

DESENVOLVIMENTO DE LIGAS DE TITÂNIO OBTIDAS PELA TÉCNICA DE METALURGIA DO PÓ PARA APLICAÇÕES EM COMPONENTES ESTRUTURAIS DE AERONAVES¹

Vinicius André Rodrigues Henriques²
Matheus Sampaio Modesto de Paula³
Eduardo Tavares Galvani³

Resumo

Ligas baseadas em compostos intermetálicos TiAl, são materiais candidatos a aplicações a altas temperaturas para a industria aeroespacial. A combinação de elevada rigidez específica e boa resistência à oxidação a temperaturas intermediárias pode proporcionar significativa redução de peso em peças e componentes aeroespaciais. As ligas mais promissoras são as baseadas na composição Ti-48Al (at%), que apresentam microestrutura bifásica, ($\alpha_2+\gamma$). Neste trabalho a liga Ti-48Al-2Cr-2Nb esta sendo investigada visando melhorar as propriedades mecânicas, principalmente a ductilidade a temperatura ambiente, possibilitando a manipulação e obtenção de peças e componentes. Esta Liga pode substituir as liga à base de níquel e ligas convencionais de titânio em seções de motores de turbina e em componentes de veículos de plataforma orbital. A metalurgia do pó esta sendo utilizada por ser uma técnica capaz de produzir peças com geometrias complexas e próximas às suas dimensões finais, evitando trabalhos mecânicos posteriores e conseqüentemente com baixo custo operacional.

Palavras-chave: Esponja de titânio; Produção de titânio; Vácuo; Metalurgia do pó.

DEVELOPMENT OF TITANIUM ALLOYS BY POWDER METALLURGY FOR STRUCTURAL COMPONENTS APPLICATION FOR AIRPLANES

Abstract

Intermetallic TiAl Alloys are material with specific combination of properties, which lead then to high temperature application. Weight reduction can be obtained from the high specific strength and good oxidation resistance at intermediate temperatures. The most promising alloys are the Ti-48Al (at%) based, with biphasic microstructure, the two phases γ and α_2 are disposed as alternate lamellar layers, witch is the microstructure that perform the best properties for aerospace application. The Ti-48Al-2Cr-2Nb alloy is being investigated in order to improve the mechanical properties, the ductility at room temperature mainly, to allow the manipulation of components for jet engines and orbital platform vehicles, replacing nickel based alloy and conventional titanium alloy. Powder metallurgy is a capable technique to produce parts with complex geometry and near net shape, avoiding posterior mechanical work, and consequently low operational cost.

Keywords: Intermetallics; Titanium alloys; Powder metallurgy; Sintering

¹ Contribuição técnica ao 62° Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Pesquisador da Divisão de Materiais do Instituto de Aeronáutica e Espaço - AMR/IAE/CTA.

³ Aluno de Iniciação Científica da Divisão de Materiais do Instituto de Aeronáutica e Espaço - AMR/IAE/CTA

1 INTRODUÇÃO

As ligas de titânio alvo deste trabalho são uma série de compostos intermetálicos que apresentam uma composição contendo titânio e alumínio, com adição de cromo e nióbio visando melhorar alguns valores de propriedades mecânicas, atuando principalmente no aumento da ductilidade a temperatura ambiente, visando a manipulação e obtenção de peças e componentes para a indústria aeroespacial. As principais razões que justificam a utilização de titânio na indústria aeroespacial envolvem economia de peso, limitação de espaço, temperatura de operação, resistência à corrosão, resistência multidirecional, flexibilidade, e compatibilidade de interface com compósitos. Ligas baseadas em compostos intermetálicos formados por titânio aluminídeos são capazes de suportar altas temperaturas de trabalho, da ordem de 850°C, que é superior a temperatura máxima de trabalho de ligas de alumínio (cerca de 250°C) e de ligas tradicionais de titânio (cerca de 350°C para a Ti-6Al-4V). A capacidade de suportar altas temperaturas, aliada a outras propriedades como baixa densidade, elevada rigidez, resistência à oxidação, boa resistência à fluência, baixo coeficiente de expansão térmica e elevada condutividade térmica, tornam essas ligas propícias a aplicações aeroespaciais, na fabricação de peças de turbinas de motores, e componentes estruturais de aeronaves e veículos de plataforma orbital. O objetivo deste trabalho é produzir amostras com alta densificação e com valores de propriedades mecânicas satisfatórios para as aplicações citadas. A metalurgia do pó demonstra ser uma técnica capaz de produzir peças com bom acabamento sem a necessidade de trabalhos mecânicos posteriores e conseqüentemente baixo custo de produção. Um dos desafios é produzir amostras que possuam, além de um aspecto, ou acabamento bom, também propriedades que atinjam as esperadas para a produção efetiva na indústria, com qualidade e baixo custo de produção. A microestrutura adequada e elevada densificação são as condições necessárias para um bom desempenho mecânico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram obtidas a partir da mistura dos pós elementares. Os pós de titânio e nióbio foram obtidos pelo processo de hidrogenação, para a obtenção do pó de titânio foram utilizados finos de esponja de titânio produzida no CTA, lavados previamente com um solvente orgânico (acetona) e secos ao ar, posteriormente o material passou por uma etapa de hidrogenação para facilitar a moagem. A etapa de hidrogenação foi realizada a 500°C em forno vertical a vácuo durante 3 horas, com pressão manométrica de 1 atm. Após o resfriamento ao forno, obteve-se um material bastante quebradiço, friável, sendo posteriormente fragmentado em moinho rotativo revestido de titânio sob vácuo de 10^{-3} Torr. O pó de nióbio foi obtido a partir de cavacos de usinagem de lingotes comercialmente puros cedidos pelo Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena – USP-Lorena, utilizando a mesma rota do titânio, porém com temperatura de hidrogenação igual a 800 °C. O Pó de alumínio foi cedido pela Alcoa e o pó de Cromo foi adquirido junto a Alpha Aesar. Foram realizados dois tipos de experimentos visando avaliar as possibilidades de obtenção de peças por M/P, para amostras contendo apenas Ti e Al, Ti-29,34Al (% peso) visando a obtenção somente das fases intermetálicas α_2 -Ti₃Al e γ -TiAl, com a finalidade de produzir pó pré ligado, para posterior mistura com Cr e Nb e produção da liga desejada. A mistura dos pós foi feita por 40 minutos em

moinho planetário, para uma carga total de 100g, foram utilizados 70,66g de pó de Ti, e 29,34g de pó de Al. As amostras foram posteriormente prensadas uniaxialmente a frio em matrizes cilíndricas de 50mm de diâmetro, sob pressão de 80 MPa, após essa etapa as amostras foram sinterizadas em vácuo (10^{-7} Torr), a temperatura de 1300 °C com patamar de 2 horas. Para amostras contendo todos os elementos constituintes da liga, foram pesados pós para produzir a liga Ti-48Al-2Nb-2Cr. A mistura dos pós foi feita por 40 minutos em moinho planetário. As amostras foram posteriormente prensadas uniaxialmente a frio em matrizes cilíndricas de 20mm de diâmetro, sob pressão de 80 MPa, com posterior etapa de prensagem isostática a frio a 350MPa. A seguir, as amostras foram submetidas a prensagem uniaxial a quente, com pressão de 20 MPa, a 1300°C com patamar de 2 horas. Micrografias das amostras foram geradas com auxílio de microscópio óptico e de microscópio eletrônico de varredura. Durante a preparação metalográfica, o lixamento das amostras seguiu a seqüência convencional de lixas, o polimento mecano-químico foi realizado em ácido oxálico e o ataque químico utilizado foi o Kroll, na seguinte proporção: 3ml HF: 6ml HNO₃: 100ml H₂O. Foram realizadas medidas de microdureza Vickers, utilizando-se o aparelho Future-tech digital microharness tester.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir de ensaios realizados nas amostras obtidas seguindo-se os passos descritos anteriormente. A Figura 1 mostra a microestrutura da amostra Ti-29,34Al (% peso) e indica a formação de microestruturas lamelares alternadas de α_2 -Ti₃Al e γ -TiAl, não sendo possível identificar núcleos de Ti ou Al, indicando que o processo de sinterização foi suficiente para a dissolução das fases e formação de uma microestrutura composta somente de fases intermetálicas, sendo necessário a análise por difração de raios-x para a confirmação desses dados.

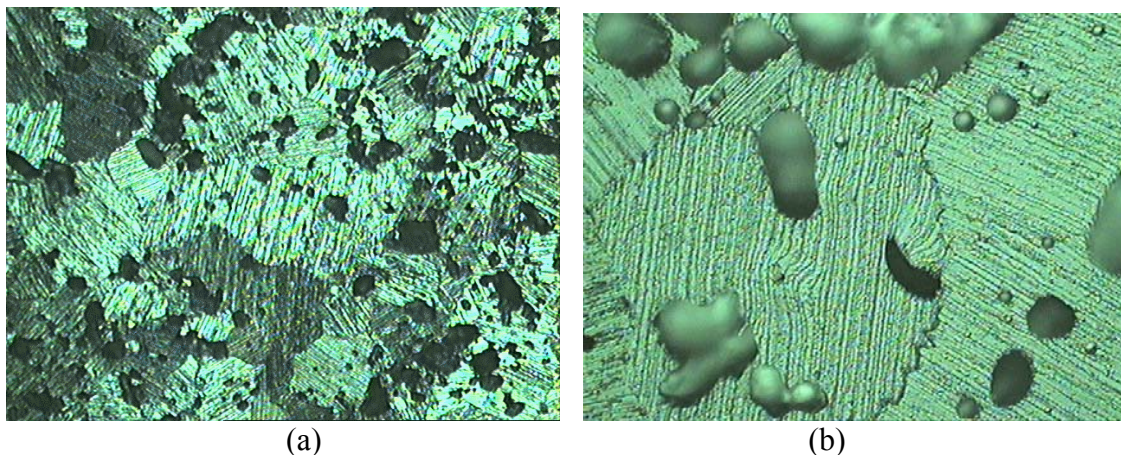
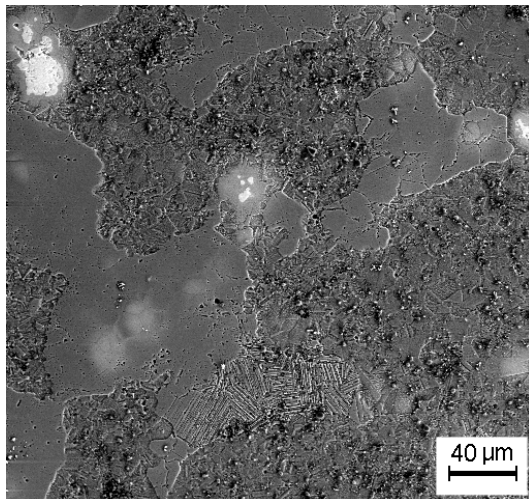


Figura 1- Micrografia obtida em microscópio óptico mostrando fases lamelares alternadas dos intermetálicos α_2 -Ti₃Al e γ -TiAl em amostras sinterizadas da liga Ti-29,34Al (% peso), com aumentos de a)10X e b)50X

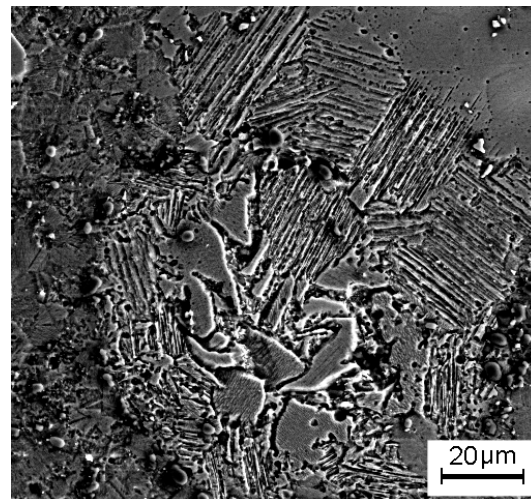
Inicialmente o objetivo da preparação de uma amostra contendo apenas titânio e alumínio, era sintetizar as fases intermetálicas α_2 e γ , supunha-se que, após a etapa de sinterização, as amostras apresentassem um comportamento de inchamento (*swelling*) e fragilidade, devido à presença de grande quantidade de fase líquida durante o processo, oriunda da grande diferença entre os pontos de fusão

das partículas de titânio e alumínio, e portanto, essa amostra com elevada fragilidade seria então moída, porém a amostra mostrou-se muito resistente, dura e coesa. O resultado obtido a partir da análise de microdureza Vickers indica um material com elevada dureza, confirmando a possibilidade de não haver núcleos de alumínio nessa microestrutura, a dureza medida nas áreas mais claras da micrografia, contendo a fase α_2 variou de 428 a 458 Vickers e as regiões mais escuras contendo a fase γ , apresentaram resultados que entre 410,7 e 426,8 Vickers.^[1] Os resultados mostrados anteriormente, demonstram a possibilidade da obtenção das fases intermetálicas com apenas uma etapa de sinterização, dessa forma foi preparado um pó contendo todos os elementos que compõem a liga, para ser sinterizado em uma única etapa, sem a necessidade de moer a amostra contendo os intermetálicos, pois assim a peça final seria obtida com uma etapa a menos no processamento do material reduzindo o custo e tempo necessário para a produção da peça acabada.

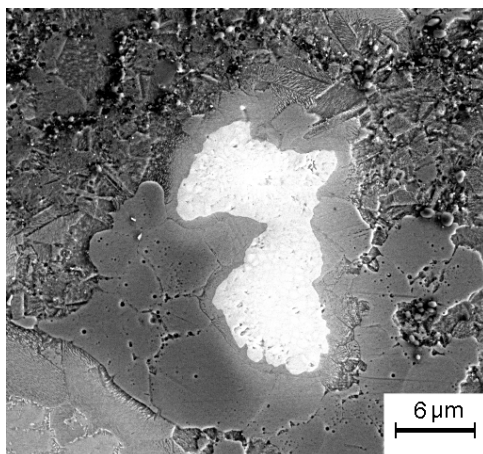
A Figura 2 mostra a microestrutura de uma amostra de Ti-48Al-2Nb-2Cr (%at) onde há a formação de microestruturas lamelares alternadas α_2 -Ti₃Al e γ -TiAl, Figura 2(b). Além disso, notam-se áreas homogêneas de coloração acinzentada que são provavelmente constituídas de Ti₃Al (futuras análises por EDS esclarecerão esta questão) e áreas claras contendo núcleos de nióbio não dissolvido (Figuras 2 (a), e (c)), demonstrando que o processo de sinterização utilizado (tempo e temperatura) não foi suficiente para uma completa dissolução das partículas de nióbio e, conseqüentemente, adequado desenvolvimento microestrutural. Essa amostra foi obtida a partir da mistura direta dos pós elementares, porém novas amostras serão produzidas objetivando-se um desenvolvimento microestrutural mais efetivo para que ocorra a dissolução completa das partículas de nióbio presentes na mistura, e o aperfeiçoamento das propriedades do material juntamente com o aumento da densificação do material.



(a)



(b)



(c)

Figura 2) Micrografia obtida em microscópio eletrônico de varredura mostrando estruturas lamelares e núcleos não dissolvidos de Nb com aumento de a)200X, b)500X e c)2500X

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que é possível a produção de ligas gama titânio aluminídeos por metalurgia do pó, obtendo-se os compostos intermetálicos γ -TiAl e α_2 -Ti₃Al. O processo de prensagem demonstra garantir uma elevada densificação final nas amostras, porém serão necessários novos ensaios para a confirmação desta afirmação. O estudo da evolução microestrutural em amostras da liga Ti-48Al-2Cr-2Nb mostrou que após a sinterização ainda haviam regiões ricas em nióbio, proveniente de partícula grossas ou aglomerados, o que prejudicou a completa homogeneização microestrutural da liga, indicando que o processo de moagem e mistura dos pó deveria ser otimizado.

Agradecimentos

Ao Departamento de materiais da Escola de Engenharia de Lorena – USP Lorena, doação nióbio (cavacos de usinagem).

REFERÊNCIAS

- 1 HENRIQUES, V. A.R.; CAIRO, C.A.A.; ALMEIDA, D.S.; GRAÇA, M.L.A., *Sintering of a gamma Ti-Al Alloy*, **Fifth International Latin- American Conference On Powder Technology**, Salvador, 2005.

BIBLIOGRAFIA

- 1 BOYER, R.R. *An overview on the use of titanium in the aerospace industry*. **Materials Science and Engineering A**, v. 213, p. 103-114, 1996.
- 2 BOYER, R.; WELSCH, G.; COLLINGS, E.W. **Materials properties handbook : titanium alloys**. Materials Park, OH: ASM, c1994. 1176p.: il., 28,5cm. ISBN 0-87170-481-1.