



Proposta de metodologia para a preparação metalográfica da liga Co-28Cr-6Mo obtida por manufatura aditiva

Igor Sant' Ana Cesarin¹, Luiz H. M. Antunes¹, Paula F. S. Farina¹

¹ Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas

igorcesarin@gmail.com

A liga ASTM F75 (Co-28Cr-6Mo) é utilizada há algumas décadas como material de implantes na ortopedia e odontologia devido à sua resistência mecânica, resistência ao desgaste e biocompatibilidade. Em temperatura ambiente, estas ligas são monofásicas, compostas por uma fase hexagonal compacta (HC) denominada ϵ -HCP. Uma característica importante das ligas a base de cobalto é a transformação polimórfica, que na liga F75, ocorre por volta de 970°C [1]. Nela, a fase de alta temperatura com estrutura cúbica de faces centradas (FCC), denominada γ -FCC, transforma-se na fase ϵ -HCP, durante o resfriamento em equilíbrio. Na liga F75, a fase γ -FCC pode formar uma matriz monofásica metaestável em temperatura ambiente após resfriamento rápido. A partir da fase γ -FCC metaestável, é possível obter a fase hexagonal ϵ -HCP com um tratamento isotérmico por volta de 800°C e, também, pelo fenômeno de transformação martensítica induzida por deformação (SIMT) [2].

Recentemente, o uso da técnica de manufatura aditiva (MA) para a produção de implantes ortopédicos e odontológicos vem ganhando relevância. A possibilidade de se obter implantes personalizados para cada paciente e também desenhados para se obter o melhor desempenho de osseointegração e comportamento mecânico atraem bastante atenção para a MA. Dentre as técnicas disponíveis de MA de metais, destaca-se a fusão seletiva à laser (SLM). Técnica esta que consiste na fusão por laser de camadas micrométricas de pó metálico que são depositadas e fundidas sucessivamente umas sobre as outras até se obter a peça em seu formato final. A SLM tem por característica o rápido resfriamento de cada camada fundida devido à elevada intensidade do laser em uma área da ordem de 100 micrometros. Isso faz com que todo o metal ao redor da região fundida atue como condutor de calor, resfriando rapidamente a região fundida. Este rápido



resfriamento é suficiente para se obter uma estrutura denominada “como produzida” toda composta pela fase γ -FCC.

Devido ao fenômeno de SIMT, deve-se ter especial atenção na preparação metalográfica das amostras. A presença de uma fase metaestável aliada a uma tensão residual por conta das contrações localizadas durante o processo de solidificação de cada camada favorece a ocorrência da fase ε -HCP obtida por deformação. A etapa de lixamento de um processo tradicional de preparação metalográfica pode ser suficiente para induzir esta nova fase. Por conta disso, alguns autores buscam alternativas de preparação de amostras menos agressivas mecanicamente ao material [3]–[5]. A técnica que mais tem sido empregada é o eletropolimento, que consiste no contato da amostra com um eletrólito sob uma diferença de potencial, gerando uma remoção química da camada superficial da amostra. Por mais que seja uma técnica bastante eficiente, ela também é complexa, demanda equipamentos específicos e também reagentes muitas vezes perigosos e/ou tóxicos, fato que restringe bastante o seu uso. Com o objetivo de avaliar a fundo os efeitos da preparação metalográfica tradicional, elaborou-se uma metodologia capaz de garantir a confiabilidade, reprodutibilidade do experimento e a integridade da amostra.

Foram elaboradas quatro condições de amostras, nas quais o processo de metalografia foi interrompido em etapas distintas. Estas amostras foram posteriormente submetidas à difração de raios-X, a fim de identificar as fases γ -FCC e ε -HCP na composição das amostras. Para quantificar as fases presentes, foi realizado um refinamento pelo método de Rietveld. Este refinamento baseia-se na minimização da função residual de um algoritmo de mínimos quadrados não linear para refinar a estrutura cristalina de um composto. Neste trabalho, foi utilizado o software MAUD para ajustar todo o difratograma de DRX e, com isso, quantificar as fases constituintes (γ -FCC e ε -HCP) após cada etapa da preparação metalográfica. A qualidade e a credibilidade dos parâmetros microestruturais são obtidas a partir de vários critérios de ajuste, como, *weighted residual error* (Rwp), *expected error* (Rexp), e *goodness of fit* (GoF). Complementarmente ao refinamento Rietveld, a quantificação das fases presentes no material foi realizada pela técnica de difração de elétrons retro-espalhados EBSD (do



inglês *electron backscatter diffraction*), que serviu também para validar os dados obtidos pelo refinamento (Figura 1).

Os resultados obtidos, referentes à preparação metalográfica atestam o fato de que o lixamento induz, superficialmente, a formação da fase hexagonal ϵ -HCP pelo mecanismo de SIMT. Tanto o polimento quanto a etapa na VibroMet, foram capazes de reduzir significativamente a fase induzida (Figura 2). Para estudos e aplicações que utilizam amostras envelhecidas, ou seja, que já apresentam uma fração da fase ϵ -HCP obtida isotermicamente, a possível presença desta fase advinda do processo de SIMT através do lixamento, pode não ter efeito relevante no desempenho do material. No entanto, quando deseja-se estudar ou aplicar a liga em sua condição metaestável, ou seja, composta apenas pela fase γ -FCC, é preferível realizar o eletropolimento, seja como única etapa de preparação ou como etapa final, após o polimento.

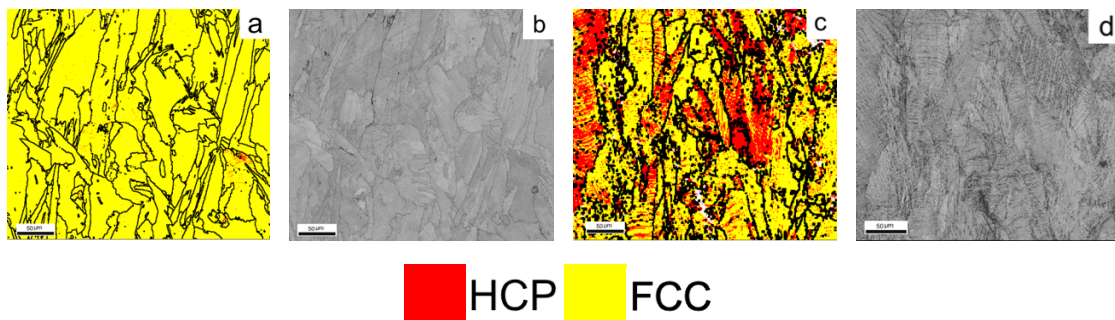


Figura 1 – a) e c) Mapas de fases das amostras LPV e LLPV, respectivamente; b) e d) Contraste de banda das amostras LPV e LLPV, respectivamente.

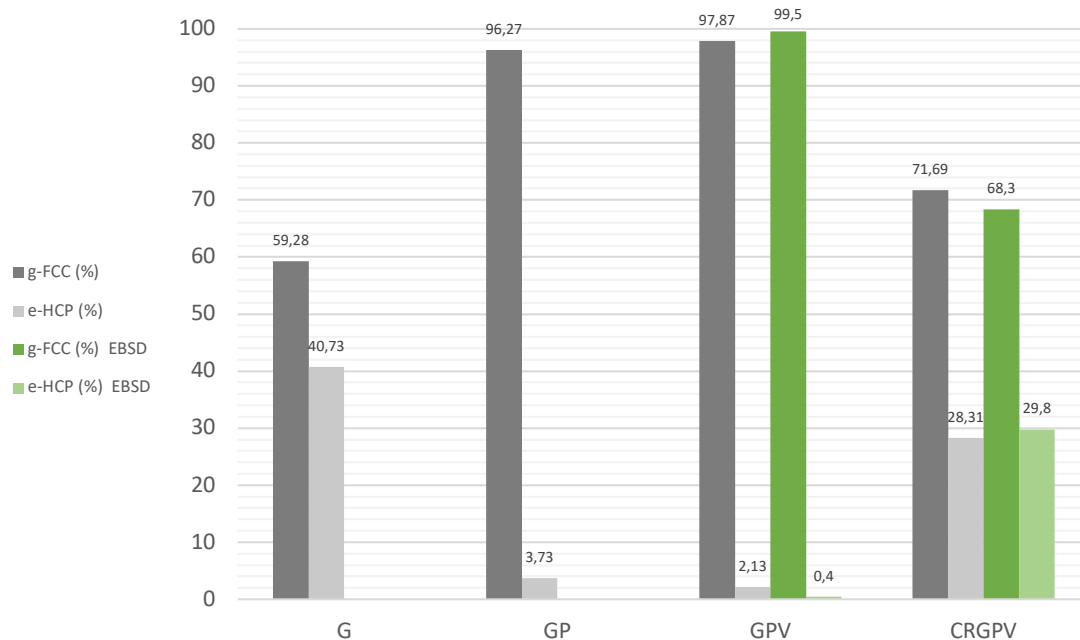


Figura 2 – Quantificação das fases através do refinamento de Rietveld e EBSD.

Referências

- [1] A. D. J. Saldívar García, A. M. Medrano, and A. Salinas Rodríguez, "Formation of hcp martensite during the isothermal aging of an fcc Co-27Cr-5Mo-0.05C orthopedic implant alloy," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 30, no. 5, pp. 1177–1184, 1999.
- [2] G. B. Olson and M. Cohen, "A mechanism for the strain-induced martensitic transformations," *J. Less-Common Met.*, vol. 28, pp. 107–118, 1972.
- [3] W. Wang, F. Yuan, P. Jiang, and X. Wu, "Size effects of lamellar twins on the strength and deformation mechanisms of nanocrystalline hcp cobalt," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, p. 9550, 2017.
- [4] E. Seki *et al.*, "Effect of heat treatment on the microstructure and fatigue strength of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting," *Mater. Lett.*, vol. 245, pp. 53–56, 2019.
- [5] B.-S. Lee, Y. Koizumi, H. Matsumoto, and A. Chiba, "Collective behavior of strain-induced martensitic transformation (SIMT) in biomedical Co–Cr–Mo–N alloy polycrystal: An ex-situ electron backscattering diffraction study," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 611, pp. 263–273, Aug. 2014.