

COMPORTAMENTUL PULBERILOR NANOMETRICE DE FERITĂ DE BARIU LA SINTERIZAREA CU MICROUNDĂ ÎN VEDEREA OBTINERII UNOR MAGNEȚI NANOSTRUCTURAȚI

MICROWAVE SINTERING BEHAVIOR OF BARIUM FERRITE NANOPOWDERS IN ORDER TO OBTAIN NANOSTRUCTURED MAGNETS

Victor NICOARĂ, Claudiu NICOLICESCU*, Constantin PREDESCU***

**UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA, FACULTATEA DE MECANICĂ, DEPARTAMENTUL DE INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL SISTEMELOR TEHNOLOGICE, DROBETA TURNU SEVERIN, ROMANIA*

**UNIVERSITY OF CRAIOVA, FACULTY OF MECHANICS, DEPARTMENT OF ENGINEERING AND MANAGEMENT OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEMS, DROBETA TURNU SEVERIN, ROMANIA*

***ADREM INVEST/ **ADREM INVEST*

Rezumat: În lucrare sunt prezentate rezultatele experimentale cu privire la parametri încălzirii cu microunde în vederea elaborării magneților ceramici nanostructurați realizați din pulberi nanometrice de hexaferită bariu. S-au studiat proprietățile structurale și magnetice ale magneților obținuți din pulberi nanometrice de hexaferită de bariu, respectiv optimizarea parametrilor de sinterizare cu microunde, pentru a reduce temperatura și timpul de sinterizare. În lucrare au fost estimate incertitudinile de măsurare ale parametrilor care caracterizează procesul de sinterizare. Rezultatele au conturat faptul că încălzirea cu microunde asigură o încălzire mai rapidă prin reducerea temperaturii și a timpului de menținere la sinterizare, reducând astfel costurile de energie comparativ cu încălzirea clasică.

Cuvinte cheie: pulberi nanometrice, sinterizare cu microunde (MWS), magneți nanostructurați

Abstract: The aim of the paper is to present the experimental research regarding the elaboration parameters of nanostructured ceramic magnets made from barium hexaferrite nanometric powder using microwave heating. It was studied the structural and magnetic properties of nanostructured barium ferrite magnets and the optimization of microwave heating sintering parameters to reduce the sintering temperature and time. The paper was estimated measurement uncertainties of the parameters that characterize the sintering process. Results shows that microwave heating ensure a faster heating reducing the energy costs and decreasing the temperature comparative with conventional process.

Keywords: nanopowders, microwave sintering (MWS), nanostructured magnets

1. INTRODUCERE

Încălzirea cu microunde diferă de procedeele obișnuite de încălzire prin faptul că microundele determină o încălzire volumetrică deoarece energia electromagnetică se transformă în energie termică. Procesul de încălzire este instantaneu, rapid și eficient, întrucât căldura se transmite în toată masa piesei prin transferul pe cale electromagnetică a energiei, acesta fiind în strânsă legătură cu caracteristicile interne polare, ale ionilor sau electronilor probei [1, 2]. Astfel, față de încălzirea clasică ce se realizează prin conducție și convecție încălzirea cu microunde oferă o serie de avantaje [3, 5]:

1. INTRODUCTION

Microwave heating differs from classical heating processes by the meaning that microwave determine a volumetric heating because electromagnetic energy is converted into heat. The heat process is instantaneous, fast and efficient because the heat is transmitted throughout the mass of part by transfer of the energy through electromagnetic way, which is closely related to polar internal characteristics of ions or sample electrons [1, 2]. There are some advantages between microwave heating and classical heating which consist in conduction and convection processes, as following [3-5]:

- reducerea timpului de încălzire și a costului cu energia;

- crește posibilitatea de a controla temperatura datorită diminuării inerției termice a incintei;

- reduce impactul asupra mediului înconjurător;

- poate îmbunătăți calitatea produselor prin avantajele specifice procedurii ca îmbunătățirea sintezei chimice și temperaturi de reacție scăzute.

Pentru a fi încălzite cu microunde materialele trebuie să absoarbă microundele, cu alte cuvinte materialele trebuie să fie susceptibile la microunde (să prezinte un unghi de pierdere cât mai mare) [6,7].

2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Pentru experimentări s-a folosit hexaferita de bariu de proveniență industrială, achiziționată de la S.C. ROPEF.S.A. Urziceni.

Materiile prime utilizate curent în fabricarea hexaferitei de bariu prin procedeul calcinării (pirosinteză) sunt carbonatul de bariu și oxidul de fier (hematita) [8]. Caracteristicile impuse pentru hematită sunt: puritate - minim 97,5%, maxim 99%, forma granulelor – aciculară; dimensiunea granulelor 0,2-1,5 μm ; suprafața specifică 5-6 m^2/g ; densitatea tasată 0,80-1,05 g/cm^3 . Pulberile nanometrice de hexaferită de bariu au fost obținute prin măcinare mecanică timp de 40 de ore. Pentru a obține piesele în stare crudă, pulberile nanometrice au fost compactizate prin presare umedă anizotropă, la o presiune de 2,5 MPa. Probele astfel obținute au fost sinterizate cu încălzire cu microunde folosindu-se următorii parametri:

▪ temperatura de încălzire $t_{\text{inc}} = 950^0 \text{ C}$, timpul de menținere la temperatura de sinterizare:

$\tau_1 = 10$ minute, $\tau_2 = 20$ minute, $\tau_3 = 30$ minute;

▪ temperatura de încălzire $t_{\text{inc}} = 1050^0 \text{ C}$, timpul de menținere la temperatura de sinterizare:

$\tau_1 = 10$ minute, $\tau_2 = 20$ minute, $\tau_3 = 30$ minute;

▪ temperatura de încălzire $t_{\text{inc}} = 1200^0 \text{ C}$, timpul de menținere la temperatura de sinterizare:

$\tau_1 = 10$ minute, $\tau_2 = 20$ minute, $\tau_3 = 30$ minute;

Pentru determinarea incertitudinii de măsurare a temperaturii au fost luate în considerare date din specificația tehnică a termometrului în infraroșu tip oprtris CTlaser G5, cu care a fost măsurată temperatura probelor,

- reducing the heating time and the energy costs;

- increasing the possibility to control the temperature because of decreasing of thermal inertia of heating chamber;

- reducing the impact over the environment;

- obtaining products with higher quality and process-specific advantages as improving the chemical synthesis and low reaction temperatures.

To be processed by microwave heating the materials must absorbing microwaves, in other words material must be susceptible to microwave (to provide an higher loses angle) [6, 7].

2. EXPERIMENTAL WORK

For the research barium hexaferrite from industrial origin purchased from S.C. ROPEF.S.A. Urziceni was used.

The raw materials currently used in the manufacture of barium hexaferrite by the calcination process (pyrosynthesis) are the barium carbonate and the iron oxide (hematite) [8]. The main characteristics for hematite are: purity between 97.5% and 99%, acicular particles shape, particle size in the range of 0.2-1.5 μm , specific surface 5-6 m^2/g , tap density 0,80-1,05 g/cm^3 . Barium hexaferrite nanopowders were obtained by mechanical milling for 40 hours. To obtain the green parts, the nanopowders were anisotropic wet compacted, the pressure being equal to 2.5 MPa. The green compacts were subjected to microwave heating with the following parameters:

▪ Heating temperature $t_{\text{heat}} = 950^0 \text{ C}$, dwell time:

$\tau_1 = 10$ minutes, $\tau_2 = 20$ minutes, $\tau_3 = 30$ minutes;

▪ Heating temperature $t_{\text{heat}} = 1050^0 \text{ C}$, dwell time:

$\tau_1 = 10$ minutes, $\tau_2 = 20$ minutes, $\tau_3 = 30$ minutes;

▪ Heating temperature $t_{\text{heat}} = 1200^0 \text{ C}$, dwell time

$\tau_1 = 10$ minutes, $\tau_2 = 20$ minutes, $\tau_3 = 30$ minutes;

To determine the temperature measurement uncertainty were considered the technical specification data for the infrared thermometer type oprtris CTlaser G5, with which was measured the sample temperature, on

referitoare la precizia de măsurare și la repetabilitatea măsurării. Luând în considerare aceste contribuții la incertitudine și faptul că au o distribuție de probabilitate dreptunghiulară s-a determinat incertitudinea standard compusă ca fiind 0,65%. Astfel, incertitudinea extinsă de măsurare este 1,3%.

Incetitudinea de măsurare raportată este o incertitudine extinsă, obținută prin multiplicarea incertitudinii standard compusă cu un factor de extindere $k = 2$, asigurându-se astfel rezultatului măsurării un nivel de încredere de aproximativ 95 % [9].

În figura 1 este prezentată ciclograma tratamentului de sinterizare cu microunde la temperatura de 1050°C și timp de menținere 20 de minute.

measurement accuracy and the measurement repeatability. Tacking into account these contributions to uncertainty and the fact that they have a rectangular probability distribution combined standard uncertainty was determined as 0,65%. Thus, the expanded uncertainty of measurement is 1,3%.

The uncertainty stated is an expanded uncertainty obtained by multiplying the combined standard uncertainty by the coverage factor $k = 2$, thus ensuring the measurement result a confidence level of approximately 95% [9].

In figure 1 is presented the diagram of microwave sintering at 1050°C and a dwell time at sintering temperature equal to 20 minutes.

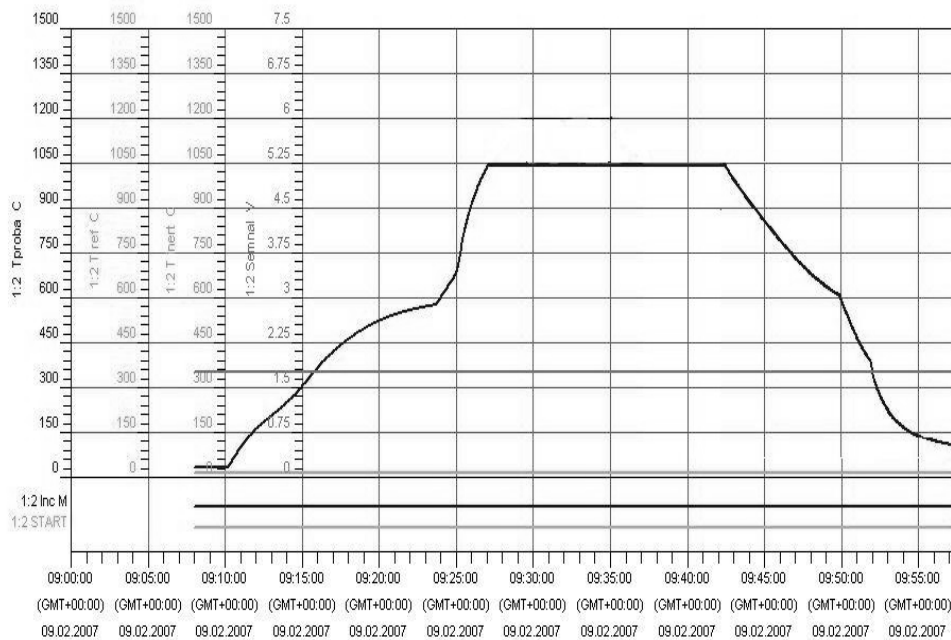


Fig. 1 Ciclograma tratamentului de sinterizare cu încălzire cu microunde, $t_{inc} = 1050^{\circ}\text{C}$, timp de menținere $\tau_2 = 20$ minute

Fig. 1 Microwave heating diagram, $t_{heat} = 1050^{\circ}\text{C}$, dwell time, $\tau_2 = 20$ minutes

Pentru a studia influența parametrilor de sinterizare cu microunde, probele obținute au fost analizate prin microscopie electronică SEM (Scanning Electron Microscope).

Microscopul electronic este un tip de microscop care folosește electroni pentru a ilumina proba și a crea o imagine mărită a acesteia. Electronii interacționează cu atomii care alcătuiesc eșantionul producând semnale care conțin informații despre topografia de suprafață probei, compoziția, precum și alte proprietăți, cum ar fi conductivitatea electrică.

Într-un SEM clasic un fascicul de electroni este emis de un tun electronic echipat cu un catod cu filament de wolfram.

To study the influence of the microwave heating parameters the samples were analyzed by SEM microscopy (Scanning Electron Microscope).

A Scanning Electron Microscope (SEM) is a type of electron microscope that images a sample by scanning it with a beam of electrons in a raster scan pattern. The electrons interact with the atoms that make up the sample producing signals that contain information about the sample's surface topography, composition, and other properties such as electrical conductivity.

In a typical SEM, an electron beam is thermionically emitted from an electron gun

Fasciculul de electroni care are de obicei o energie variind de la 0,2 keV la 40 keV este concentrat prin una sau două lentile condensator printr-un orificiu cu un diametru de aproximativ 0,4 nm la 5 nm.

Mărirea într-un SEM poate fi controlată variind într-un interval de până la 6 ordine de mărime, respectiv 10-500.000 ordine de mărime.

Rezultatele sunt prezentate în figurile 2-4.

fitted with a tungsten filament cathode.

The electron beam, which typically has an energy ranging from 0.2 keV to 40 keV, is focused by one or two condenser lenses to a spot about 0.4 nm to 5 nm in diameter.

Magnification in a SEM can be controlled over a range of up to 6 orders of magnitude from about 10 to 500,000 times.

The results are presented in figures 2-4.

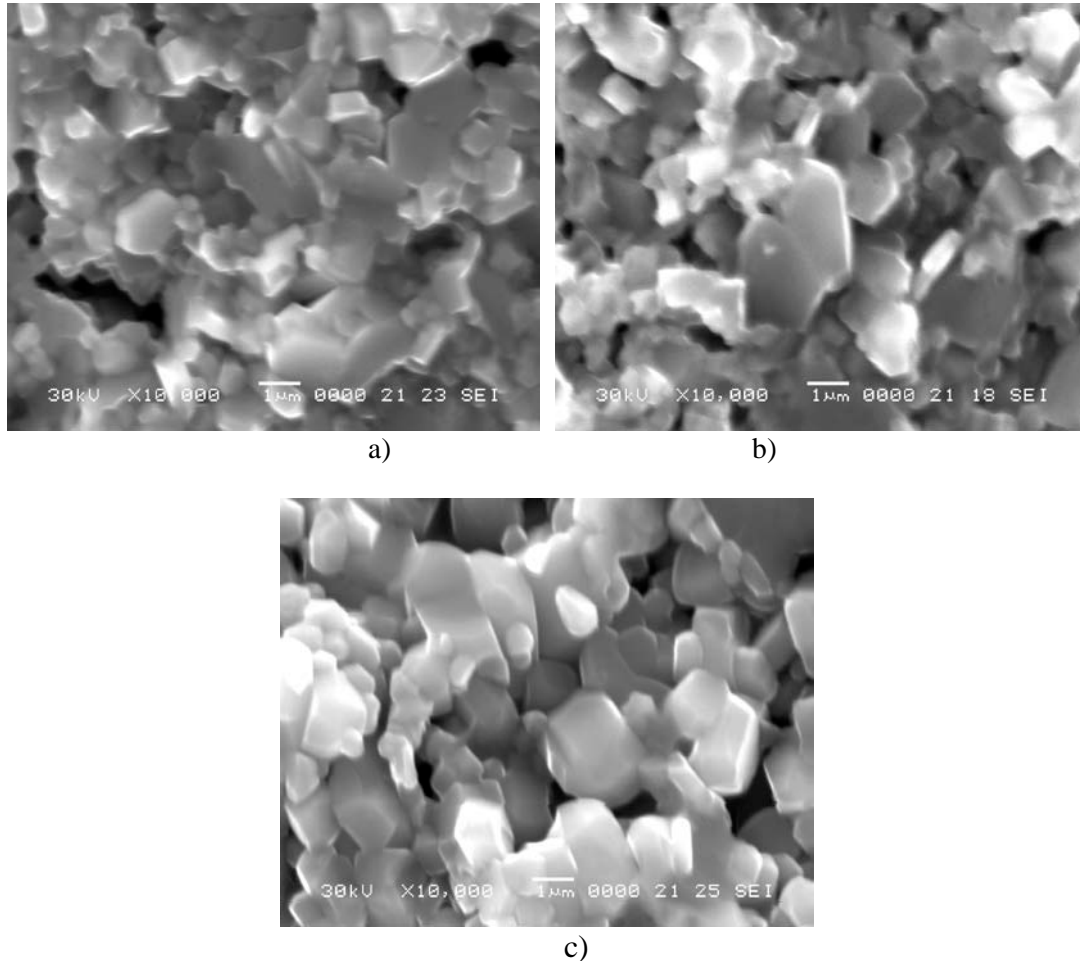
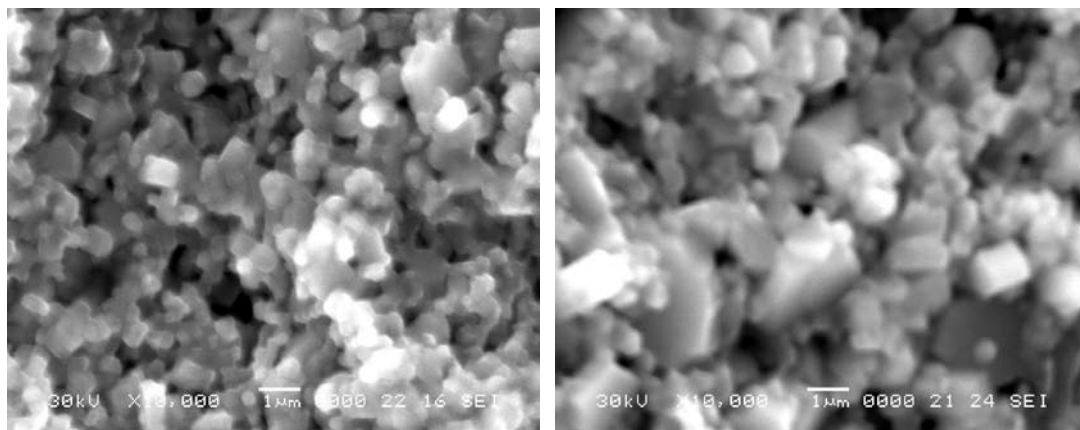


Fig. 2 Imagini SEM ale probelor sinterizate cu încălzire cu microunde la temperatura $t = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ cu timp de menținere: a) 10 min. b) 20 min. c) 30 min.

Fig. 2 SEM images of the samples microwave sintered at $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ with dwell time: a) 10 min. b) 20 min. c) 30 min.



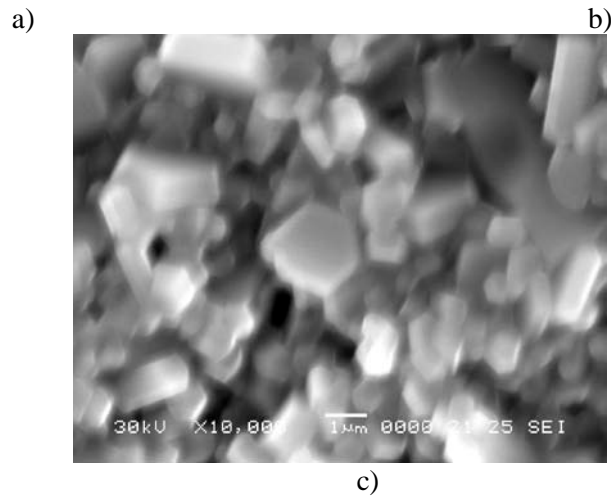


Fig. 3 Imagini SEM ale probelor sinterizate cu încălzire cu microunde la temperatura $t = 1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ cu timp de menținere: a) 10 min. b) 20 min. c) 30 min

Fig. 3 SEM images of the samples microwave sintered at $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ with dwell time: a) 10 min. b) 20 min. c) 30 min.

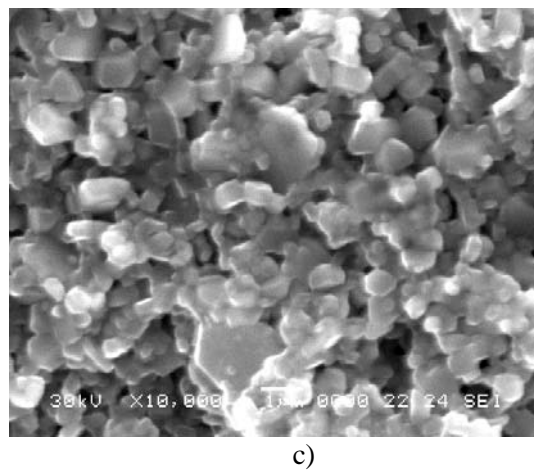
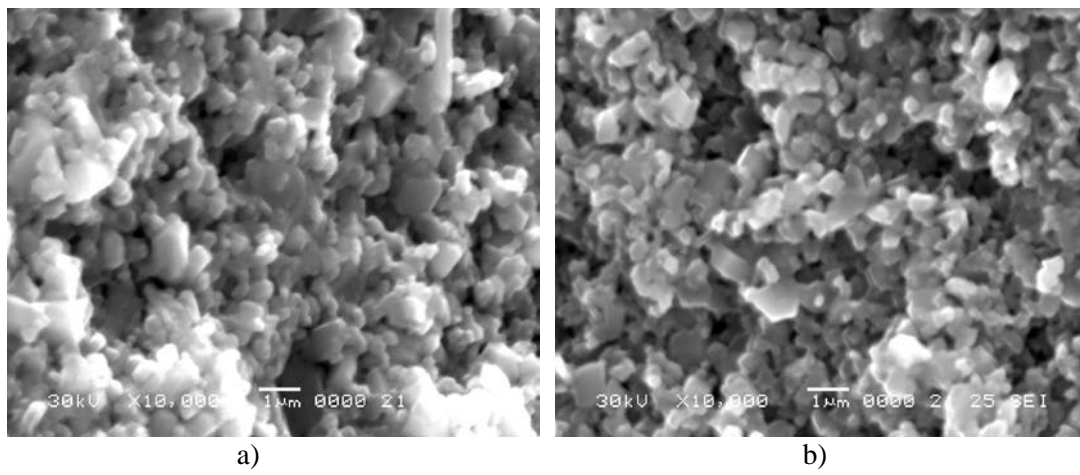


Fig. 4 Imagini SEM ale probelor sinterizate cu încălzire cu microunde la temperatura $t = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ cu timp de menținere: a) 10 min. b) 20 min. c) 30 min.

Fig. 4 SEM images of the samples microwave sintered at $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ with dwell time: a) 10 min. b) 20 min. c) 30 min.

Imaginile SEM relevă următoarele aspecte:

- Parametrul cel mai important la sinterizarea cu încălzire cu microunde îl reprezintă timpul de menținere la temperatura de sinterizare;

- După 10 minute de menținere la temperatura de 950° C (fig. 4 a) se observă că punțile de sinterizare sunt într-un număr foarte mic, ceea ce înseamnă că sinterizarea este în faza incipientă;

- După 10 minute de menținere la temperatura de 1200, respectiv 1050° C (fig. 2 a și fig. 3 a) numărul punților de sinterizare tind să se aglomereze;

- După 20 de minute de menținere, numărul punților de sinterizare crește în cazul probelor sinterizate la 950° C (fig. 4 b) iar probele obținute la 1200° C respectiv 1050° C sunt complet sinterizate iar grăunții cristalini sunt nanostructurați (fig. 2 b și 3 b);

- După 30 de minute de menținere la 950° C (fig. 4 c) probele sunt complet sinterizate și nanostructurate, iar cele obținute la 1200° C respectiv 1050° C prezintă grăunți care tind să crească spre nivelul micronic (fig. 2 c și 3 c).

Caracteristicile magnetice ale probelor obținute după sinterizarea cu microunde au fost determinate cu ajutorul magnetometrului cu probă vibrantă (VSM LAKESHORE 7300), iar rezultatele sunt prezentate în Tabelul 1.

The SEM images show the following aspects:

- The main parameter at the microwave heating is the dwell time at sintering temperature;

- After 10 minutes of dwell time at 950° C (fig. 4 a) it may be observed that there is a small number of sintering decks which means that the sintering process is in the beginning stage;

- After 10 minutes of dwell time at 1200° C respectively 1050° C the tendency of the sintering decks is to agglomerate (fig. 2 a and fig. 3 a).

- After 20 minutes of dwell time, the number of sintering decks grow at 950° C (fig. 4 b) and at 1200° C, respectively 1050° C the samples are completely sintered and the crystalline grains are nanostructured (fig. 2 b and 3 b);

- After 30 minutes of dwell time at 950° C (fig. 4 c) the sample is sintered and nanostructured and for the samples obtained at 1200° C respectively 1050° C it is observed that the crystalline grains tend to grow up to micrometric sizes (fig. 2 c and 3 c).

Magnetic characteristics of the samples after microwave sintering were determined by vibrating sample magnetometer (VSM LAKESHORE 7300). and the results are presented in Table 1.

Tabel 1. Caracteristicile magnetice ale probelor sinterizate
Table 1. Magnetic characteristics of the sintered samples

Temperatura de încălzire <i>Heating Temperature</i> [°C]	Timp menținere <i>Dwell time</i> [min]	B _r [T]	H _c [kA/m]	K [%]	(BH) _{max} [kJ]
950	10	0,15	165	70,4	12,57
	20	0,24	190	69,5	21,22
	30	0,36	210	71	25,46
1050	10	0,21	170	70,5	15,51
	20	0,32	195	72,24	24,75
	30	0,398	214	71,9	31,92
1200	10	0,34	175	72,3	22,68
	20	0,38	180	70,9	27,05
	30	0,42	225	72,4	32,78
Magnet obținut prin sinterizare clasică <i>Magnet obtained by classical sintering</i> 1250° C, 3 h		0,46	178,99	74,2	33,02

Pentru determinarea incertitudinii de măsurare a inducției de reanență B_r , a câmpului coercitiv H_c și a produsului energetic $(BH)_{max}$ s-a efectuat câte un număr de 15 determinări distincte, astfel că s-a calculat incertitudinea standard de tip A pentru fiecare mărime măsurată [9].

Deasemenea, s-a ținut cont de incertitudinea aparatului de măsurat de 0,1%.

Incertitudinile compuse de măsurare ale mărimilor considerate, au fost:

- 0,24% pentru inducția de reanență B_r ;
- 0,31 % pentru câmpul coercitiv H_c ;
- 0,52% pentru produsul energetic $(BH)_{max}$.

Incertitudinile extinse de măsurare ale mărimilor considerate au fost:

- 0,48% pentru inducția de reanență B_r ;
- 0,62% pentru câmpul coercitiv H_c ;
- 1,04% pentru produsul energetic $(BH)_{max}$.

Incertitudinile de măsurare raportate sunt incertitudini extinse, obținute prin multiplicarea incertitudinii standard compusă cu un factor de extindere $k = 2$, asigurându-se astfel rezultatului măsurării un nivel de încredere de aproximativ 95 %.

3. CONCLUZII

Analizând imaginile SEM și comportamentul magnetic se pot contura următoarele concluzii:

- în cazul pulberilor nanometrice gradul de anizotropie K se menține în jurul lui 70 % pentru conținut de solid $C_s = 80$ %;
- evoluția valorilor parametrilor magnetici confirmă faptul că inducția reanentă B_r crește odată cu creșterea grăunților cristalini, în schimb corelarea cu evoluția valorii câmpului coercitiv mai trebuie analizată;
- temperatura și timpul de sinterizare prin MWS influențează așa cum era de așteptat proprietățile magnetice și din acest punct de vedere se pot alege următoarele variante:
 - încălzirea la $t = 1200$ °C cu menținerea timp de 20 minute asigură obținerea magneților nanostructurați cu energii $(BH)_{max} \leq 27$ kJ;
 - încălzirea la $t = 1050$ °C și menținerea timp de 20 minute asigură obținerea magneților nanostructurați cu energii $(BH)_{max} \leq 25$ kJ;
 - încălzirea la $t = 950$ °C și menținerea timp de 30 minute asigură obținerea magneților nanostructurați cu energii $(BH)_{max} \leq 25$ kJ;
- adoptând procedeul de sinterizare cu microunde, în cazul magneților ceramici permanenți, temperatura de sinterizare poate fi redusă cu 250°C, iar timpul cu peste 80%.

BIBLIOGRAFIE

To determine the measurement uncertainty of the remanence induction B_r , of the coercive field H_c and of the energy product $(BH)_{max}$ a number of 15 different measurements were performed, so that we have calculated the standard uncertainty of type A for each measured size [9].

It also took into account the meter uncertainty of 0.1%.

Composite measurement uncertainties of the considered quantities were:

- 0.24% for induction of remanence B_r ;
- 0.31% for the coercive field H_c ;
- 0.52% energy product $(BH)_{max}$.

The expanded uncertainties of measurement of the quantities considered were:

- 0.48% for induction of remanence B_r ;
- 0.62% for the coercive field H_c ;
- 1.04% energy product $(BH)_{max}$.

The reported measurement uncertainties are expanded uncertainties, obtained by multiplying the combined standard uncertainty by a coverage factor $k = 2$, thus ensuring the measurement result a confidence level of approximately 95%.

3. CONCLUSIONS

Analyzing the SEM images and the magnetic behavior there are some important aspects:

- In the case of nanometric powders degree of anisotropy K is closer than 70% for solid content $C_s=80\%$;
- B_r increase with the increasing of the crystalline grains but the correlation with coercitive field must be analyzed more carefully;
- Microwave sintering parameters (temperature and dwell time) influence the magnetic properties as:
 - Temperature $t=1200$ °C and dwell time=20 minutes assure obtaining of nanostructured magnets with energies $(BH)_{max} \leq 27$ KJ;
 - Temperature $t = 1050$ °C and dwell time=20 minutes assure obtaining of nanostructured magnets with energies $(BH)_{max} \leq 25$ KJ;
 - Temperature $t = 950$ °C and dwell time=30 minutes assure obtaining of nanostructured magnets with energies $(BH)_{max} \leq 25$ KJ;
- In the case of ceramic permanent magnets, by using microwave sintering process the sintering temperature can be decrease with 250°C and the dwell time over 80%.

REFERENCES

- [1] A.S. Dehlinger, M. LeBerre, V. Larrey, D. Givord, E. Benevent, D. Vincent, J.P. Chatelon - Développement de circulateurs à base de couches minces d'oxyde magnétique ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) pour applications HF, *Materiaux*, 13-17 noiembrie 2006, Dijon – www.materiaux2006.net, pg. 212
- [2] D. Grossin, S. Marinel, J.G. Noudem, Sintering of materials with different physical properties by rapid indirect microwave single-mode cavity process, *Proceedings of the four International Conference on Science, Technology and Applications of Sintering*, august 29, september 01 2005, Grenoble, pg. 143-146
- [3] J. Qiu, H. Shen, M. Gu, Microwave absorption of nanosized barium ferrite particles prepared using high-energy ball milling, *Powder Technology*, vol 154, Issue 2-3, 6 July 2005, pp. 116-119;
- [4] L. Zhang, L.J. Deng, P.H. Zhou, "Synthesis and microwave magnetic properties of a-Fe/ferrite composites with sandwich structure", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 312 (2007) 224–227
- [5] S. Capraro, J.P. Chatelon, M. Le Berre, H. Joisten, T. Rouiller, B. Bayard, D. Barbier, J.J. Rousseau, "Barium ferrite thick films for microwave applications", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 272–276 (2004);
- [6] M-type barium hexagonal ferrite-based wide band microwave absorber", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 271 (2004) 207–214;
- [7] R. Shengping, X. baokun, S. Hui, W. Fengqing, X. Siqing, Z. Muyu, Microwave absorptive behavior of ZnCo-substituted W-type Ba hexaferrite nanocrystalline composite material, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 212 (2000), pp. 175-177;
- [8] Yen-Pei Fua, Cheng-Hsiung Lin, Ko-Ying Pan, "Barium ferrite powders prepared by microwave-induced combustion process and some of their properties", *Journal of Alloys and Compounds* 364 (2004) 221–224
- [9] SR Ghid ISO/CEI 98-3:2010 – Incertitudine de măsurare; Partea 3: Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare

Revizia științifică:

Alexandru DUȚĂ, doctor inginer, cercetător științific gradul II, Șef al Laboratorului Lungimi al INM, e-mail: alexandru.duta@inm.ro

Despre autori:

- [1] A.S. Dehlinger, M. LeBerre, V. Larrey, D. Givord, E. Benevent, D. Vincent, J.P. Chatelon - Développement de circulateurs à base de couches minces d'oxyde magnétique ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) pour applications HF, *Materiaux*, 13-17 noiembrie 2006, Dijon – www.materiaux2006.net, pg. 212
- [2] D. Grossin, S. Marinel, J.G. Noudem, Sintering of materials with different physical properties by rapid indirect microwave single-mode cavity process, *Proceedings of the four International Conference on Science, Technology and Applications of Sintering*, august 29, september 01 2005, Grenoble, pg. 143-146
- [3] J. Qiu, H. Shen, M. Gu, Microwave absorption of nanosized barium ferrite particles prepared using high-energy ball milling, *Powder Technology*, vol 154, Issue 2-3, 6 July 2005, pp. 116-119;
- [4] L. Zhang, L.J. Deng, P.H. Zhou, "Synthesis and microwave magnetic properties of a-Fe/ferrite composites with sandwich structure", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 312 (2007) 224–227
- [5] S. Capraro, J.P. Chatelon, M. Le Berre, H. Joisten, T. Rouiller, B. Bayard, D. Barbier, J.J. Rousseau, "Barium ferrite thick films for microwave applications", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 272–276 (2004);
- [6] M-type barium hexagonal ferrite-based wide band microwave absorber", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 271 (2004) 207–214;
- [7] R. Shengping, X. baokun, S. Hui, W. Fengqing, X. Siqing, Z. Muyu, Microwave absorptive behavior of ZnCo-substituted W-type Ba hexaferrite nanocrystalline composite material, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 212 (2000), pp. 175-177;
- [8] Yen-Pei Fua, Cheng-Hsiung Lin, Ko-Ying Pan, "Barium ferrite powders prepared by microwave-induced combustion process and some of their properties", *Journal of Alloys and Compounds* 364 (2004) 221–224
- [9] SR Ghid ISO/CEI 98-3:2010 – Incertitudine de măsurare; Partea 3: Ghid pentru exprimarea incertitudinii de măsurare

Scientific revue:

Alexandru DUȚĂ, Ph.D engineer, scientific researcher 2nd degree, Head of Length Laboratory, e-mail: alexandru.duta@inm.ro

About the authors:

Victor Nicoară, doctor inginer, Șef de lucrări, Universitatea din Craiova, Facultatea de Mecanică, Departamentul de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, e-mail victorczh@gmail.com

Claudiu NICOLICESCU, doctor inginer, asistent, Universitatea din Craiova, Facultatea de Mecanică, Departamentul de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, e-mail nicolicescu_claudiu@yahoo.com

Constantin PREDESCU, doctorand inginer, S.C.ADREM INVEST, e-mail constantinpredescu@yahoo.com

Victor Nicoară, Ph.D engineer, lecturer, University of Craiova, Faculty of Mechanics, Department of Engineering and Management of the Technological Systems, e-mail victorczh@gmail.com

Claudiu NICOLICESCU, Ph.D engineer, assistant, University of Craiova, Faculty of Mechanics, Department of Engineering and Management of the Technological Systems, e-mail nicolicescu_claudiu@yahoo.com

Constantin PREDESCU, Ph.D student engineer, S.C.ADREM INVEST, e-mail constantinpredescu@yahoo.com