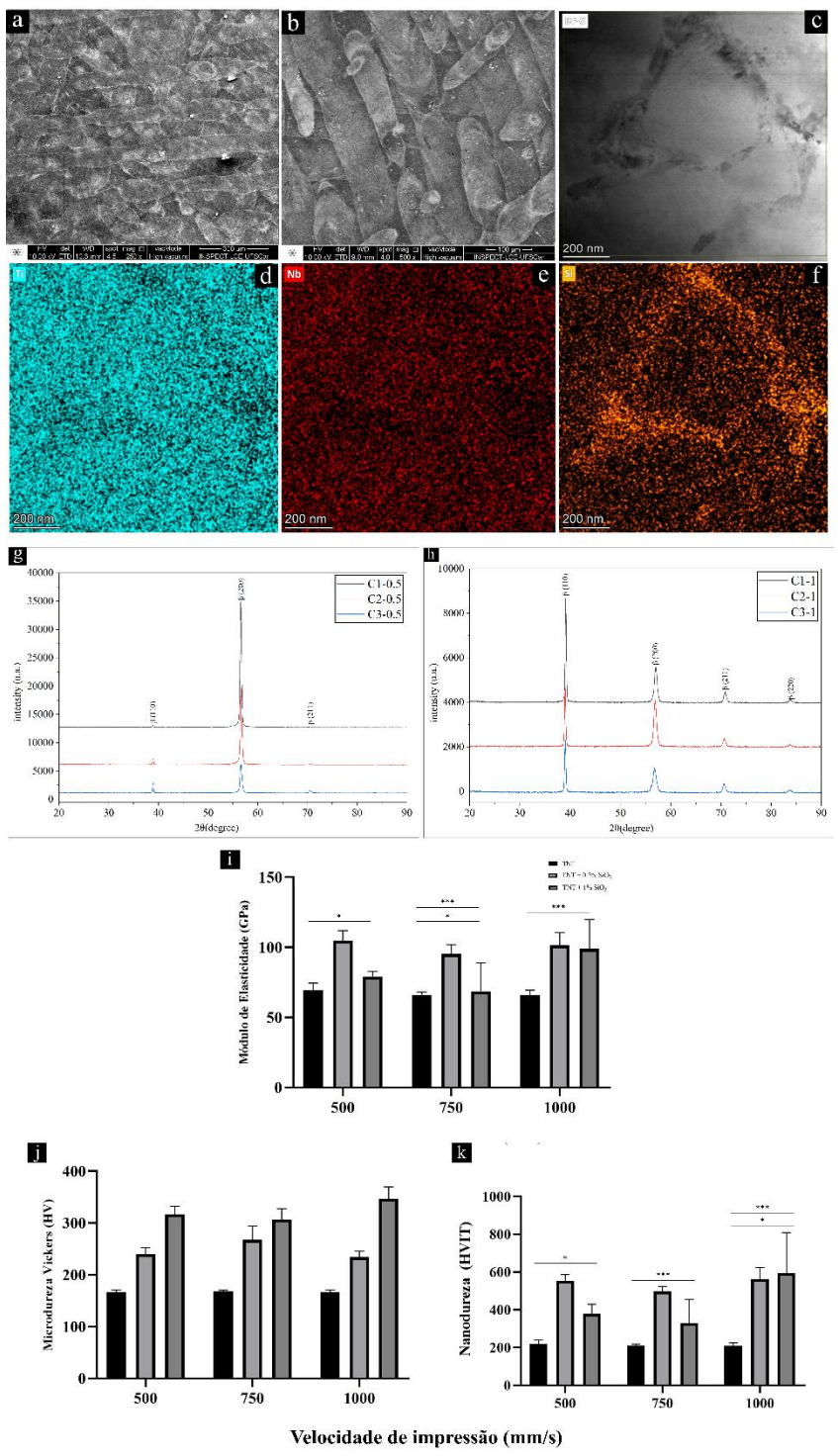


Figura 1. Caracterização de ligas Ti-35Nb-6Ta processadas por LPBF com frações variadas de sílica: (a–f) mapas de MEV, STEM-HAADF e EDS mostrando precipitados de Ti_5Si_3; (g, h) DRX, (i) módulo de elasticidade e (j, k) dureza Vickers (HV) e nanodureza (HVIT).

Conclusões

A adição de 1% SiO_2 (%peso) à liga Ti-35Nb-6Ta processada por LPBF preservou a matriz β (ccc) e promoveu a formação de precipitados nanométricos da fase Ti_5Si_3, resultando em aumento expressivo da dureza em todas as velocidades de varredura do laser. A microdureza aumentou com o teor de SiO_2, enquanto a nanodureza apresentou maior variabilidade, associada à distribuição heterogênea dos precipitados. Esses resultados indicam que a incorporação de SiO_2 é uma estratégia promissora para ajustar a microestrutura e o desempenho mecânico da liga.

Referências e Agradecimentos

[1] DE MATTOS, F. N.; SILVA, A. J. P. M.; RODRIGUES, J. F.; SANGALI, M.; CARAM, R.; AFONSO, C. R. M. In-situ alloying of Ti-15Nb alloy through laser powder bed fusion. Materials Letters, v. 358, p. 135776, 2024.[2] AFONSO, C. R. M.; LOURENÇO, M. L.; PACHECO, G. Y. R.; MINARIK, P.; VESELY, J.; MAGALHÃES, D. C. C. High strength and low elastic modulus α/β cp-Ti/Ti-33Nb-33Zr multilayered in-situ heterostructure produced by accumulative roll bonding. Journal of Materials Research and Technology, v. 40, p. 1869-1881, 2026.
[3] M.L. Lourenço et al., submitted for publication in J. Mater. Res. Technol.

Esta pesquisa contou com o apoio da FAPESP (processos PAIP 2023/16836-2 e 2025/07201-9) e com o apoio parcial da CAPES, Código de Financiamento 001 (Brasil).