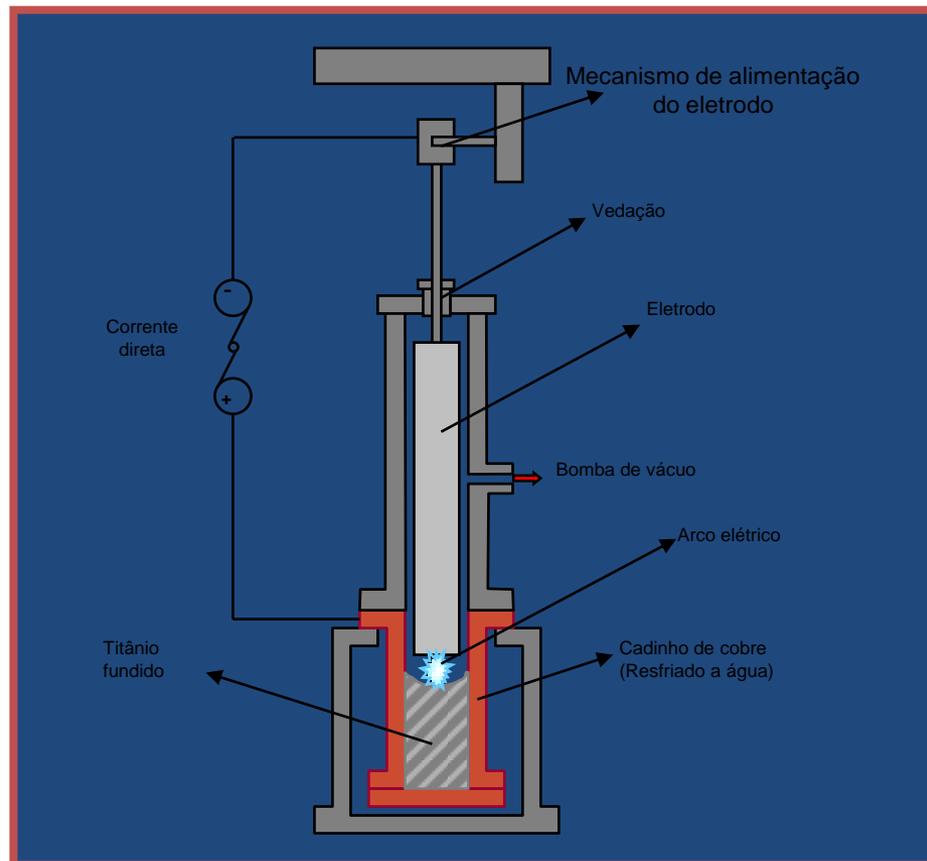


Obtenção e Formação de Ligas de Titânio

Formação das Ligas de Titânio

PRODUÇÃO DO TITÂNIO

PROCESSO DE KROLL



Formação das Ligas de Titânio

Características Gerais do Metal:

- Alta resistência estrutural
- Alta resistência à corrosão
- Densidade: 55% do aço
- **Bio-compatível**

Formação das Ligas de Titânio

Propriedades físicas do elemento titânio

▪ Número Atômico	22
▪ Massa Atômica	47,9
▪ Densidade	4,51 Mg/m ³
▪ Ponto de Fusão	1668 °C
▪ Calor Específico	522 J/kg.K (25°C)
▪ Calor Latente de Fusão	440 kJ/kg
▪ Condutibilidade térmica	11,4 W/m.K (-240°C)
▪ Resistividade Elétrica	420 nΩ.m (20°C)

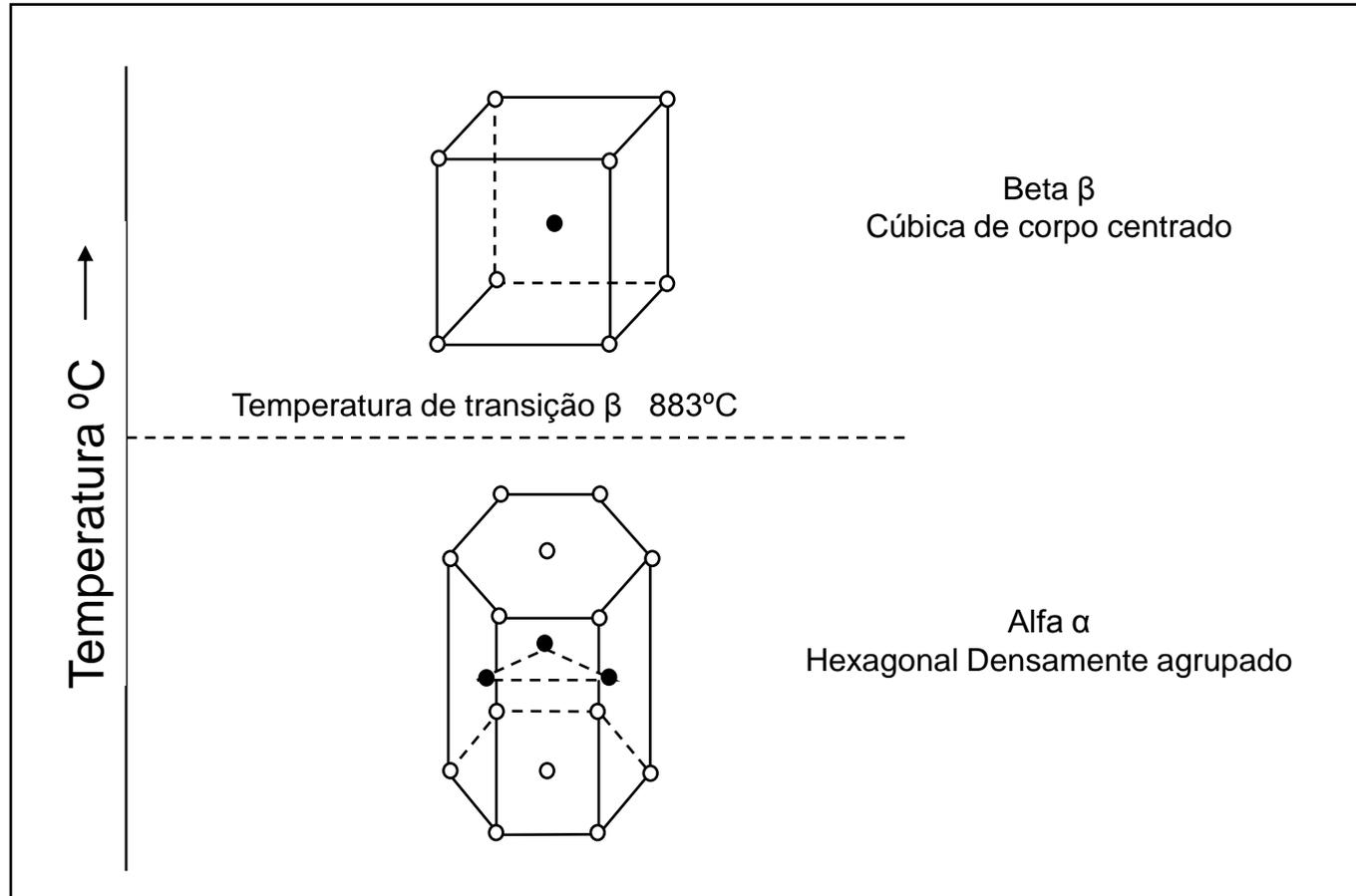
Formação das Ligas de Titânio

Valor mínimo das propriedades mecânicas do Ti, de acordo com o grau de pureza (%)

Limites máximos de impurezas

Tipo	Limites máximos de impurezas (%)					Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
	N	Fe	O	C	H		
Grau 1	0,03	0,20	0,18	0,10	0,01	240	24
Grau 2	0,03	0,30	0,25	0,10	0,01	340	20
Grau 3	0,05	0,30	0,35	0,10	0,01	450	18
Grau 4	0,05	0,50	0,40	0,10	0,01	550	15

Formação das Ligas de Titânio



Formação das Ligas de Titânio

Tipos de ligas: Ligas α e próximas de α

- não tratadas termicamente
- soldáveis
- média resistência
- boa tenacidade ao dobramento
- boa resistência ao escoamento em altas temperaturas

Formação das Ligas de Titânio

Tipos de ligas: Ligas α

Ti - Al 5% - Sn 2%.

Alumínio – alfa estabilizante, diminui a densidade da liga, aumenta a resistência por solução sólida.

Estanho - aumenta a resistência por solução sólida.

Formação das Ligas de Titânio

Composição química e aplicações Típicas de Ligas de Titânio α

Ligas	Condições	Aplicações Típicas
<p>Ti-0,15N-0,02,5N</p>	<p>Temperatura ambiente</p>	<p>Liga utilizada para fabricação de chapas, laminais, tubos, e componentes de aeronaves. Também usada para turbinas de vapor, devido à resistência mecânica e boa resistência à oxidação de 600 a 1100°F. Boa estabilidade e elevada temperatura.</p>
<p>Ti-0,15N-0,02,5N (Baixa Oxigenação)</p>	<p>Temperatura ambiente</p>	<p>Categoria especial para vasos criogênicos de alta pressão que operam abaixo de -423°F.</p>

Formação das Ligas de Titânio

Tipos de ligas: Ligas próximas de α

Ligas próximas de α de titânio são aquelas que contêm alguma fase β dispersa em uma estrutura de fase α .

Ti - Al6%- Sn2%- Zr4%- Mo2%

Ti - Al8%- Mo1%- V1%

Ti - Al6%- Sn2%- Zr4%- Mo2%

Ti - Al8%- Mo1%- V1%

Formação das Ligas de Titânio

Molibdênio e vanádio são β estabilizantes

Estanho e zircônio são adicionados a diversas dessas ligas permitindo reduzir a quantidade de alumínio e mantendo sua resistência mecânica

- boa soldabilidade
- alta resistência mecânica
- boa resistência ao escoamento
- boa tenacidade
- baixa ductilidade
- **suscetível à corrosão sob tensão em meios salinos**

Formação das Ligas de Titânio

Composição química e aplicações Típicas de Ligas de Titânio próximas a α

Composição	C O N D I Ç Õ E S	A P L I C A Ç Õ E S T Í P I C A S
<p>Ti - 0,15% Ni - 0,01% Nb - 0,01% V - 0,1%</p>	<p>Resistência muito elevada</p>	<p>Partes de motores a jato que requerem alta resistência a 350°C, boa ductilidade e soldabilidade.</p>
<p>Ti - 0,15% Ni - 0,02% Nb - 0,02% Zr - 0,02% Mo - 0,2%</p>	<p>Resistência muito elevada</p>	<p>Partes de motores a jato com pressões de motores a jato; com boas propriedades de corrosão.</p>
<p>Ti - 0,15% Ni - 0,05% Nb - 0,02% Zr - 0,02% Mo - 0,2% Sn - 0,1%</p>	<p>375°C (1/2 h) testado a 375°C 400°C (2 h) testado a 375°C</p>	<p>Partes de motores a jato; alta resistência ao escoamento a 375°C</p>
<p>Ti - 0,15% Ni - 0,01% Nb - 0,02% Zr - 0,01% Ta - 0,1%</p>	<p>Laminado com a placa</p>	<p>Alta tenacidade, moderada resistência, boa resistência a água de mar e corrosão em água salina quente; boa soldabilidade.</p>

Formação das Ligas de Titânio

Tipos de ligas: Ligas $\alpha - \beta$

Essa classe de ligas de titânio contém 1 ou mais elementos β estabilizantes em quantidade suficiente para permitir a retenção de porções consideráveis de fase β em temperatura ambiente, resultando em uma estrutura $\alpha + \beta$.

Ti- Al6%- V4%

Ti- Al6%- V6%- Sn2%

Ti- Al6%- V4%- Cu0.5%- Fe0.5%

Ti- Al6%- Sn2%- Zr2%- Mo2%- Cr2%- Si 0.25%

Formação das Ligas de Titânio

São tratadas termicamente para um moderado acréscimo de resistência.

Boas propriedades para conformação plástica.

Não tem boa resistência ao escoamento em altas temperaturas como as ligas α e próximas de α .

- Boa soldabilidade
- Boa forjabilidade
- Boa usinabilidade

Formação das Ligas de Titânio

Composição química e aplicações Típicas de Ligas de Titânio $\alpha + \beta$

Composição	Tratamento	Aplicações Típicas
Ti- Al6%- V4% (baixo O ₂)	reaquecido	Vasos criogênicos de alta pressão que operam abaixo de -320°F
Ti- Al6%- V6%- Sn2%	reaquecido: solubilizado e envelhecido	invólucro de motores a jato; componentes da artilharia; partes estruturais de aeronaves e trem de pouso; responde bem ao tratamento térmico, boa trabalhabilidade.

Formação das Ligas de Titânio

Ti- Al7%- Mo4%	solubilizado e envelhecido	Fuselagem e partes para motores a jato para operação em temperaturas acima de 800°F, partes forjadas para mísseis; equipamentos de artilharia.
Ti- Al6%- Sn2%- Zr4%- Mo6%	solubilizado e envelhecido	Componentes para motores a jato avançados.
Ti- Al6%- Sn2%- Zr2%- Mo2%- Cr2%- Si0.25%	solubilizado e envelhecido	Aumento da resistência, tenacidade da fratura em partes espessas; rodas do trem de pouso.
Ti- V10%- Fe2%- Al3%	solubilizado e envelhecido	Componentes espessos de fuselagem estrutural que requerem tenacidade em grandes esforços

Formação das Ligas de Titânio

Tipos de ligas: Ligas β

As ligas β são tratadas termicamente para obtenção de alta resistência e são facilmente conformáveis.

Entretanto estas ligas possuem relativa alta densidade e em condições de grande sollicitação tem baixa ductilidade.

Em virtude destas desvantagens elas não são comumente utilizadas na atualidade.

Se quantidades suficientes de β estabilizantes forem adicionadas ao titânio, a estrutura constituída totalmente da metaestável fase β , pode ser obtida na temperatura ambiente por meio de esfriamento rápido ou ainda em alguns casos por resfriamento a ar.

Formação das Ligas de Titânio

Tipos de ligas: Ligas β

Em condições de alto esforço, estas ligas tem baixa ductilidade. Em partes finas, elas sofrem problemas de segregação química, e aumento do tamanho de grão, isto resulta em baixa performance a fadiga e também apresenta devido a baixa ductibilidade pouca resistência a tração.

Ti- V13%- Cr11%- Al3%

Ti- Mo8%- V8%- Fe2%- Al3%

Ti- Al3%- V8%- Cr6%- Mo4%- Zr4%

Formação das Ligas de Titânio

Composição química e aplicações Típicas de Ligas de Titânio β

Composição

Aplicações Típicas

Ti - V 13% - Cr 11% - Al 13%

Rosqueáveis de alta resistência com boas propriedades para a fabricação de implantes. Boa conformabilidade a quente e excelente resistência.

Ti - Mo 8% - V 8% - Fe 2% - Al 13%

Alta resistência, facilidade de fabricação, boa resistência a corrosão e boas propriedades para a fabricação de implantes.

Ti - Al 13% - V 8% - Cr 16% - Mo 4% - Zr 4%

Rosqueáveis de alta resistência, boas propriedades e boas propriedades para a fabricação de implantes.

Ti - Mo 8% - V 8% - Zr 6% - Nb 4%

Com boas propriedades mecânicas e boa conformabilidade a quente e resistência a corrosão. Rosqueáveis de alta resistência e boas propriedades para fabricação de implantes.

Formação das Ligas de Titânio

Efeitos dos elementos formadores de ligas:

Nas ligas de titânio o principal efeito dos elementos formadores de ligas é influenciar na temperatura de transformação das fases $\alpha - \beta$.

Alguns elementos estabilizam a fase α pela elevação da temperatura de transformação da fase α em β , enquanto outros elementos estabilizam a fase β pela diminuição da temperatura de transformação da fase $\alpha - \beta$.

Formação das Ligas de Titânio

Alfa estabilizadores:

Nas ligas de titânio o alumínio é o principal α estabilizador, outros elementos, entre eles gálio, germânio, carbono, oxigênio e nitrogênio também estabilizam a fase α .

Beta estabilizadores:

São divididos em dois grupos:

- β isomorfos, este grupo é composto por elementos completamente miscíveis na fase β , entre eles molibdênio, vanádio, tântalo e nióbio.
- β eutetóides, este grupo é composto por elementos como: -manganês, ferro, cromo, cobalto, níquel, cobre e silício.

Formação das Ligas de Titânio

Alumínio:

É o principal alfa estabilizador nas ligas de titânio, aumenta a resistência a tração, resistência ao escoamento e aumenta o módulo de elasticidade. Reduz a ductilidade, diminui a densidade e aumenta a resistência à corrosão.

Estanho:

Tem um potencial α estabilizador menor que o alumínio, tem ampla solubilidade sólida em ambas as fases α e β e é comumente utilizado como um reforço da solução sólida em conjunto com o alumínio para obter um aumento da resistência sem tornar a liga friável.

Zircônio:

Forma uma solução sólida continua com o titânio e aumenta a resistência em temperaturas baixas e intermediárias. O uso de zircônio acima de 5 a 6% pode reduzir a ductilidade e resistência ao escoamento. É considerado um fraco β estabilizador. Permite diminuir a quantidade de alumínio na liga.

Formação das Ligas de Titânio

Molibdênio:

É um importante β estabilizador que promove endurecimento e aumento de resistência em elevadas temperaturas em curto tempo. Molibdênio diminui a soldabilidade da liga.

Nióbio:

É um beta estabilizador adicionado com o objetivo de melhorar a resistência a oxidação em altas temperaturas.

Ferro:

É um estabilizador beta que tende a reduzir a resistência ao escoamento.

Carbono:

É um alfa estabilizador, aumenta a resistência e diminui a ductilidade

Formação das Ligas de Titânio



Barras de titânio



Chapas laminadas de titânio

Formação das Ligas de Titânio



Implantes de titânio



**Tubos para
trocadores de calor
de titânio**

Formação das Ligas de Titânio



Titanium aero forging



Titanium heat exchanger



Titanium boat propeller



Titanium wheel rim



Titanium oven blower



Titanium rolled rings



Titanium Reaction Tank

Formação das Ligas de Titânio

PRODUTOS DA METALURGIA DO PÓ EM TITÂNIO



Formação das Ligas de Titânio

Referencias Bibliográfica.

American Society for Metals. Handbook Committee; ASM International. **ASM handbook**. Chio: American Society for Metals, 1982-1997. 20 v.; v 2.; p. 586 – 660.

BAUER, José Roberto de Oliveira et al. Titânio e ligas de titânio: propriedades e técnicas de fundição = Titanium and titanium alloys: properties and casting techniques. RPG : revista da pós-graduação, São Paulo , v. 9, n. 2 , p. 179-185,, abr. 2002.

BOYER, Rodney; WELSCH, Gerhard; COLLINGS, E. W. **Materials properties handbook: titanium alloys**. Materials Park: ASM, 1994. 1176 p. ISBN 0-87170-1481-1

BRESCIANI FILHO, E. **Seleção de metais não ferrosos**. 2.ed. Campinas S.P.: Editora da UNICAMP, 1997.

<http://www.Titanium.com>

SMITH, William F. **Structure and properties of engineering alloys**. 2 nd. ed. New York: McGraw-Hill, 1993. 630 p. ISBN 0-07-059172-5