



EVOLUÇÃO MICROESTRUTURAL DE LIGA LEVE AL-FE-NB-SI EM FORNO DE FUSÃO POR LEVITAÇÃO

Msc. Tibério Andrade dos Passos

Dr. Rodrigo S. de Coelho

Dr. Rodinei M. Gomes

Prof. Dr. Severino Jackson Guedes de Lima

Laboratório de Solidificação Rápida, Centro de Tecnologia, UFPB- campus I, CEP: 58000-000, João Pessoa - PB, Tiba@openline.com.br

Resumo. O desenvolvimento tecnológico vem, cada vez mais, estimulando os estudos na ciência dos materiais, com a finalidade de se obter um produto com qualidades técnicas específicas. As ligas de alumínio com elevada relação resistência/peso e grande estabilidade térmica merecem especial atenção devido às suas diversas aplicações na indústria. Estudou-se a evolução microestrutural da liga $Al_{90,3}Fe_{6,2}Nb_{1,5}Si_2$ que, durante a solidificação, apresenta a fase $Al_{13}(Fe,X)_3Si$, para isso, elaborou-se a liga através do processo de fusão por levitação para a obtenção de hastes, o Inrowasp para fios e o melt-spinning para as fitas. Verificou-se através das fotomicrografias que a fase apresenta uma estrutura dendrítica fragilizando o material, no caso das hastes e dos fios, e, precipitados no caso das fitas, conferindo maior ductilidade e resistência mostrando, dessa forma, a influência da taxa de resfriamento nos diferentes processos.

Palavras-chaves. Ligas Leves, Fusão por Levitação, dendritas

1. INTRODUÇÃO

Dentre os materiais avançados, as ligas de alumínio com elevada relação resistência/peso e grande estabilidade térmica merecem especial atenção, graças à sua utilização nas indústrias aeronáutica, aeroespacial e automotiva, como mostra Inoue, 2000. Durante o processo de têmpera ou por meio de mechanical alloying, as ligas Al-Fe-X-Si ($x = V$ (Vanádio) ou Nb (Nióbio)), apresentam precipitados do tipo $Al_{13}(Fe,X)_3Si$ que confere excelentes propriedades mecânicas ao produto final, como mostram (Leite, 1996 e Coelho, 2001).

Para obter esse precipitado através da têmpera, é necessário uma alta taxa de resfriamento, para isso, o processo melt-spinning, utilizado na fabricação de fitas, é o mais utilizado para esse fim, pois suas taxas são da ordem de 10^7 K/s, como mostra Leite, 1993. Outro processo é INROWASP (In Rotating Water Spinning Process), utilizado para fabricação de fios e que alcança taxas da ordem de 10^4 K/s, como mostra Passos, 1997. Além desses, o Laboratório de Solidificação Rápida da UFPB, dispõe de um forno de soleira fria com fusão por levitação que possibilita a sucção de hastes e arames homogêneos com taxas de resfriamento suficientes para obter essa fase.

Neste trabalho, estudou-se a obtenção de hastes cilíndricas de 0,005 m e de 0,001 m de diâmetro da liga $Al_{0,3}Fe_{6,2}Nb_{1,5}Si_2$, bem como a evolução microestrutural das mesmas comparando com os materiais produzidos por melt-spinning e pelo INROWASP .

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A liga $Al_{0,3}Fe_{6,2}Nb_{1,5}Si_2$ foi fabricada utilizando-se os materiais elementares com as seguintes purezas: Alumínio (Barra) com 99,997%, Silício (pedaços) com 99,95%, Ferro (pedaços) com 99,98% e Nióbio (barra) com 99,98%. Fez-se a fusão dos elementos em um forno de soleira fria, fig. (1), que consiste de uma câmara a vácuo secundário, onde é acondicionado um cadinho de cobre refrigerado à água. A corrente de alta frequência que passa pelo indutor, além de fundir a carga, gera uma força eletromagnética que levita a amostra e diminui o contato da carga com as paredes do cadinho, evitando a contaminação do material fundido, como mostram (Gildo, 1997 e Passos,1997).

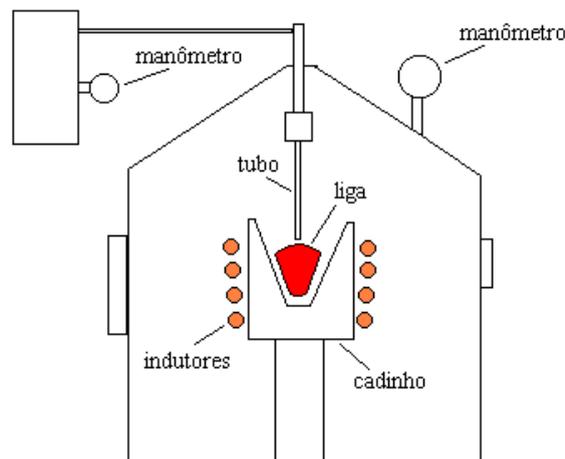


Figura 1. Esquema ilustrativo do forno

Este forno apresenta um sistema que, por diferença de pressão, succiona a liga fundida, solidificando-a num molde tubular de quartzo, obtendo-se hastes com 0,005mm e 0,001mm de diâmetro.

Os fios foram fabricados através do processo inrowasp, que consiste na ejeção da liga fundida em um líquido refrigerante contido num volante oco em rotação, fig.2, para isso utilizou-se os seguintes parâmetros: rotação do volante de 330 rpm, diâmetro do furo do cadinho 200 μ m, variação de pressão de 0,22 MPa, solução aquosa de UCON a 4%, conforme Passos, 1997.

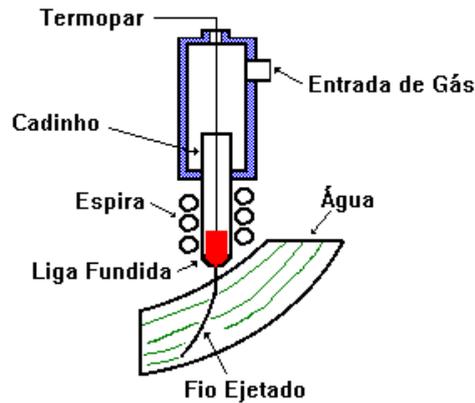


Figura 2. Esquema ilustrativo do processo INROWASP

Já o processo melt-spinning, utilizado para a elaboração das fitas, consiste na ejeção da liga fundida, numa superfície metálica de um volante em rotação, fig. 3, sendo os seus parâmetros iguais a: rotação do volante de 1400 rpm, diâmetro do furo do cadinho de 800 μ m, variação de pressão de 15 cm/Hg, como mostram (Coelho, 1996 e Srinivasan, 1995)

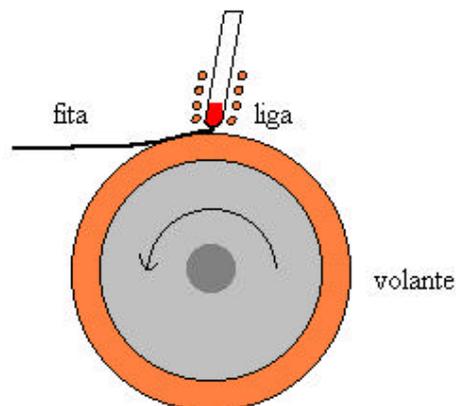


Figura 3 – Esquema ilustrativo do processo melt-spinning

Os materiais obtidos foram então caracterizados por difração de raios – x Cu-K α , a fim de detectar a presença da fase $Al_{13}(Fe,Nb)_3Si$, e, sendo também embutidos e atacados com uma solução aquosa de ácido fluorídrico a 0,5%, para fotomicrografar e verificar as modificações microestruturais da fase com o aumento da taxa de resfriamento.

3. RESULTADOS E DISSCUSSÕES

Através do forno de fusão por levitação, produziu-se hastes da liga $Al_{90,3}Fe_{6,2}Nb_{1,5}Si_2$, por sucção, com dimensões de 0,005 m de diâmetro por 0,12 m de comprimento, e, 0,001 m de diâmetro por 0,080 m de comprimento homogêneas. Os fios, com diâmetro médio de 200 μ m, apresentaram algumas superfícies lisas de seção transversal uniforme e outras onduladas. As fitas

com dimensões médias de 0,0025 m de largura por 110 μm de espessura foram obtidas por melt-spinning com homogeneidade estrutural.

Na análise por difração de raios-x, pode-se verificar a presença da fase $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Nb})_3\text{Si}$ desde a liga bruta de fusão até as fitas. Isso pode ser observado através do difratograma da fig. 4, verifica-se a presença dos picos do alumínio e do pico referente a fase, conforme também observados por (Gomes, 2001 e Coelho, 2001).

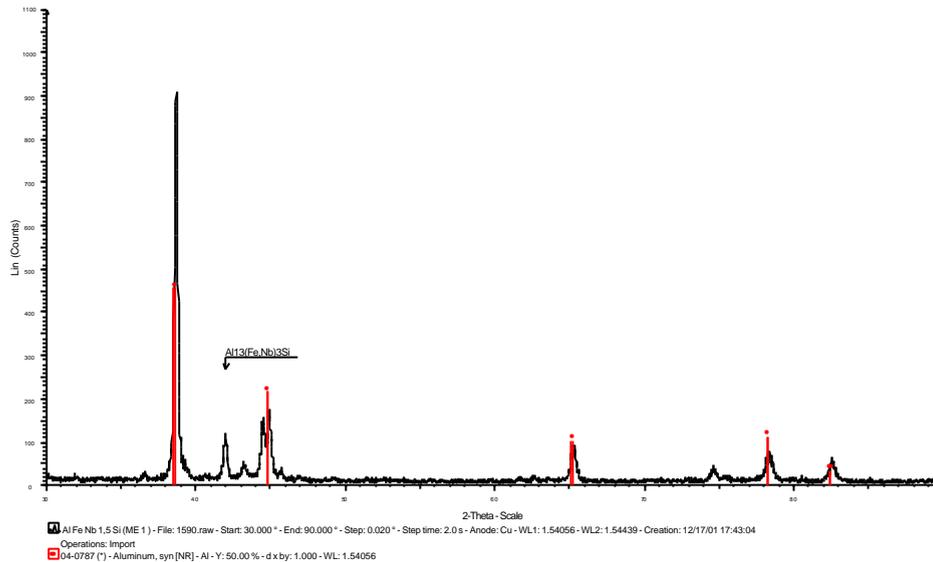


Figura 4. Difratograma da liga $\text{Al}_{90,3}\text{Fe}_{6,2}\text{Nb}_{1,5}\text{Si}_2$

Tanto as hastes quanto os fios, apresentaram características de um material frágil de baixa resistência mecânica. Essa fragilidade deve-se ao fato de que a fase $\text{Al}_{13}(\text{Fe,Nb})_3\text{Si}$ apresentar-se numa estrutura dendrítica em forma de agulhas como mostram as fig. 5, 6 e 7, a qual favorece o surgimento de concentrações de tensões, nas suas extremidades, e a propagação das discordâncias, devido ao crescimento preferencial das dendritas, como mostram (Passos, 1997 e Das, 2001).

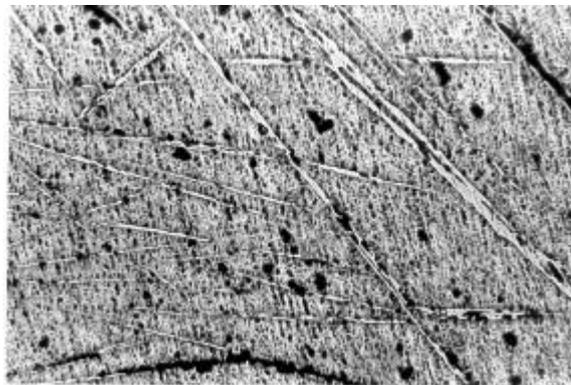


Figura 5. Estrutura dendrítica da liga bruta (50x)

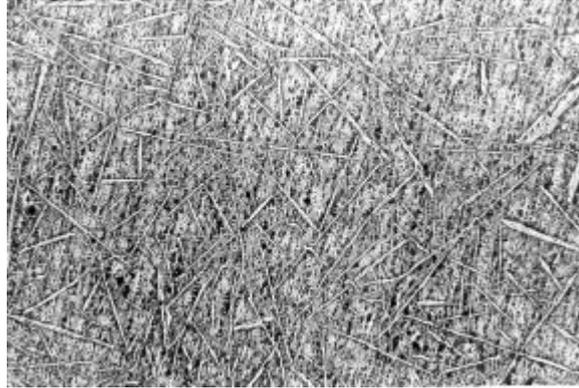


Figura 6. Estrutura dendrítica da haste de 5mm.(50x)

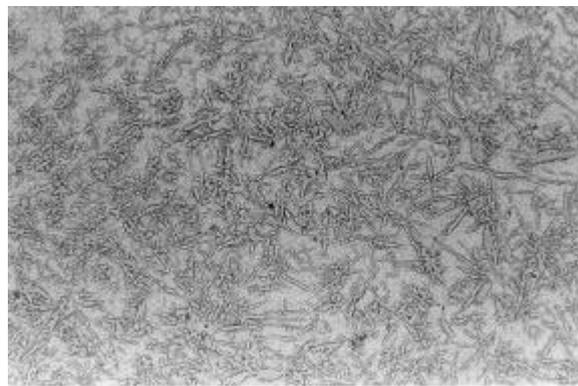


Figura 7. Estrutura dendrítica do arame de 1mm.(400x)

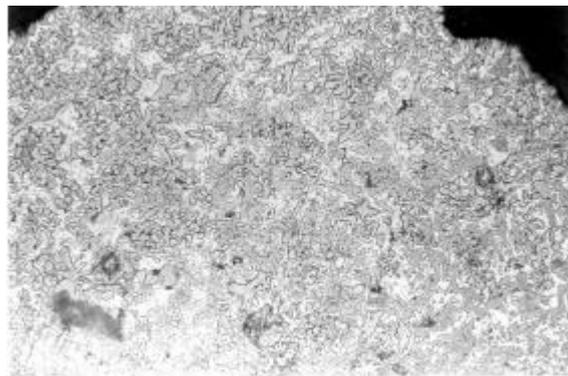


Figura 4. Estrutura dendrítica do fio. (600x)

A dimensão média dessas dendritas variam de 0,003 m a 15 μm como mostra a tab. 1, verificando-se que com o aumento da taxa de resfriamento, essa fase vai diminuindo de dimensão.

Tabela 1. Dimensão das dendritas

Amostras	Dimensão média (x10 ⁻⁶ m)
Liga bruta	3000
Haste de 5mm	700
Haste de 1mm	25
Fio	15

No caso das fitas, não se observa a presença da fase na forma dendrítica, fig. 6, devido as altas taxas de resfriamento. Com isso, a fase adquire a forma de precipitados, que só podem ser observados por microscopia eletrônica de transmissão, indo-se localizar nos contornos do grão, tornando o material mais resistente e dúctil em relação aos obtidos pelos outros métodos como mostra Coelho (1996).

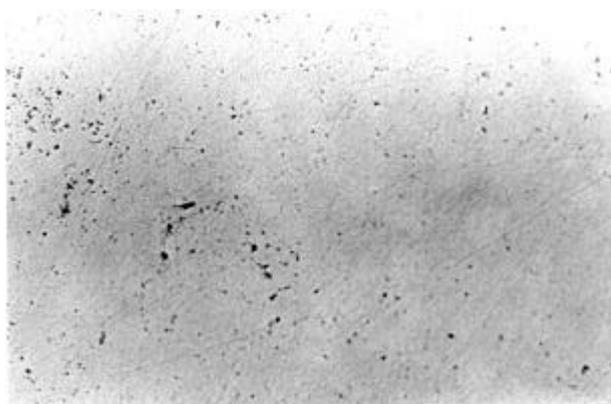


Figura 5. Amostra da fita. (600x)

4- CONCLUSÕES

Obteve-se a liga $Al_{90,3}Fe_{6,2}Nb_{1,5}Si_2$ em forno de soleira fria por levitação com uma boa homogeneização tanto do material quanto da forma das hastes, comprovando a eficácia do forno do LSR (laboratório de solidificação rápida /UFPB). A análise microestrutural feita na liga bruta, nas hastes, fios e fitas mostra que há a formação da fase $Al_3(Fe,Nb)_3Si$, verificado no difratograma. A mesma se apresenta numa estrutura dendrítica, no caso da bruta, das hastes e dos fios, favorecendo a obtenção de materiais frágeis de baixa resistência mecânica. Entretanto, com relação as fitas, essa fase se apresenta na forma de precipitados aumentando a resistência da liga e tornando-a mais dúctil .

5- REFERÊNCIAS

Coelho, E.R., 1996, “Projeto Fabricação e Ensaio de um Equipamento para Conformação de Ligas à Base de Alumínio Obtidas por Melt-Spinning”; Tese de Mestrado, Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus I – UFPB.

Coelho, E.R., 2001, “ Obtenção das ligas Al-Fe-X-Si (X=V ou Nb) por moagem de alta energia e extrusão a quente”, Tese de doutorado, IPEN, USP

Das, S.K., Perepezko J.H., Wu R.I., Wilde G., 2001, “Undercooling glass formation in Al-based alloys”, Materials Science and Engineering, A304, 159-165.

Guo, J.Q.; Ohtera, K., 1998, “Microstructures and mechanical properties of rapidly solidified high strength Al-Ni based alloys”, Acta Mater., Vol. 46, N°11, 3829-3838.

Ribeiro, G.M., 1997, “Produção de arames com efeito memória de forma em liga NiTi a partir do metal líquido”, Tese de Mestrado, Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus I – UFPB.

Inoue, A., Kimura, H., 2000, “High- strength aluminum alloys containing nanoquasicrystalline particles”, Materials Science and Engineering, A286, 3-10

Leite, P.V., 1993, “Elaboração e caracterização de ligas Leves Al-Fe-Nb-Si e Al-Fe-V-Si obtidas por solidificação rápida”; Tese de Mestrado, Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus I – UFPB.

Passos, T. A., 1997, “Estudo da Taxa de Resfriamento do Processo INROWASP”, Tese de Mestrado, Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus I – UFPB.

Srinivasan, M.N., Little, S.D., 1995, “Effect of melt spinning variables on the structure and properties of a dispersion strengthened Al-Fe-V-Si alloy”, Metallurgical and Materials, vol.32, nº8, 1153-1158

EVOLUTION MICROSTRUCTURAL OF LIGHT ALLOY AL-FE-NB-SI IN LEVITATION MELT FURNACE

Msc. Tibério Andrade dos Passos

Dr. Rodrigo S. de Coelho

Dr. Rodinei M. Gomes

Prof. Dr. Severino Jackson Guedes de Lima

Laboratório de Solidificação Rápida, Centro de Tecnologia, UFPB- campus I, CEP: 58000-000, João Pessoa - PB, Tiba@openline.com.br

***Abstract.** The technology development stimulated the studies in science of the materials, with the purpose of obtaining a product with specific technical qualities. The aluminum alloy with high relationship strength/width and great thermal stability deserve owed special attention its several applications in the industry. It was studied the evolution microstructure of the $Al_{90,3}Fe_{6,2}Nb_{1,5}Si_2$ alloy that presents the phase $Al_{13}(Fe,X)_3Si$ when quenched, for that, the alloy was elaborated through the levitation melt process for the obtaining of stems, INROWASP for threads and the melt-spinning for the ribbons. It was verified through the photomicrography's that the phase presents a dendritic structure fragiles the material, in the case of the stems and of the threads, and, precipitated in the case of the ribbons, resulting in larger ductility and strength showing the influence of the cooling rate in the different processes.*

***Keywords.** Light alloy, levitation melt, dendrites*