

Szalai Sebestyén Zalán  
Nyitrai Andor  
Trásy Tamás  
Zubor Zsolt  
Nemeskéri Dániel  
Egyed Zsombor

C7283Z  
BROC92  
BJ1E43  
UCPQ1G  
W6HRMX  
BBNB33

N

I

11

A

# Mágneses anyagok és vizsgálatuk

## Mérésnél használt eszközök:

- Gerjesztésszabályzó toroid transzformátor
- Ferrotester
- Oszilloszkóp
- P 20.000 és P 50.000 típusú, képlékenyen alakított és hőkezelt technológiai állapotú minták

## A mérés leírása:

Beindítottuk az oszcilloszkópot, majd beállítottuk az alap-hiszterézisgörbét az oszcilloszkóp osztásának a közepére. Behelyeztük a mintát a ferrotestbe. A gerjesztésszabályzót öt különböző értéken kívántuk tesztelni, és ezek a 20%-100%-ig 20%-onként emelt értékek. Úgy szabályoztuk az oszcilloszkóp függőleges és vízszintes feszültségértékeit, hogy jól leolvasható legyen a kép amit a gerjesztés állapotaiban kapunk.

Leolvastuk a gerjesztésszabályzó transzformátorral beállított különböző gerjesztések mellett az oszcilloszkóp képernyőjén megjelenő hiszterézis görbéken látható értékeket (ahol a hiszterézisgörbe metszi a függőleges, és vízszintes tengelyt, valamint a csúcskoordinátákat). A csúcskoordinátának a függőleges tengelyre vetített pontja mutatja a maximális indukciót ( $B_m$ ), a hiszterézisgörbe függőleges tengellyel vett metszéspontja jelzi a remanens indukciót ( $B_r$ ), és a vízszintes tengellyel való metszése jelöli a koercív erőt ( $H_c$ ).

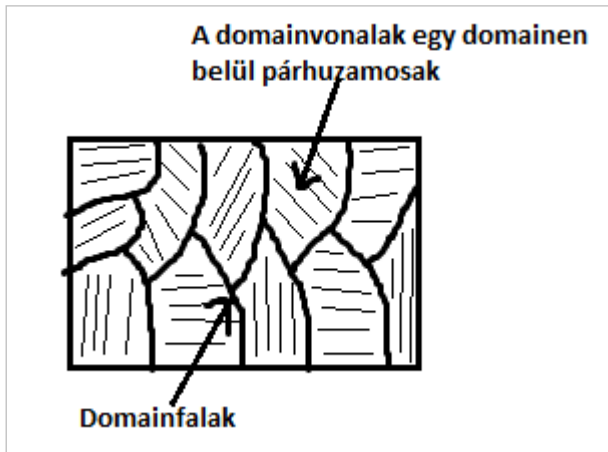
Mivel az oszcilloszkóp nem ad pontos értékeket, csak viszonylagos egységekkel kifejezett számokat olvashatunk le, a megadott képletek, és értékek segítségével átszámoltuk az értékeket megkapva a végleges értékeket. Végül grafikonon tettük szemléletesebbé a kapott értékhalmozatot.

A mérés dátuma:  
2009.12.08.

## Elmélet:

### A doménszerkezet kimutatása:

A mágneseződés mechanizmusának magyarázatában alapvető szerepe van a doménelméletnek. A domének olyan tartományok a mágneses anyag kristályain belül, amelyekben az elemi mágneses momentumok túlnyomó többsége egy adott irányban áll, és ez az irány rendszerint valamelyik kitüntetett kristálytani iránnyal, az ún. könnyű-mágnesezési irányok egyikével azonos.



A doménnek nevezett tartományon belül tehát az anyag telítésig van mágnesezve, de nagyobb térfogatot vizsgálva a sok domén, egymás mágneses hatását, részben vagy egészben semlegesítheti. Megmutatható termodinamikai megfontolásokkal, hogy a doménekre osztódás stabilabb állapotot ad,

$$M = \sum_i v_{B_i} \cos \theta_{B_i}$$

amennyiben a külső mágneses tér zérus, vagy nem túlságosan nagy. A makroszkópusan mérhető

mágneses vektorának kifejezése a doménelmélet szerint

ahol  $M_{S_B}$  a telítési mágnesezés az adott hőmérsékleten,  $v_{B_i}$  az  $i$ -edik domén térfogata,  $\theta_{B_i}$  az  $i$ -edik domén mágnesezési vektorának hajlásszöge az eredő mágnesezés irányához.

Ebből adódik azaz egyszerű modell, hogy a mágnesezés megváltozásának kétféle módja lehetséges:

- az egyedi domének térfogatának megváltozása (doménfal eltolódás),
- egy-egy doménen belül a mágneses momentumok irányának megváltozása (mágneses momentum forgás).

Külső tér nélkül, tökéletesen lemágnesezett állapotban  $M = 0$ . Ha mágneses tér van, akkor az  $M \neq 0$  konfiguráció alacsonyabb energiájú, stabilabb állapotot ad. A domének méretei anyagoként változnak, de egy adott anyagnál is függenek a kristályok méreteitől, alakjától polikristályos anyagoknál a szemcsenagyságtól, valamint külső tényezőtől is, pl. hőmérséklet, rugalmas feszültség. Polikristályos vas-szilícium mintában az átlagos doménméret századmilliméter nagyságrendű.

A doméneket a minta jól polírozott felületén láthatóvá tehetjük úgy, hogy a minta felületére nagyon finom eloszlású mágneses port helyezünk. A porszemcséket a mágneses tér gradiense az erővonalak forrásai felé vonzza, ezek pedig leginkább a domének határvonalai.

Külső mágneses teret alkalmazva, ha a tér változása nem túl gyors, akkor a porrészecskék követni tudják a doménfalak mozgását és így a mágnesezés folyamatát is érzékelhetjük.

A mágneses teret fokozatosan növelve zérustól a doménfalak áthelyeződnek úgy, hogy a külső mágneses térhez képest, kedvező irányítású domének összterfogata növekszik a többi rovására, majd egyre több, kedvezőtlen irányítású domén szűnik meg.

## A mágneses anyagok csoportosításai:

### Első csoportosítás

1. Gyengén mágneses anyagok
  - Paramágnes ( $\kappa > 0$ )
  - Diamágnes ( $\kappa < 0$ )
2. Rendezett mágneses anyagok
  - Ferromágnes domainirányok párhuzamosak és egy irányba mutatnak  $\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow\uparrow$
  - Ferrimágnes domainirányok párhuzamosak de nem mind egy irányba mutatnak  $\uparrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$
  - Antiferrimágnes domainirányok párhuzamosak de nem mind egy irányba mutatnak, ugyanannyi mutat mindkét irányba  $\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$

### Második csoportosítás

1. Lágymágnes: könnyű fel és lemágnesezni
2. Keménymágnes: tartja a mágneses tulajdonságokat

## Gyengén mágneses anyagok vizsgálata:

Az anyagok döntő többsége ezen csoportba tartozik. A hétköznapi gyakorlatban ezek közismerten a nem mágnesezhető elemek, ötvözetek stb. Mágneses tér hatására minden anyagban mágneses polarizáció lép fel. Egyrészt a mintában mágneses momentumok indukálódnak, másrészt, ha a minta eleve tartalmaz (spontán) mágneses momentumokat, ezek a külső tér hatására rendeződnek. Mivel a mágnesezettség a térfogategységben lévő mágneses momentumok ( $p_{mB}$ ) eredője és a makroszkópikus mágneses jellemzők közötti kapcsolat:

a  $\kappa$  mágneses szuszceptibilitást használjuk fel a gyengén mágneses anyagok mágneses tulajdonságainak jellemzésére. A  $\kappa$  az esetek többségében a térerősségtől függetlennek tekinthető.

Tehát bármilyen anyag és a mágneses tér között egy gyenge kölcsönhatás mindig fellép az alábbi mechanizmusok szerint.

$$\mathbf{M} = \frac{1}{V} \sum_i \mathbf{p}_m, \quad \mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}), \quad M = \kappa H$$

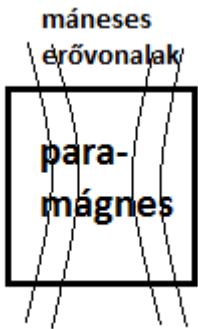
### Diamágneses anyagok



Elemi mágneses momentumuk nincs, ill. az elektronok mágneses momentumai teljesen kompenzálják egymást. Külső mágneses tér hatására, bennük az elektronpályák deformációja révén, mágneses momentum indukálódik. Az indukció-törvény szerint, az indukált momentum a külső térrel ellentétes irányú, s nagysága lineáris függvénye a térnek. Tehát a diamágneses anyagok szuszceptibilitása negatív, mágneses tér- és hőmérséklet független. A vázolt polarizációs mechanizmus minden anyagban létrejön, de csak akkor észlelhető, ha más erősebb mágneses hatás el nem nyomja.

Kiszorítja magából az mágneses indukcióvonalakat, az ábrán szemléltetett módon.

## Paramágneses agyagok



Elemi mágneses momentumuk van, de a hőmozgás miatt, statisztikusan rendezetlen irányeloszlást mutatnak, emiatt a makroszkopikus mágnesezettségük zérus. Külső mágneses tér hatására a momentumok, a termikus mozgás ellenében, igyekeznek beállni a térirányba. Tehát szuszceptibilitásuk pozitív és hőmérsékletfüggő. Tiszta paramágneses anyagok szuszceptibilitása a gyakorlatban elérhető mágnesterek esetén térfüggetleneknek tekinthetők, de már kis mennyiségű ferromágneses kiválás hatására térfüggővé válik és hiszterézis típusú görbét ad.

Magába „vonzza” a mágneses indukciós vonalakat az ábrán látható módon.

### Mágnesesen rendezett szerkezetű anyagok vizsgálata:

Ezek a ténylegesen mágnesesnek, közismerten mágneseknek nevezet anyagok, ötvözetek, kerámiák. Spontán mágneses momentummal rendelkeznek, s egy jellegzetes hőmérséklet alatt, az ezen momentumok közti csatolás a momentumokat a kristály tengelyeihez képest valamilyen rendbe sorakoztatja egy-egy adott tartományon belül, tehát doménszerkezetűek.

Az atomi mágneses momentumok parallel beállása esetén ferromágneses, a szomszédos momentumok antiparallel beállása esetén antiferromágneses anyagokról beszélünk. Az antiferromágneses rend speciális megvalósulási formája az ún. ferrimágneses elrendeződés. Itt az elemi momentumok ellentett beállításúak ugyan, de abszolút értékben különböznek.

### Makroszkópikus mágneses jellemzők hőmérsékletfüggése

Ferro- és ferrimágneses anyagok jellemzésére a leggyakrabban használt mágneses paraméterek a hiszterézisgörbétől közvetlen meghatározhatók. Általános törvényszerűség fémek mágneseznél, hogy a telítési indukció ( $B_{sB}$ ), a hőmérséklettel monoton csökken, és annál erősebben, minél jobban megközelítjük a Curie-hőmérsékletet. A koercitív erő változása szintén monoton csökkenő (arányosnak tekinthető az anizotrópia változásával). A kezdeti permeabilitást a doménfal mozgékonyasága szabja meg. Ha az anizotrópia csökken, a falszélesség növekszik. A vastagabb doménfalak mozgékonyabbak, kevésbé érzékenyek a belső feszültségekre, rácshibákra, szennyezőkre, stb. Tehát  $\mu_{kB}$  a hőmérséklet növekedésekor növekszik, és ha  $T \rightarrow T_{CB}$ , akkor  $\mu_{kB} \rightarrow \infty$ .

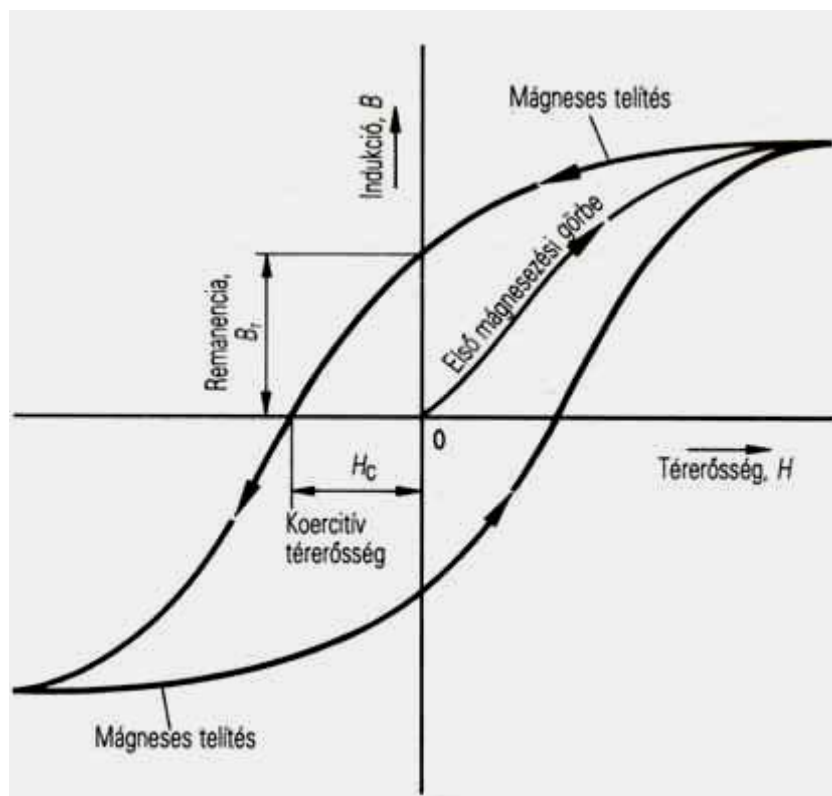
### Ferromágneses agyagok

A ferromágnesek rendkívül jól mágnesezhetőek és miután megszűnik a mágneses indukció (B) illetve a mágneses indukciót előidéző mágneses térerősség (H), továbbra is megtartják mágneses tulajdonságukat.

Ahogy növeljük az áramerősséget, a mágneses indukció is arányosan nő, és a doménfalak elmozdulnak a vasmagban. A mágneses indukció együtt változik a mágnesezési görbékkel.

A mágnesezés egy irreverzibilis folyamat, tehát az újramágnesezéskor a korábbi mágnesezettséget is figyelembe kell venni. A hiszterézis-görbével lehet szemléltetni a ferromágnes mágnesezését. A szaggatott vonallal (szűzgörbe) az első mágnesezési görbe van szemléltetve.

A térerősség növelésével ( $H$ ) az indukció is hirtelen növekszik, majd egy ponton ez a növekedés megáll, ennek az értéke szaturációs indukció ( $B_s$ ) lesz. Amikor a térerősség elkezd csökkenni, akkor az indukció is csökken, de sokkal lassabban, mint az előző esetben és amikor a  $H$  értéke eléri a 0-át, akkor az indukció még mindig jelen van. Ahhoz, hogy az indukció értéke újra 0 legyen, növelni kell a  $H_c$  (koercitív erő) értékét. A mágnesezhető anyagoknak van 2 csoportja. Az egyik a könnyűmágnesek (lágymágnesek), ezekben az anyagokban sokkal könnyebben tudnak elmozdulni a domén-falak (a domének olyan



tartományok az anyagon belül, melyekben a mágneses momentumok többsége egy adott irányba áll, a domének között pedig domén-fal található, ahol a mágnesezettség 0 és erős mágneses mezőben a doménfalak elmozdulnak és a mozgás miatt nem lépnek vissza alapállapotba) illetve kis koercitív erővel rendelkeznek, ezért könnyű őket fel- illetve lemágnesezni. Ide tartoznak például az Fe-Si ötvözetek, amiket a transzformátorok gyártásánál szoktak felhasználni.

### Lágymágneses anyagok vizsgálata:

Lágymágneseknek nevezzük az olyan mágneses anyagokat – függetlenül a bennük lévő rendezettség-típusától – melynek kis koercitív erővel rendelkeznek. A lágymágneses anyagok kiválasztásánál alapvető anyagi jellemzők: a koercitív erő ( $H_{CB}$ ), a telítési és remanens indukció ( $B_{SB}$  és  $B_{RB}$ ), a permeabilitás ( $\mu$ ), a fajlagos villamos ellenállás ( $\rho$ ), valamint az alakíthatósági paraméterek. Általában a  $B_{SB}$ ,  $B_{RB}$ , jellemzők minél nagyobb és a  $H_{CB}$  minél kisebb értéke a kívánatos.

Ha az átmágnesezés folyamatát – a doménfal-eltolódást és forgást – minél könnyebbé tesszük, akkor kisebb  $H_{CB}$ -t tudunk elérni. Ennek a feltételnek a homogén egyfázisú, kevés rácshibát tartalmazó szilárd-oldatok tesznek eleget. A szilárd-oldat kialakítás adja meg az egységnyi mennyiségű ötvözőre vonatkoztatott, legnagyobb fajlagos villamos ellenállás növekedést is. A  $B_{SB}$  csak koncentrációfüggő, tehát növeléséhez a térfogat-egységenkénti, minél nagyobb momentumot szolgáltatató atomok számát kell emelni.

### Keménymágneses anyagok vizsgálata:

Keménymágneseknek (állandómágneseknek) nevezzük a nagy koercitív erővel rendelkező anyagokat. Kiválasztásuknál az alapvető anyagi jellemzők a koercitív erő ( $H_{CB}$ ), a remanens indukció ( $B_{rB}$ ), a maximális energiaszorzat  $(BH)_{maxB}$ , a  $\rho$  fajlagos villamos ellenállás, valamint az alakíthatóság paraméterek. Annál jobbnak tekintünk egy keménymágneses anyagot, minél nagyobb értékűek a felsorolt mágneses és villamos jellemzők. A technológia számára legdöntőbb feladat a  $H_{CB}$  növelése. Tehát olyan anyagot kell létrehozni, melyben az átmágnesezési folyamatot különböző hatások megnehezítik. A doménfal-eltolódást ugyanazokkal a módszerekkel lehet gátolni, melyekkel a mechanikai keménység vagy a mechanikai szilárdsági tulajdonságok növelhetők (innen ered a „keménymágneses” elnevezés), például második fázis kiválasztásával, rácshiba-sűrűség növelésével, stb. s talán a legkézenfekvőbb módszer az, ha megpróbálunk egy olyan szilárd testet létrehozni, amiben nem jöhet létre doménfal, következtetésképpen faleltolódás sem. A momentumok átfordulását is megnehezíthetjük, úgy, hogy minél nagyobb kristályanizotrópiájú anyagot választunk, melyben lehetőleg kevés a könnyűmágnesezési irány.

## A mérés menete:

A mérés során az oszcilloszkópról leolvasott egységértékeket az alábbi képletek segítségével alakítottuk át.

$E_{r_{v\acute{i}zsz.}}$  : vízszintes erősítés

$$U_H = X \cdot E_{r_{v\acute{i}zsz.}}$$

$$H = 3200 \cdot U_H$$

$E_{r_{f\acute{u}gg.}}$  : függőleges erősítés

$$U_B = Y \cdot E_{r_{f\acute{u}gg.}}$$

$$B = 1,08 \cdot U_B / q$$

Az átalakítás során az alábbi táblázatban található értékeket használtuk fel. Mint látható mintánként öt mérést végeztünk öt gerjesztésen.

	Gerjesztés(%)	Lemért egységben			Erősítés	
		Bmax	Br	Hc	Függőleges V/T	Vízszintes V/T
<b>FeNi, permalloy (50.000), alakított</b>	20	2,5	2	3	0,5	0,5
	40	8,5	7	4	0,5	0,5
	60	9,5	8	4,5	0,5	0,5
	80	10	8	5	0,5	0,5
	100	10,5	8	5,5	0,5	0,5
<b>FeNi, permalloy (50.000), hőkezelt</b>	20	5,5	1	0,5	0,5	0,5
	40	8,5	1,5	0,8	0,5	0,5
	60	9	2	1,2	0,5	0,5
	80	9,5	2,5	1,5	0,5	0,5
	100	10	3	1,8	0,5	0,5
<b>FeNi, permalloy (20.000), alakított</b>	20	2	1	2	0,5	0,5
	40	8	5	4	0,5	0,5
	60	12,5	8	5	0,5	0,5
	80	15	9	6	0,5	0,5
	100	18	10	7	0,5	0,5
<b>FeNi, permalloy (20.000), hőkezelt</b>	20	4	1	1	1	0,5
	40	7	1,5	1,2	1	0,5
	60	9	2	1,5	1	0,5
	80	10	2,5	1,8	1	0,5
	100	10	3	2,1	1	0,5

Minták ↑

beállítások ↑

mérések ↑

beállítások ↑

A képletek alkalmazása után megkaptuk az alábbi értékeket.

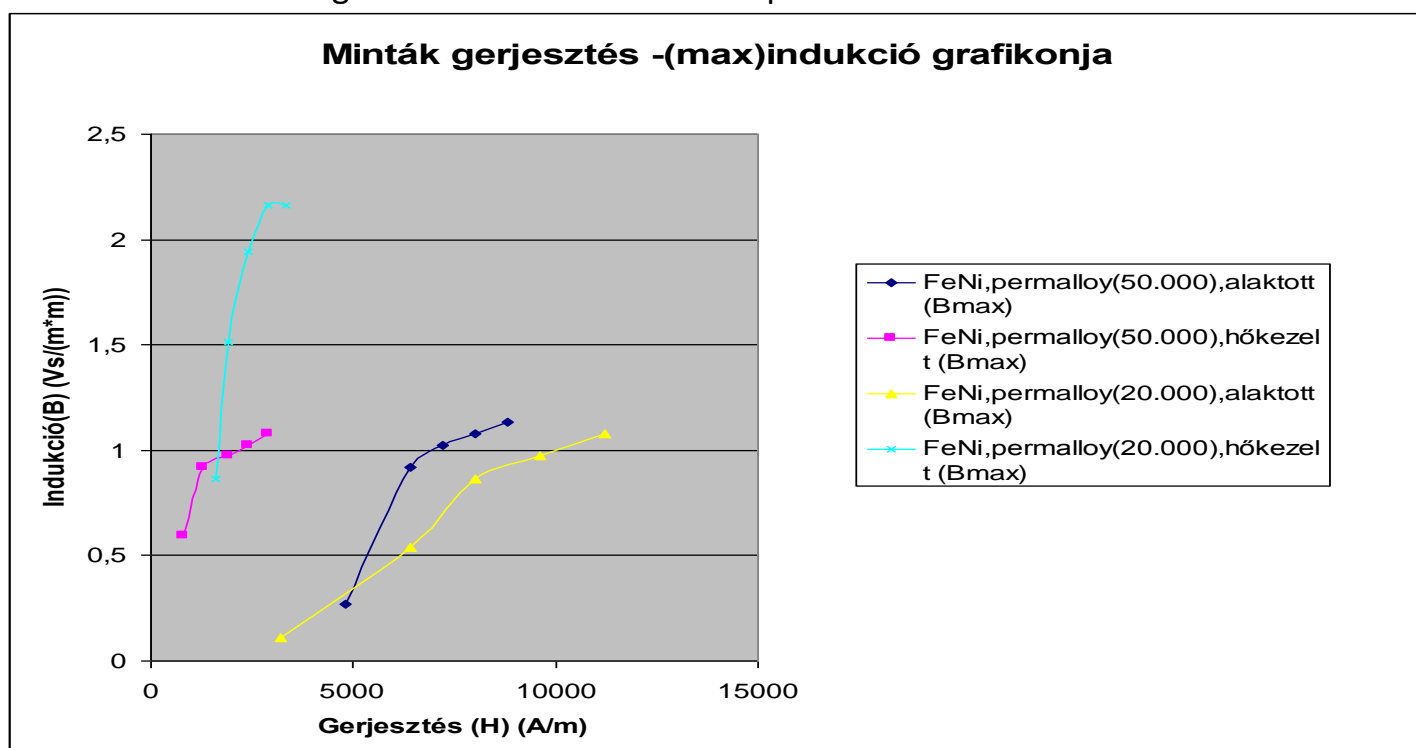
	Kiszámított értékben			
	Gerjesztés(%)	Bmax(Vs/(m*m))	Br(Vs/(m*m))	Hc(A/m)
<b>FeNi, permalloy (50.000), alakított</b>	20	0,27	0,216	4800
	40	0,918	0,756	6400
	60	1,026	0,864	7200
	80	1,08	0,864	8000
	100	1,134	0,864	8800
<b>FeNi, permalloy (20.000), hőkezelt</b>	20	0,594	0,108	800
	40	0,918	0,162	1280
	60	0,972	0,216	1920
	80	1,026	0,27	2400
	100	1,08	0,324	2880
<b>FeNi, permalloy (20.000), alakított</b>	20	0,216	0,108	3200
	40	0,864	0,54	6400
	60	1,35	0,864	8000
	80	1,62	0,972	9600
	100	1,944	1,08	11200
<b>FeNi, permalloy (20.000), hőkezelt</b>	20	0,864	0,216	1600
	40	1,512	0,324	1920
	60	1,944	0,432	2400
	80	2,16	0,54	2880
	100	2,16	0,648	3360

Minták ↑

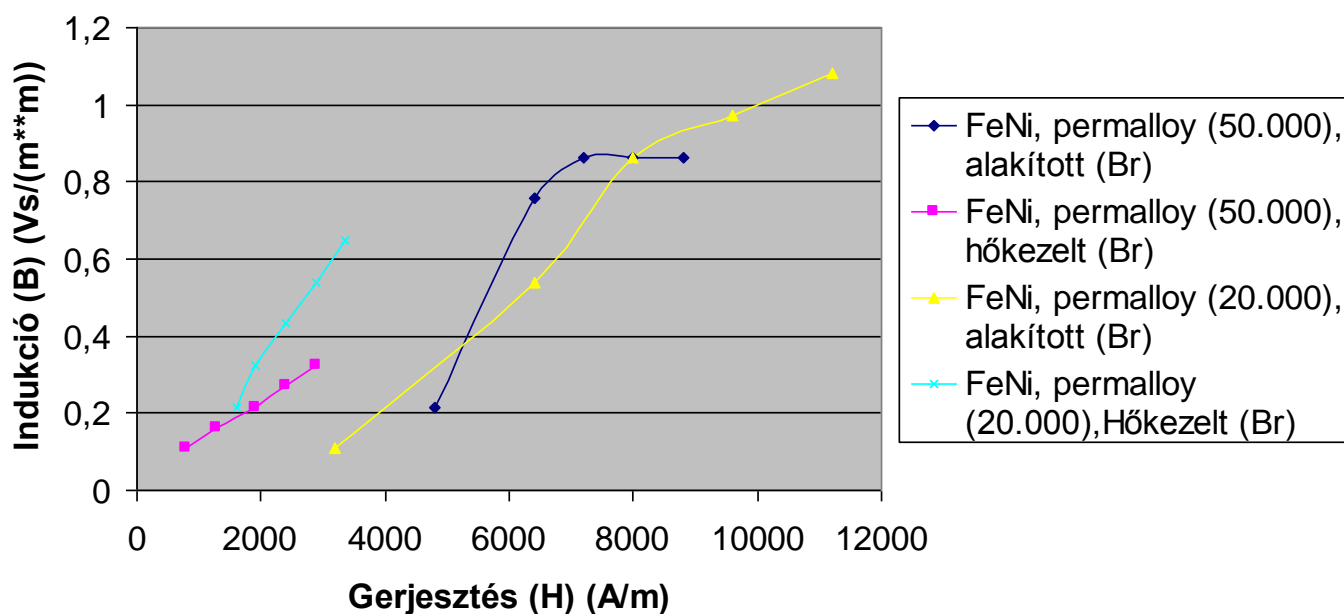
beállítások ↑ kiszámított végértékek ↑

Jól látható hogy a hőkezelt minták alacsonyabb értékekkel rendelkeznek (az utolsó minta Bmax értéke azért lóg ki egy kicsit, mert a leolvashatóság végett más (kétszer akkora) erősítéssel mértük).

Az alábbiakban grafikonokon ábrázoltuk a kapott értékeket.



## Minták gerjesztés -(remanens)indukció grafikonja



### Konklúzió:

Behelyeztük a mintát a ferrotestbe. Leolvastuk a gerjesztésszabályozó transformátorral beállított különböző gerjesztések mellett az oscilloszkóp képernyőjén megjelenő hiszterézis görbék csúcspont-koordinátáit, hogy felvehessük a dinamikus középgörbéket. Leolvastuk a legnagyobb gerjesztésű beállítás mellett a remanens indukciót (BR) és a koercív erőt (HC). A fenti lépéseket mind a négy mintával elismételtük.

A kapott értékekkel, és a grafikonokkal könnyen összehasonlíthatjuk a különböző mintákat, és következtetéseket vonhatunk le azok tulajdonságairól, eldönthetjük melyik alkalmasabb egy-egy specifikált feladat elvégzésére.