

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

R. M. Leal Neto, P. I. Ferreira  
IPEN - CNEN/SP

A intenção primária deste trabalho é verificar o que ocorre na combustão de misturas ternárias de pós de Nb, Ni, e Al. Particularmente, almeja-se a síntese de ligas NbAl<sub>3</sub>-NiAl, uma vez que tais ligas apresentam um comportamento mecânico mais promissor do que o NbAl<sub>3</sub> monofásico [1], objeto de investigação no IPEN há cerca de três anos [2]. Tanto o NbAl<sub>3</sub> como o NiAl podem ser obtidos por combustão, porém a síntese da liga bifásica por esta técnica foi apenas recentemente explorada [3].

Para tanto foram compactadas (300MPa) misturas dos pós de Nb, Ni, e Al com a seguinte composição nominal: Nb-30Ni-60Al, Nb-20Ni-65Al, e Nb-10Ni-70Al (% at.). A reação foi conduzida sob vácuo, num forno resistivo tubular. O procedimento detalhado está descrito em publicação anterior [2]. Após a reação, as pastilhas foram tratadas termicamente a 1140°C por 6 horas. A difração de raios-X e a microscopia eletrônica de varredura (EDS qualitativo e quantitativo), em conjunto com a microscopia óptica com luz polarizada, foram conduzidas para a identificação das fases nas pastilhas reagidas e tratadas termicamente.

A reação de síntese foi observada em todas as composições investigadas. Os compactos com maior teor de níquel (30 e 20 % at.) reagiram em temperaturas menores (500°C) do que aqueles contendo 10 % at. de Ni (850°C). Em todas as amostras foi verificada a presença de nióbio não reagido e de NbAl<sub>3</sub> em diferentes proporções (fase branca e cinza claro, respectivamente, nas fig. 1 e 2). O NiAl (fase cinza escuro na fig. 1) foi encontrado apenas nas pastilhas contendo 30 % at. de Ni. O Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> foi formado nas demais composições (fase cinza escuro, fig. 2).

A temperatura de ignição de 500°C pode ser identificada com reações entre partículas de Ni e Al, dada a semelhança com valores reportados por Rhein *et al.* [4] para a síntese do NiAl a partir de pós de Ni muito finos (<10µm). Já a temperatura de 850°C pode ser associada com a ignição do NbAl<sub>3</sub>, tendo em vista a semelhança com temperaturas observadas na síntese deste composto pelos presentes autores [2]. Tais observações, associadas com a identificação de fases da microestrutura, sugerem uma provável sequência de reações. No caso das composições Nb-30Ni-60Al e Nb-20Ni-65Al, a temperatura de ignição observada pode ser associada com a síntese do NiAl ou do Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>. O calor liberado por esta reação foi suficiente para provocar a ignição de outra reação, a síntese do NbAl<sub>3</sub>. Nos compactos com composição Nb-10Ni-70Al, o calor liberado pela reação do Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> foi insuficiente para disparar a reação do NbAl<sub>3</sub>, provavelmente pelo

menor número de contatos entre partículas de Ni e Al, já que o teor de níquel é menor.

O tratamento térmico provocou alterações consideráveis na microestrutura das pastilhas reagidas, conforme se observa mediante comparação das fig. 1 e 2 com as fig. 3 e 4. A alteração mais evidente foi o arredondamento das partículas de nióbio não reagido, juntamente com a formação de uma fase no seu interior. Por meio da análise química qualitativa de microrregiões (EDS) foi possível verificar que a composição desta fase é similar à da fase cinza claro circundante, tratando-se portanto do  $NbAl_3$ . Corroborando tal análise, ambas apresentam contraste sob luz polarizada, fenômeno típico dos grãos de  $NbAl_3$ . Na análise da fase branca, encontrou-se não apenas Nb, mas também teores significativos de Al, e de Ni em menor grau. Não foi possível determinar a sua composição exata, porém é provável que se trate da fase de Laves  $Nb(Ni_{1-x}Al_x)_2$ , onde x pode variar de 0.19 a 0.83 [5]. Outra alteração verificada, juntamente com decréscimo da quantidade de Nb não reagido e o aumento da quantidade de  $NbAl_3$ , foi o desaparecimento da fase  $Ni_2Al_3$  e a formação do NiAl nas pastilhas com 10 e 20 %at. de Ni, conforme a análise de difração de raios-X. Aparentemente, o alumínio proveniente do  $Ni_2Al_3$  difundiu-se através dos grãos de  $NbAl_3$  em direção às partículas de Nb não reagido. Na figura 4, o NiAl é identificado com a fase cinza escuro. Os resultados obtidos com o tratamento térmico indicam que o tempo de 6 horas foi insuficiente para completar as transformações esperadas, uma vez que a secção disponível do diagrama de equilíbrio de fases do sistema Nb-Ni-Al a 1140°C [5] indica apenas a presença de  $NbAl_3$  e de NiAl (em diferentes proporções) no campo relativo às composições estudadas.

### Agradecimentos

Ao CNPq e à CNEN pelo suporte financeiro. A C. V. de Moraes e A. H. Bressiani, pelo auxílio na microscopia eletrônica de varredura. À COPESP, e aos Deptos. de Eng. de Minas (LCT) e Eng. Metalúrgica da EPUSP pelo apoio na caracterização microestrutural.

### Referências Bibliográficas

- 1 G. Sauthoff, *Z. Metallkde.*, 81 (1990) 855.
- 2 R. M. Leal Neto, P. I. Ferreira, *Anais do Seminário sobre Metalurgia do Pó* (ABM), São Paulo, 1991, p. 399.
- 3 R. M. Leal Neto, P. I. Ferreira, *Anais do Powder Metallurgy World Congress, PM'94*, (SF2M, EPMA), 1994, v. II, p. 1221.
- 4 R. Rein, W. A. Kaysser, G. Petzov, *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials* (MPIF,APMI), Princeton, 1992, v.9, p.395
- 5 J. S. Benjamin, B. C. Giessen, N. J. Grant, *Trans. Metall. Soc. of AIME*, 236 (1966) 224.

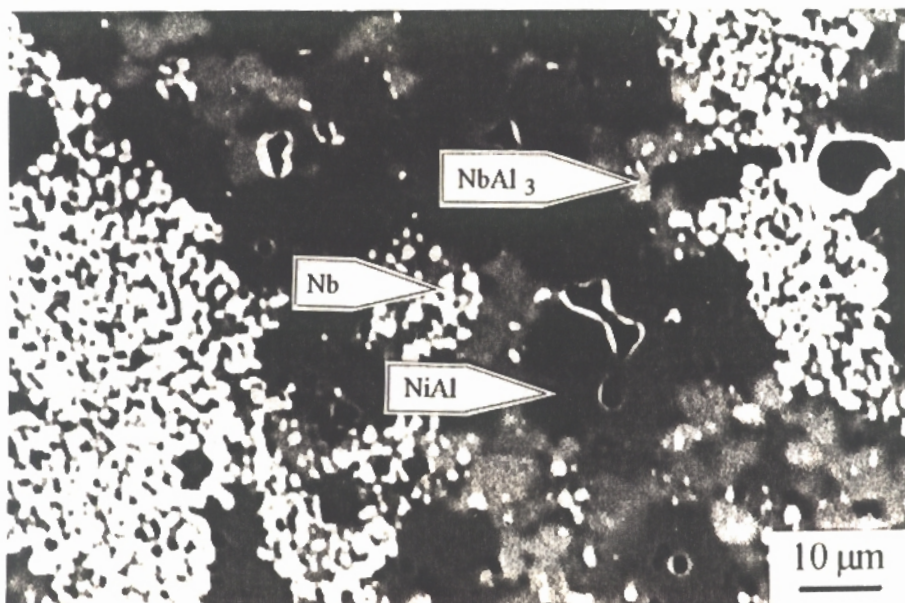


Fig. 1 Micrografia eletrônica de varredura (elétrons retroespalhados) da pastilha reagida, de composição nominal Nb-30Ni-60Al

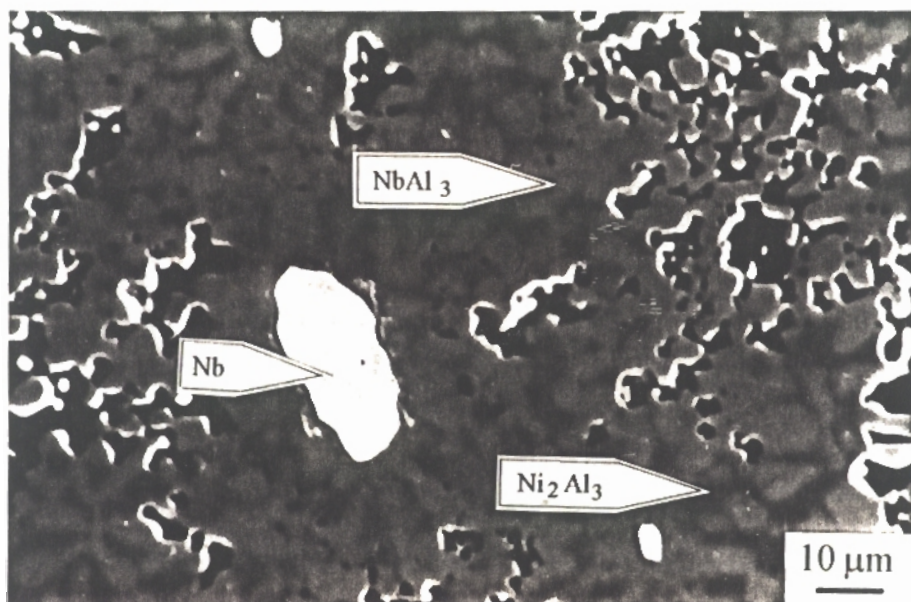


Fig. 2 Micrografia eletrônica de varredura (elétrons retroespalhados) da pastilha reagida, de composição nominal Nb-10Ni-70Al

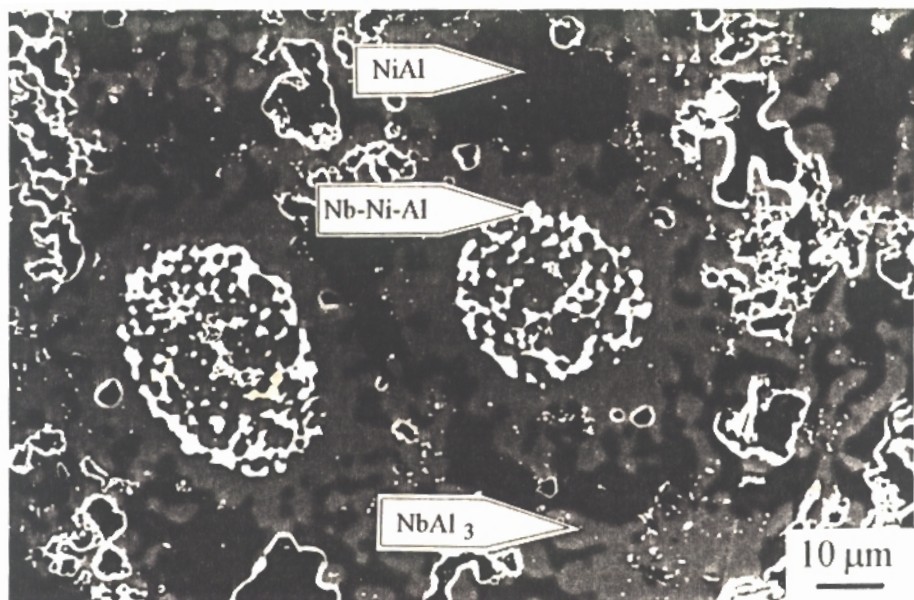


Fig. 3 Micrografia eletrônica de varredura (elétrons retroespalhados) da pastilha reagida e tratada termicamente, de composição nominal Nb-30Ni-60Al.

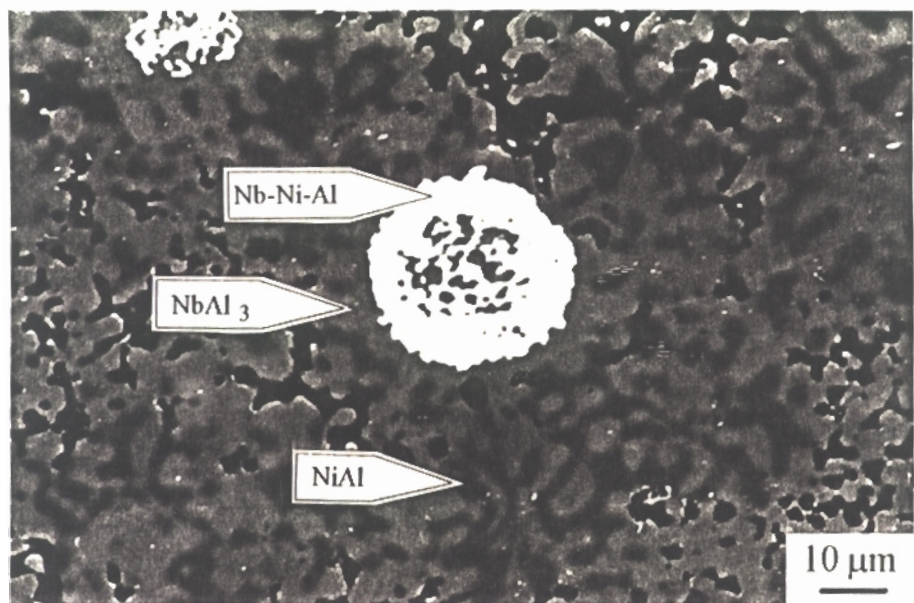


Fig. 4 Micrografia eletrônica de varredura (elétrons retroespalhados) da pastilha reagida e tratada termicamente, de composição nominal Nb-10Ni-70Al.