

Efeito de Tratamentos Térmicos sobre a Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Compósitos de Matriz de Ti- β + SiC via processamento por fundição para aplicação em implantes

Palavras-Chave: Ti- β , Compósito metal-cerâmica, Implante biomédico

Autores/as:

João Pedro Polizel, FCA-UNICAMP

Prof. Dr. Rodrigo José Contieri, FCA-UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O estudo e desenvolvimento de novos materiais para aplicações biomédicas tem se concentrado majoritariamente em ligas metálicas de alta biocompatibilidade, resistência à corrosão e propriedades mecânicas, com valores mais próximos dos tecidos humanos. Embora ligas de aço sejam comumente utilizadas em implantes médicos, propriedades como degradação rápida e toxicidade dos elementos dificultam sua utilização (WANG; ZHANG; CUI, 2024). Assim, o titânio e suas derivações despontam nas pesquisas e estudos de utilização, principalmente com o reforço de outros materiais, como SiC, que ampliam ainda mais as propriedades e possíveis aplicações.

Nesse contexto, o estudo de compósitos Ti- β + SiC torna-se muito relevante por permitir o controle estrutural via tratamentos térmicos, podendo-se alinhar os requisitos mecânicos necessários e uma excelente biocompatibilidade.

Recentemente, novas abordagens têm empregado a modificação dessas propriedades por técnicas de processamento com fundição a arco voltaico. Além disso, estudos para implantes dentários revelaram que superfícies revestidas com SiC apresentaram melhor biocompatibilidade quando comparado com superfícies não-revestidas (CALDERON ET AL., 2022), fazendo com que seja mais um ponto de destaque desse material e que aumenta a oportunidade de aplicação também em implantes médicos, embora não sendo o estudo de revestimento, e sim de reforço.

Para tanto, o presente trabalho visa realizar a seleção de amostras com diferentes proporções de SiC e avaliar o comportamento das ligas de acordo com sua respectiva composição.

METODOLOGIA:

O processo metodológico deste estudo segue o fluxograma da Figura 1. Neste estudo, foram elaboradas amostras da liga metálica

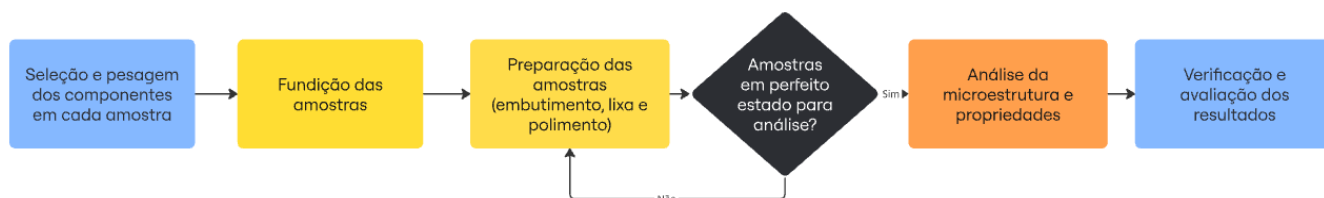


Figura 1: Fluxograma de desenvolvimento do projeto.

Ti-8Mo-4Nb-2Zr, com as respectivas adições de SiC em diferentes quantidades (0%, 0,5%, 1,5% e 3% em peso). A preparação foi realizada por fusão a arco voltaico, sob atmosfera controlada de argônio, com a formação da fase beta sendo possível através dos estabilizadores da liga (Mo, Nb, Zr). Para exemplificação, a Figura 2 apresenta os materiais já no cadinho e prontos para fundição.

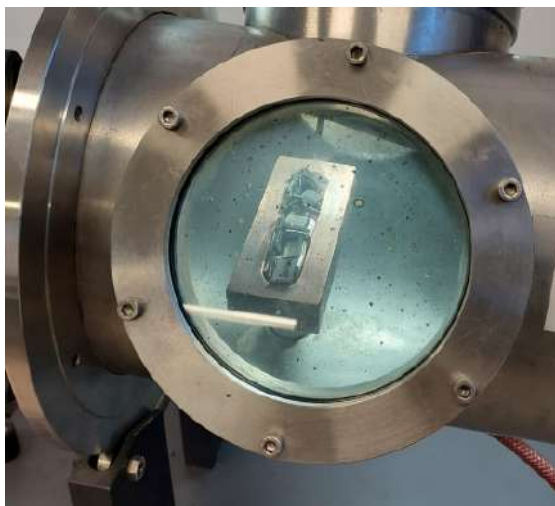


Figura 2: Material pronto para fundição a arco voltaico com atmosfera controlada.

Após a solidificação, os lingotes passaram pela etapa de preparação metalográfica, iniciando-se com o corte, seguido do embutimento em resina para facilitar o manuseio e as análises subsequentes, além do lixamento progressivo e do polimento. Com as amostras preparadas, a microscopia óptica foi utilizada para identificar regiões de interesse e avaliar a distribuição de fases ao longo do recorte selecionado. Também foi realizada a difração de raios X, permitindo a identificação qualitativa das fases cristalinas presentes em cada amostra. Adicionalmente, cada amostra foi submetida à análise de macrodureza Rockwell e microdureza Vickers, etapas fundamentais, pois próteses e implantes exigem comportamentos mecânicos específicos, adequados ao osso e à estrutura do paciente (SOMASUNDARAM et al., 2024). A dureza Vickers foi determinada pela Equação 1, em que a carga aplicada (F) foi de 200 kgf e a diagonal média (D) foi medida ao microscópio em milímetros.

$$HV = \frac{1,8544F}{D^2} \quad (1)$$

Com os resultados obtidos, o passo final consiste em interpretar esses valores e constatações, estabelecendo comparações com dados previamente obtidos e validados, a fim de avaliar o potencial de aplicação dessas ligas em implantes médicos. Ressalta-se que este estudo possibilita estabelecer

correlações tanto entre parâmetros de processamento e microestrutura quanto entre microestrutura e comportamento mecânico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES:

As etapas iniciais foram concluídas com êxito, resultando em amostras com superfícies adequadas para a realização das análises e a coleta dos dados necessários. A Figura 3 apresenta, como exemplo, a amostra contendo 0,5% de SiC já embutida e pronta para a observação em microscopia.



Figura 3: Amostra com SiC-0,5% embutida em resina.

Como já esperado, as análises microscópicas iniciais revelaram regiões com predominância da fase β , confirmando seu papel como matriz da liga. Para avaliar a distribuição das fases e verificar a eficácia do processo de lixamento e polimento, a Figura 4 ilustra a importância dessas etapas para a qualidade da visualização. Na imagem, obtida com aumento de 5 $\times$, observa-se uma microestrutura cuja matriz metálica é predominantemente composta pela fase β , estabilizada pelos elementos de liga. As partículas mais escuras correspondem ao reforço de SiC, distribuído de forma homogênea na matriz, sem ocorrência de grandes aglomerações. Também são visíveis precipitados secundários, como a fase de titânio α , resultantes dos processos de resfriamento.



Figura 4: Amostra com SiC-0,5% em microscopia óptica.

Com a comprovação da qualidade do processo de fundição e das excelentes amostras obtidas, os próximos passos consistem na realização das análises por difração e na caracterização das propriedades mecânicas.

Considerando que os ensaios de dureza e a avaliação das propriedades mecânicas são mais complexos e demandam maior tempo de execução, nem todos os dados estão disponíveis até o

momento. Algumas amostras ainda necessitam de análises mais detalhadas e, por essa razão, esses resultados serão apresentados apenas no relatório final, uma vez que não é possível estabelecer conclusões preliminares sem a avaliação completa de todas as amostras.

CONCLUSÃO PARCIAL:

Os resultados parciais obtidos até o momento indicam que o processo de fusão a arco-voltaico foi eficiente para a produção dos compósitos metálicos da liga Ti-8Mo-4Nb-2Zr com diferentes teores de SiC. A preparação metalográfica também foi concluída com êxito, permitindo análises microestruturais de qualidade.

As observações preliminares por microscopia óptica revelaram predominância da fase β , bem como a presença do reforço SiC distribuído de forma homogênea na matriz, sem evidências de segregação significativa entre fases ou componentes. Esses achados reforçam a eficácia da rota de processamento adotada e estão alinhados ao objetivo do estudo, que busca compreender a influência dos parâmetros de processo na formação da microestrutura e nas propriedades mecânicas resultantes.

Atualmente, os experimentos de difração de raios X e ensaios de dureza estão em fase final de execução. Espera-se que a conclusão dessas análises permita estabelecer correlações quantitativas entre microestrutura e propriedades mecânicas, consolidando a avaliação do potencial desse compósito Ti- β + SiC para aplicações em implantes médicos. Os resultados finais deverão também abrir caminho para novas investigações sobre a otimização de parâmetros e o desenvolvimento de materiais avançados para uso biomédico.

BIBLIOGRAFIA:

WANG, L.; ZHANG, L.; CUI, Y. **Toward load-bearing biomedical titanium-based alloys: From essential requirements to future developments**. Amsterdam, Elsevier, 2024.

CALDERON, A.; BERNAL, C.; YEPES, J. C.; ROJAS, J. **Effect of Silicon Carbide Coating on Osteoblast Mineralization of Anodized Titanium Surfaces**. Basel, MDPI, 2022

SOMASUNDARAM, S.; LAL, D. R.; DEY, T. **Advances in improving tribological performance of titanium alloys and titanium matrix composites for biomedical applications: a critical review**. Lausanne, Frontiers Media, 2024.