

Mangán-cink ferritek mágneses tulajdonságainak javítása adalékanyagok segítségével

FODOR LÁSZLÓ BME, HAGY

HIDAS BÉLA BME

VÉCSEY BÉLA HAGY



ÖSSZEFOGLALÁS

M2 minőségű fazékmag anyag veszteségeinek csökkentésére irányuló kísérletek eredményeit foglalja össze a cikk. Megállapítja, hogy Ta_2O_5 megfelelő adalékolásával a veszteségek eredményesen csökkenthetők, míg kalcium és szilícium együttes adalékolása kedvezőtlenebb, mert a veszteségek nőnek és a stabilitás romlik a Ta adalékolásához képest. (Δ)

BEVEZETÉS

A híradástechnika területén számos esetben találkozunk olyan problémákkal, amelyek megoldása fémes mágnesekkel nem lehetséges. Ismert, hogy a ferritek rendezett mágneses szerkezetű dielektrikumok, és ez többnyire meghatározza alkalmazási területüket. Főként nagy fajlagos villamos ellenállásuk, ill. ritkábban egyéb speciális mágneses effektusaik miatt használják fel ezeket az anyagokat.

Általánosan elterjedt és sok szakcikkekben megfogalmazott vélemény szerint alkalmazásukat megkönnyíti, hogy az összetétel változtatásával, kevert és helyettesítési ferritekkel a mágneses és egyéb tulajdonságok viszonylag széles tartományban aránylag könnyen változtathatók, ill. az igényelt tulajdonságok beállíthatók. A klasszikus ferritkutatások eredményeit többnyire már iskolapéldaként emlegetik arra vonatkozóan, hogy miképp lehet előre megtervezett tulajdonságú anyagokat létrehozni. Bemutatják, hogy ismert mágneses momentumú fémionokat az oxigénionok által létrehozott térrács megfelelő rácshézagába elhelyezve, hogyan alakul ki az eredő mágneszettség, a rendszerre jellemző egyes alrácscok mágneses momentumai miképpen összegeződnek. A modell egyszerű, könnyen átlátható, és emiatt a ferritekkel közelebbről nem foglalkozókban azt az illúziót kelti, hogy a tématerület kutatási problémái jól kézben tarthatók, nagyobb részben megoldottak.

A MANGÁN-CINK FERRITEK

A lágymágneses ferritek között az egyik legelterjedtebb a mangán-cink ferrit család. Használatukat kedvező mágneses tulajdonságaik mellett olcsó nyersanyagigényük indokolja. Különösen előnyös nagy mágneses permeabilitásuk, kis hiszterézis-veszteségük gyenge terkekben, valamint a permeabilitás kis mértékű hőfokfüggése. Hátrányukként említhető a fer-

FODOR LÁSZLÓ

Vácon született 1957-ben. 1981-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. Diplomamunkáját a mangán-cink ferritek témakörében írta.

A váci Híradástechnikai Anyagok Gyára dolgozója, jelenleg a Budapesti Műszaki Egyetemen folytatja tanulmányait nappali szakmérnök hallgatóként. Kutatási témája: a ferritek mágneses tulajdonságainak javítását szolgáltató adalékanyagok.

ritek közt viszonylag kis fajlagos ellenállásuk. Általában kisfrekvenciás körökben kerülnek alkalmazásra.

Szerkezetüket spinell és inverz spinell rácsok keveréke jellemzi. A komponensek tehát beépülnek a kristályrácsba. A mangán ionnak nagy a mágneses momentumuma, így a rendszerre jellemző összindukció értékét növeli. A mágneses momentum nélküli cink ion anizotrópia-csökkentő hatását, ami a makroszkópikus mágneses tulajdonságok közül a különféle permeabilitások értékének a növekedésében jelentkezik [5].

FEJLESZTÉSI IRÁNYZATOK

Nagy kezdő-permeabilitású, kis veszteségi tényezőjű, valamint jó hőmérsékleti és időbeli stabilitású anyag előállítása főként azért rejt magában számos nehézséget, mert ezeknek a követelményeknek a kielégítése sokszor csak egymásnak ellentmondó változtatások révén volna lehetséges. Fejlesztésük során a mangán-cink ferriteket elsősorban az úgynevezett „hagyományos” módszerekkel igyekeztek tökéletesíteni. Ismeretessé vált, hogy minél tisztábbak a gyártásukhoz felhasznált alapanyagok (vas-oxid, mangán-karbonát és cink-oxid), annál jobbak lesznek a késztermékek mágneses jellemzői (azonos technológia alkalmazása esetén). Így a kutatások egyik fontos területe lett a különböző szennyező anyagok meghatározása, és az alapanyagokból való kiküszöbölésük módja és lehetőségei [6].

A fejlesztés egy másik irányzata a technológia állandó és folyamatos tökéletesítése, finomítása volt, ahol is különösen az optimális szinterelési viszonyok meghatározása és a lehető legjobb beállítása (az előszinterelés és a végszinterelés hőmérséklete, tartama, az oxigén parciális nyomásának optimalizálása, védőatmoszféra alkalmazása stb.) révén lehetett a ferritek anyagi jellemzőit javítani [4]. Az elért eredmények elismerést érdemelnek, hiszen például egykristályok esetében a kezdő-permeabilitással elérték már

Beérkezett: 1982. XII. 3.

az 50 000-es értéket is, és a veszteségi szöveget sikerült 10^{-6} -os nagyságrendűre csökkenteni. A tömeggyártásban azonban ma már alig tudnak lépést tartani a látványosan fejlődő elektronika rohamosan fokozódó követelményeivel. Továbbra is a két legfontosabb jellemző: tehát a kezdő-permeabilitás növelése és a veszteség csökkentése marad az előtérben, de ma már nem látszik valószínűnek, hogy az említett kutatási irányzatokkal lényeges javulást lehessen elérni gazdaságosan.

Ezért terelődött a figyelem a különböző adalékokra, amelyekről azt várjuk, hogy a viszonylag kis mennyiségük ellenére is új lendületet adjanak a ferritek fejlesztésének. Hiszen például az állandó mágnesek területén a ritka földfémek felhasználása ugrásszerű fejlődést eredményezett, amelynek mérvét és határait ma még alig lehet áttekinteni.

A mágneses tulajdonságok javítása adalékanyagok alkalmazása révén igen körültekintő munkát igényel. Hiszen az adalékok többségére jellemző, hogy már igen kis mennyiségben is nagy változásokat képesek előidézni a ferritek szerkezetében, amelyek természetesen kihatással vannak a mágneses jellemzők változására is (ezeket a nagyhatású anyagokat, találóan, a „mágneses anyagok enzimjeinek” is szokták nevezni).

AZ ADALÉKANYAGOK HATÁSA

A ferritkutatások nagy része jelenleg tehát különböző adalékanyagok bevitelével, és ezeknek az adalékoknak a tulajdonságokra gyakorolt befolyásának a meghatározásával foglalkozik. Általában a mangán-cink ferritekhez olyan adalékokat keresnek, melyek hatására:

- az anizotrópia-állandó csökken, és így a permeabilitás-értékek növekednek,
- a fajlagos villamos ellenállás növekszik, és így a veszteség csökkenthető.

E főigények mellett természetesen még sok egyéb — itt nem részletezett — követelmény betartására kell ügyelni. Például hiába csökken az anizotrópia egy adott adalék esetén, ha az anizotrópia-állandó hőmérséklet-függése nagyobb lesz. Következésképpen egy gyenge hőmérséklet-stabilitású, használhatatlan termék.

A tulajdonságváltozás természetesen az adalékok okozta szerkezetváltozás következménye. Ennek alapformái:

- az adalék beépül a ferrit rácsszerkezetébe, tehát egyfázisú homogén szilárdoldat jön létre,
- az adalék a ferritszemcsék felületén második fázist hoz létre.

Sokféle adalékolási kísérletnél sikerült már meghatározni az adalék beépülési módját. Pl. a rácsszerkezetbe épül: CoO , TiO_2 , második fázist hoz létre: CaO , SiO_2 , GeO_2 . A Ta_2O_5 -re vonatkozóan szerkezeti mérés nem találtunk.

Nagy kezdeti permeabilitású ferritekhez egyfázisú szerkezet megvalósítására kell törekedni. A doménfal-mozgást megkönnyíti továbbá, ha kevés a rác-



HIDASÍ BÉLA

Budapesten született 1939-ben. Villamosmérnöki oklevélét a Budapesti Műszaki Egyetemen 1962-ben szerezte. 1962—65 között a Villamos Automatika Intézetben ter-



VÉCSEY BÉLA

Vácott született 1931-ben. Kohómérnöki oklevélét a miskolci Nehézipari Műegyetemen szerezte 1957-

vezőként, 1965 óta a BME-en oktatóként dolgozik. Jelenleg a Mechanikai Technológia és Anyagszerkeztani Intézet adjunktusa. Tématerülete: vezetési és mágneses tulajdonságok, anyagok kutatása.

ben. 1959 óta a váci Híradástechnikai Anyagok Gyárának dolgozója. Jelenleg a Mn-Zn ferritek fejlesztésével foglalkozik.

hiba és pórus a rendszerben. Legegyszerűbben a felületszerű rácshibák mennyisége csökkenthető az átlagos szemcseátmérő növelésével.

Kis veszteségű ferritek az örvényárampályák geometriai méretének csökkentése révén valósíthatók meg. Így itt kívánatos az apró szemcseméret, határain jól szigetelő második fázissal, de lehetőség szerint a második fázis vastagsági mérete legyen lényegesen kisebb az egyensúlyi doménfal-vastagságnál.

Látható egyrészt, hogy a különböző igényeket különböző szerkezetekkel lehet kielégíteni, és emiatt a kutatók sokszor kényszerülnek kompromisszumos megoldásokra, másrészt a szemcseméret kulcsfontosságú szerepe. Összegezve, a ferritgyártásnál a szemcseméret-növekedés kézbe tartását, szabályozását meg kell oldani.

A ferritgyártási technológiai műveletek közül döntő mértékben a szinterelés határozza meg a szemcse-növekedés folyamatát. A továbbiakban durva egyszerűsítésként nem térve ki a szinterelés bonyolult folyamatára — amelynek révén a laza porból szilárd test jön létre — csak a már szilárd testnek tekinthető mintákat vizsgálva, a növekedési folyamat modellezhető mint a szemcsehatárok mozgása, olyan módon, hogy a rendszer eredő szabadenergiája csökkenjen. Ez interpretálható úgy, hogy a határ (mechanikai testnek tekintve) a ható erők eredőjének megfelelő mozgást végez. Sebessége

$$V = \sum_i v p_i,$$

ahol v a mozgékonyág (termikusan aktivált folyamat), és $\sum_i p_i$ a hajtó- és fékezőerők eredője. A moz-

gékonyosság tulajdonképpen különböző mechanizmusú diffúziós folyamatok (pl. kristályrácson át, szemcsehatárok mentén, pórusok felületén, pórusokon belül gőzfázisban stb.) függvénye. Bonyolítja a helyzetet ferriteknél, hogy a villamos töltés egyensúly biztosítása miatt az anionoknak és kationoknak egyforma sebességgel kell mozogniuk. Általában a leglassúbb ion szemcsehatár menti diffúziós tényezőjéből határozzák meg a sebességet. Egy adalék meggyorsíthatja a növekedést például úgy, hogy megnöveli a vakancia-koncentrációt, s így a diffúzió sebességét azon az alrácson, ahol a leglassúbb ion elhelyezkedik. Eszerint lényeges az adalék vegyértéke és a ferritben való oldhatósága is.

A legismertebb hajtóerők:

- szemcsehatár energia; a finomszemcsés anyag szabadenergiája (a relatíve több felületszerű rácshiba miatt) nagyobb;
- felületi feszültség; a szomszédos krisztallitok orientációban és így felületi energiájukban is különböznek egymástól;
- nem folytonos precipitáció; a mozgásban levő határ előtt túltelített szilárd oldat, mögötte kétfázisú egyensúlyi állapotú a rendszer, tehát a hajtóerő ebből a szabadenergia különbségből származik;
- szemcsehatár görbület; a szemcsehatárok görbületi középpont felé történő mozgása, amelynek révén a kis szemcsék igyekeznek csökkenni, s eltűnni. Így a nagyobb szemcsék tovább növekednek.

A legismertebb fékezők:

- a második fázis, pórusok;
- a ráfutó szemcsehatár szabadenergiáját csökkentve, rögzítő hatást fejtenek ki;
- oldott szennyező atomok; (sokféle mechanizmus szerint)
- szilárd-folyadék fázis felületi reakciók [3].

A leírt jelenségek megfigyeltek, kutattak, de még olyan feltételezések mellett is, hogy egyenként néhány paraméterrel leírhatók, az elméleti kutatások jelen állása legfeljebb tendenciák értékelésére ad lehetőséget. Így e területen a kísérleti eredmények gyűjtésénél a szívós kísérleti munka szakaszában tartunk.

A ferritkutatások eléggé eszköz- és időigényesek, hiszen objektíven csak a már legyártott anyagon, a készterméken mérhető le az adalék hatása. Morisava—Okutani—Morita—Aojima [1] eredményei alapján kísérleteinkkel arra kerestünk választ, hogy

* M2 F (HAGY) típusú anyag minőségi jellemzői:
kezdeti permeabilitás: $\mu_i = 2200 \pm 20\%$
hiszterézis veszteség: $h/\mu_i^2 \times 10^6 = 1,25$
dezakkomodáció: $d/\mu_i \times 10^6 = 6$
hőmérsékleti tényező: $\alpha/\mu_i = 0,5 - 2,5$
fajlagos veszteség: $tg \delta/\mu_i \times 10^6 = 8$.

A kísérleteink alapján továbbfejlesztett anyag jelzése: M2 FA.

lehetséges-e Ta, ill. Ca és Si adalékolásával az M2 F típusú anyag* veszteségeinek további csökkentése, a hőfokfüggés és a dezakkomodációs tényező egyidejű csökkenése mellett.

KÍSÉRLETEK

Kísérleteinkhez nagy tisztaságú alapanyagokat használtunk fel, hiszen minőségi ferritanyag előállítására — mint ez az előzetes kutatások eredményeiből is kitűnik — csak ezek alkalmazása révén lehetséges. A vas-oxid esetében a szilícium-tartalomnak az értéke nem haladhatja meg a 0,02 súly%-ot (SiO_2 formájában van jelen), a mangánkarbonát esetében pedig az alkáli szennyezők mennyiségének a megfelelően kis szinten tartása jelenti a legfőbb problémát. Különösen a nagy atomtömegű szennyezők befolyásolják károsan a mágneses tulajdonságokat. Többnyire úgy fejtik ki hatásukat, hogy eltorzítják a spinell rácsot (hexagonális szerkezetet hoznak létre pl. Na, K, Ca, Sr, Ba stb.), mivel nem férnek el a rácshézagokban.

Ez a változás nagy egytengelyű mágneses anizotropiát kelt. Ebből következik, hogy az ilyen típusú szennyezők mennyiségét 0,01 súly% alá próbálják szorítani.

A következő alapanyagokat alkalmaztuk:
vas-oxid: Bayer WF 1352 Fe_2O_3 (NSZK)
mangán-karbonát: Usvico MnCO_3 (japán)
cink-oxid: DAB—7 ZnO (angol).

A következő összetétel szolgált kiindulási alappal:

	Mol%
Fe_2O_3	53,00
MnO	28,00
ZnO	19,00
	100,00

(A beméréshez az MnO tartalmat MnCO_3 súly%-ra vonatkoztatva kell számítani.)

Az első őrlés, mely lényegileg egy homogenizálási folyamat, nedves eljárással történt, desztillált vízben. A kaméretet 1 óráig őrlöttük golyós attritor malomban. Az előszinterelést poralakban végeztük, superkantál fűtésű laboratóriumi kemencében. Először 900 °C-on 2 órán át, majd második lépésben 950 °C-on újabb 2 órán keresztül. A második őrlés körülményei azonosak voltak az elsővel, de ez két óráig tartott. Polivinil-alkohol hozzáadásával granulátumot készítettünk és 30 db $\varnothing 28,5 \times \varnothing 16,3 \times 20$ mm-es toroid magot sajtoltunk. A végszinterelés védőgázalagút-kemencében történt 1290 °C ± 10 °C-on, 3 óra időtartammal. Az alkalmazott védőgáz 0,01% O_2 tartalmú N_2 volt.

Háromféle mintasorozatot állítottunk elő:

FA 1 jelű magok: adalékolatlan összetételűek. Referenciául szolgáltak, hiszen ez az összetétel felel meg az M2 F-nek.

FA 2 jelű magok: 0,030 súly% CaO-t és 0,005 súly% SiO_2 -t tartalmaztak (a SiO_2 -t szennyező formájában tartalmazta az anyag).

FA 3 jelű magok: 0,075 súly% CaO-t, 0,005 súly% SiO₂-t (szennyező) és 0,070 súly% Ta₂O₅-t tartalmaztak.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mintákon a következő öt mágneses jellemzőt mértük:

- kezdeti permeabilitás (μ_i),
- hiszterézis-vesztés (h/μ_i^2),
- a permeabilitás dezakkomodációs tényezője (D/μ_i),
- a permeabilitás hőmérsékleti tényezője (α/μ_i)
- fajlagos veszteségi szög ($\text{tg } \delta/\mu_i$).

A kezdeti permeabilitás méréséhez Maxwell-hidat használtunk. A veszteségek mérése is ezzel a hiddal történt. A mérési frekvencia a permeabilitás mérésénél 20 kHz volt, a $\text{tg } \delta/\mu_i$ mérésénél 100 kHz, a hiszterézis-vesztés pedig ugyancsak 20 kHz-n mértük. A hőmérsékleti tényező meghatározásához a permeabilitást 25, ill. 60 °C-on mértük. A dezakkomodáció mérésekor a magokat 40 s-os 800 mA csúcsértékű meghatározott lefutású impulzussal terheltük, és az induktívitás változásából számítottuk a permeabilitás időbeni változását.

A következő eredményeket kaptuk:

A minta jele	μ_i	h/μ_i^2 $\times 10^2$ m/A	D/μ_i $\times 10^6$	α/μ_i $\times 10^6/^\circ\text{C}$	$\text{tg } \delta/\mu_i \times 10^6$
FA 11	2290	1,0	5,2	2,1	6,3
12	2310	1,0	5,0	2,0	5,9
13	2300	1,1	4,9	2,0	6,0
14	2360	0,9	4,6	1,8	5,6
15	2340	1,0	4,8	1,9	5,8
16	2280	0,9	5,1	2,0	6,2
17	2330	1,0	4,6	1,8	5,7
18	2290	1,1	5,2	2,1	6,1

A minta jele	μ_i	h/μ_i^2 $\times 10^2$ m/A	D/μ_i $\times 10^6$	α/μ_i $\times 10^6/^\circ\text{C}$	$\text{tg } \delta/\mu_i \times 10^6$
FA 19	2280	1,0	4,9	2,0	6,0
10	2300	0,9	4,8	1,9	5,9

A kalciummal és szilíciummal adalékolt minták:

FA 20	2470	1,3	4,4	0,5	5,3
21	2540	1,3	4,5	0,8	5,7
22	2530	1,4	4,7	0,7	5,8
23	2500	1,2	4,4	0,6	5,6
24	2480	1,2	4,3	0,8	5,4
25	2460	1,3	4,4	0,8	5,2
26	2500	1,4	4,5	0,8	5,6
27	2510	1,3	4,7	0,7	5,6
28	2500	1,1	4,6	0,7	5,7
29	2480	1,2	4,4	0,6	5,6

A tantál adalékolásával előállított minták

FA 30	2480	0,7	3,1	0,6	3,5
31	2500	0,7	3,0	0,5	3,3
32	2470	0,8	3,0	0,7	3,7
33	2490	0,7	3,1	0,5	3,6
34	2480	0,6	3,0	0,6	3,5
35	2500	0,7	3,0	0,5	3,4
36	2490	0,8	3,1	0,6	3,4

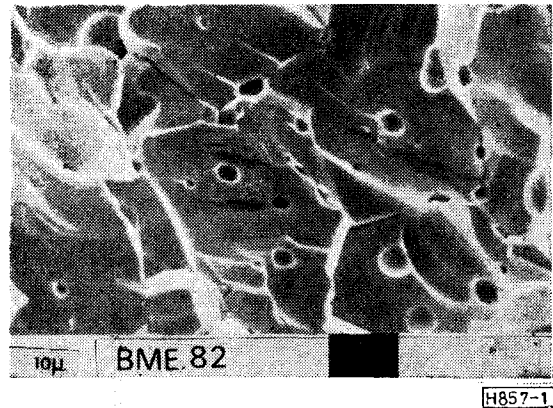
A minta jele	μ_i	h/μ_i^2 $\times 10^2$ m/A	D/μ_i $\times 10^6$	α/μ_i $\times 10^6/^\circ\text{C}$	$\text{tg } \delta/\mu_i \times 10^6$
FA 37	2490	0,8	3,1	0,7	3,5
38	2480	0,7	3,0	0,6	3,4
39	2470	0,7	3,1	0,6	3,4

AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az eredményekből a következő számított átlagértékek és szórások adódtak:

FA 1	2300 ± 27	0,99 ± 0,07	4,91 ± 0,22	1,96 ± 0,11	5,95 ± 0,22
FA 2	2497 ± 25	1,27 ± 0,09	4,49 ± 0,14	0,70 ± 0,11	5,55 ± 0,19
FA 3	2485 ± 11	0,72 ± 0,06	3,05 ± 0,05	0,59 ± 0,07	3,47 ± 0,12

Az eredmények alapján mondhatjuk, hogy a tantál adalékolt mintáknak vannak a legjobb mágneses tulajdonságai, hiszen megfelelően nagy permeabilitással veszteségeik kicsik és igen jó a stabilitási tényezőjük. Bár a kalcium és szilícium együttes adalékoltása révén készült minták permeabilitása valamivel nagyobb, mint a tantál adalékkal készített mintáké, az előbbieket veszteségei, valamint hőmérsékleti és időbeli stabilitása messze elmarad az utóbbiakétól. Ezenkívül jól követhető az is, hogy az FA 3 jelű minták esetében a mért paraméterek értéke kisebb szórást mutat, tehát ezek a magok a paraméterekre megengedhető tűrés szempontjából is kedvezőbbek.



1. ábra. A 0,070 súly% Ta₂O₅-t tartalmazó FA 3 jelű magról készített pásztázó elektronmikroszkópos felvétel

A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokból egy jellegzetes felvételt mutatunk be az 1. ábrán, amely tört felületről készült. Ennek alapján az átlagos szemcseméret 30 μm. A pórusok mennyisége, eloszlása és alakja arra enged következtetni, hogy a szinterelési viszonyok az optimum körüliek voltak.

Kísérleteink eredményei jó egyezésben vannak Morisava—Okutani—Morita—Aojima [1] eredményeivel, ami szerint a tantál adalék alkalmazásával lehetséges a permeabilitás értékének a növelése, csökkenthetők a magok veszteségei, és javíthatók a stabilitási tényezők. A kalcium és szilícium adalékoltása során az adalék kalcium-szilikát formájában második fázisként vékony bevonatot képez a szem-

csék felületén, ha azonban a kalcium és szilícium aránya nem megfelelő, akkor nem alakul ki ez a kalcium-szilikát hártva. A kalcium és szilícium második fázisként válik ki, és a veszteségek növekedni fognak. Elméletileg a CaO és SiO₂ adalékolása kedvezően kell, hogy befolyásolja a veszteségi és stabilitási tényezőket, de ez csak igen kis mennyiségekre érvényes. Ennek hatását csak rendkívül tiszta alapanyagok alkalmazásánál lehetne lemérni [2].

A tantál adalékolásával tovább javíthatók a veszteségek, valamint a dezakkomodáció és a hőfokfüggés. Ennek az adaléknak a hatásmechanizmusa még nem tisztázott, de valószínű, hogy a tantál minimális mértékben épül csak be a ferrit kristályrácsába [1].

A fejlesztés fő irányát a jövőben a veszteségek további csökkentése, a hőmérsékleti és időbeli stabilitás fokozása jelenti. Több adalék együttes komplex hatásának vizsgálata eléggé összetett feladat, de hogy milyen lehetőségek rejlenek még ezekben a kísérletekben, azt a közelmúltban bizonyították [1], amikor is mintegy ötféle adalék együttes alkalmazásával ún. „ultra kisveszteségű” magot sikerült előállítaniuk (a $\text{tg } \delta/\mu_i \times 10^6$ kereken 1-nek adódott). Ezek az eredmények természetesen azt jelentik, hogy a magok méretét még tovább lehet csökkenteni, kisebb mag is elegendő egy adott feladathoz, további miniatürizálásra nyílik mód.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleteket folytattunk Ta, valamint Ca és Si adalékanyagokkal az M2 minőségű fazékmag anyag veszteségeinek további csökkentésére. Az eredményekből megállapítható, hogy a veszteségek eredményesen csökkenthetők Ta₂O₅ megfelelő mennyiségű adalékolásával. A kalcium és a szilícium együttes adalékolása kísérleteink alapján kedvezőtlenebb, bár a permeabilitás-értékek némileg növekednek, a veszteségek és a stabilitási, karakterisztikák jelentős mértékben rosszabbak, mint a Ta adalékolású minták esetében.

I R O D A L O M

- [1] *Morisava—Okutani—Morita—Aojima*: Manufacturing method of a low-loss manganese-zinc system ferrite. Japan State Patent Office, H 01 F 1/34, 1976—48276, Patent Reports, 1976. dec. 20.
- [2] *Dr. Tardos Lászlóné*: Idegen ionok hatása MnZn ferritek mágneses sajátságaira. Híradástechnika, 1967. okt.
- [3] *Hidasi Béla*: Mágneses anyagok. (Kézirat), 1981.
- [4] *Dr. Pataky Balázs*: Lágymágneses ferritek. VASKUT évkönyv, 1963.
- [5] *S. Chikazumi*: Physics of Magnetism.
- [6] *Rabkin—Szoszkin—Epstein*: Ferritek technológiája.