

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Fusão e caracterização da liga Ti-20Zr com potencial para aplicação biomédica.

MARIA C. R. SILVA¹, FÁBIO B. VICENTE², DIEGO R. N. CORREA³, CARLOS R. GRANDINI⁴

¹ Estudante do Técnico Integrado em Eletrotécnica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Tupã, clara.reis@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor EBTT - Física, IFSP, Campus Tupã, fabio.vicente@ifsp.edu.br.

³ Professor do departamento de Física, UNESP, Campus Bauru, diego.correa@unesp.br.

⁴ Professor do departamento de Física, UNESP, Campus Bauru, carlos.r.grandini@unesp.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.04.01-6 Ciências Exatas e da Terra

RESUMO:

O titânio é um material versátil, combinando excelentes propriedades mecânicas com baixa densidade. A adição de elementos substitucionais altera a microestrutura do titânio, o que pode impactar suas propriedades mecânicas. Embora isso geralmente resulte em uma redução no módulo de elasticidade, para aplicações biomédicas é crucial que os elementos adicionados sejam biocompatíveis. Neste estudo, será produzido um lingote de Ti-20Zr (% em peso) utilizando um forno arco voltaico em uma atmosfera controlada de argônio para prevenir a contaminação por oxigênio. O processo será descrito para compreender as dificuldades no processamento desse material. Para verificar a qualidade da liga, a densidade da amostra será determinada pelo método de Arquimedes, e os resultados serão comparados com valores teóricos calculados com base na fração molar dos elementos na liga, a fim de confirmar a precisão da composição.

PALAVRAS-CHAVE: metalurgia física; composição química, fusão de ligas.

Melting and Characterization of the Ti-20Zr Alloy with Potential for Biomedical Applications.

ABSTRACT: Titanium is a versatile material, combining excellent mechanical properties with low density. The addition of substitutional elements alters the microstructure of titanium, which can impact its mechanical properties. Although this generally results in a reduction in the modulus of elasticity, for biomedical applications it is crucial that the added elements be biocompatible. In this study, an ingot of Ti-20Zr (wt%) will be produced using an arc furnace in a controlled argon atmosphere to prevent contamination by oxygen. The process will be described to understand the challenges in processing this material. To verify the quality of the alloy, the density of the sample will be determined by the Archimedes method, and the results will be compared with theoretical values calculated based on the molar fraction of the elements in the alloy, in order to confirm the accuracy of the composition.

KEYWORDS: Physical metallurgy; Chemical composition; Alloy melting

INTRODUÇÃO

O titânio é um elemento com propriedades excepcionais que o tornam ideal para diversas aplicações (Conselho Regional de Química, 2024). É amplamente utilizado nas indústrias aeronáutica, marítima, petroquímica, química, médica e nuclear devido à sua elevada resistência mecânica, leveza, resistência à fadiga e à corrosão (PAIVA, 2021). No mercado biomédico, o titânio é valorizado por sua

biocompatibilidade e a formação de uma camada passiva de óxido de titânio, que o torna inerte aos líquidos e tecidos do corpo permitindo seu uso em próteses ortopédicas e implantes dentais. Sua aplicação vem sendo priorizada devido a demandas cada vez mais restritivas em termos de qualidade no acabamento e propriedades físico-químicas específicas da aplicação odontológica. (SILVA, 2021).

No entanto, a fusão e a usinagem do titânio são muito desafiadoras e de custo elevado quando comparado ao aço, principalmente pelo fato de ter alto ponto de fusão (1670°C) e do fato da necessidade de forças de corte superiores causando o desgaste das ferramentas. A dificuldade na sua produção destaca a importância de pesquisas para melhorar o processamento e reduzir os custos associados à sua fabricação (NAKANDAKARI, 2000, DONACHIE, 2004).

Ao adicionar uma baixa concentração de zircônio, elemento que contém semelhanças com o titânio, espera-se uma redução no ponto de fusão e melhoria nas propriedades mecânicas do material (CORREA, 2015). O objetivo desse trabalho é produzir uma liga de Ti-20Zr (% em peso) para compreender as dificuldades no processo de produção da liga e verificar sua qualidade através de ensaios de baixo custo.

MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, foi realizada a pesagem dos metais precursores Titânio (Ti) e do Zircônio (Zr) em uma balança de precisão, com o intuito de ser produzido um lingote de aproximadamente 20 gramas (16g de Ti e 4 g de Zr). Os precursores são da marca Sigma-Aldrich pesquisa e possuem classificação comercialmente puro (cp) com pureza (acima de 99,5%).

Ademais, os precursores foram lavados em uma lavadora ultrassônica (Modelo UNIQUE) e submersos em acetona por 15 minutos e com o auxílio de uma pinça colocados no cadinho de fusão do forno arco voltaico onde foi inicialmente feito vácuo e realizada a purga da atmosfera com argônio para evitar a contaminação com oxigênio. O processo de purga (vácuo-argônio) foi realizada cinco vezes. O forno utilizado pertence ao Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais da UNESP-Bauru, e a quantidade de argônio bem como os produtos descartáveis utilizados foram todos cedidos pelo laboratório.



Figura 1. Elementos precursores dentro do cadinho do forno arco voltaico

Após a purga foi realizada a fusão, a ponta de tungstênio fecha o arco voltaico em cima dos precursores realizando a fusão. Todo o processo foi realizado utilizando os EPI's padrões do procedimento. Após a liquefação do material, aguarda-se alguns instantes para o lingote se solidificar no interior do forno, onde é novamente fundido para garantir uma boa homogeneização. O procedimento de fusão e solidificação foi realizado 5 vezes, sempre esperando cerca de dois a três minutos para o lingote esfriar no cadinho. Ao fim do procedimento o lingote de Ti-20Zr foi retirado do forno para a realização das caracterizações.

Para a determinação da densidade foi utilizado o método de Arquimedes, onde as massas das amostras serão mensuradas em balança de precisão e novamente pesadas desta vez imersas em água utilizando o aparato para determinação de densidade que consiste em um dinamômetro e uma cuba d'água. Comparando a densidade teórica através da fração molar dos elementos (equação 1) com a obtida pelo método de Arquimedes (equação 2) pode-se verificar se a estequiometria nominal da liga

está de acordo com o lingote fundido (HALLIDAY, 2016; ASKELAND, 2003). Para os ensaios de densidade foi utilizado a balança de precisão e kit de determinação da densidade, ambos estão presentes no campus do IFSP-Tupã e não demandam o uso de materiais consumíveis.

$$\rho_{Teórica} = \frac{\rho_{Ti} \left(\frac{m_{Ti}}{M_{Ti}}\right) + \rho_{Zr} \left(\frac{m_{Zr}}{M_{Zr}}\right)}{\left(\frac{m_{Ti}}{M_{Ti}}\right) + \left(\frac{m_{Zr}}{M_{Zr}}\right)} \quad (1)$$

em que,

$\rho_{teórica}$ – densidade teórica da liga em g/cm³;

ρ_{Ti} – densidade do titânio em g/cm³;

m_{Ti} – massa do titânio em g;

M_{Ti} – massa molar do titânio em g/mol.

ρ_{Zr} – densidade do zircônio em g/cm³;

m_{Zr} – massa do zircônio em g;

M_{Zr} – massa molar do zircônio em g/mol.

$$\rho = \frac{m}{m - m_{ap}} \rho_{água} \quad (2)$$

em que,

ρ – densidade em g/cm³;

m – massa em g;

m_{ap} – massa aparente quando submersa em água g;

$\rho_{água}$ – densidade da água g/cm³.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pedaços de titânio e zircônio de alta pureza foram pesados em balança de precisão. Como o objetivo é produzir uma liga de Ti-20Zr, um total de 20% da massa do lingote deve ser composto de zircônio.

A tabela abaixo mostra a massa dos precursores e a respectiva porcentagem em peso. A massa total foi 21,84g um pouco acima dos 20 g estipulados inicialmente pois os pedaços de materiais precursores não possibilitaram exatamente os 16 gramas de titânio e 4g de zircônio, dessa forma priorizou-se aproximar-se da composição nominal (Ti-20Zr).

Tabela 1. Massa dos elementos precursores utilizados na pesquisa.

	Ti	Zr	Ti-20Zr
Massa	17,48 g	4,36 g	21,84 g
% em peso	80,04 %	19,96%	100 %

O lingote produzido (Figura 2) possui massa de 21,85 g, um ganho de 0,04% em massa que pode ser atribuído a difusão do cobre do cadinho na amostra ou a captura de partículas suspensas no ar durante a deposição dos precursores no interior do forno. Segundo os pesquisadores do laboratório isso está dentro do previsto e está dentro das normas de qualidade na produção de dispositivos biomédicos.



Figura 2. Lingote de Ti-20Zr.

A densidade teórica do lingote foi calculada usando as massas nominais da liga e as densidades obtidas na literatura: $\rho_{Ti} = 4,51 \text{ g/cm}^3$ e $\rho_{Zr} = 6,51 \text{ g/cm}^3$ e as respectivas massas molares: $M_{Ti} = 47,87 \text{ u}$ e $M_{Zr} = 91,22 \text{ u}$ (ASHBY, 2007; ASKELAND 2003). Usando a equação 1 chega-se na densidade teórica de $4,74 \text{ g/cm}^3$. Percebe-se que a densidade da liga é maior em relação ao titânio puro explicado pela concentração de zircônio que possui uma densidade maior. Para implantes ortopédicos, o ideal é ter uma baixa densidade, para os implantes dentários a densidade não é um fator predominante.

Para o cálculo da densidade utilizando o método de Arquimedes o lingote foi pesado submerso em água em temperatura ambiente, aproximadamente 24°C controlado por ar-condicionado. Os dados da massa e a respectiva densidade calculado pelo método de Arquimedes (equação 2) é mostrada na tabela a seguir.

Tabela 2. Dados para o cálculo da densidade pelo método de Arquimedes.

	Massa (g)	Massa aparente (g)	Densidade obtida (g/cm^3)
Lingote Ti-20Zr	21,84	17,31	4,81

Comparando a densidade do lingote $4,81 \text{ g/cm}^3$ com o valor teórico $4,74 \text{ g/cm}^3$ obtém-se um desvio de 1,4%. Este valor está dentro do esperado, uma vez que o titânio e o zircônio comercialmente puro tem pequenas concentrações de Fe (cerca de 0,2%) que por possuir densidade maior que os elementos da liga e pode contribuir para o aumento da densidade. Como as densidades estão muito próximas, pode-se afirmar que a composição da liga também é muito próxima da composição estipulada.

CONCLUSÕES

O lingote foi fundido em atmosfera controlada de argônio e visualmente ele apresenta aparência prateada, indicando uma baixíssima reação com o oxigênio ou outros gases. Para obter um lingote de Ti-20Zr com boa qualidade de aproximadamente 21,85 gramas o processo todo demorou cerca de 1 hora, indicando a dificuldade no processamento desse material e que o processo acadêmico não pode ser usado para produção em massa.

As medidas de densidade corroboram que a composição da liga está adequada, uma vez que a densidade do lingote é muito próxima da teórica. Conclui-se que o cuidado com a pesagem e com a limpeza dos precursores são cruciais para se obter um lingote de boa qualidade.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Maria Clara Reis Silva e Fábio Bossoi Vicente contribuíram com a curadoria, análise de dados, metodologia, redação e edição do trabalho. Carlos Roberto Grandini e Diego Rafael Nespeque Correa contribuíram na disponibilização de ferramentas e metodologia. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBICT do IFSP pela concessão da bolsa de iniciação científica e agradecem a FAPESP, CNPq e a UNESP-Bauru pela cessão sem custos dos equipamentos e insumos necessários para a fusão.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. JONES, D. R. H. **Engenharia de Materiais**, v.2, Ed. Campus, 2007.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P., **The Science and Engineering of Materials**, 4ª Ed, Brooks/Cole-Thomson Learning, Califórnia, 2003.

CONSELHO REGIONAL DE QUIMICA. **Elementos Químicos – Titânio - CRQ**. Disponível em: <<https://crqsp.org.br/elementos-quimicos-titanio/>>. Acesso em: 3 jul. 2024.

CORREA, D.R.N., KURODA, P.A.B., LOURENÇO, M.L., *et al*, **Effect of Heat Treatment in the Structure and Microstructure of Ti-15Zr-XMo Alloys**, Defect and Diffusion Forum, v. 365, pp. 305-310, 180-185, Jul. 2015.

DONACHIE JR, M. J., **Titanium – A technical guide**, 2ª Ed., ASM Internacional, 2004.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física 1**, LTC Editora, 10ª edição, Rio de Janeiro, 2016.

NAKANDAKARI, C. **Caracterização química, metalúrgica e estudo das propriedades mecânicas dos fios ortodônticos de titânio-molibdênio TMA**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia de Araraquara, 2000.

PAIVA, M. S. E. **Estudo da metalurgia física do titânio e suas ligas para uso em biomateriais** p. 22, [s.d.].

SILVA, I. C. **Estado da arte em ligas multicomponente biocompatíveis contendo Ti, Nb e Zr**. p. 35, 2021.