

Biblioteca
620.1 C749 x 96.3

COLEÇÃO PTC
DEVOLVER AO BALCÃO DE EMPRÉSTIMO

Estudo das Propriedades de Ímãs Permanentes de Polímeros-Terras Raras

Takiishi, H.; Benini, H.R.; Lima, L.F.C.P.; Faria, R.N.

CP 11049 - CEP 05422-970 - FAX (011) 816.9370

Departamento de Engenharia de Materiais - IPEN-CNEN/SP

RESUMO

Um método alternativo para a produção de ímãs permanentes evitando-se a etapa de sinterização é fixar as partículas magnéticas em uma matriz polimérica. Neste trabalho foram confeccionados ímãs utilizando-se ligas magnéticas de SmCo_5 ou $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ misturadas com 10 % em massa de resina. Para a liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ utilizou-se o processo de hidrogenação - decomposição - dessorção - recombinação (HDDR) do lingote, antes da preparação dos ímãs. As propriedades magnéticas obtidas mostraram que a etapa de moagem pode ser evitada na preparação dos ímãs de polímeros. Os ímãs preparados com esta composição de mistura apresentaram boas propriedades magnéticas.

Palavras-chaves: Materiais Magnéticos; Ímãs Permanentes de Terras Raras; Ímãs com Polímeros

INTRODUÇÃO

Os ímãs permanentes de terras raras-metais de transição (TR-MT) sinterizados estão sendo usados em diversas aplicações que exigem alto desempenho magnético e estabilidade térmica, embora geralmente sejam frágeis e de custo elevado. Já os ímãs resinados, apesar de terem as propriedades magnéticas reduzidas, pela adição de uma matriz polimérica, oferecem como vantagens as facilidades de processamento para moldagem nas mais variadas formas, não necessitando de posteriores operações de acabamento. Oferecem ainda boas propriedades mecânicas e manutenção de um rigoroso controle das propriedades magnéticas, possibilitando uma diminuição no custo da produção de ímãs destinados a diversas aplicações que não requeiram altas temperaturas de trabalho e alto produto de energia⁽¹⁾.

Ímãs permanentes ligados com polímeros são materiais compósitos, constituídos de pós de materiais magnéticos consolidados numa matriz polimérica. Esta fase ligante determina as propriedades mecânicas do compósito, enquanto que o pó magnético determina as propriedades magnéticas. Dentre os materiais magnéticos usados incluem-se as Ferritas, ligas AlNiCo

ABSTRACT

An alternative method for permanent magnet production without the sintering step is polymer bonded magnets. In this work magnets were prepared from magnetic SmCo_5 or $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ alloys bonded with 10% wt of resin. For the $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ alloy the hydrogenation - decomposition - desorption - recombination (HDDR) process have been employed in the preparation of the magnets. Results from the magnetic properties showed that no milling is necessary for the production of polymer bonded Nd-Fe-B magnets. The magnets showed good magnetic properties.

Key Words: Magnetic Materials; Rare Earth Permanent Magnets; Polymer bonded magnets.

e TR-MT (especialmente SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ e Nd-Fe-B)^(2,3). Os materiais poliméricos usados como matriz podem ser elastômeros, termofixos e termoplásticos rígidos e flexíveis. Independentemente do tipo de material magnético usado, a técnica de processamento a nível industrial é determinada pela matriz polimérica empregada, podendo ser usadas as técnicas de moldagem por injeção, extrusão e calandragem para termoplásticos flexíveis, extrusão para termoplásticos rígidos, calandragem para elastômeros e moldagem por compressão para termorrígidos.

Para a confecção dos ímãs de polímeros, nas ligas de SmCo_5 variou-se o tempo de moagem enquanto que para a de $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ utilizou-se técnicas de hidrogenação - decomposição - dessorção - recombinação (HDDR) para facilitar a etapa posterior de moagem⁽⁴⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas durante a realização deste trabalho duas ligas de SmCo_5 , uma fornecida pela firma Alfa Products e outra, obtida no laboratório de Materiais Magnéticos deste Instituto por redução-difusão calciotérmica⁽⁵⁾, ambas com granulometria inferior a 60 mesh. A liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ utilizada neste trabalho foi fabricada por fusão na forma de lingotes.

IPEN / CNEN - SP

BIBLIOTECA

Produção Científica

IPEN - DOC - 3841

As ligas magnéticas foram investigadas por difração de raios-X, microscopia ótica e eletrônica de varredura.

A resina epoxi DER 331 e o agente de cura DEH 24 foram fornecidos pela Dow Química. A resina apresenta como características baixa viscosidade, boa resistência mecânica e química, alta dureza, excelente adesão e baixa contração pós cura e o agente de cura utilizado permite a cura a baixas temperaturas, conferindo ao sistema boas propriedades mecânicas.

No fluxograma abaixo (Figura 1) estão representadas as etapas de processamento para confecção dos ímãs de polímeros.

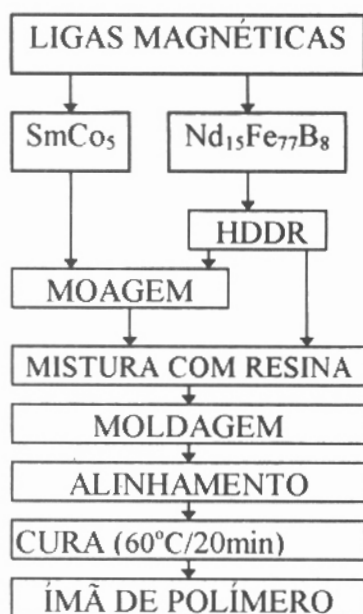


Figura 1. Etapas de produção dos ímãs de polímeros.

Com a finalidade de determinar a menor concentração de resina no compósito capaz de conferir boas propriedades magnéticas sem comprometer sua resistência mecânica, utilizou-se concentrações de resina de 8%, 10% e 12% em massa com agente de cura na concentração de 13% e uma liga de SmCo_5 com diâmetro médio de partícula menor que $10 \mu\text{m}$. A mistura foi compactada manualmente em moldes e, em seguida, orientada magneticamente. Finalmente, todas as amostras foram curadas à temperatura de 60°C por vinte minutos.

Para se estudar a influência do tamanho médio da partícula nas propriedades magnéticas, realizou-se a moagem em moinho de bolas variando-se o tempo de 0 a 9 horas e, como meio de moagem, utilizou-se o ciclohexano. Para a liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ foi realizado o processo de HDDR, antes de sua moagem, nas seguintes condições: aquecimento da liga, acondicionada em uma retorta, à temperatura de 850°C por 3 horas em atmosfera de H_2 mantendo-se uma pressão de 1 Bar e, então redução da pressão para 10^{-1} Torr e posterior resfriamento em água^(6,7). O tamanho médio das partículas foi determinado pelo método Fisher (modelo FSSS-95, norma ASTM B-330).

Após o processo de HDDR e moagem as ligas foram misturadas com a resina e endurecedor. Os ímãs foram produzidos em um molde cilíndrico de 10 mm de diâmetro por 13,5 mm de altura e, para orientação das partículas foi utilizado um magnetizador por pulso modelo LDJ 450-20C com campo magnético de 60 kOe. A cura foi realizada a 60°C durante vinte minutos.

A curva de desmagnetização dos ímãs foi realizada utilizando-se um permeâmetro modelo LDJ-BH 5000. A resistência à ruptura (σ) foi determinada realizando-se ensaios de compressão nas amostras utilizando-se uma prensa Instron-1315 (norma ASTM D-694).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 estão mostradas a micrografia e o difratograma de raios-X da liga SmCo_5 da Alfa Products e pode-se observar que a fase magnética 1:5 é predominante nesta liga. Na figura 4 está apresentada a micrografia da liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$, onde se observa uma microestrutura na forma colunar que é



Figura 2. Micrografia (MEV) da liga SmCo_5 da Alfa Products.

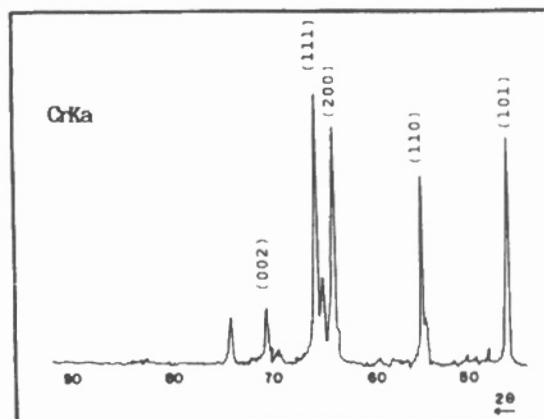


Figura 3. Difratograma de raios-X da liga SmCo_5 da Alfa Products, onde estão representados os principais picos da fase 1:5.

uma característica da liga Neomax^(B) e, na Figura 5, o difratograma de raios-X da mesma amostra onde se observa, principalmente, a fase magnética Nd₂Fe₁₄B.

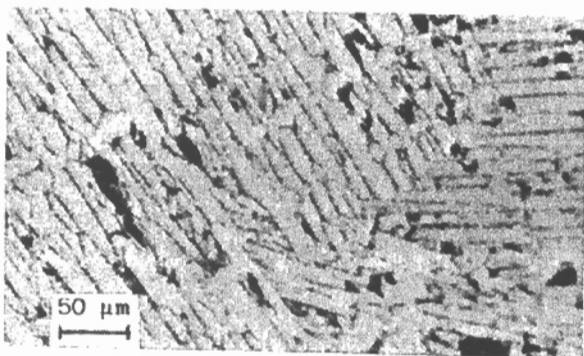


Figura 4. Microestrutura da liga Nd₁₅Fe₇₇B₈, mostrando sua forma colunar.

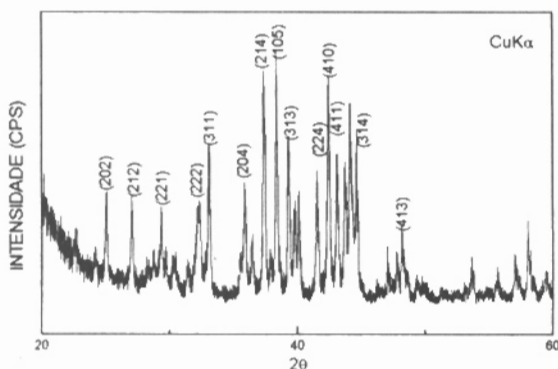


Figura 5. Difratograma de raios-X da liga Nd₁₅Fe₇₇B₈, que mostra os picos da fase magnética Nd₂Fe₁₄B.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos ensaios de compressão e propriedades magnéticas, das amostras com diferentes concentrações em peso de resina.

Tabela 1. Variação das propriedades com o aumento da concentração de resina.

%Resina	σ (kgf/mm ²)	Br (kG)	iHc (kOe)
8	320	3,9	-6,0
10	628	3,5	-5,9
12	978	2,7	-5,9

Observa-se que a resistência à ruptura no ensaio de compressão (σ) aumenta com a concentração de resina, enquanto que a remanência decresce e a coercividade mantém-se praticamente constante à medida que se aumenta o teor de resina. A composição de 8% em massa de resina na mistura apresentou maior dificuldade de homogeneização e na de 12% houve uma diminuição considerável na sua remanência. Desta

forma, a composição escolhida de resina para preparação dos ímãs foi de 10%.

Na Tabela 2 está representada a variação do tamanho médio das partículas e as propriedades magnéticas com o tempo de moagem para as três ligas estudadas.

Tabela 2. Variação do tamanho médio das partículas e as propriedades magnéticas com o tempo de moagem para as ligas SmCo₅ e Nd₁₅Fe₇₇B₈.

Liga	Tempo (hs)	ϕ médio (μ m)	Br (kG)	iHc (kOe)
SmCo ₅ (R-D)	0,5	13,4	2,5	-6,0
	1	11,8	2,5	-7,0
	1,5	9,4	2,7	-7,0
SmCo ₅ (Alfa)	5	6,4	3,8	-7,5
	7	4,9	4,0	-10,5
	8,5	4,5	4,2	-8,2
Nd ₁₅ Fe ₇₇ B ₈	0	<205	3,5	-6,0
	0	<105	3,5	-6,0
	8	2,5	3,5	-3,8

Observa-se pelos resultados mostrados na Tabela 2 que a coercividade aumenta com a redução do tamanho das partículas para as duas ligas de SmCo₅, mas para tempos superiores a 8 horas, para a liga da Alfa, a coercividade diminui e pode estar relacionado à oxidação superficial da liga na etapa de moagem. A curva de desmagnetização da amostra com diâmetro médio de 4,9 μ m para a liga da Alfa Products está mostrado na Figura 6.

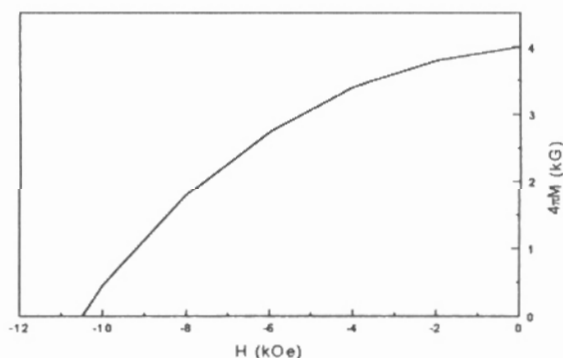


Figura 6. Curva de desmagnetização do ímã SmCo₅ (Alfa) com diâmetro médio de partícula de 4,9 μ m.

Para a liga Nd₁₅Fe₇₇B₈, após a etapa de HDDR do lingote, foram preparadas três amostras. Duas sem a etapa de moagem, com granulometria inferiores que 205 e 105 μ m e a terceira com um tempo de moagem de oito horas, obtendo-se um tamanho médio de partícula de 2,5 μ m. Na Tabela 2 também estão mostradas as propriedades magnéticas destes ímãs e na Figura 7 a) e b) as curvas de desmagnetização dos

ímãs produzidos com granulometria inferior a 205 μm e com diâmetro médio de 2,5 μm .

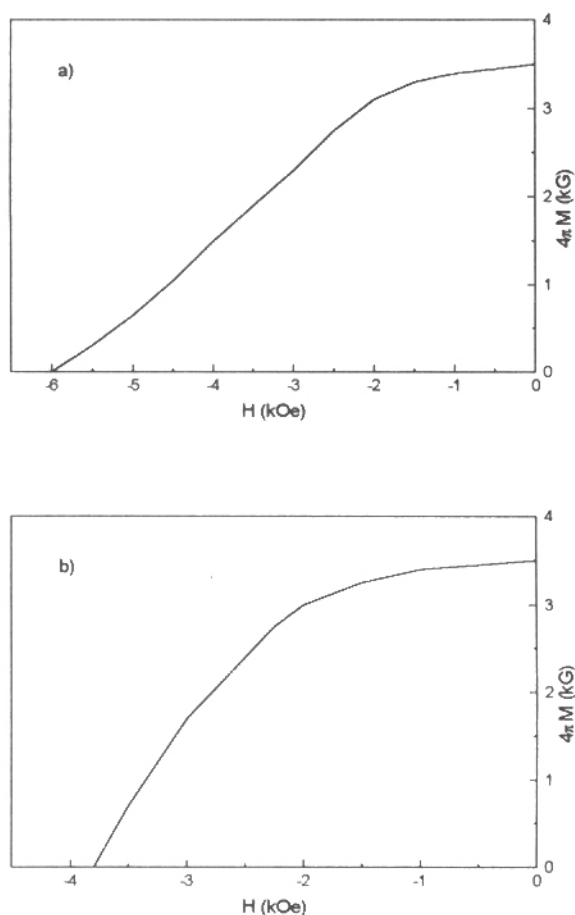


Figura 7. Curvas de desmagnetização dos ímãs $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$, obtidos com partículas de diâmetro médio: a) < que 205 μm e b) 2,5 μm .

Observa-se que a coercividade diminui somente para a amostra moída por oito horas, mantendo-se constante sua remanência. Portanto a redução do tamanho de partícula obtido após a etapa de HDDR foi suficiente para obter propriedades magnéticas satisfatórias sem a necessidade da etapa de moagem da liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$. Os resultados das propriedades magnéticas foram inferiores aos obtidos na referência 4, provavelmente devido ao método utilizado na confecção dos ímãs com polímeros.

CONCLUSÕES

i) Dentre as concentrações de resina estudadas, a de 10% em massa de resina apresentou boa molhabilidade do pó magnético, boa resistência mecânica e propriedades magnéticas satisfatórias.

ii) A liga de SmCo_5 obtida por R-D necessitou de tempos inferiores de moagem em relação a liga da Alfa para obter tamanhos médios de partículas

inferiores a 10 μm , diminuindo desta forma sua oxidação nesta etapa.

iii) As propriedades magnéticas da liga SmCo_5 obtida por R-D foram inferiores às da liga da Alfa, mostrando que esta foi obtida por outro processo de fabricação.

iv) A redução do tamanho de partícula da liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$ após a etapa de HDDR foi suficiente para a obtenção de boas propriedades magnéticas, não sendo necessária a moagem, diminuindo desta forma o custo final de produção dos ímãs.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Mestnik Filho do Departamento Física Nuclear do IPEN pela realização da etapa de HDDR na liga $\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SATOH, K.; OKA, K.; ISHII, J.; SATOH, T. IEEE Trans. Mag., Vol. MAG-21, n. 5, p. 1979-1981, 1985.
- (2) SHIMODA, T.; OKONOGI, I.; KASAI, K.; TERAISHI, K. IEEE Trans. Mag., Vol. MAG-16, n. 5, p.991-993, 1980.
- (3) PFEIFFER, J.; EBELING, R.; EVRENS, W. PMI, Vol. 24, n. 3, 180-185, 1992.
- (4) MANWARING, C. A. F.; KEEGAN, G.; NAGEL, H. KRÖNERT, W.; VINCENT, J. H.; SANGAHA, S. P. S.; HARRIS, I. 13th Int. Workshop on RE Magnets & their Applications, p.553-561, 1994.
- (5) TAKIISHI, H.; MARTINEZ, L. G.; PASCHOAL, J. O. A. 10^o CBECIMAT, Vol. 1, p. 445-448, 1992.
- (6) NAKAYAMA, R.; TAKESHITA, T. J. Alloy and Compounds, 193, p. 259-261, 1993.
- (7) McGUINNESS, P. J.; ZHANG, X. J.; YIN, X. J.; HARRIS, I. R. J. Less-Common Metals, 158, p. 359-365, 1990.
- (8) HARRIS, I. R.; NOBLE, C.; BAILEY, T. J. Less-Common Metals, 106, L1-L4, 1985.