

OBTENÇÃO DE ÍMÃS PERMANENTES DE TERRAS RARAS E METAIS DE TRANSIÇÃO PELO PROCESSO HDDR

Gabriela Jacob Santos e Rubens Nunes de Faria Júnior
Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais - CCTM

OBJETIVO

O objetivo do trabalho é o de preparar ímãs permanentes de terras raras (TR) e metais de transição (MT) via metalurgia do pó com o processo de hidrogenação, desproporção, dessorção e recombinação (HDDR). Os ímãs serão caracterizados magnética e microestruturalmente e estabelecidas correlações entre os parâmetros de fabricação.

METODOLOGIA

As ligas estudadas neste trabalho foram: Liga 1 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Ti}_{0,1}$), Liga 2 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{V}_{0,1}$), Liga 3 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Cr}_{0,1}$), Liga 4 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Ni}_{0,1}$), Liga 5 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Zr}_{0,1}$), Liga 6 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Nb}_{0,1}$), Liga 7 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Mo}_{0,1}$) e Liga 8 ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6$).

Na obtenção dos ímãs pelo processo HDDR, inicialmente, as ligas foram submetidas a um tratamento térmico sob vácuo, entre 10^{-4} e 10^{-5} mbar, a 1100°C por 20 horas. Uma amostra com 8 gramas da liga, com tamanho de partícula inferior a 5mm, foi acondicionada em um cadinho, e, colocada em uma retorta [1].

Este sistema foi submetido a vácuo $<0,1$ mbar, seguido de adição de hidrogênio (H_2). Em seguida, o sistema foi aquecido a uma taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ até atingir 100°C para hidrogenação da liga (com patamar de 20 min). Após a hidrogenação da liga o sistema foi aquecido a uma taxa de $15^\circ\text{C}/\text{min}$ até atingir 770°C e, em seguida, até 860°C (taxa de $5^\circ\text{C}/\text{min}$), mantendo um patamar de 15 min., para desproporção da liga.

As etapas de dessorção e recombinação foram realizadas logo em

seguida, à mesma temperatura e sob vácuo, até atingir a pressão de 0,1 mbar, essa etapa ocorre em menos de 10 min. Em seguida, a retorta foi retirada do forno e resfriada rapidamente, utilizando-se uma bobina de cobre refrigerada a água.

O pó resultante deste tratamento HDDR foi cominuído em um almofariz de ágata até tamanho de partícula inferior a $74\ \mu\text{m}$ (<200 mesh). Então, este pó foi colocado em um tubo cilíndrico de borracha, submetido a um campo magnético de 6 T, para alinhamento das partículas e compactado em uma prensa isostática a frio, pressão de 200 MPa.

Estes compactados foram moldados utilizando-se parafina fundida à temperatura de 80°C e depois resfriados até a temperatura ambiente. Em seguida é feito o acabamento superficial (cilindros de 1×1 cm), para ser feita a sua magnetização e caracterização magnética [2-3].

Para a caracterização magnética dos ímãs HDDR, as amostras foram magnetizadas utilizando-se o magnetizador LDJ 450-20C (campo 6T) para obtenção dos ímãs, e curvas de desmagnetização foram obtidas utilizando o permeâmetro LDJ BH 5000 para determinar suas propriedades magnéticas.

Para a caracterização microestrutural das ligas utilizadas na obtenção dos ímãs obtidos por HDDR, foram realizadas, utilizando-se as técnicas convencionais de metalografia (embutimento, lixamento, polimento) e microscopia eletrônica de varredura e, para determinar as composições das fases, Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS). Essa caracterização foi feita nas ligas antes do tratamento térmico e após o tratamento térmico.

RESULTADOS

Na Figura 1 está mostrada a curva de desmagnetização, no segundo quadrante, do ímã obtido com a liga $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Zr}_{0,1}$ via HDDR. Na Figura 2 está mostrada a curva de desmagnetização no segundo quadrante do ímã obtido com a liga $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Ti}_{0,1}$ via HDDR. Na Tabela 1 são mostrados os resultados das propriedades magnéticas dos ímãs HDDR obtidos com as ligas estudadas.

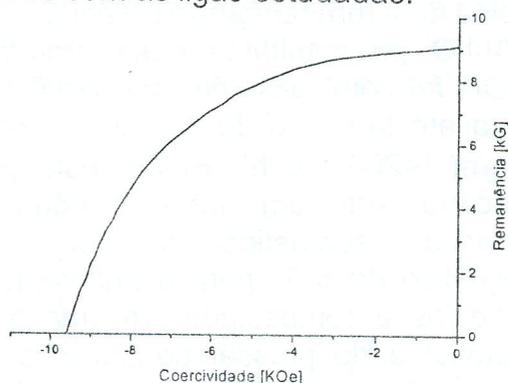


Figura 1.: Curva de desmagnetização do ímã obtido com a liga $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Zr}_{0,1}$.

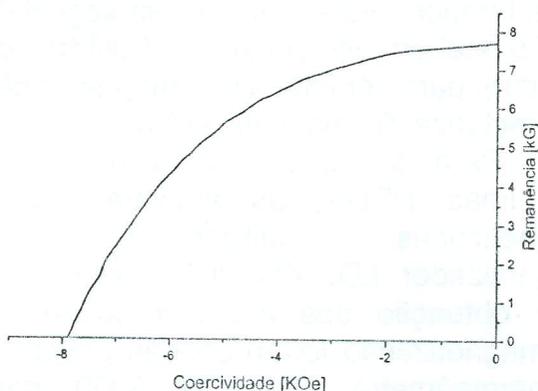


Figura 2.: Curva de desmagnetização do ímã obtido com a liga $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6\text{Ti}_{0,1}$.

Tabela 1.: Resultados das propriedades magnéticas dos ímãs obtidos pelo processo HDDR.

LIG A	B_r [kG]	iH_c [kOe]	bH_c [kOe]	$(BH)_{\text{má}}$ x MGOe	FQ razão
1	7,7	7,9	5,2	11,84	0,41
2	6,8	8,7	5,0	9,8	0,37
3	8,4	10,6	5,9	14,4	0,34
4	7,0	9,8	5,3	10,64	0,34
5	9,0	9,6	6,5	17	0,45
6	8,2	10,2	6,1	14,4	0,39
7	7,3	10,2	5,7	11,6	0,35
8	7,0	9,4	5,0	10,5	0,32

Através da caracterização microestrutural das ligas, notou-se que antes do tratamento as ligas apresentavam as seguintes fases: ϕ , que é a fase matriz, $\text{Pr}(\text{FeCo})_2$, (FeCo) e $\text{Pr}_3(\text{FeCo})$.

Após tratamento térmico, houve a diluição do ferro e as fases encontradas foram as seguintes: ϕ (fase matriz), $\text{Pr}(\text{FeCo})_2$ e $\text{Pr}_3(\text{FeCo})$.

CONCLUSÕES

Concluiu-se que os ímãs HDDR obtidos com as ligas com adição de $\text{Ni}_{0,1}$, $\text{Zr}_{0,1}$, $\text{Nb}_{0,1}$, $\text{Mo}_{0,1}$ e $\text{Cr}_{0,1}$, apresentaram todas as propriedades magnéticas superiores ao ímã obtido com a liga padrão ($\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{\text{bal}}\text{Co}_{16}\text{B}_6$).

O ímã HDDR obtido com a liga com adição de $\text{Zr}_{0,1}$ apresentou, no geral, as melhores propriedades magnéticas.

A liga com adição de $\text{Ti}_{0,1}$, contribuiu para melhoria da maioria das propriedades magnéticas, porém, diminuiu o valor de coercividade (iH_c).

O tratamento térmico feito nas ligas, que foram utilizadas na obtenção dos ímãs, foi suficiente para a diluição do ferro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Barbosa, L. P.; Takiishi, H.; Faria, R. N. *J. Magn. Mater.*, 270 (2004) 274.
- [2] T. Takeshita and R. Nakayama. 10th Int. Workshop on RE and Their Appl., May 16-19, 1989 Kyoto, Japan, p. 551-557.
- [3] R. N. Faria, A. J. Williams and I. R. Harris, *J. Alloys and Comp.* 287 (1999) L10

APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (bolsa PIBIC)

FAPESP – Fundação de apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo

IPEN-CNEN/SP