

# SÍNTESE POR COMBUSTÃO DE LIGAS INTERMETÁLICAS Nb-Ni-Al

Ricardo Mendes Leal Neto  
Paulo Íris Ferreira

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
Caixa Postal 11049 - Pinheiros  
05422-970 - São Paulo - Brasil

De longa data é reconhecida a potencialidade dos materiais intermetálicos para aplicações estruturais em temperaturas elevadas. Aluminetos de alto teor de alumínio despertam especial interesse em razão de sua baixa densidade e elevada resistência à oxidação. Entre estes compostos intermetálicos estão os trialuminetos de metais de transição, tais como o  $NbAl_3$  ( $\rho = 4.54 \text{ Mg.m}^{-3}$ ), cujo alto ponto de fusão ( $\approx 1680^\circ\text{C}$ ) estimula o seu emprego. Entretanto, sua fragilidade à temperatura ambiente tem limitado o seu desenvolvimento. Neste sentido, a adição de um terceiro elemento de liga, favorecendo a formação de uma segunda fase menos frágil, tem sido o procedimento mais apropriado. De fato, ligas de  $NbAl_3$ -NiAl apresentam plasticidade superior ao  $NbAl_3$  monofásico, à mesma temperatura. Tais observações encorajaram a execução deste trabalho sobre o processamento destas ligas. A síntese por combustão foi escolhida em virtude das implicações econômicas envolvidas (tempo e energia) e da experiência prévia dos presentes autores com este processo.

Para verificar o que ocorre na combustão de misturas de pós de Nb, Ni e Al foram investigadas algumas composições, incidentes sobre uma linha reta no diagrama ternário, unindo os pontos correspondentes às composições do  $NbAl_3$  e NiAl. Empregou-se a fórmula  $Nb_xNi(0.5-x)Al(x+0.5)$  (onde  $x = 0.10, 0.15, 0.20$  e  $0.25$ ).

Diferentes temperaturas de ignição foram observadas. As amostras mais ricas em Ni, onde  $x = 0.10$  (30% at.Ni) e 0.15 (20% at.Ni) reagiram entre 480°C e 520°C, enquanto que as demais reagiram entre 840°C e 860°C. A análise por difração de raios-x combinada com a análise por energia dispersiva (EDS) revelou a presença do  $NbAl_3$  (majoritário quando  $x = 0.25$ ) em todas as amostras, e de Nb não reagido nas amostras contendo Ni. Apenas no primeiro caso ( $x = 0.10$ ) constatou-se a presença de  $NiAl$  (majoritário), bem como do ternário  $NbNiAl$  (minoritário).  $Ni_2Al_3$  foi formado nas demais amostras contendo Ni. Quanto menor o teor de Ni (maior  $x$ ), maior a concentração de  $NbAl_3$ , e menor a concentração de Nb não reagido e das demais fases.

As reações entre 480°C e 520°C podem ser identificadas com reações do sistema Ni-Al, uma vez que as temperaturas típicas de ignição de misturas Nb-Al estão compreendidas na faixa de 750°C a 900°C. Nas amostras mais ricas em Ni ( $x = 0.10$  e 0.15) o calor liberado pela reação a baixa temperatura foi suficiente para disparar a reação de formação do  $NbAl_3$ . Com  $x = 0.20$  o mesmo não aconteceu, observando-se reações em temperaturas semelhantes à temperatura de ignição da mistura Nb-Al não contendo Ni ( $x = 0.25$ ).

Investigações posteriores são necessárias, a fim de compreender e controlar a formação de fases pretendidas, sobretudo o  $NiAl$ , bem como o rendimento da reação relacionado às partículas de pós não reagidas. Por hora, fica demonstrada a possibilidade de combustão de misturas ternárias de pós de Nb, Ni, e Al. A baixa temperatura de ignição observada em alguns casos constitui interessante aspecto econômico, especialmente se considerarmos a formação de fases associadas a uma temperatura de ignição mais elevada.

## PRECIPITADOS EM LIGA MAGNÉTICA À BASE DE Fe-Mo-Ni

S.S.M. Tavares, M.M. Pires e J.R. Teodósio

Depto. Engenharia Metalúrgica e de Materiais - UFRJ

Caixa Postal 68.505

21945-970 Rio de Janeiro

Alguns pesquisadores (1-3) estudaram ligas à base de Fe-Mo-Ni, para magnetos. Ligas com teores de 20% Mo e 5% Ni em peso, após tratamentos térmicos de envelhecimento magnético adquirem propriedades semelhantes às da Vicalloy I: indução residual  $B_r$  10500 G; força coercitiva  $H_C v = 210$  Oe e energia magnética máxima  $(HD)_{max. v} = 1,1$  MGOe.

Estas ligas apresentam uma dupla vantagem em relação ao Vicalloy: não contêm Co que é um elemento caro (o Vicalloy contém cerca de 52% Co), e apresentam boa ductilidade a frio, permitindo assim a conformação mecânica do magneto antes dos tratamentos térmicos. Com efeito, a liga Fe-20Mo-5Ni de elevada pureza, fabricada por fusão à vácuo, após solubilizada a 1200°C e têmpera em água, pode ser deformada a frio até 95% de redução em área, sem recozimento intermediário (1). A adição de 2% Ga eleva mais a ductilidade a frio, atingindo 99% de redução em área (3).

Uma análise de seção isotérmica de 1200°C, do diagrama de equilíbrio ternário Fe-Mo-Ni (4), indica que a liga com 20% Mo e 5% Ni é monofásica  $\alpha$  nesta temperatura, não havendo, portanto, partículas precipitadas de outras fases. É possível que este fato influa na elevada ductilidade mecânica obtida após solubilização e têmpera.

O envelhecimento magnético da liga Fe-20Mo-5Ni, mostrou que as curvas  $H_C$  x tempo, a várias temperaturas, se assemelham às curvas clássicas de envelhecimento mecânico (1). Surgiu então a suposição (1), de que os mecanismos de envelhecimento magnético estão vinculados à precipitação de partículas na liga inicial monofásica  $\alpha$ . Até hoje, porém, esta suposição não foi analisada.

Magat e colaboradores (3) iniciaram estudos qualitativos dos precipitados em liga Fe-20Mo-5Ni, para uma faixa de temperatura desde 600 até 1200°C. Estes estudos supunham que

a presença de 5% de Ni e 2% de Ga não modificam a natureza do diagrama de equilíbrio Fe-Mo. Sendo assim, os precipitados presentes foram considerados como sendo  $Fe_7Mo_6$ ,  $Fe_2Mo$  e R (próximo da fase  $Fe_7Mo_6$ ).

No presente trabalho adicionou-se 0,=2% de C, fabricando-se por fusão a vácuo uma liga Fe-19,98%Mo-5,24%Ni-0,=2%C. O objetivo é a futura substituição do ferro eletrolítico por aço baixo-C.

O lingote foi laminado a quente em três condições: 22%, 54% e (74%+62%). A temperatura de encharque foi de 1250°C. Após cada laminação a quente as amostras foram temperadas em água, para análise dos precipitados. Em seguida, as amostras foram reaquecidas a 1250°C, durante vários tempos, e temperadas em água, para análise da dissolução dos precipitados,

Os precipitados foram analisados por microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura, análise EDS e raios-x.

Verificou-se a presença de vários precipitados, além dos determinados no artigo (3).

#### LITERATURA

- (1) Jim, S; Triefel, T.H, Journal of Appl. Physics, 52, (3), (1981), 2503-2505.
- (2) Luzinskaia, M.G; Makarova, G.M; Chur Iu.S, FMM, T. 57, nº 44, (1984), 821-824.
- (3) Magat, L.M; Makarova, G.M; Cur, Iu.S, FMM, T. 65, nº 6, (1988), 1075-1080.
- (4) Raynor and Riulin, Fe-Mo-X Systems, International Metals Reviews, v.29, nº 5, (1984), 371.