



## Relatório Parcial

Título do projeto de pesquisa: Obtenção de ligas de titânio para aplicações em trem de pouso.

Bolsista: JAMILSON OLIVEIRA COSTA.

Orientador(a): Vinicius Andre Rodrigues Henriques

Período a que se refere o relatório: Janeiro de 2014 a agosto de 2014

### RESUMO.

Sistema de trens de pouso são produtos heterogêneos concebidos especificamente para cada modelo de avião e sempre susceptíveis de ser objeto de uma inovação significativa. A liga Ti-10V-2Fe-3Al (alvo do último relatório) vem sendo bastante utilizada em trens de pouso de aeronaves nos últimos 10 anos. Entretanto, essa liga vem sendo substituída progressivamente pela liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr principalmente em trens de pouso das novas gerações de aviões de fuselagem larga. Este estudo visa estudar o desenvolvimento microestrutural da liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr por metalurgia do pó. A obtenção de peças desta liga por metalurgia do pó pode contribuir para redução de custos devido à facilidades operacionais e elevado aproveitamento de matéria prima. Utilizando esta técnica, foram produzidas amostras onde a adição de pó de alumínio foi substituída por pó de TiAl. Após as etapas de prensagem uniaxial e isostática a frio e sinterização entre 900°C e 1600° C, as amostras foram caracterizadas por microscopia óptica e eletrônica de varredura e análises de densidade. As amostras sinterizadas apresentaram microestrutura homogênea com alta densidade e uma tendência à redução da porosidade com aumento da temperatura, porem com insuficiente dissolução de molibdênio.

### 1. Introdução

Na indústria aeroespacial o titânio e suas ligas têm atraído a atenção como substitutos para aços e ligas de alumínio devido à sua elevada relação resistência mecânica / peso e excelente



resistência à corrosão. A liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr (Ti-5553) é da classe beta e foi recentemente desenvolvida para aplicações estruturais de aeronaves, especialmente em componentes do trem de pouso. Está sendo utilizada em substituição à liga Ti-10V-2Fe-3Al (Ti-1023) devido a sua maior versatilidade de processamento, maior temperabilidade e tenacidade [1,2]. Nos modelos mais recentes da Boeing, esta liga também está substituindo a tradicional liga T-6Al-4V devido ao seu elevado limite de resistência, melhor ductilidade e maior tenacidade à fratura. Além disso, condições de baixo módulo de elasticidade, menor temperatura de forjamento e resistência a oxidação, tornam essa liga apropriada à fabricação de pequenos componentes aeroespaciais [3].

Dependendo do tipo de componentes da liga Ti-5553 a ser produzido, rotas de processamento diferentes podem ser usadas. Em particular, a metalurgia do pó (M/P) pode ser preferencial, para produzir componentes com formas complexas e próximos da geometria final. No entanto, se deve ter em mente que a microestrutura final e conseqüentemente, as propriedades mecânicas da liga, será fortemente dependente do processo empregado [4-5].

Desta forma, a produção da Ti-5553 por M/P a partir de pós pré-ligados de TiAl pode ser uma rota econômica, considerando seus custos mais baixos (uma condição necessária para viabilizar a expansão do uso de ligas de titânio). Este trabalho apresenta resultados sobre o desenvolvimento microestrutural da liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr obtida por metalurgia do pó visando sua utilização em componentes do trem de pouso de aeronaves. A principal contribuição deste trabalho situa-se na compreensão da evolução microestrutura focada na criação de uma microestrutura otimizada, adequada para os requisitos mecânico sujeitos à esse tipo de aplicação.

## **2. Material e métodos**

### **2.1- Matérias-Primas**

O pó pré-ligado de Ti-Al foi produzido pela moagem manual de pequenos lingotes (8cm de comprimento) obtidos por fusão a arco em atmosfera de argônio. O pó de titânio foi produzido a partir do processo de hidrogenação e utilizado em seu estado hidrogenado. O pó



de cromo e vanádio foram adquiridos da Alpha Aesar.. Houve um acréscimo de pó de titânio hidrogenado para alcançar-se o balanço estequiométrico da liga.

## **2.2- Mistura**

Os pós foram misturados na estequiometria da liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr por 80min utilizando-se um moinho rotativo com jarro em Y.

## **2.3- Compactação e Sinterização**

As amostras foram prensadas uniaxialmente a frio utilizando-se uma matriz de aço de 15 mm de diâmetro, com camisa flutuante. A compactação foi executada utilizando-se uma prensa hidráulica uniaxial com o preenchimento dos moldes de forma homogênea. A pressão de compactação utilizada foi de 100 MPa, exercida durante 20 segundos. A seguir, as amostras foram encapsuladas, sob vácuo, em moldes flexíveis de látex e introduzidas no vaso de pressão cilíndrico de uma prensa isostática a frio e aplicada uma pressão de 400 MPa por 30 segundos. As amostras foram então sinterizadas entre 900 e 1600 °C, em vácuo de  $10^{-7}$  Torr, com taxa de aquecimento de 20 °C/min. Após atingir a temperatura especificada, as amostras permaneceram nesse patamar por 1 h. Utilizou-se um forno a vácuo com elemento resistivo de grafite.

## **2.4- Caracterização e microscopia**

A preparação metalográfica envolveu etapas de embutimento em baquelite, lixamento, polimento (alumina + ácido oxálico) e ataque químico (reagente Kroll) na proporção de 3 mL HF: 6 mL HNO<sub>3</sub>: 100 mL H<sub>2</sub>O. As micrografias foram obtidas por microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura utilizando-se elétrons retroespalhados (MEV-BSE). Medidas de densidade foram realizadas pelo método de arquimedes.

## **3. Resultados.**

O estudo microestrutural de Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr após a sinterização indica uma tendência do desenvolvimento de uma microestrutura bifásica ( $\alpha+\beta$ ) a partir da dissolução de partículas de molibdênio, vanádio e cromo. Para evitar a alta porosidade foi adicionado pó pré-ligado de TiAl. A fim de se ajustar a composição de titânio na liga foi necessário adicionar pó de



titânio. As Figuras 1 a 4 ilustram o desenvolvimento microestrutural durante a fase de sinterização entre 1200-1600°C.

A 1200°C (Figura 1), é clara a dissolução de molibdênio (regiões claras brancas). Observa-se que as áreas em torno do núcleo de molibdênio começam a crescer uma microestrutura ( $\alpha + \beta$ ) a partir da difusão de partículas de Mo na matriz de titânio. As grandes regiões escuras são partículas TiAl. As partículas de cinza correspondem ao pó de titânio adicionado, e as regiões rodeadas por uma microestrutura bifásica são oriundas da dissolução de vanádio ou cromo.

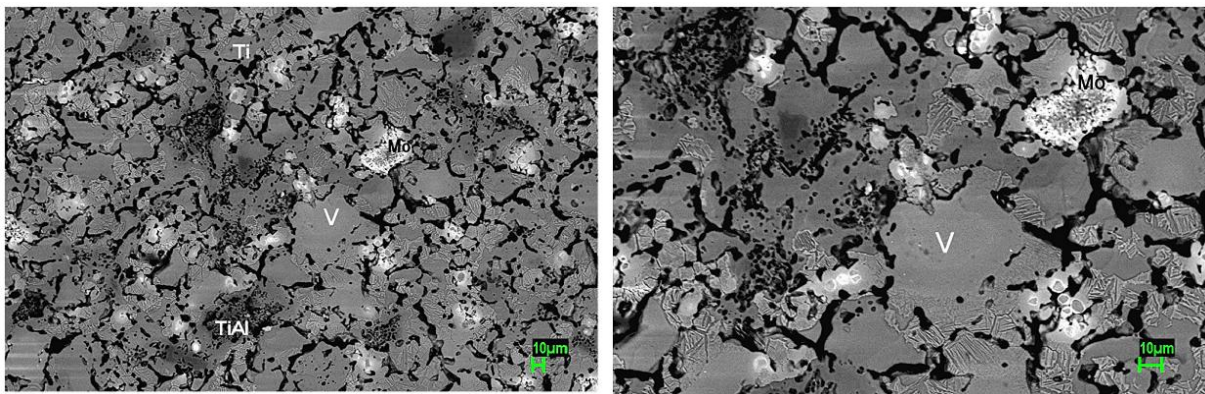


Figura1. Microestrutura da amostra Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr sinterizado a 1200°C (MEV-BSE).

Em 1300°C (Figura 2), há um aumento na dissolução de Mo, Cr e V (todos estabilizadores de fase  $\beta$ ), mas ainda é observada a presença de grandes áreas de Mo em dissolução. Observa-se que a microestrutura de widmanstätten ( $\alpha + \beta$ ) continua a se espalhar com a dissolução contínua de molibdênio.

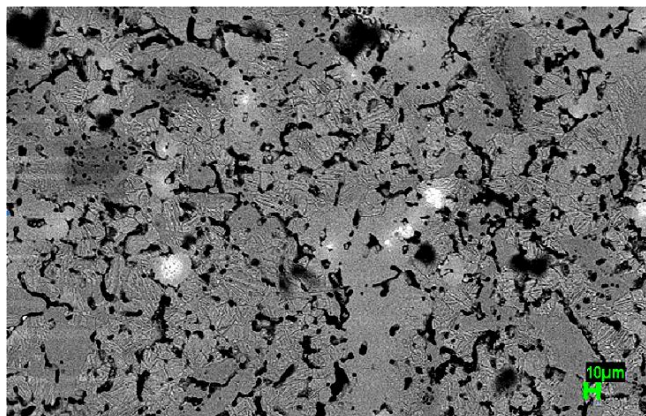


Figura 2. Microestrutura da amostra Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr sinterizado a 1300°C (MEV-BSE).



A 1400°C (Figura 3), pode-se claramente observar a dissolução contínua de Cr, Mo e V. Nota-se que a presença de aglomerados ou partículas grandes destes elementos reduzem sua velocidade de dissolução, retardando o desenvolvimento microestrutural da liga durante a sinterização.

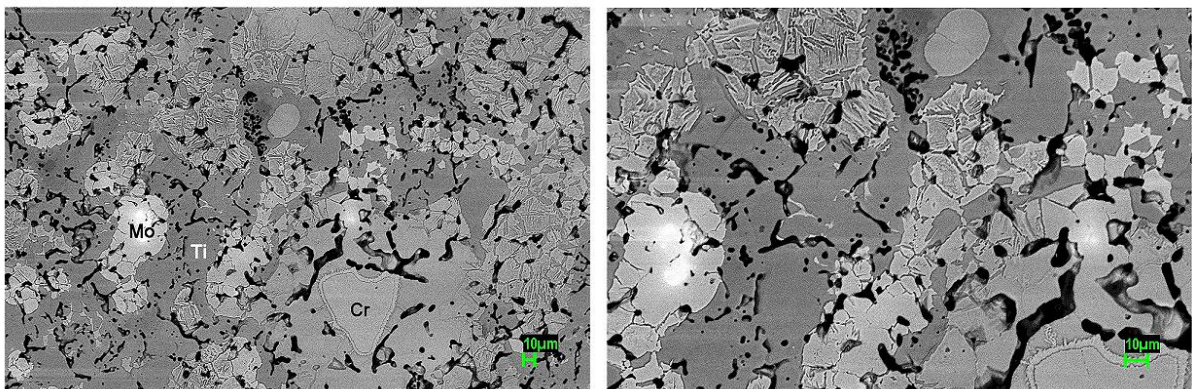


Figura3. Microestrutura da amostra Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr sinterizado a 1400°C (MEV-BSE).

Dois aspectos são responsáveis por dificuldades na sinterização da liga. O primeiro está relacionado ao fato de que os pós de molibdênio usados são esféricos e muito finos (em torno de 3µm) o que levou à criação de grandes aglomerados. O segundo aspecto está relacionado com o tamanho elevado das partículas de TiAl, Cr e V presentes na microestrutura. Partículas grandes ou aglomerados afetam o transporte de massa durante a sinterização devido à maior distância entre os centros dessas áreas [6]. Foi necessário elevar a temperatura de sinterização até 1600°C, para ser possível obter uma alta dissolução de todos os elementos e alcançar uma homogeneidade microestrutural.

A 1600°C (Figura 4), partículas de V e Cr encontram-se completamente dissolvidas. Uma microestrutura composta por placas finas de  $\alpha$  e  $\beta$  intergranular é predominante e a composição química é razoavelmente homogênea em toda a microestrutura. Os maiores aglomerados de Mo presentes na distribuição do tamanho inicial do pó são encontrados quase totalmente dissolvidos, apenas sendo observado os últimos núcleos oriundos dos aglomerados maiores, enquanto os mais finos desapareceram na microestrutura (Figura 4).



Figura4. Microestrutura da amostra Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr sinterizado a 1600°C (LOM).

Análises de densidade apresentaram um aumento crescente e linear dos valores em função do aumento da temperatura de sinterização. Amostras sinterizadas a 1500°C apresentaram uma densidade de 4,41 g/cm<sup>3</sup>, que representa uma densificação de 94,41% em comparação com a densidade teórica da liga (Figura 5).

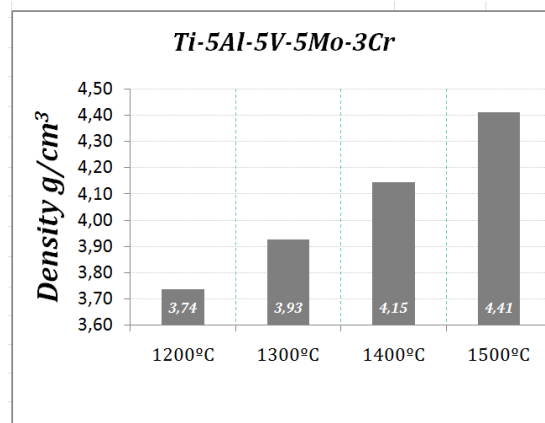


Figura 5. Análise da densidade em Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr amostras sinterizadas entre 1200-1500°C.

#### 4. Conclusões

Com base na evolução microestrutural da liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr produzida por metalurgia do pó, podem ser apresentadas as seguintes conclusões: (a) observou-se que desenvolvimento de microestrutura e densidade da liga dependem principalmente da dissolução de partículas de molibdênio com alto ponto de fusão. Para a amostra sinterizada a 1600°C obteve-se uma



microestrutura bastante homogênea com placas finas de  $\alpha$  e  $\beta$  intergranular, com a presença de áreas de molibdênio não dissolvido. Desta forma, temperaturas mais altas de sinterização foram necessárias para homogeneizar a microestrutura; (b) uma nova rota incluindo técnicas mais eficientes de mistura com a utilização de pós sem umidade e com introdução de aditivo para aumentar o escoamento das partículas já esta sendo realizada e os resultados serão apresentados no ENIC. Além disso, é necessário o uso de partículas mais finas de TiAl, Cr e V para melhorar o processo de transporte de massa durante a sinterização; (c) As análises de densidade mostraram um aumento de valores em função do aumento da temperatura de sinterização. As amostras sinterizadas a 1500°C apresentou a densificação de 94.41% em comparação com a densidade teórica da liga; (d) os resultados microestruturais indicam que liga Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr tem um elevado potencial de produção por metalurgia do pó. Com a otimização do tamanho de partícula, mistura e sinterização processos será possíveis obter amostras com alta densificação e microestrutura homogênea.

## 5. Referências

1. Kar, S.K., Ghosh, A., Fulzele, N., Bhattacharjee, A. **Quantitative microstructural characterization of a near beta Ti alloy, Ti-5553 under different processing conditions**, *Materials Characterization*, 81, 37-48, 2013.
2. Sabol, J.C., Pasang, T., Misiolek, W.Z., Williams, J.C. **Localized tensile strain distribution and metallurgy of electron beam welded Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr titanium alloys** *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2380-2385, 2012.
3. Dehghan-Manshadi, A., Dippenaar, R.J. **Development of  $\alpha$ -phase morphologies during low temperature isothermal heat treatment of a Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr alloy** *Materials Science and Engineering: A*, 528(3), 1833-1839, 2011.
4. R.M, German, **Powder metallurgy science**, Metal Powder Industry Federation, 1984.
5. R.M, German, **Sintering Theory and Practice**, John Wiley & Sons, Inc, 1996.
6. V.A.R Henriques, H.R.Z. Sandim, G.C. Coelho, C.R.M. Silva, **Microstructural Evolution During Hot Pressing of the Blended Elemental Ti-6%Al-7%Nb Alloy**. *Materials Science & Engineering A*, 347, 315-324, 2003.