

Produção e Caracterização da Liga Ti-12Mo-3Nb para Aplicação Biomédica

Production and Characterization of Ti-12Mo-3Nb alloy for Biomedical Application

José Vicente de Paiva Panaino¹

Paulo Roberto Mei²

Carlos Angelo Nunes²

Mariana Coutinho Brum³

Sinara Borborema Gabriel³

Palavras-chave:

Liga de Ti
Microestrutura
Módulo de Elasticidade
Biomaterial

Resumo

As ligas de titânio são bem satisfatórias para aplicações biomédicas devido a suas propriedades físicas, mecânicas e biológicas. Recentemente, houve muitas pesquisas voltadas para o desenvolvimento de ligas de Ti do tipo β , compostas de elementos não tóxicos (Nb, Mo, Ta, ...), pois as vantagens destas ligas em relação as ligas do tipo alfa e alfa + beta (Ti-6Al-4V) incluem seu menor módulo de elasticidade, melhor plasticidade e, além disso, as variáveis de processo podem ser controladas para produzir resultados selecionados. Este projeto focou o desenvolvimento e caracterização da liga Ti-12Mo-3Nb no estado bruto de fusão e após tratamento termomecânico. O material nas diferentes condições foi caracterizado por difrações de raios X, microscopia ótica, medida de microdureza e módulo de elasticidade. Os resultados mostraram que a liga Ti-12Mo-3Nb na condição forjada apresentou a melhor combinação de propriedades, sendo um promissor candidato para ser utilizado como implante.

Abstract

The titanium alloys are quite satisfactory for biomedical applications due to their physical, mechanical and biological properties. Recent studies focuses on the development of β type titanium alloys, composed of toxic elements (Nb, Mo, Ta ...), because they have more advantages than alpha and alpha + beta (Ti- 6Al-4V) alloys, such as lower modulus of elasticity, better plasticity and, moreover, the process variables can be controlled to produce selected results. This project focused on the development and characterization of Ti-12Mo-3Nb alloy in the condition "as cast" and after thermomechanical treatment. The material was characterized in different conditions by X-ray diffraction, optical microscopy, microhardness measurements and elasticity modulus. The results showed that the forged Ti-12Mo-3Nb alloy showed the best combination of properties, being a promising candidate for use as implant.

Key words:

Ti alloy
Microstructure
Elastic Modulus
Biomaterial

1 Acadêmico do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA

2 Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Campinas

3 Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro

1. Introdução

Nos dias de hoje há um grande aumento na demanda de materiais biomédicos, que são substitutos artificiais usados para recuperar funções do corpo humano na qual tenham sido retrocedidas pelo tempo e danificados por doenças ou acidentes. Nessas ocasiões, as ligas de titânio são bem satisfatórias para aplicações médicas, devido as suas propriedades físicas, mecânicas e biológicas.^[1,2]

No entanto, os materiais metálicos convencionais mais utilizados como implantes são: o aço inoxidável, as ligas Co-Cr e Ti comercialmente puro (cp) e suas ligas. A liga de titânio mais usada atualmente é a Ti-6Al-4V. Porém, estudos recentes têm relatado que a liberação de íons de V da liga pode causar alguns problemas de saúde a longo prazo e Al é um elemento questionável a desenvolver a doença de mal de Alzheimer.^[3,4]

Novos estudos estão visando ao desenvolvimento de novas ligas de Ti, do tipo β , compostas de elementos não tóxicos, como Nb, Ta, Mo, Zr e Sn.^[3,5] A vantagem dessas ligas inclui seu menor módulo e melhor ductilidade.^[3,6,7]

As ligas de titânio do tipo β são classificadas em estáveis e metaestáveis. A estabilidade da fase β pode ser avaliada utilizando o conceito de equivalência de Mo que inclui os dois termos β_c e β_s onde β_c é definido como o teor mínimo crítico do estabilizador β para reter 100% da fase β em temperatura ambiente (em forma metaestável), e β_s é o teor mínimo do estabilizador β para estabilizar as ligas betas.^[8] De acordo com Mythili et al.^[9], o valor de β_c para Mo é de aproximadamente 10,0% em peso.

Este estudo foca o desenvolvimento e caracterização da liga Ti-12Mo-3Nb no estado bruto de fusão e após tratamento termomecânico (tratamento a 1000°C/24h seguido de forjamento à quente).

2. Materiais e Métodos

A liga Ti-12Mo-3Nb foi preparada a partir de Ti, Mo e Nb de pureza comercial por fusão a arco com eletrodo não consumível de tungstênio em atmosfera de argônio. O lingote obtido foi tratado a 1000°C por 24h em

um forno tubular com resfriamento em água a temperatura ambiente e então forjado a quente (900°C) até redução em área de ~ 70%.

A microestrutura da liga foi investigada por um microscópio ótico (LEICA/DMIRM). A amostra foi montada a quente com resina e então polida por técnicas padrões de metalografia.

As análises de fases da liga nas diferentes condições na forma polida foram realizadas por difração de raio-X (DRX), usando uma Shimadzu modelo DRX 6000 difratômetro operada à 40kV e 30 mA. Um filtro de CuK_α ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) foi usado para este estudo. As fases foram identificadas através da comparação com difratograma simulado. As simulações foram realizadas através do programa Powdercell^[10] inserindo dados das fases α , β e ω ^[11], como grupo espacial, parâmetros de rede e posições atômicas.

A microdureza da liga nas diferentes condições (polidas) foi medida utilizando um equipamento Micromet 2004, Buehler, com uma carga de 200gf durante 30s. Os valores de microdureza representam a média de 5 medidas. Os valores do Ti cp e da liga comercial Ti-6Al-4V também foram determinados para comparação.

O módulo de elasticidade da liga nas diferentes condições foi determinado usando o método de pulso ultrassônico de acordo com a norma ASTM E 494-95^[12]. Os valores do Ti cp e da liga comercial Ti-6Al-4V também foram determinados para comparação. Cada valor de módulo representa a média de 5 medidas.

3. Resultados e Discussão

A perda de massa antes e após a fusão foi inferior a 1%, indicando que a composição da liga é próxima da esperada. A Figura 1 mostra o padrão de DRX da liga Ti-12Mo-3Nb (a) no estado bruto de fusão, (b) após tratamento a 1000°C/24h e (c) após forjamento a quente. Em todos os difratogramas só foi possível identificar a presença da fase β , estrutura cúbica de corpo centrado (ccc).

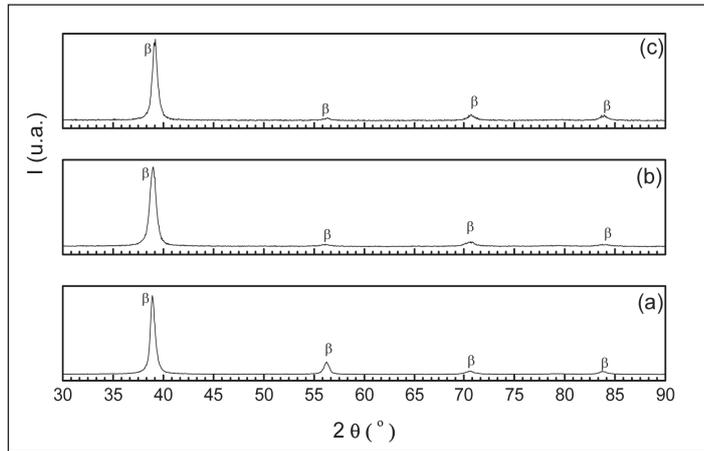


Figura 1- Difratogramas de raios X da liga Ti-12Mo-3Nb nas seguintes condições: (a) estado bruto de fusão (b) tratada a 1000 °C/24h e (c) forjada a quente.

A liga nas diferentes condições foi observada por microscopia ótica e as micrografias são apresentadas na Figura 2. Os resultados mostraram que uma microestrutura β , foi observada em todas as condições, em consonância com os resultados de DRX. O material forjado

mostra uma estrutura com bandas de deformação. O valor do Mo equivalente (Moeq%) para esta liga é 12,84% (com base na composição nominal da liga), mais de 10 wt%, que classificou esta liga na categoria β metaestável. Na verdade só a fase β foi identificada.

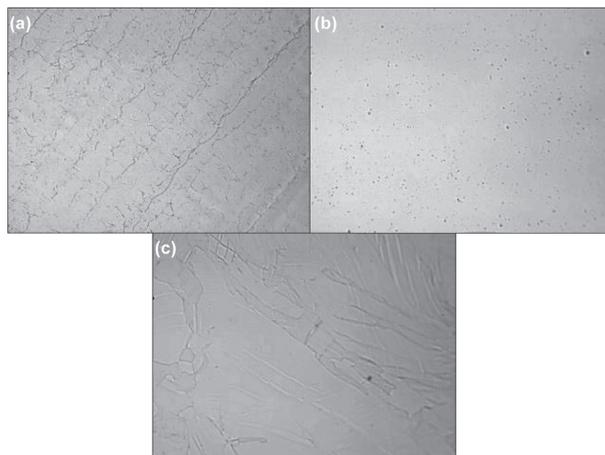


Figura 2- Micrografias óticas da liga Ti-12Mo-3Nb com aumento de 200x nas seguintes condições: (a) estado bruto de fusão (b) tratada a 1000 °C/24h e (c) forjada a quente.

A Tabela 1 mostra os resultados de dureza e módulo de elasticidade da liga nas diferentes condições durante o processamento. Observou-se que em todas as condições a liga

apresentou valores de dureza superiores ao Ti cp. Já os valores de módulo de elasticidade em todas as condições foram inferiores ao Ti cp e a liga Ti-6Al-4V.

Tabela 1- Valores de microdureza e módulo de elasticidade para a liga Ti-12Mo-3Nb nas diferentes condições e para o Ti cp e a liga Ti-6Al-4V.

CONDIÇÕES	MICRODUREZA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPA)
Estado bruto de fusão	(HV)	98,81 ± 2,02
Tratada a 1000°C/24h	406,56 ± 10,76	83,87 ± 3,47
Forjada a quente	309,9 ± 3,92	83,90 ± 4,60
Ti cp	340,23 ± 17,80	113,03 ± 4,44
Ti-6Al-4V	174,89 ± 8,931	123,76 ± 4,41
Ti-6Al-4V	337,31 ± 15,808	123,76 ± 4,41

Para medir o desempenho de biomateriais com baixo módulo de elasticidade e alta resistência para serem utilizados como substituto ósseo, geralmente utiliza-se a razão resistência por módulo de elasticidade, onde quanto maior o valor resultante maior será o potencial para uso nestas aplicações⁽¹³⁾. Neste trabalho, utilizou-se a razão dureza por módulo de elasticidade para medir o desempenho das ligas nas diferentes condições e comparar com a liga Ti-6Al-4V e ao Ti cp.

A Figura 3 mostra a razão dureza por módulo de elasticidade da liga Ti-12Mo-3Nb nas diferentes condições propostas neste trabalho em comparação com a liga Ti-6Al-4V e Ti cp. Nas diferentes condições, esta apresentou valores superiores a liga Ti-6Al-4V e Ti cp, sendo que a liga na condição forjada a quente apresentou um menor módulo (~ 84 GPa) em comparação a liga no estado bruto de fusão e uma dureza similar a da liga comercialmente usada Ti-6Al-4V.

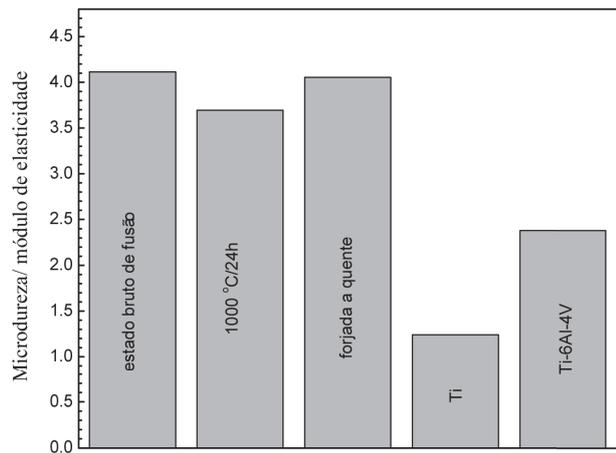


Figura 3- Razão dureza / módulo de elasticidade da liga Ti-12Mo-3Nb em diferentes condições e Ti-6Al-4V e Ti cp.

4. Conclusão

Verificou-se que a liga Ti-12Mo-3Nb nas diferentes condições de processamento apresentou uma microestrutura monofásica β de acordo com as técnicas de caracterização utilizadas.

Entre as diferentes condições, a liga Ti-12Mo-3Nb na condição forjada a quente apresentou a melhor combinação de propriedades, sendo um promissor candidato para ser utilizado como implante, porém, serão necessários

estudos adicionais envolvendo outras análises como: testes de fadiga, testes de corrosão, citotoxicidade, teste in vivo.

AGRADECIMENTOS: Agradecemos ao Prof. Joao Marcos Alcoforado Rebello do Laboratório de Ensaio não destrutivo do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ.

5. Referências

1. GUNAWARMAN, B., NIINOMI, M., AKAHORI, T., et al., Mechanical properties of Ti-4,5Al-3V-2Mo-2Fe and possibility for healthcare applications, **Materials Science and Engineering C**, v. 25, p. 296-303, 2005.
2. OLIVEIRA, N. T. C., GUASTALDI, A. C., Electrochemical behavior of Ti-Mo alloys as biomaterial, **Corrosion Science**, v. 50, p. 938-945, 2008.
3. GORDIN, D. M., GLORANT, T., NEMTOI, G. et al, Synthesis, structure and electrochemical behavior of a beta Ti-12Mo-5Ta alloy as new biomaterial, **Materials Letters**, v. 59, p. 2959-2964, 2005.
4. ZHOU, Y. L., NIINOMI, M., Microstructures and mechanical properties of Ti-50mass%Ta alloy for biomedical applications, **Journal of Alloys and Compounds**, v. 466, p. 535-542, 2008.
5. KURODA, D., KAWASAKI, H., YAMAMOTO, A., et al., Mechanical properties and microstructures of new Ti-Fe-Ta and Ti-Fe-Ta-Zr system alloys, **Materials Science and Engineering C**, v. 25, p. 312-320, 2005.
6. BANERJEE, R., NAG, S., FRASER, H. L., A novel combinatorial approach to the development of beta titanium alloys for orthopaedic implants, **Materials Science and Engineering C**, v. 25, p. 282-289, 2005.
7. XU, W., KIM, K.B., DAS, J., et al., Phase stability its effect on the deformation behavior of Ti-Nb-Ta-In/Cr β alloys, **Scripta Materialia**, v. 54, p. 1943-1948, 2006.
8. LONG, M., RACK, H. J., Titanium alloys in total joint replacement-a materials science perspective, **Biomaterials**, v. 19, p. 1621-1639, 1998.
9. MYTHILI, R., PAUL V. T., SAROJA, S., et al., Study of transformation behavior in a Ti-4.4Ta-1.9Nb alloy, **Materials Science and Engineering A**, v. 390, pp. 299-312, 2005.
10. KRAUS W. AND NOLZE, G. **J. Appl. Cryst.**, v.29, 301-303, 1996.
11. VILLARS, P.; CALVERT, L.D. **Pearson's Handbook of Crystallographic Data for Intermetallic phases**, 2° ed., ASM International, Materials Park, four v., 1991.
12. ASTM E494-95. **Metals Test Methods Analytical Procedures**. Standard Practice for measuring Ultrasonic Velocity in Materials, 2001.
13. ZHOU, Y. L., NIINOMI, M., Microstructures and mechanical properties of Ti-50mass% Ta alloy for biomedical applications, **Journal of Alloys and Compounds**, v. 466, p. 535-542, 2008.

Endereço para Correspondência:

Sinara Borborema Gabriel
sinarab@msn.com

Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA
Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, nº 1325
Três Poços, Volta Redonda - RJ
CEP 27240-560.

Informações bibliográficas:

Conforme a NBR 6023:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), este texto científico publicado em periódico eletrônico deve ser citado da seguinte forma: PANAINO, José Vicente de Paiva; MEL, Paulo Roberto; NUNES, Carlos Angelo; BRUM, Mariana Coutinho; GABRIEL, Sinara Borborema. Produção e Caracterização da Liga Ti-12Mo-3Nb para Aplicação Biomédica. **Cadernos UniFOA**. Volta Redonda, Ano V, n. 13, agosto 2010. Disponível em: <<http://www.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/13/17.pdf>>