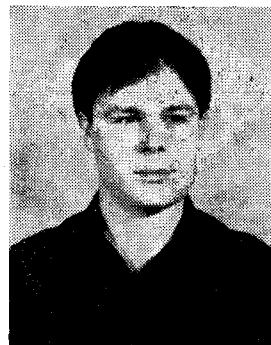


# Komplex adalék Mn-Zn ferritekhez

FODOR LÁSZLÓ, HAGY,  
HIDASÍ BÉLA, BME,  
VÉCSEY BÉLA, HAGY



## ÖSSZEFOGLALÁS

Adott kezdeti összetételű Mn-Zn ferritanyaghoz a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  egy részét  $\text{TiO}_2$ -vel helyettesítve 1 mol% adalékkoncentrációnál adódnak a legkedvezőbb mágneses tulajdonságok. További  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -adalózással kis veszteségű és jó stabilitási tulajdonságokkal rendelkező komplex ferrit állítható elő.

Az adalékanyagok hatásmechanizmusára vonatkozó finomszerkezetvizsgálatok szerint egymás hatását alig befolyásolva, a Ti a spinel-rács oktaéderes rácshézagába épül be, a Ta pedig a szemcsehatármenti kiválásokban helyezkedik el.

## Bevezetés

A Mn-Zn ferritek kutatásával kapcsolatos eredményeink egy részét a HÍRADÁSTECHNIKA 1/84. számában foglaltuk össze.

Jelen cikkünkben egy komplex — Ti és Ta komponenseket tartalmazó — adalék alkalmazásával kapcsolatos kutatásainkról, eredményeinkről számolunk be, megkísérelve az adalékanyagok hatásmechanizmusának feltárását.

Alapanyagként az M2F (HAGY) típusú ferritanyagot használtuk fel [1], és az adalékolás miatti eltérésekre mindig utalunk.

A legtöbb használatos adalék csak egy bizonyos mágneses jellemzőt, ill. jellemzőcsoportot javít, a többi viszont általában károsan befolyásolja. Mivel a legkülönbözőbb célokra alkalmazott ferritanyagok esetében a paraméterek tartásának fontossági sorrendje változó, sőt alkalmanként egy-egy jellemző mellett a többi tulajdonság szerepe eltöri, emiatt a közlemények többségéből nehéz általánosítható ismereteket szerezni. Mi törekedtünk a stabilitási és veszteségi tulajdonságok javítása mellett a mágneses jellemzők minél szélesebb körének vizsgálatára és egy átfogó kép kialakítására.

## Stabilitási tulajdonságok javítása titán adalékolással

A hőmérsékleti stabilitás mérőszámaként a kezdeti permeabilitás ( $\alpha_{\mu_i}$ ) hőmérsékleti tényezőjét, ill. az ún. fajlagos hőmérsékleti tényezőt ( $\alpha/\mu_i$ ) alkalmazzuk. Ismeretes, hogy a kezdeti permeabilitás értéke a különböző hőmérsékleti intervallumokban eltérő. A  $\mu_i-T$  görbe ferriteknél általában nem növekszik monoton a Curie-hőmérsékletig ( $T_c$ ), hanem egy második lokális maximumot is mutat. A két maximum közötti tartományban — helyzetüktől függően — érhető el a legkisebb hőmérsékletfüggés.

A permeabilitás második maximumának (SPM) a helyzete a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mennyiségétől, pontosabban a

## FODOR LÁSZLÓ

1981-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. 1981–83 között a Villamosmérnöki Kar nappali szakmérnök képzésén vett részt, és diplomamunkáját a mangán-cink ferritek témá-

körében írta. Elektronikai technológia szakmérnöki oklevelet 1983-ban szerzett. Jelenleg a váci Híradástechnikai Anyagok Gyára dolgozója, és kutatási témája a ferritek mágneses tulajdonságainak javítását szolgáló adalékanyagok.

vas-oxid feleslegből a szinterelés során keletkezett  $\text{Fe}^{2+}$ -ionok koncentrációjától függ. Ennek növekedése azt eredményezi, hogy a  $T_{SPM}$  alacsonyabb hőmérsékletek felé tolódik el, és ezzel a számunkra fontos hőmérséklet-tartományban (20...55 °C) módosul a  $\mu_i-T$  görbe alakja is. Az  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tartalom változtatásával tehát így befolyásolhatjuk a kezdeti permeabilitás hőfokfüggését bizonyos határok között. Túl nagy  $\text{Fe}^{2+}$  ionkoncentráció esetén azonban számunkra kedvezőtlen negatív hőfokfüggés is kialakulhat. Ez annak a következménye, hogy az  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tartalom növekedésével a Curie-hőmérséklet is növekszik, és a két maximum távolodásával a  $\mu_i-T$  görbe „behajlik”, nagy negatív meredekségű szakasz keletkezik rajta.

Az időbeli stabilitás a dezakkomodációs tényezővel ( $D$ ), ill. ennek fajlagos értékével ( $D/\mu_i$ ) jellemezhető, és nagyrészt annak a jelenségnek a következménye, hogy a  $\text{Fe}^{2+}$  ionok egy része idővel háromvegyértékűvé alakul át. A kis dezakkomodációs tényező elérése szempontjából tehát a vas-oxid-tartalom csökkentése a kívánatos. Látható tehát, hogy a kétféle stabilitási tulajdonság vonatkozásában a  $\text{Fe}^{2+}$  ionok hatása ellentmondásos. Ugyanakkor több szerző [2], [3] is beszámolt arról, hogy ha a vas-oxid felesleg bizonyos mennyiségét titán-dioxiddal helyettesítjük, akkor kedvezően változik a magok permeabilitásának hőfokfüggése és időbeli stabilitása is egyidejűleg.

Kísérleteink során az 53,0 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 28,0 mol% MnO és 19,0 mol% ZnO tartalmú ferritanyagból indultunk ki. Mintasorozatokat állítottunk elő, melyekben a  $\text{TiO}_2$  mennyisége 0...2,5 mol% között változott, az  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pedig ennek arányában csökkent. A titán-dioxidot a porkeverékhez kevertük és vele együtt homogenizáltuk. Az előszinterelést levegő atmoszférában, 1000 °C-on végeztük. Ezt követően a mintákat 1270 °C-on 12 tf.%  $\text{O}_2$  tartalom mellett 4 órán át végszintereltük, majd 0,01 tf.%  $\text{O}_2$  tartalmú nitrogén védőgázban kb. 200 K/h sebességgel hűtöttük szobahőmérsékletre.

A főbb mágneses jellemzőkre vonatkozó mérési

Beérkezett: 1984. IV. 5. (H)

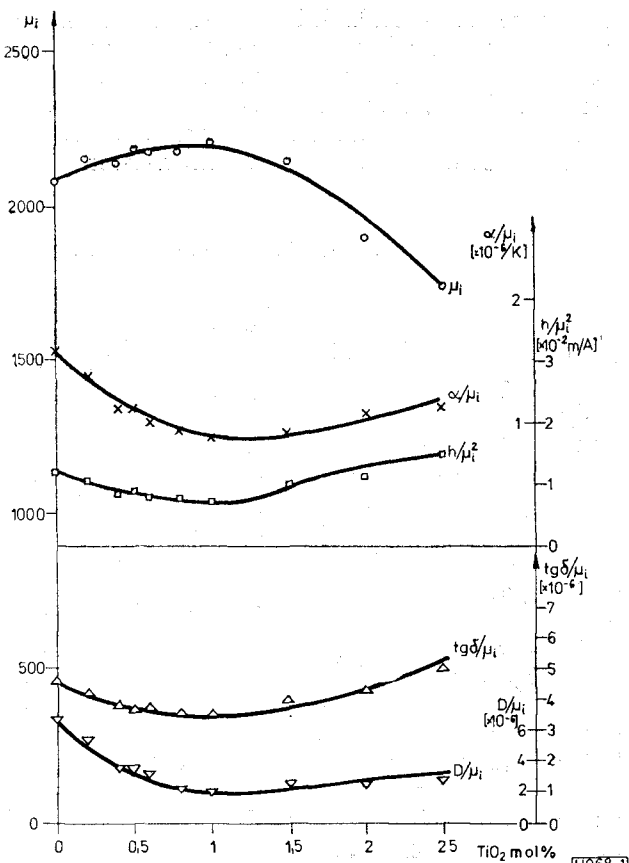
eredményeket az 1. ábrán követhetjük nyomon. A görbék szemléletesen mutatják, hogy a  $TiO_2$  adalékolás elsősorban a stabilitási tulajdonságokat befolyásolja.

Valamennyi tulajdonságot figyelembe véve az 1 mol%-os minta jellemzői a legjobbak. Az ábrákon a hiszterézis veszteség ( $h/\mu_i^2$ ) és a fajlagos veszteségi szög tangensének ( $tg \delta/\mu_i$ ) jelölése a konvencionális szokásoknak felel meg.

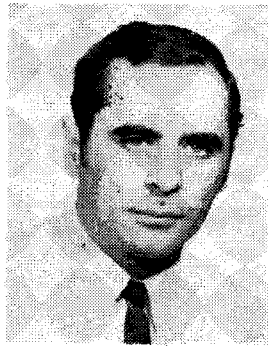
Az első mágnesezési görbék vizsgálata jól mutatja, hogy a titánadalék hatására monoton csökken a magok telítési indukciója ( $B_S$ ). A szűzgörbék kezdeti érintőinek meredeksége pedig 1 mol% feletti adalékkoncentráció után csökken. A koercitív erő ( $H_c$ ), és a remanens indukció ( $B_R$ ) változását a teljes hiszterézis görbék alapján követhetjük nyomon. Mindkét jellemző kezdetben csökken, majd egy bizonyos adalékkoncentráció elérése után növekszik.

A koercitív erő 1 mol%-ánál, a remanens indukció 0,5 mol%-nál mutat minimumot. Az összefoglaló eredmények a 2. ábrán láthatók. A koercitív erő és a veszteségek között fennálló kapcsolatot jól érzékelteti a görbék hasonló jellege, és hogy mindkettő minimuma 1 mol%-ra esik.

A fajlagos ellenállás is szoros összefüggésben áll a veszteségekkel — az örvényáramú veszteség első közelítésben fordítottan arányos a fajlagos ellenállással — a 3. ábrán látható, hogy kb. 1,5 mol%-ig a  $TiO_2$  adalékolás hatására meredeken növekszik a minták fajlagos ellenállása, és az adalékolatlanéhoz képest egy nagyságrenddel megnő. 1,5 mol% felett a növekedés lelassul.



1. ábra



HIDASÍ BÉLA

Villamosmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen 1962-ben szerezte. Ezt követően 1965-ig a Villamos Automatika Intézetben volt tervező, 1965 óta a BME-n dolgozik oktatóként. Jelenleg a Mechanikai Technológia és Anyagszerkezeti Intézet adjunktusa.



Tématerülete: vezetési és mágnesezési tulajdonságok, anyagok kutatása.

VÉCSEY BÉLA

Kohómérnöki oklevelét a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen szerezte 1957-ben. 1959 óta a váci Híradástechnikai Anyagok Gyára dolgozója. Jelenleg Mn-Zn ferritek fejlesztésével foglalkozik.

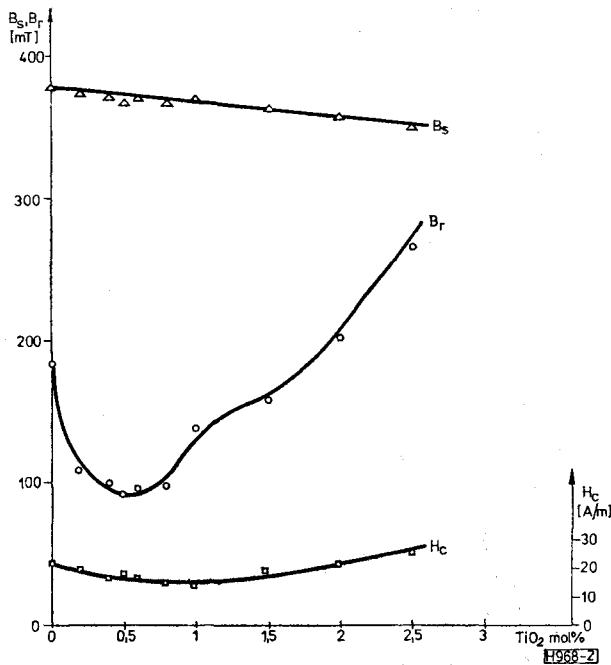
A kezdeti permeabilitás hőmérsékletfüggését vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a  $TiO_2$  adalék hatására — a  $Fe^{2+}$  hatásához hasonlóan — megváltozik a  $\mu_i - T$  görbe alakja. Az adalékkoncentráció növelésével a  $T_c$  kis mértékű és a  $T_{SPM}$  jelentős eltolódását tapasztaltuk az alacsonyabb hőmérsékletek felé. A mérési eredményeket a 4. ábra mutatja. Tehát eszerint mód nyílik a hőmérsékletfüggés beállítására az üzemi hőmérsékletek tartományában.

Nemcsak a permeabilitás, hanem a veszteségek hőfokfüggése is erősen befolyásolja a ferritmagok alkalmazhatóságát. Az 5. ábrán látható, hogy a fajlagos hiszterézis veszteségi tényező ( $h/\mu_i^2$ ) minimummal rendelkezik, melynek helyzete szintén a  $TiO_2$  koncentráció függvénye. A szekunder permeabilitás maximumának eltolódásához hasonlóan itt a minimumhely tolódik el az adalék mennyiségének növelésével az alacsonyabb hőmérsékletek irányába.

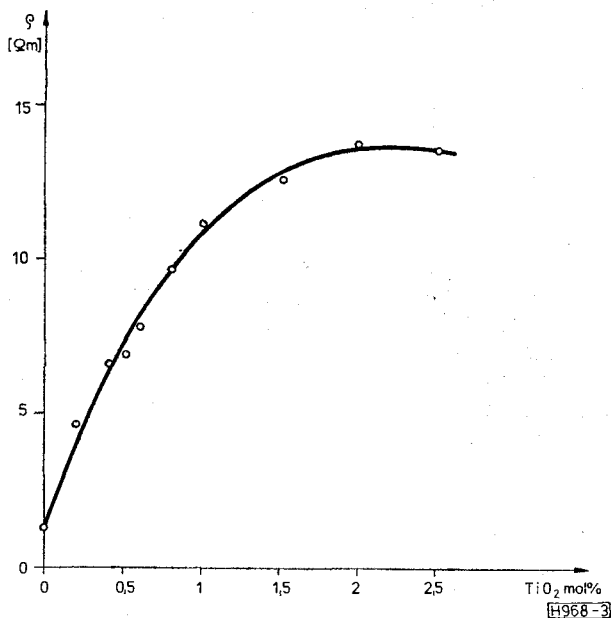
A hőmérsékleti és időbeli stabilitás kapcsolatának vizsgálatát az teszi indokolttá, hogy a dezakkomodációs jelenségeket is termikusan aktivált folyamatok befolyásolják. A fajlagos dezakkomodációs tényező hőmérsékleti spektrumán 6. ábrán megfigyelhető, hogy a görbék maximuma az adalék hatására az alacsonyabb hőmérséklettartományokba tolódik el.

A  $TiO_2$  adalékolás méréseink szerint nem változtatja meg lényegesen a főbb tulajdonságok frekvenciafüggését. Ennek demonstrálására a 7. ábrán a permeabilitás valós ( $\mu_L$ ) és képzetes ( $\mu_R$ ) részének, a 8. ábrán a  $tg \delta/\mu_i$ , a 9. ábrán pedig a  $h/\mu_i^2$  frekvenciafüggését ábrázoltuk.

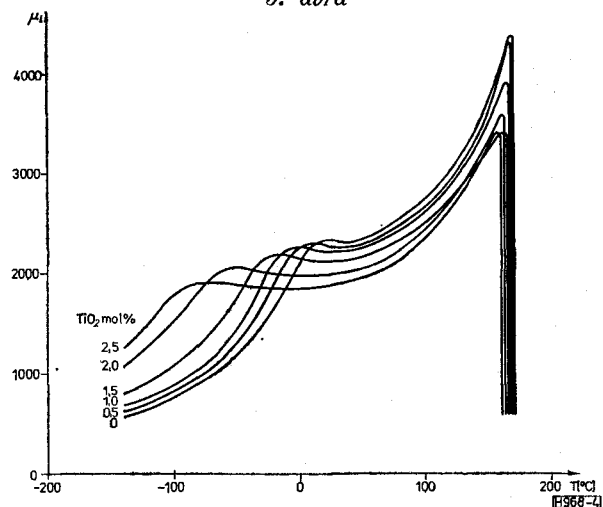
A titán-dioxid adalék hatását a következőkben lehet összegezni. A  $Fe_2O_3$  egy részének  $TiO_2$ -vel történő helyettesítése kedvezően befolyásolja a ferritmagok stabilitási tulajdonságait. Az üzemi hőmérséklettartományban megfelelően kis hőmérsékleti tényező érhető el ( $\alpha/\mu_i = 0,7 \times 10^{-6}/K$ ), és a dezakkomodáció értékét is jelentősen csökkenthetjük ( $D/\mu_i = 2 \times 10^{-6}$ ).



2. ábra



3. ábra



4. ábra

Az adalékolás ugyanakkor nem befolyásolja károsan a permeabilitást és a veszteségi jellemzőket, csak egy bizonyos adalékkoncentráció túllépése után.

Az eredményekből látható, hogy a legjobb mágneses tulajdonságokat 1 mol%  $\text{TiO}_2$  adalékolásával érhetjük el, azaz az

52,0 mol%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  
28,0 mol%  $\text{MnO}$ ,  
19,0 mol%  $\text{ZnO}$ ,  
1,0 mol%  $\text{TiO}_2$

összetételű minta esetében. Ennek a mintának a legjobbak a stabilitási tulajdonságai, veszteségei valamivel alacsonyabbak, mint az adalékolatlan mintáé, és permeabilitása is nagyobb az utóbbinál.

Megállapítható, hogy a  $\text{TiO}_2$  adalék segítségével a kezdeti permeabilitás hőfokfüggését viszonylag széles hőmérséklet-intervallumban közel állandó értékűvé tehetjük, és megfelelő nagyságra állíthatjuk be. Az  $\alpha/\mu_r$ -nek általában pozitívnak kell lennie, de egyes speciális alkalmazások céljára a kis negatív hőmérsékleti tényező, vagy éppen a 0 hőfokfüggés megvalósítására is lehetőséget ad a  $\text{TiO}_2$  adalékolás. A permeabilitás másodlagos maximumával összhangban tolódik el a veszteségek minimumhelye is, amint célszerűen az üzemi hőmérsékletre szokás beállítani. A  $\text{TiO}_2$  adalék hatására a veszteségek némileg csökkennek (1 mol%-ig), amit a fajlagos ellenállás növelésével magyarázhatunk. Ugyanakkor a veszteségi jellemzők stabilizálódása is megfigyelhető, amit a veszteségi görbék minimumhelyének az eltolódása eredményez. E minimumhely eltolódásával lehetőség van olyan ferritek előállítására is, melyek alacsonyabb üzemi hőmérsékleteken működnek (pl. különböző klimatikus igények esetén). A mágneses mérési eredményeink jó egyezést mutatnak Hanke és Röss [2] közléseivel, akik a stabilitási tulajdonságok hasonló javulását tapasztalták a  $\text{TiO}_2$  adalék hatására.

A veszteségek csökkentése tantál adalékolással

A ferritmagok eredő vesztesége több hatás eredőjeként alakul ki. Ezek közül mérés technikailag is jól elkülöníthető a hiszterézis veszteség, a többi veszteség hatását pedig összevontan a  $\text{tg } \delta/\mu_r$ -vel jellemezzük.

További kísérletsorozatunkban azt vizsgáltuk, hogy lehetséges-e  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  adalék alkalmazásával a veszteségek csökkentése az üzemi hőmérsékleteken anélkül, hogy ez a többi tulajdonság romlását vonná maga után. Kiindulásnak a  $\text{TiO}_2$  adalékolási kísérletek legjobb tulajdonságokat adó mintáját vettük, és ehhez adalékolunk 0...1 súly% mennyiségben  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -ot, amit az előszinterelt porhoz kevertünk.

A mágneses paraméterek mért értékeit a 10. ábra mutatja. A permeabilitás és a stabilitási tulajdonságok kb. 0,15 súly% adalékkoncentrációig gyakorlatilag nem változnak, viszont a fajlagos veszteségi szög és a hiszterézis veszteség erősen csökken kb. 0,05 súly% adalékkoncentrációig. Minimumot ér el, 0,08 súly%-nál, majd növekedést mutat.

A teljes hiszterézis görbék alapján a telítési indukció, remanencia és a koercitív erő változásait

$TiO_2$  mol %

○ - 0

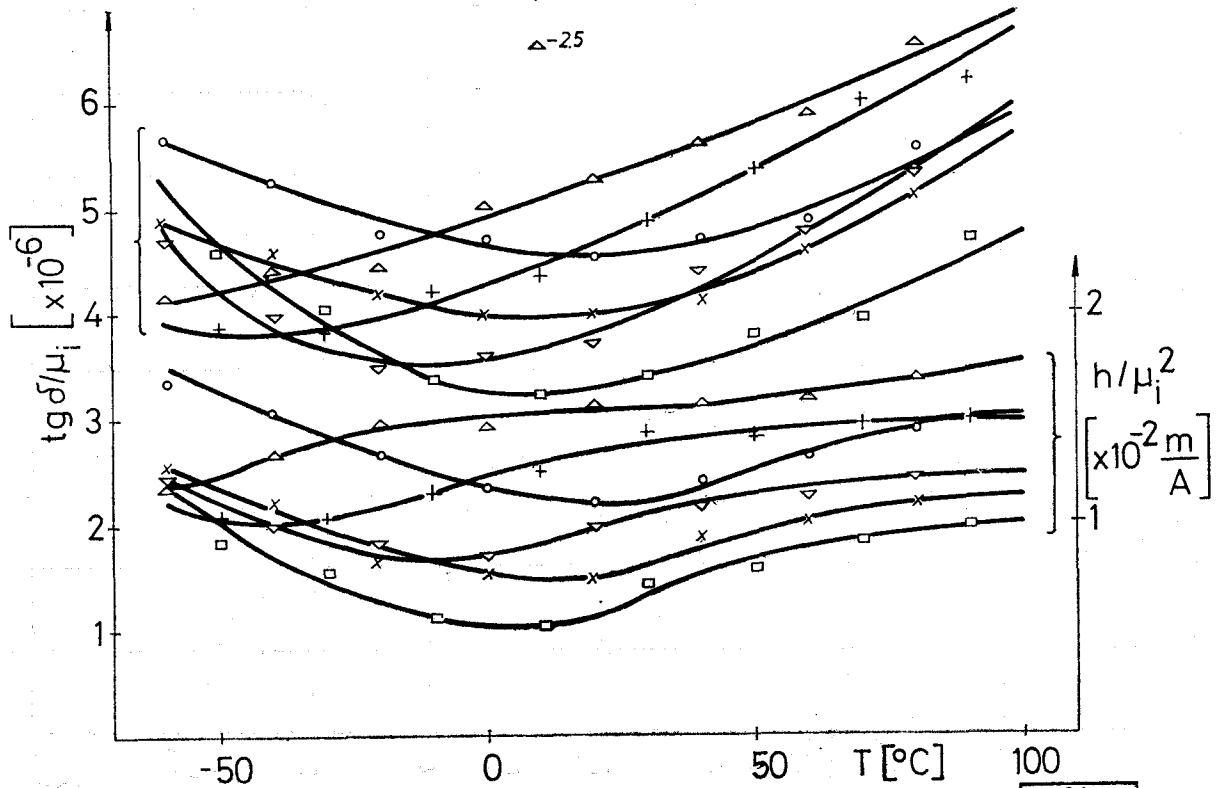
× - 0.5

□ - 1.0

▽ - 1.5

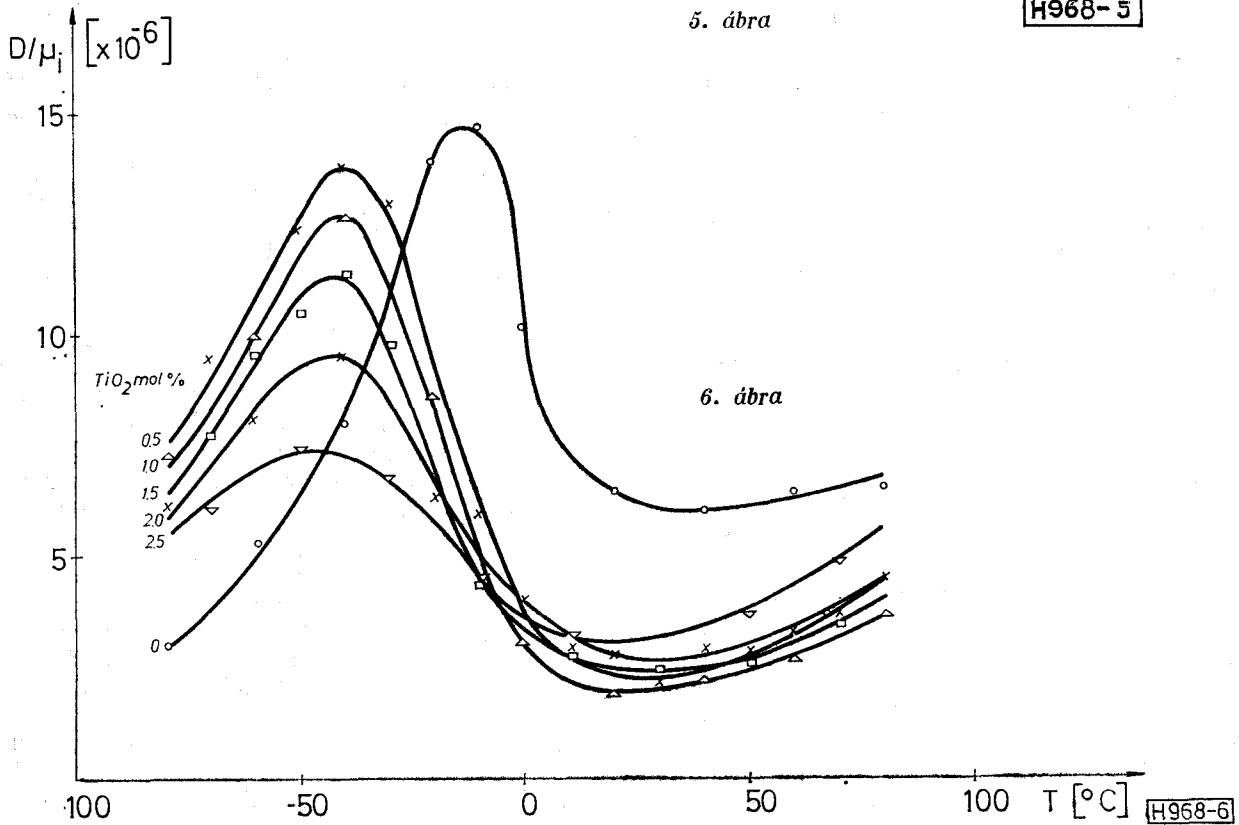
+ - 2.0

△ - 2.5



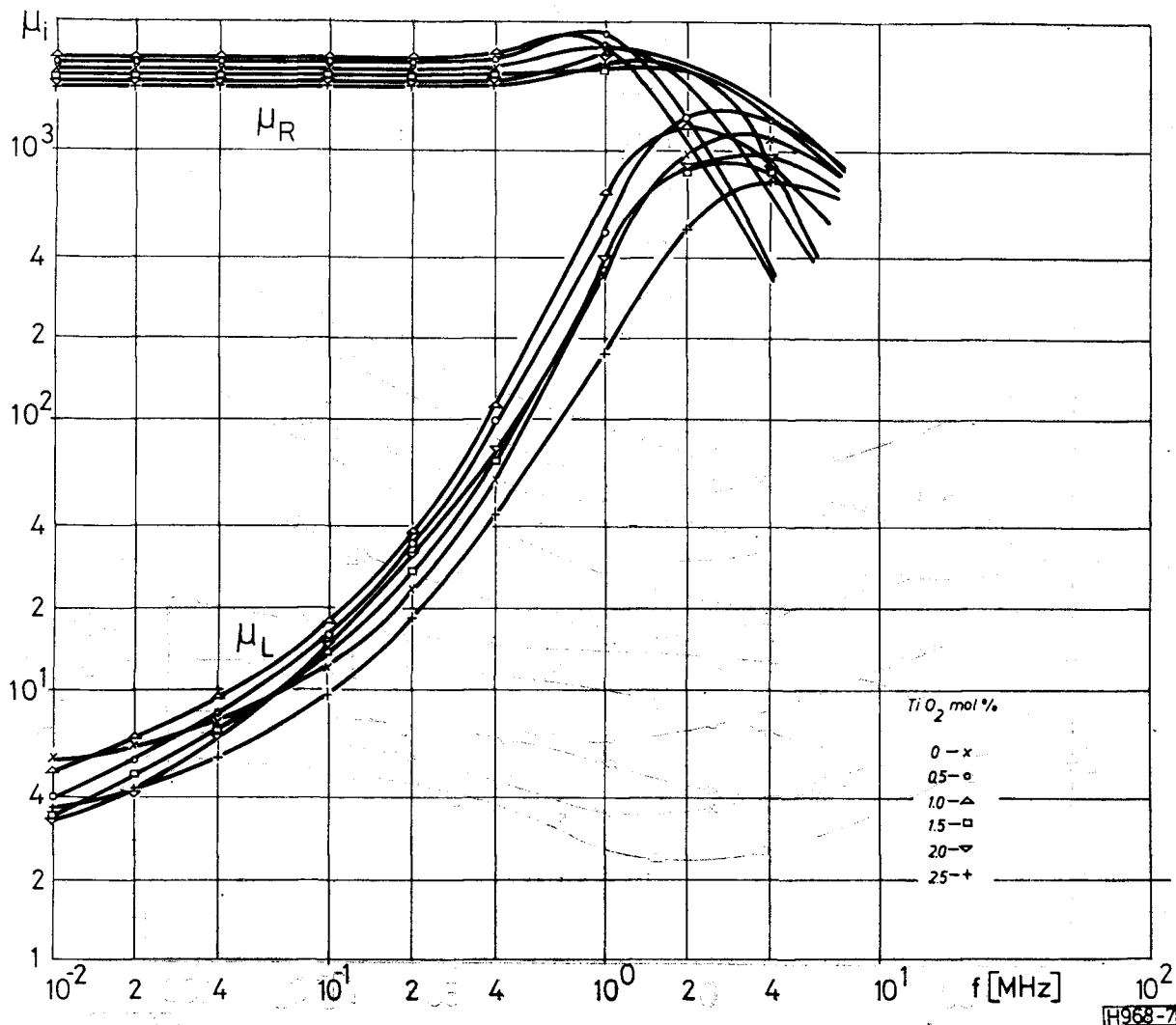
5. ábra

H968-5



6. ábra

H968-6



7. ábra

mutatja a 11. ábra. A telítési indukció az adalékkoncentrációval nő, majd csökken, a koercitív erő minimuma pedig jó egyezést mutat a veszteségek minimuma helyeivel. A fajlagos ellenállásmérés szerint – a 12. ábrán – a  $Ta_2O_5$  adalék a 0...1 súly% mennyiségben a fajlagos ellenállás monoton növekedését eredményezi, ami a veszteségek csökkentését is magyarázza.

Tehát, tantál-pentoxid megfelelő mennyiségű adalékolásával a titántartalmú ferritmagok veszteségei tovább javíthatók, és  $tg \delta/\mu_i = 2,2 \times 10^{-6}$ , ill.  $h/\mu_i^2 = 0,46 \times 10^{-2}$  m/A paraméterű magok is előállíthatók. Mivel a veszteségek csökkenése nagyrészt a 0,05 súly%  $Ta_2O_5$  alatti tartományban megy végbe, és itt a stabilitási tulajdonságok romlása még alig észlelhető, így nem érdemes – gazdasági megfontolások alapján sem – ezen adalékkoncentráció fölé menni.

#### Az adalékok hatásmechanizmusára vonatkozó vizsgálatok

A mintagyártás homogenitásának ellenőrzésére alkalmazott optikai (OM) és pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatokból megállapítható volt, hogy a szinterelési technológia megfelelő. A szemcseméret és buborékeloszlás a jó ferritmintákra jellemző

képet mutatta. A titántartalom emelése egyértelműen az átlagos szemcseméret növekedéséhez vezet. (Lásd I. táblázat.)

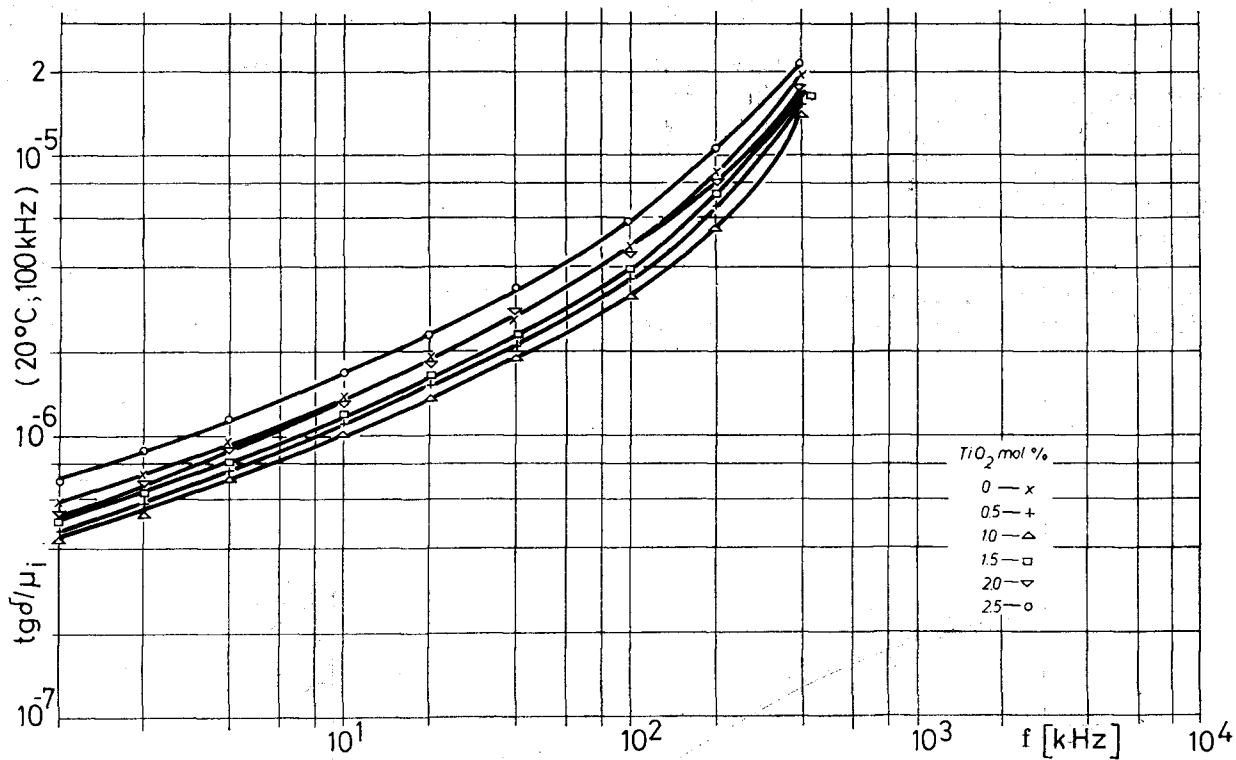
A röntgen (XRD) és neutrondiffrakciós (NRD) mérések alapján új fázisok megjelenése nem figyelhető meg. Titánadalékolás hatására a rácsállandó monoton növekszik (lásd II. táblázat).

Ez összhangban van az ionméretek viszonya okozta változással, ha a spinell rácsban az oktaédes helyeken a  $Fe^{3+}$  (0,064 nm) ionokat  $Ti^{4+}$  ionokkal (0,068 nm) helyettesítjük.

Yan és Johnson szerint [4] is a titán meggyorsítja a szemcsenövekedést fokozva a leglassúbb ionok diffúziós sebességét úgy, hogy a kérdéses alrácson megnöveli a vakanciakonzentrációt. A vizsgált koncentráció-intervallumban homogén, egyfázisú szerkezet alakul ki.

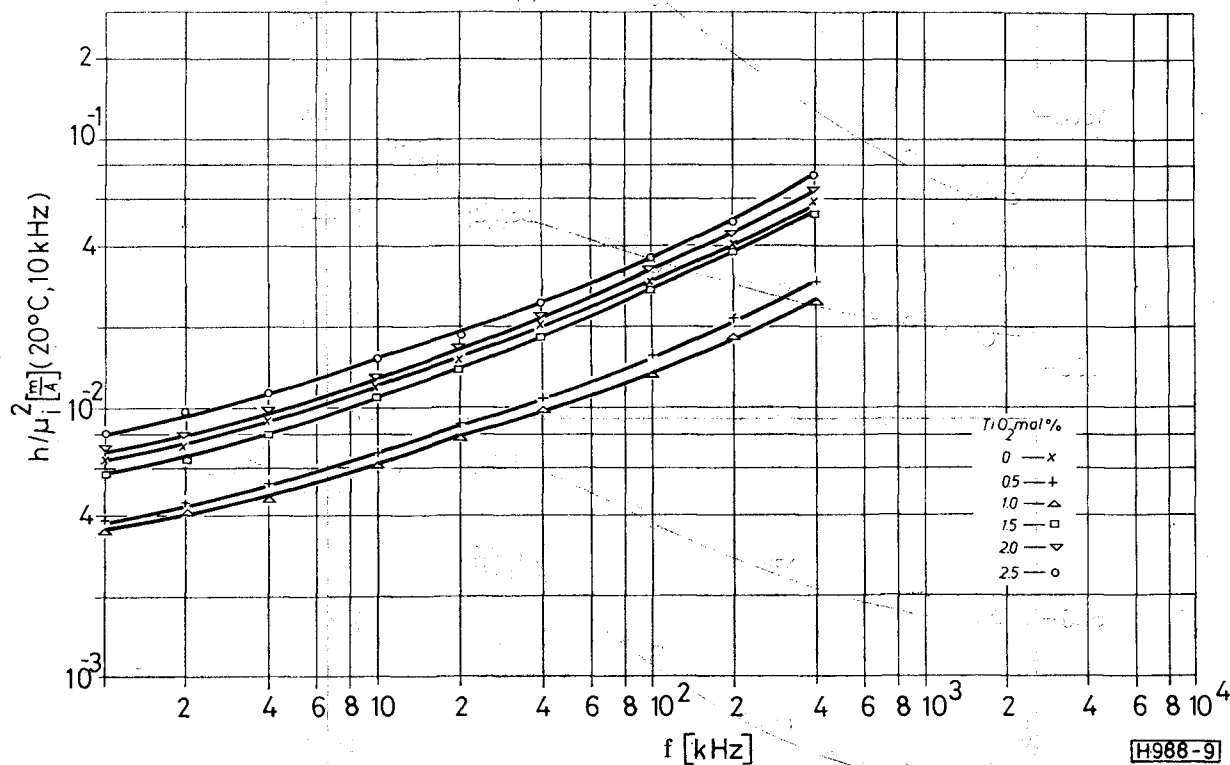
A tantáladalékolás hatására bekövetkező rácsállandóváltozást nem tudtunk kimutatni.

A mágneses mérések megerősítik a  $Ti^{4+}$  ionok oktaédes beilleszkedésének feltételezését. Elképzelhető a  $2Fe^{3+}$  ionok helyettesítése  $Ti^{4+} + Fe^{2+}$  formában [5]. A  $Fe^{2+}$  ionok beépülésére a szekunder permeabilitás maximum ( $T_{SPM}$ ) helyzetének változásáról is lehet következtetni. Mint láttuk a  $T_{SPM}$  a  $TiO_2$  koncentráció növekedésével az alacsonyabb



H968-8

8. ábra



H968-9

9. ábra

hőmérsékletek felé tolódik. Az előzőekben láttuk, hogy a Mn-Zn ferritek anizotrópia-állandója negatív, és hogy a  $\text{Fe}^{2+}$  ionoknak a sztöchiometrikus összetételt meghaladó mennyiségben történő bevitele pozitív anizotrópia járulékot ad, tehát csökkenti az eredő

anizotrópiát. Mivel a két mágneses alrács mágneseztségének és anizotrópiájának hőmérsékletfüggése különböző, az e tényből adódó **SPM** alacsonyabb hőmérsékletek felé tolódása a  $\text{Fe}^{2+}$  ionok generálódását jelenti az oktaéderes helyeken. Csak ilyen

elhelyezkedés esetén képesek pozitív anizotrópia-járulékot adni.

A  $Ti^{4+}$  ionok beépülési helyére vonatkozó NDR vizsgálat nem hozott értékelhető eredményt. Egyrészt azért, mert az adalék mennyisége a kimutathatóság határán volt. Másrészt pedig elképzelhető, hogy nukleáris és mágneses szerkezeti tényezők együttes változása mellett kiegyenlítődik a hatásuk, a szóráskép alig változik.

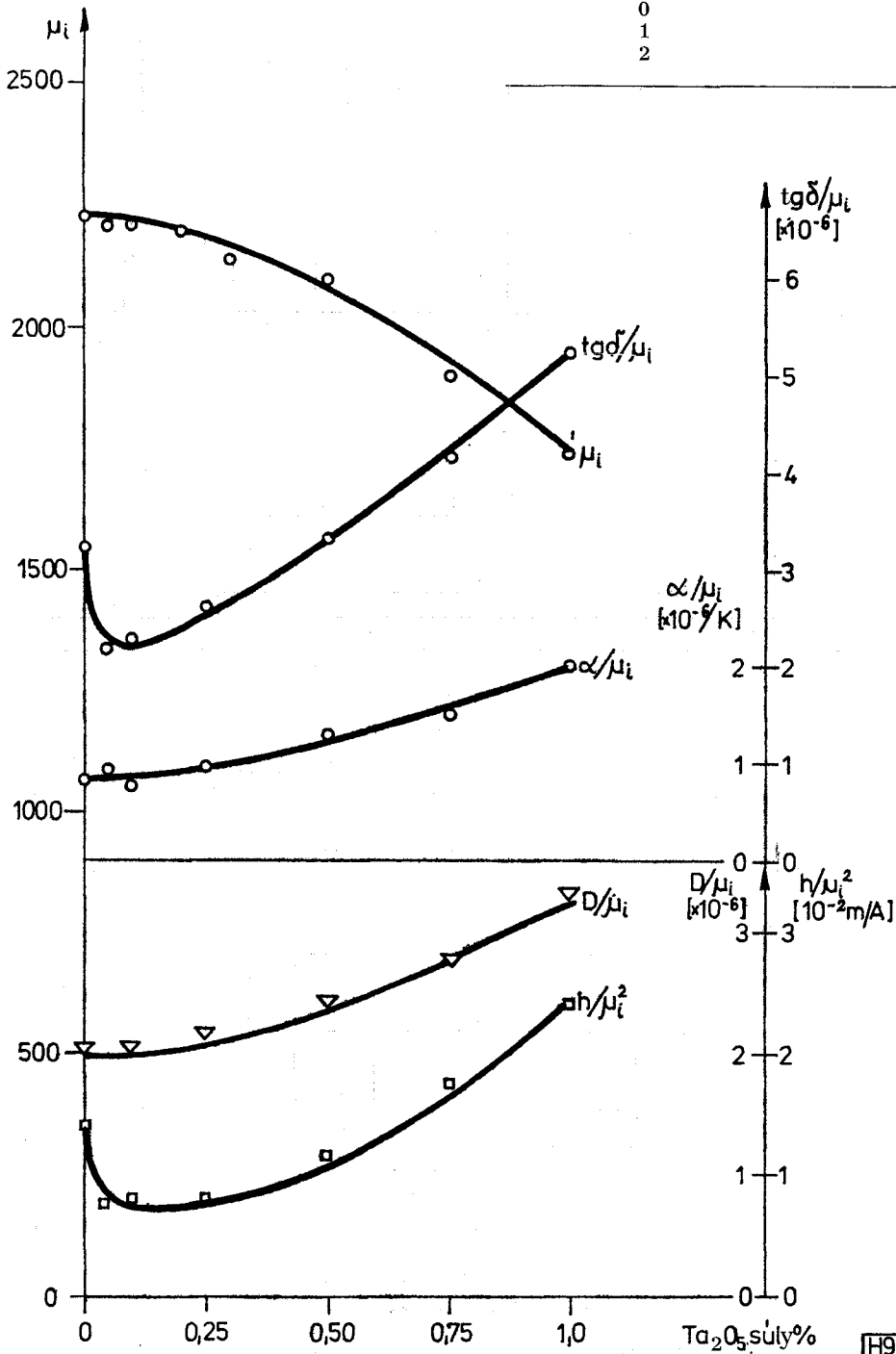
A  $Fe^{2+}$  ionok közvetlen bevitele vagy  $Ti^{4+}$  ionokkal történő generálása az eredő anizotrópiában azonos változást okoz, de a stabilitási tulajdonságok

I. táblázat

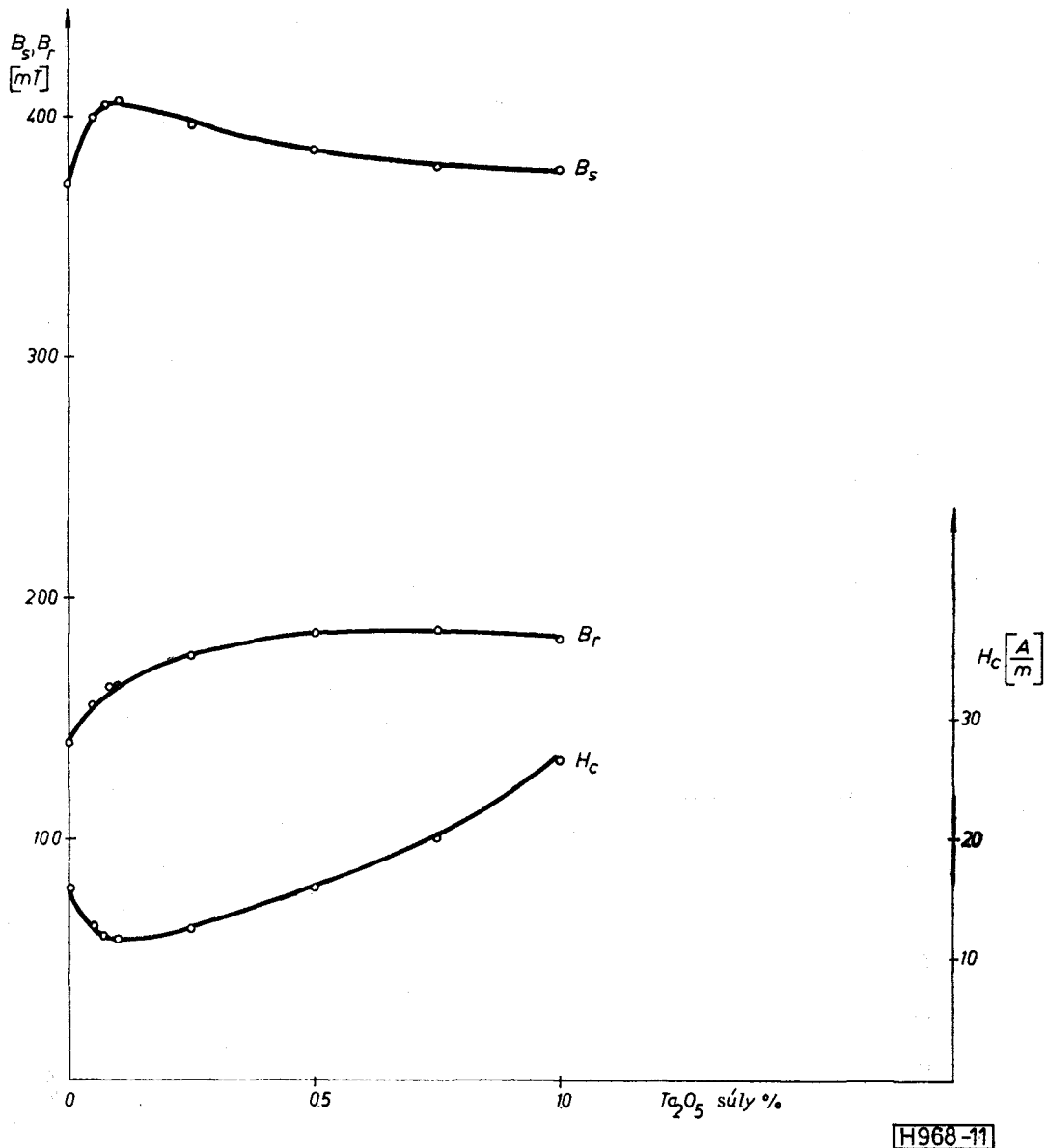
TiO <sub>2</sub> (mol%)	Átlagos szemcseméret (μm)
0	5
1	11
2,5	43

II. táblázat

TiO <sub>2</sub> (mol%)	Rácsállandó (nm)
0	0,8486
1	0,8492
2	0,8498



10. ábra



11. ábra

méréseink szerint a második esetben kedvezőbben alakulnak.

Hanke [3] hasonló eredményeit azzal indokolja, hogy a kétvegyértékű vasionok egy része hajlamos arra, hogy háromvegyértékűvé válják és emellett vakanciatöbblet jön létre. Kísérleteinkből kitűnik, hogy a Ti tartalmú mintákban az oxigéntartalom kisebb mértékben tért el a sztöchiometriai aránytól mint a névlegesen ugyanannyi  $Fe^{2+}$  iont tartalmazó anyagban, ami végül is a dezakkomodáció javulását okozza.

Mikroszondás (EMP) méréseink a Ti egyenletes eloszlását, a Ta-nak pedig a szemcsehatárok menti kiválását mutatják. Jellemző eredmények találhatóak a III. táblázatban.

Tehát, Ta csak a szemcsehatárokon fordul elő, de ritkán — a felületi eloszlás vizsgálatakor — szemcsejellegű kiválások formájában is megfigyelhető volt.

Alacsony veszteségű ferritek előállításánál szokásos

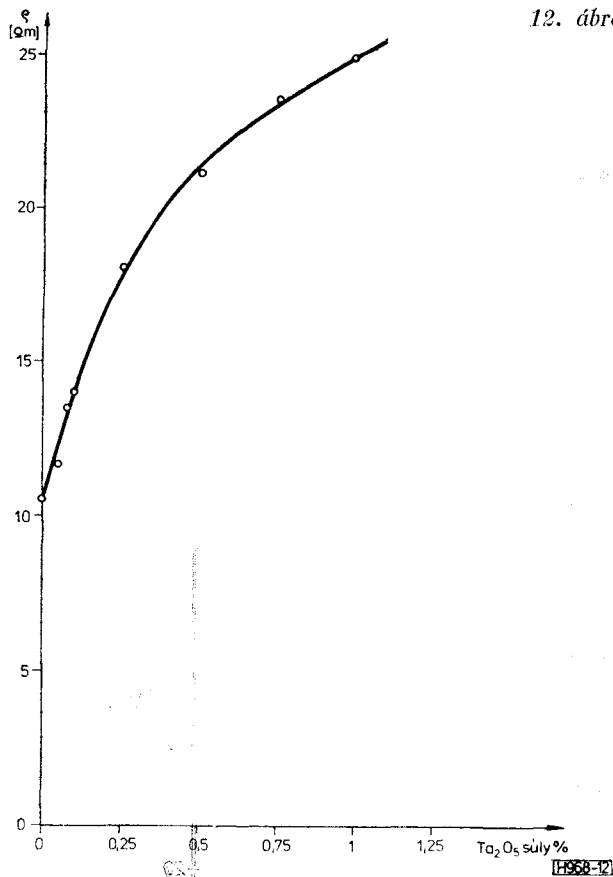
III. táblázat

Mérés helye	Összetétel (at%)						
	Fe	Mn	Zn	Ta	Ti	Ca	Si
Szemcsehatár	69,51	20,14	5,61	3,26	0,83	0,21	0,19
Szemcse belseje	71,23	21,54	6,24	0	0,94	0	0

az olyan szerkezetkialakítás, melyben a szemcsehatárokon második fázis válik ki. Ha ez a réteg szigetelő, akkor csökkenti az örvényáram-pályák geometriai méretét. Egy lehetséges megoldás például az lehet, hogy az alapanyagban eleve meglévő — a rácsban nem oldódó — szennyező ionokat (Ca, Si, K stb.) úgy egészítik ki, hogy üvegszerű vékony hárttyát hozzanak létre a szemcsehatárokon [6].

Problémát jelent azonban az, hogy mind a Ca,





12. ábra

síthető egy nagy fajlagos villamos ellenállású Ta<sub>4,5</sub>Si és Ta<sub>2</sub>Si-t tartalmazó szilikát réteg létrejötté.

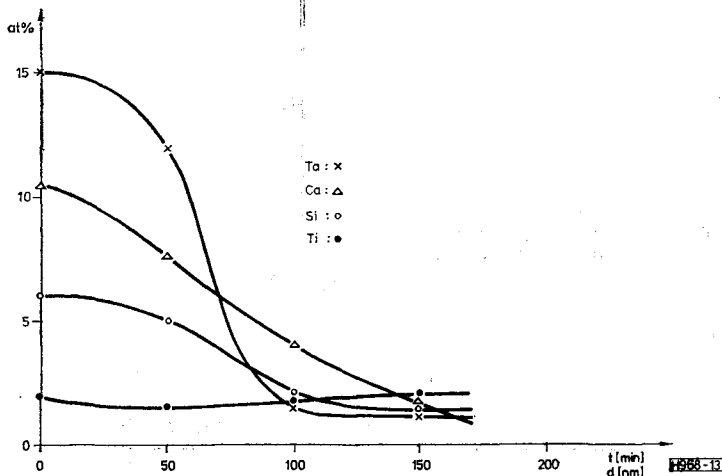
További Ta adalékolás hatására pl. 1 súly% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> esetében ez a rétegvastagság 200–300 nm-re nőtt fel. Emiatt a rendszerre jellemző egyensúlyi domenfalvastagságot (ami becsléseink szerint kb. 280–300 nm) megközelítő méretű második fázis a domenfalmozgást gátló, így a permeabilitást csökkentő tulajdonsága egyre dominálőbb.

Az általunk alkalmazott kétféle adalék hatása – megítélésünk szerint – összegeződik. Tekintve, hogy a Ti beépül a rácsba a Ta pedig második fázisként a szemcsehatárokon válik ki, egymás hatását alig befolyásolva alkalmazásukkal egyidejűleg több mágneses jellemző javítására nyílik mód.

### Összefoglalás

Az 53 mol% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 28 mol% MnO és 19 mol% ZnO tartalmú ferritanyagon végzett adalékolási kísérleteink eredményeit a következőkben foglalhatjuk össze:

- A TiO<sub>2</sub> adalékolásával jelentős mértékben javíthatók a ferritmagok stabilitási tulajdonságai. Kis pozitív hőfokfüggés ( $0,5 \times 10^{-6}/K$ ) és alacsony dezakkomodációs tényező ( $2 \times 10^{-6}$ ) érhető el.
- A Ti<sup>4+</sup> ionok egy kritikus koncentrációig (1 mol%) növelik a fajlagos ellenállást, és ez a veszteségek csökkenését eredményezi.
- A Ti<sup>4+</sup> ionok a spinellrács oktaédeseres helyeire beépülve rácsállandó növekedést okoznak. Az eredő anizotrópiához pozitív járulékot adva megváltoztatják a  $\mu_i - T$  görbe alakját, és a hőfokfüggést.
- A Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> adalék alkalmazásával a tulajdonságok tovább javíthatók, mivel a tantál a szemcsék felületén dúsul fel és a szilíciummal szigetelő réteget hoz létre. Ez a fajlagos ellenállás növekedéséhez, a veszteségek további csökkenéséhez vezet.
- A két adalék együttes (komplex) alkalmazása lehetséges, mivel az adalékok hatásukat egymástól függetlenül fejtik ki, így kis veszteségű jó stabilitású magok állíthatók elő.



13. ábra

mind a Si ha csekély mértékben is, de beépül a rácsba. Így a Ca<sup>2+</sup> nagy (0,099 nm), a Si<sup>4+</sup> ionok pedig túl kicsi (0,042 nm) ion sugarának következtében pedig rácszorulás, ill. anizotrópia indukálódik.

A Ta választás ebből a szempontból is jónak mondható, mivel a Ta<sup>4+</sup> ionsugara (0,068 nm) gyakorlatilag megegyezik a Ti<sup>4+</sup> ionméretével. Esetleges oldódása esetén sem ad lényeges anizotrópia járulékot, nem csökkenti a permeabilitást. A 0,05 súly% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tartalmú minták szemcsehatárainak koncentráció profilját a 13. ábra mutatja. A mérések Auger elektronspektroszkópiával (AES) készültek.

Látható, hogy a Ta nagy része egy 60 nm-es sávban helyezkedik el. A felvételek alapján valószínű-

### IRODALOM

- [1] Fodor L. – Hidasi B. – Vécsey B.: Mangan-cink ferritek mágneses tulajdonságainak javítása adalékanyagok segítségével. Híradástechnika 1/83.
- [2] Röss, E. – Hanke, J.: The influence of titanium and tin in manganese-zinc ferrites. Phys. Status Solidi, 2 3. 185–187. 1970.
- [3] Hanke, J.: Einfluss von Titationen auf die magnetischen Eigenschaften in Mangan-Zink Ferriten. Ber. Deut. Ker. Ges. 49 9. 295–300. 1972.
- [4] Yan, M. F. – Johnson, D. W.: Impurity – induced Exaggerated Grain Growth in Mn-Zn ferrites. J. of The Am. Cr. Soc. 61 7–8. 342–349. 1978.
- [5] Stijnjes, T. G. W. – Klerk, J. – Broese van G. A.: Permeability and conductivity of Ti-substituted Mn-Zn ferrites Philips Res. Repts. 25 95–107. 1970.
- [6] Tardos M.: Idegen ionok hatása Mn-Zn ferritek mágneses sajátosságaira. Híradástechnika, 10. 319–327. 1967.