

**DEFORMAÇÃO PLÁSTICA SEVERA EM LIGAS DE ENGENHARIA PARA
APLICAÇÕES COMO BIOMATERIAIS**

André Felipe Buzzi, Athos Henrique Plaine

INTRODUÇÃO

O avanço da medicina regenerativa impulsiona a busca por materiais capazes de substituir ou reparar partes do corpo humano com segurança e eficiência. Entre eles, as ligas metálicas se destacam pela resistência e durabilidade, em especial as de titânio, devido à biocompatibilidade, resistência à corrosão e propriedades adequadas para integração óssea.

Persistem, porém, desafios quanto à liberação de elementos como alumínio e vanádio, presentes em ligas tradicionais, que podem afetar a integração e causar efeitos tóxicos a longo prazo. Por isso, cresce o interesse em ligas de titânio com elementos alternativos, que mantenham desempenho mecânico próximo ao do osso humano (~30 MPa) e maior segurança biológica.

Assim, esta bolsa de iniciação científica tem como objetivo definir e aplicar uma rota de processamento para a liga Ti-33Nb-33Zr, comparando-a a rotas alternativas e ligas já estudadas, como Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb e Ti-16Nb-10Hf.

DESENVOLVIMENTO

Partindo do princípio de que a bolsa se desenvolveu sobre o estudo de uma rota de processamento para uma liga de titânio não usual, julgou-se necessária a análise de ligas de referência.

Foram utilizadas barras comerciais laminadas de Ti-6Al-4V e Ti-6Al-7Nb, preparadas para análise metalográfica, microdureza e DR-X. Os resultados indicaram composição bifásica ($\alpha + \beta$) para a Ti-6Al-4V e predominância da fase α na Ti-6Al-7Nb, com microdurezas médias de 326 e 333,6 HV, respectivamente.

Em colaboração com a UFSCar, foi cedida uma amostra de Ti-33Nb-33Zr, obtida por fusão a arco, que foi processada por laminação a frio até 0,95 mm de espessura (~84% de redução). Essa amostra foi caracterizada de forma similar às ligas de referência, incluindo microdureza longitudinal e transversal e nanoindentação para avaliar o módulo de elasticidade. Também foi iniciado o processamento da liga Ti-16Nb-10Hf, porém descartada após o surgimento de trincas.

RESULTADOS

O ensaio de microdureza indicou valores parecidos em ambos os sentidos, sendo a média longitudinal de 276,1 HV e perpendicular de 276,6 HV. Em comparação com as amostras de Ti-6Al-4V e Ti-6Al-7Nb, essa redução foi de aproximadamente 15 e 17%, respectivamente, o que ainda é um resultado muito positivo.

A análise de difração de raio-X evidenciou a formação da fase β . Esse dado é um indicativo de que o processo de laminação a frio foi adequado para o objetivo definido, uma vez que a fase β em ligas de Ti tendem a ter módulos de elasticidade mais baixos.

O ensaio de nanoindentação teve como resultados um módulo de elasticidade médio de 73 Mpa e nanodureza na faixa de 3,4 Mpa, valores bastante positivos e que ainda podem ser ajustados com outros tratamentos para adequar as propriedades às aplicações consideradas relevantes para o desenvolvimento desse trabalho.

A comparação dos resultados com outras ligas pode ser observada na figuras 1 e tabela 1, representando, respectivamente, a comparação da difração de raio-X das ligas Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb e Ti-33Nb-33Zr laminada a frio e a quente, e as propriedades das ligas de Ti citadas na introdução. Na tabela, L indica que o material passou por laminação, o número que precede L indica a redução percentual em espessura, e T indica que o material foi temperado. Todas as amostras de Ti-16Nb-10Hf foram forjadas previamente.

Em geral a liga Ti-33Nb-33Zr laminada a frio parece ser promissora, pois apresentou módulo de elasticidade baixo (apesar de ainda acima do que seria adequado ao osso humano), valores de dureza próximos das ligas utilizadas atualmente, mas metalurgicamente mais adequada, sem a presença de elementos nocivos ao corpo humano.

A processabilidade da liga também é um ponto positivo, pois foi capaz de suportar uma redução de espessura de 90% e com somente esse procedimento atingir propriedades mecânicas consideravelmente boas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os objetivos definidos para a bolsa de pesquisa e os resultados obtidos é possível constatar que eles foram cumpridos e os resultados atenderam às expectativas, de forma que é viável continuar estudando a liga para analisar a viabilidade da mesma como uma opção para a fabricação de implantes no futuro.

Palavras-chave: Ligas de Ti, Ti-Nb-Zr, Laminação à frio, Aplicações biomédicas.

ILUSTRAÇÕES

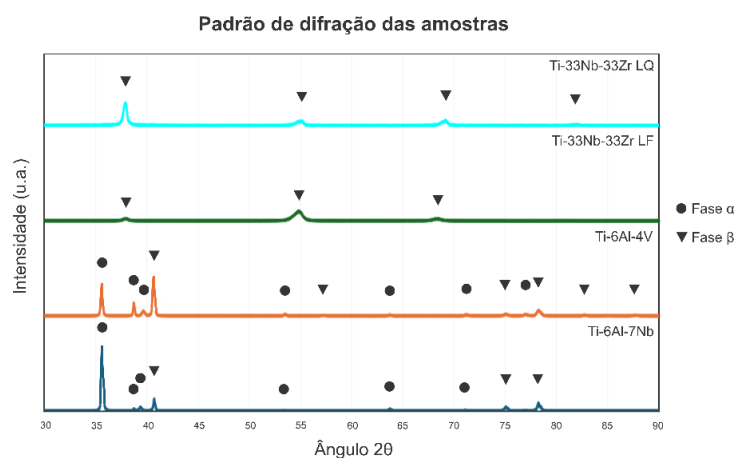


Figura 1. Gráfico do padrão de difração das amostras.

Tabela 1. Tabela de comparação de propriedades mecânicas das ligas.

Liga	Modulo de elasticidade - E [MPa]	Dureza [MPa]	Dureza [HV]
Ti-6Al-4V (fornecido)	125 ± 5	3,6 ± 0,3	326 ± 14
Ti-6Al-7Nb (fornecido)	140 ± 5	3,8 ± 0,4	333 ± 12
Ti-33Nb-33Zr (LF)	73 ± 2	3,4 ± 0,2	276 ± 11
Ti-33Nb-33Zr (LQ)	74 ± 6	3,1 ± 0,3	314 ± 10
Ti-16Nb-10Hf (T)	62 ± 5	1,9 ± 0,4	180 ± 37
Ti-16Nb-10Hf (T10L)	78 ± 4	2,9 ± 0,4	267 ± 38
Ti-16Nb-10Hf (T30L)	71 ± 7	2,4 ± 0,3	220 ± 33
Ti-16Nb-10Hf (T60L)	65 ± 6	4,2 ± 0,4	387 ± 39
Ti-16Nb-10Hf (T90L)	28 ± 3	2,6 ± 0,3	238 ± 27

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MASCHIAN, Rocky; OETTINGER, Irving. Ligas de titânio contendo nióbio para aplicações biomédicas. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2021.

DA SILVA, Jailson. Estudo do processo de extrusão em canal angular (ECAP) para a liga de titânio beta metaestável Ti-35Nb-7Zr-5Ta. Tese (doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, SC, 2023.

LOURENÇO, Mariana Luna. Optimizing low modulus of multiprincipal equimassic Ti-33Nb-33Zr comparing casting, hot rolling and severe plastic deformation through ECAP processing. BioMet-CAM Laboratory, Department of Materials Engineering (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: André Felipe Buzzi

MODALIDADE DE BOLSA: PROBIC/UDESC (IC)

VIGÊNCIA: 09/24 a 08/25 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Athos Henrique Plaine

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Mecânica

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharia de Materiais e Metalurgia

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Deformação plástica severa em ligas de engenharia para aplicações como biomateriais

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4159-2023