Navorsingsbriewe

Bariumheksaferriet keramiek permanente magnete

UITTREKSEL

'n Plaaslik geproduseerde ysteroksied is gebruik om permanente magnete van bariumheksaferriet keramiek permanente magnete te vervaardig. Die effek van sintertemperatuur op die koërsiewe krag, remanensie, vorm van die histereselus, digtheid en krimpings is bestudeer. Daar is bevind dat korrelgroeitydens die sintertproses die koërsiewe krag sodanig verlaag dat die maksimum sintertemperatuur beperk is tot $\sim 1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ vir hierdie besondere materiaal, terwyl 'n geskikte temperatuur vanuit die oogpunt van remanensie en digtheid ongeveer $1\,230\text{ }^{\circ}\text{C}$ is.

ABSTRACT

Barium hexaferrite ceramic permanent magnets

Barium hexaferrite ceramic permanent magnets were manufactured using a locally produced iron oxide. The effect of sintering temperature on the coercivity, remanence, shape of the hysteresis loops, density and shrinkage was studied. The results indicated that grain growth during the sintering process limited the sintering temperature to $\sim 1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ for this material in order to obtain satisfactory values for the coercivity, while remanence and density were optimum at a higher sintering temperature of about $1\,230\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. INLEIDING

Bariumheksaferriet ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) is 'n donker ferromagnetiese oksiedmateriaal met 'n relatiewe hoë koërsiewe krag (tipies $\sim 210\text{ kA/m}$)(1-3). In teenstelling met konvensionele metaalmagnete is dit elektries nie-geleidend (soortlike weerstand $>10^8\text{ ohm cm}$). Hierdie magnete beskik oor 'n gemiddelde waarde van 38 kJ/m^3 vir die maksimum energieproduk terwyl die remanensie van isotropiese magnete ongeveer $0,2\text{ tesla}$ is en anisotropiese magnete 'n waarde van $\sim 0,4\text{ tesla}$ het. Hierdie verskil is te wyte aan die hoë kristallyne anisotropie van bariumheksaferriet wat tydens verandering benut kan word om anisotropiese magnete daar te stel met beter magnetiese eienskappe.

In vergelyking met sommige ander magnetiese materiale is die grondstowwe vir die vervaardiging van permanente magnete van bariumheksaferriet relatief goedkoop, aangesien die hoofbestanddeel ysteroksied is. Magnete kan geredelik vervaardig word deur middel van 'n poeiermetallurgiese proses. Die proses behels basies die reaksie van 'n geskikte bariumsout, byvoorbeeld BaCO_3 , met Fe_2O_3 by $1\,000 - 1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ waarna die produk gemaal word tot 'n korrelgrootte van minder as $1\text{ }\mu\text{m}$. Die materiaal word dan in die verlangde vorm geper, terwyl in die geval van anisotropiese magnete die ferriet onder invloed van 'n magneetveld van $400 - 800\text{ kA/m}$ saamgepers word om die kristalliete in 'n voorkeurring te oriënteer vir verbeterde magnetiese eienskappe (4). Die saamgepersde stuk word gesinter by 'n temperatuur van $1\,200 - 1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ om 'n produk te lewer met 'n digtheid van $90 - 95\%$ van die teoretiese digtheid van 'n enkelkristal (5). Die gesinterde produk word gemagnetiseer om die finale magneet te lewer.

As gevolg van die besondere eienskappe van bariumferriet is dit moontlik om magnete in vorms te

vervaardig wat andersins sou selfdemagnetiseer indien dit van 'n materiaal soos Alnico vervaardig was, bv. kort en plat magnete. Die swak elektriese geleidingseienskappe van bariumheksaferriet voorkom die vorming van geïnduseerde warrelstrome en die materiaal is gevolglik baie geskik vir hoëfrekwensie toepassings. Die magnete vind dus wye toepassing in gelykstroommotors, luidsprekers, mineraalskeiding, telekommunikasie, ens., terwyl ferrietbevattende rubberstroke gebruik word in, onder meer, yskasdeure.

As deel van 'n breër studieprojek ten opsigte van bariumferriet is die geskiktheid van 'n gegewe plaaslike ysteroksied as grondstof vir die plaaslike vervaardiging van permanente magnete ondersoek.

2. EKSPERIMENTEEL

Plaaslik geproduseerde kommersiële Fe_2O_3 met 'n chemiese suiwerheid van minder as 97% is gemeng met BaCO_3 met 'n suiwerheid van $99,8\%$. Die hoofonsuiwerhede in die ysteroksied was:

Al - 0,16	Ca - 0,41	Zn - 0,7	Mn - 0,33
Na - 0,1	Pb - 0,01	Ni - 0,03	Si - 0,07
Cu - 0,03	Cr - 0,03	K - 0,02	Mg - 0,04%

Die mengsel is by $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ reageer waarna dit in 'n attrisiemeule ("attritor mill") gemaal is teen 300 omwentelings per minuut totdat die gemiddelde korrelgrootte $0,8\text{ }\mu\text{m}$ was, soos bepaal is met behulp van 'n Fisher Subsize Sizer. 'n Flodder bestaande uit water en poeier is saamgedruk en sodoende ontwater by 'n druk van 30 MPa onder die invloed van 'n gepulse magneetveld met 'n veldsterkte van meer as 400 kA/m . Die tablette is gedroog waarna dit in lug gesinter is. Die plat vlakke van die tablette is met behulp van 'n Struers-diamantwiel plat en parallel geslyp en die magnetiese parameters van belang is met behulp van 'n Walker Scientific MH 1020 histereselus

resesgraaf bepaal. Die digthede is volgens Archimedes se metode bepaal.

3. RESULTATE

Die effek van sintertemperatuur op die koërsiewe krag word in Fig 1 aangedui terwyl Fig. 2 'n aanduiding gee van die effek van sintertemperatuur op die remanensie. Die invloed van temperatuur op die vorm van die histereselus word in Fig. 3 weerspieël, en Fig. 4 en 5 wys op die veranderinge in fisiese afmetings wat deur die prosessering teweeggebring is soos verteenwoordig deur die digtheid en sydelingse inkrimping.

4. BESPREKING

4.1 Koërsiewe Krag

Uit Fig. 1 blyk dit dat die koërsiewe krag afneem met sintertemperatuur. Hierdie afname is te wyte aan verhoogde korrelgroei met toenemende temperatuur. Teoretiese sowel as eksperimentele studies dui daarop dat die koërsiewe krag hoog is wanneer die korrelgrootte van dieselfde orde is as die Bloch magneetgebied ("domains") ($< 1 \mu\text{m}$ vir bariumheksaferriet) (6-7).

Studies met behulp van 'n skandeerelektronmikroskoop van gepoleerde en geëtste keramiekmonsters wat onderskeidelik by 1 000, 1 100 en 1 300 °C gesinter is, het aangetoon dat dit gemiddelde korrelgroottes van $\sim 1 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$ en $15 \mu\text{m}$ respektiewelik gehad het. Die huidige resultate is dus in ooreenstemming met bogenoemde bevindings.

'n Gemiddelde minimum waarde vir die koërsiewe krag van magnete vir sekere kommersiële gebruike is 135 kA/m. Figuur 1 dui dus daarop dat sintertemperatuur laer as 1 220 °C, maar verkieslik laer as 1 200 °C, gebruik moet word vir hierdie spesifieke materiaal indien waardes hoër as 135 kA/m vereis word. Hierdie temperatuur mag wissel vir verskillende uitgangstowwe.

4.2 Remanensie

Die remanensie neem toe met toenemende sintertemperatuur. Toenemende temperatuur verhoog die finale digtheid (Fig. 4) en dus word die magnetiese polarisasie per eenheidsvolume, 'n vektorhoeveelheid, verhoog namate porositeit in die magneet verminder. Verdigting plat af by $\sim 1\,200$ °C. Die effek hiervan word daarin weerspieël dat magnete nie geredelik vervaardig kan word met 'n remanensie van hoër as $\sim 0,4$ T nie, aangesien die remanensie dan ook afplat by hierdie temperatuur.

'n Tipiese bruikbare waarde vir die remanensie is $\sim 0,33$ T. Hierdie waarde word vir die huidige ferriet alleenlik bereik indien daar bokant $\sim 1\,150$ °C gesinter word.

4.3 Histereselus

Figuur 3 toon dat, in ooreenstemming met die voorafgaande besprekings, die effek van 'n hoër sintertemperatuur die histereselusse smaller en langer maak. Dit verteenwoordig 'n afname in die koërsiewe

krag en 'n toename in remanensie soos reeds bespreek is. Die resultate toon dus duidelik dat daar streng beperkings is op die sintertoestande indien magnete met voorafbepaalde eienskappe vervaardig wil word.

4.4 Krimping

Tydens die sinterproses vind massatransport plaas en verdigting van die magneet vind plaas vanaf 'n aanvanklike 50% dig voorwerp tot 'n digtheid van $\sim 93\%$ van teoretiese digtheid, namate die porositeit verminder. Hierdie verdigting word met 'n inkrimping van die lineêre afmetings geassosieer. Figuur 5 dui aan dat oor die temperatuurgebied 1 000–1 200 °C die inkrimping van die anisotropiese magnete, soos gemeet loodreg op die oriënteringsrigting, toeneem vanaf 4% tot 14% relatief tot die onge-sinterde afmetings. Die inkrimping parallel aan die oriënteringsrigting is heelwat laer met 'n maksimumwaarde van $\sim 5\%$. Hierdie relatiewe groot verandering in afmetings veroorsaak dat die finale afmetings van die produk tot met soveel as $\pm 3\%$ van die beoogde kan afwyk.

'n Verdere gevolg van die relatiewe groot inkrimping is dat die magneet geneig is om te kraak tydens die sinterproses as nie afdoende voorsorg getref word nie – veral as groot voorwerpe gesinter word.

Soos uit Fig. 4, wat 'n aanduiding gee van die volume-inkrimping van die keramiek, gesien kan word, sou dit wenslik wees om te sinter by 'n temperatuur van, sê, 1 230 °C waar 'n perkwaarde van die digtheid benaderd word. By laer temperature is die proses meer sensitief vir temperatuurgradiënte en is die vereistes vir temperatuurbeheer baie strenger. Die beperkings soos wat egter voorgeskryf word deur die temperatuurafhanklikheid van die koërsiewe krag, stel die maksimum as ongeveer as 1 200 °C.

FIGUUR 1: Effek van sintertemperatuur op die koërsiewe krag.

FIGUUR 2: Effek van sintertemperatuur op remanensie.

FIGUUR 4: Effek van sintertemperatuur op digtheid.

FIGUUR 3: Effek van sintertemperatuur op die vorm van die histereselusse. Tipiese minimum waardes word aangedui.

FIGUUR 5: Effek van sintertemperatuur op die lineêre inkrimping loodreg op die oriëntasierigting.

5. GEVOLGTREKKING

Permanente magnete van barium heksaferriet met geskikte magnetiese eienskappe vir sekere industriële toepassings is van plaaslike ysteroksied vervaardig. Die besondere voorbeeld van ysteroksied wat in hierdie studie gebruik is, het egter nie aan die verlangde suiwerheidsvereistes voldoen nie. Dit plaas sekere beperkings op die prosesveranderlikes.

Die maksimum sintertemperatuur is $\sim 1\ 200\ ^\circ\text{C}$ as gevolg van beperkings van 'n verlaging in die koërsiewe krag. 'n Optimum temperatuur wat digtheid en remanensie aanbetref is egter $\sim 1\ 230\ ^\circ\text{C}$. Indien by hierdie temperatuur gesinter word, moet ysteroksied van 'n suiwerder graad gebruik word en die korrelgroeï beperk word om 'n aanvaarbare waarde van die koërsiewe krag en maksimum energieproduk daar te stel.

Deur die gebruik van geskikte uitgangstowwe is dit moontlik om magnete by $\sim 1\ 240\ ^\circ\text{C}$ te sinter tot 'n digtheid van 97% van teoretiese digtheid en wat tipiese waardes van hoër as $200\ \text{kA/m}$ en $40\ \text{J/m}^3$ respektiewelik vir die koërsiewe krag en maksimum energieproduk sal hê.

ERKENNING

Die projek is moontlik gemaak deur finansiële steun van Telephone Manufacturers of SA (Pty) Ltd.

VERWYSINGS

1. Snoek, J.L. (1947). *New Developments in Ferromagnetic Materials* (Elsevier, New York).
2. Kato, Y. & Takei, T. (1933). Permanent oxide magnet and its characteristics, *Denki Gakkai Zasshi*, **53**, 408-12.
3. Aruijra, A.L., Rathenau, G.W. & Weber G.H. (1954), Ferro-ure II and III. Anisotropic permanent magnet materials, *Philips Tech. Rev.*, **16**, 141-80.
4. Fisher, E. (1978). Forming of permanent magnet ferrite materials, *Power Met. Int.*, **10**, 30.
5. Johnson, D.L. (1978). Fundamentals of the sintering of ceramics, *Mat. Res.* **11**, Palmour, H., Davies, R.F. & Hare, T.M., eds. (Plenum).
6. Larola, K.K. & Sinha, A.P.B. (1964). "Effect of impurities on magnetic properties of hard ferrites", *Indian. J. Pure Appl. Phys.*, **2**, 48.
7. Gadalla, A.M., Schütz, H.E. & Hennicke, H.W. (1976). Effect of some additions on the sinterability and magnetic properties of barium hexaferrite, *J. Mag. and Magnetic Mat.*, **1**, 241.
8. Esper, F.J. (1977). Microstructure of hard ferrites and their magnetic properties, *J. de Phys.*, **C1**, C1-69.
9. Stuijts, A.L. (1967). In *Microstructural Considerations in Ferromagnetic ceramics*, Ceramic Microstructures - Their Analysis, Significance and Production, Fulraath, R.M. & Pask, J.A. eds. (John Wiley, N.Y.).

P.W. RICHTER en S. HART

Afdeling Keramiek, Glas en Fasestudies,
Nasionale Instituut vir Materiaalnavorsing,
Wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad,
Posbus 395, Pretoria 0001