



Utilização das Ligas de Titânio para Implantes de Substituição total de Quadril

Rolden Baptista e José Carlos Morilla

Universidade Santa Cecília - UNISANTA
Departamento de Pós Graduação, Santos -SP, Brasil
E-mail: morilla@unisanta.br
Received january, 2013

Resumo

Considerando os fatores de biocompatibilidade, resistência à corrosão, alta tenacidade e boa resistência ao desgaste, a liga Ti-6Al-4V com módulo elástico 110,0 GPa é uma opção usada para substituição de juntas de quadril. Com 6% de alumínio e 4% de vanádio (estabilizadores em temperatura ambiente), apresenta módulo elástico próximo ao do osso humano que é de 14GPa.

Palavras chave: Titânio, Alumínio, Vanádio, Liga, Módulo elástico, Osso, Quadril.

Use of titanium alloy implants for total hip replacement

Abstract

Considering the factors of biocompatibility, corrosion resistance, high tenacity and good wear resistance, the alloy Ti-6Al-4V with 110.0 GPa elastic modulus is a choice used to replace of hip joints. With 6% of aluminum and 4% of vanadium (stabilizers of ambient temperature) has an elastic modulus close to that of human bone is 14GPa.

Keywords: Titanium. Aluminum, Vanadium, Alloy, Elastic modulus, Bone, Hip.

1. Introdução

O Titânio é um metal de símbolo Ti com número atômico 22 e massa atômica igual a 47,9. Suas principais características estão em ser leve, forte, de cor branco-metálica, lustroso, resistente à corrosão e sólido na temperatura ambiente. Suas principais fontes são o rutilo TiO₂ e a ilmenita FeTiO₃. Apresenta inúmeras aplicações como metal de liga leve.

O processo pelo qual o Titânio é produzido é o processo de Kroll em que, a partir de TiO₂, há a conversão em tetracloreto de titânio (TiCl₄) e logo após a redução para titânio metálico pelo sódio ou magnésio. Sua aparência é porosa e pode ter a inserção de elementos de liga, se

houver necessidade, fundida a arco sob vácuo (Askeland; Phulé, 2008). As ligas de titânio possuem utilização muito alta, que foi intensificada a partir da Segunda Grande Guerra mundial.

Anteriormente, não havia, na prática, como separar o titânio metálico dos óxidos reativos e nitretos. A reatividade do titânio cria uma estreita camada de óxido em sua superfície, mas extremamente resistente a qualquer tipo de corrosão.

As ligas de titânio, como Al (Alumínio) e Mg (Magnésio), possuem densidade abaixo da do ferro. São comparativamente mais densas que as de Al e Mg e têm a vantagem de manter a resistência em temperatura de operação moderada (temperaturas altas da fuselagem de aeronaves de alta velocidade), culminando em diversas

aplicações em projetos aeroespaciais. Também possuem aplicação na biologia e na medicina como biomateriais pela leveza, resistência e aceitação.

Focaliza-se, neste trabalho, a utilização destes como ligas utilizadas para o procedimento cirúrgico denominado de THR Total Hip Replacement que significa substituição total de quadril. A liga substitui junta de quadril, pois é a mais próxima do módulo elástico (E) do osso humano.

2. Material e Métodos

O objetivo é através de uma consulta bibliográfica poder apresentar uma das possíveis utilizações das ligas de titânio e a vantagem de utilização desta.

O titânio tem estrutura hexagonal compacta (hc) α semelhante a do magnésio, levando a uma ductilidade, a capacidade geral do metal de ser deformado plasticamente, tipicamente inferior.

Entretanto, a estrutura cúbica de corpo centrado (ccc) β de temperatura elevada pode ter sua estabilização em temperatura ambiente adicionando elementos de liga como o vanádio (Shackelford, 2008). A temperatura de transformação não é afetada quando há a adição de estanho e zircônio que endurecem por solução sólida.

O alumínio, oxigênio hidrogênio e outros estabilizadores da fase alfa fazem aumentar a temperatura em que α se transforma em β , em outras palavras, o campo da fase α é expandido (Askeland; Phulé, 2008). Os elementos para liga, denominados estabilizadores de fase beta (vanádio, tântalo, molibdênio e nióbio), fazem diminuir a temperatura de transformação, ou seja, há a possibilidade de se ter fase β à temperatura ambiente. Já os elementos manganês, cromo e ferro geram uma reação eutetoide (facilmente fundida), reduzindo a temperatura de transformação α - β onde, em temperatura ambiente, há a produção de uma microestrutura bifásica. Alguns tipos de titânio e suas ligas são demonstrados no Quadro 01.

Quadro 01

Material	Limite de resistência à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)
Ti comercialmente Puro			
99,5% Ti	241	172	24
99,0% Ti	552	483	15
Ligas de Ti alfa: 5% Al-2,5%Sn	862	779	15
Ligas de Ti beta: 13%V-11%Cr-3%Al	1.289	1.213	5
Ligas Ti alfa-beta 6% Al-4% V	1.034	965	8

Fonte: (Askeland; Phulé, 2008).

Focaliza-se, neste estudo, a utilização da liga Ti-6Al-4V (6% de Alumínio e 4% de Vanádio) que é muito utilizada para o procedimento cirúrgico de substituição total de quadril (Figura 1).

Alguns estudos apontaram altos níveis de Ti, V e Al nos tecidos próximos da região do implante, sobretudo quando sujeitos ao esforço com impacto e atrito do joelho até a cabeça do fêmur (Figuras 1a, 1b e 1c).

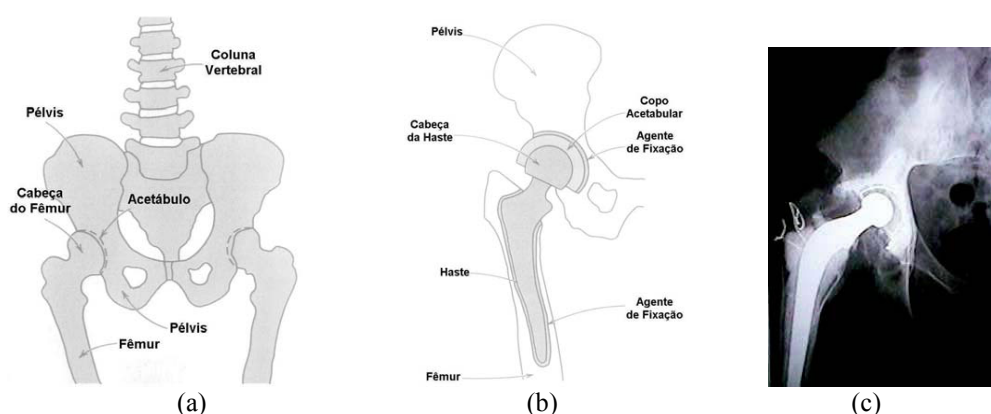


Figura 1 – (a) Quadril Humano; (b) Implante de Prótese; (c) Implante pós-cirurgia
Fonte: (Rocha Mello, Gisela Martinelli, 2004 p. 3).

Assim não é aconselhável que seja utilizada a liga sem que esteja revestida superficialmente na cabeça do fêmur (Rocha Mello, Gisela Martinelli, 2004 p.22). A liga é utilizada, entre outros fatores, porque é a mais próxima do módulo elástico (E) do osso humano.

O módulo de elasticidade E, também conhecido como módulo Young, é a inclinação da curva de tensão-deformação na região elástica.

O estudo da tensão versus a deformação é feito porque os metais são usados em engenharia como elementos estruturantes. A tensão na engenharia é representada por σ e é definida por:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Onde P é a carga na amostra com uma área de seção reta (tensão zero) e A_0 a seção reta da amostra e refere-se à região próxima à metade do comprimento do corpo de prova.

A deformação em engenharia é representada por ϵ e é definida por:

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Onde l é o comprimento útil em determinada carga, e l_0 é o tamanho original (tensão zero).

A deformação pode ser dividida em deformação elástica e deformação plástica. A primeira é uma deformação temporária e a segunda é uma deformação permanente. A linearidade do gráfico de tensão-deformação na região elástica é uma apresentação gráfica da lei de Hooke.

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

O Gráfico 1 apresenta as principais propriedades mecânicas obtidas em um ensaio de tração.

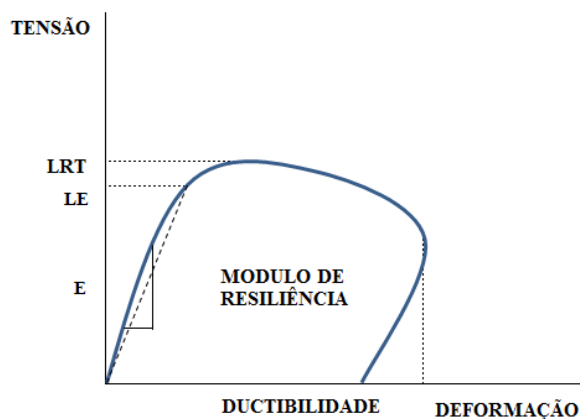


Gráfico 1 - Principais propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.

As principais propriedades, conforme apresentadas no gráfico, são:

1. Módulo de elasticidade E;
2. Tensão limite de escoamento LE;
3. Limite de resistência à tração LRT;
4. Ductilidade, $100 \times \epsilon_{falha}$
5. Módulo de resiliência = $\int \sigma d\epsilon$ (medida sob a carga; daí a linha tracejada ser vertical).

O Quadro 02 apresenta para os valores de módulo de elasticidade (E), limite de escoamento (LE), limite de resistência à tração (LRT) e o percentual de alongamento.

Quadro 02

LIGA	E [GPa (psi)]	LE [MPa (ksi)]	LRT [MPa (ksi)]	Alongamento [%]
Ti-6Al-4V	110,0 (16,0x10 ⁶)	825 (120)	895 (130)	10

Fonte: (Shackelford, 2008).

O coeficiente de Poisson (ν) é um efeito muito importante da deformação elástica e é a contração perpendicular à extensão causada por uma tensão de tração.

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

As deformações estão nas direções x e z. A tensão de cisalhamento (τ) produz uma deformação elástica e é definida como:

$$\tau = \frac{P_s}{A_s}$$

Onde P_s é a força na amostra e A_s é a área da amostra paralela à carga aplicada.

Esta tensão de cisalhamento produz um deslizamento angular (α) com a deformação de cisalhamento (γ) que é:

$$\gamma = \tan \alpha$$

O módulo de rigidez (G) ou módulo de cisalhamento é:

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

O Quadro 03 resume a razão de Poisson e o módulo de cisalhamento para a liga Ti-6Al-4V.

Quadro 03 – Razão de Poisson e módulo de cisalhamento para liga Ti-6Al-4V.

Liga	N	G(GPa)	G/E
Ti-6Al-4V	0,33	41	0,38

Fonte: (Shackelford, 2008).

2. Resultados e Discussão

Com o ajuste correto dos elementos estabilizadores de α e β , produz-se uma mistura à temperatura ambiente. Em detrimento das ligas terem duas fases, podem ser utilizados tratamentos térmicos a fim de controlar propriedades e microestruturas.

A alta ductilidade é fornecida pelo recozimento e, assim, há uniformidade das propriedades e resistência mecânica boa. A liga é aquecida abaixo da temperatura de transformação β e ao resfriar-se lentamente há a formação de grãos α equiaxiais formando ductilidade boa, conformabilidade e dificulta a formação de trincas de fadiga. Outras duas possibilidades de microestruturas podem ser produzidas quando a fase β for temperada a partir de temperatura muito elevadas onde ocorre o início da transformação martensítica responsável pela têmpera e o revenido das ligas de titânio.

As ligas α - β altamente ligadas são endurecidas por envelhecimento e, quando são temperadas, a fase β supersaturada é mantida sem alteração.

A liga Ti-6Al-4V é superplástica e pode ser deformada em 1.000%. Ao serem utilizadas para produzir implantes, não são rejeitadas pelo corpo humano e, assim, são denominadas de biocompatíveis.

As ligas de titânio e alumínio possuem densidade abaixo da do ferro, são comparativamente mais densas que as de Mg e têm a vantagem de manter a resistência em temperatura de operação moderada. O alumínio é um estabilizador da fase α que faz o campo da fase α ser expandido (Askeland; Phulé, 2008).

O titânio tem estrutura hexagonal compacta (hc) α e estrutura cúbica de corpo centrado (ccc) β de temperatura elevada que pode ter sua estabilização em temperatura ambiente com a adição de do vanádio, ou seja, assim há a possibilidade de se ter fase β à temperatura ambiente.

A liga Ti-6Al-4V possui o valor da razão de Poisson (ν) é de 0,33, o módulo de rigidez (G) de 41 GPa e a razão do módulo de rigidez pelo módulo de elasticidade (G/E) é de 0,38.

3. Conclusão

O titânio comercialmente puro e a liga Ti-6Al-4V foram originariamente desenvolvidos como material estruturante para aplicações aeroespaciais, entretanto passaram a protagonizar nas cirurgias como materiais para implantes. Considerando os fatores de biocompatibilidade, resistência à corrosão, alta tenacidade e boa resistência ao desgaste a liga Ti-6Al-4V (módulo elástico 110,0 GPa), é uma opção usada para substituição de juntas de quadril. É a mais próxima do módulo elástico do osso humano que é de 14 GPa (Shackelford, 2008). O cirurgião ortopédico

remove o quadril degenerado e perfura a cavidade no osso femoral para acomodar a haste que é ancorada ao sistema esquelético com um cimento de polimetilmetacrilato (PMMA) ou pelo crescimento de osso sobre um revestimento superficial poroso ('fixação sem cimento'). A taça geralmente está ligada a um suporte de metal que, por sua vez, está ligado ao quadril por parafusos metálicos para osso. Mais de 400.000 cirurgias de THR são realizadas nos EUA e Europa a cada ano. As ligas metálicas e os polímeros envolvidos na THR são denominados de biomateriais.

Alguns estudos apontam altos níveis de Ti, V e Al nos tecidos próximos da região do implante, sobretudo quando sujeitos ao esforço com impacto e atrito do joelho até a cabeça do fêmur. Assim, não é aconselhável que seja utilizada sem que esteja revestida superficialmente na cabeça do fêmur. A haste é feita de liga Ti-6Al-4V e a cabeça de cerâmica (resistente ao desgaste, à corrosão e com tenacidade à fratura). O interior do soquete pode ser feito com um polietileno de ultra-alto peso molecular que tem um coeficiente de atrito baixíssimo

4. Referências bibliográficas

ASKELAND, D. R.; Phulé, Pradeep P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**, Editora Cengage Learning, 2008.

CALLISTER Jr, William D. **Ciência e Engenharia de materiais: uma introdução**, 7ª Edição, Editora LTC, 2008.

SHACKELFORD, James F. **Ciências dos Materiais**. 6ª Edição, Editora Pearson, 2008.

ROCHA MELLO, G. M.. **Efeito de elementos betagênicos na estabilização de fases e propriedades de ligas de titânio para aplicação em implantes ortopédicos**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 113 p. Tese (Doutoramento).