

anyagismeret

Mágneses tulajdonságok

Lágy- és keménymágneses anyagok

Dr. Mészáros István Attila

1

Mágneses tér \Leftrightarrow anyag kölsönhatás

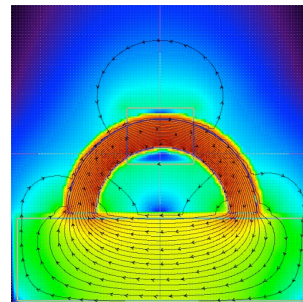
$$\bar{B} = \mu \bar{H}$$

$$\bar{B} = \mu_0 \mu_r \bar{H} = \mu_0 (\bar{H} + \bar{M})$$

$$\bar{M} = \kappa \bar{H} = \frac{1}{V} \sum \bar{P}_i$$

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

Mágneses permeabilitás

 Mágneses szuszceptibilitás
(érzékenység)


$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$B \left[\frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

$$H \left[\frac{A}{m} \right]$$

2

2

Mágneses anyagok csoportosítása

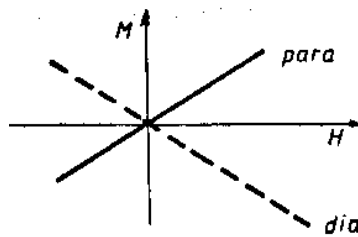
Gyengén mágneses anyagok

Dia (lezárt elektronhéj) $\kappa < 0$ ($\approx 10^{-5}$) Univerzális tulajd.
(Au, Pt, Ag, Si, Cu, Zn, Cd ...)

Para (legalább egy páratlan elektron) $\kappa > 0$ ($10^{-3} - 10^{-5}$)
(Mg, Al, Ti, W...)

Antimágnes

Mágnesezési görbék

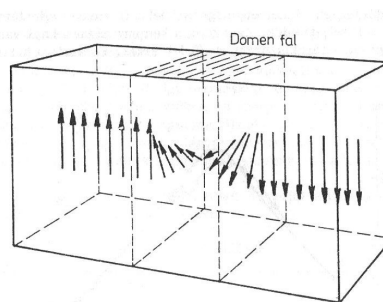


3

3

Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

Domén szerkezet



Egyensúlyi állapotban, a domének mágnesezettsége valamelyik könnyű mágnesezési irányba mutat. \Rightarrow doménfalak típusai

Fe [100] \Rightarrow 90° és 180° doménfalak

4

4

Rendezett mágneses szerkezetű anyagok típusai

Ferro ↑↑↑↑ (Fe, Co, Ni, Gd), ötvözetek, Heussler (Mn, Cr)

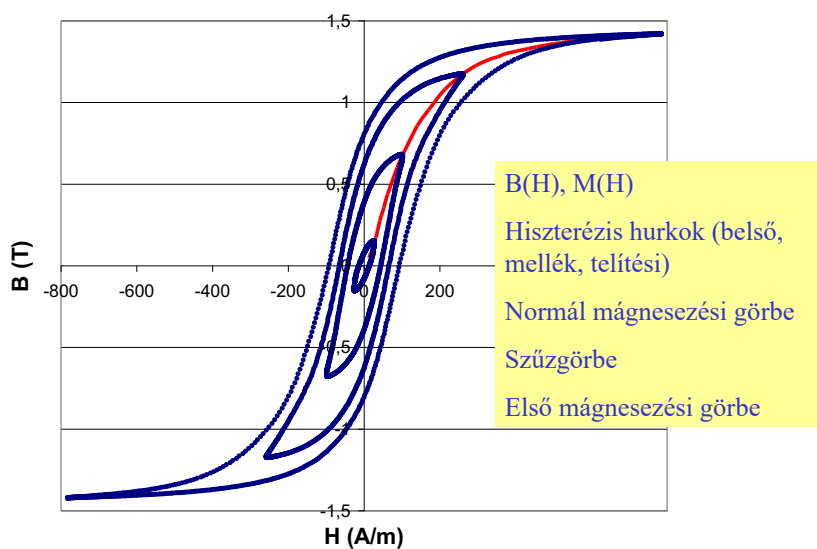
Antiferro ↑↓↑↓ (Cr, Mn)

Ferri ↑↓↑↓ (Fe₃O₄, CrO₂, ErO,
NiFe₂O₄, BaOFe₂O₃, Y₃FeO₁₂, MnFe₂O₄ ...)

5

5

Alapvető mágnesezési görbék



6

6

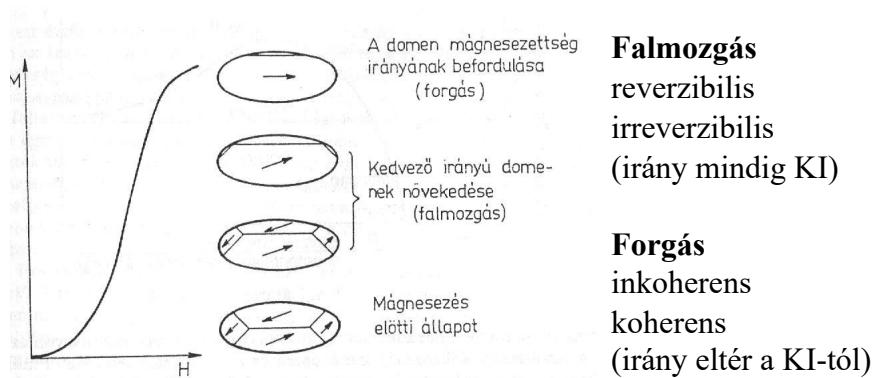
Hiszterézis görbéből származtatott fontosabb jellemzők

Telítési indukció (B_M)		Fe	2,15 T
Telítési polarizáció ($\mu_0 M_s$)		Ni	0,62 T
Remanens indukció (B_R)		Co	1,8 T
Koercitív tér (H_c)			
Permeabilitások (μ_r): kezdő, maximális, differenciális			
Jósági szám (BH) _{max}			
Szögletességi tényező B_R/B_M			
Veszteségi tényező			

7

7

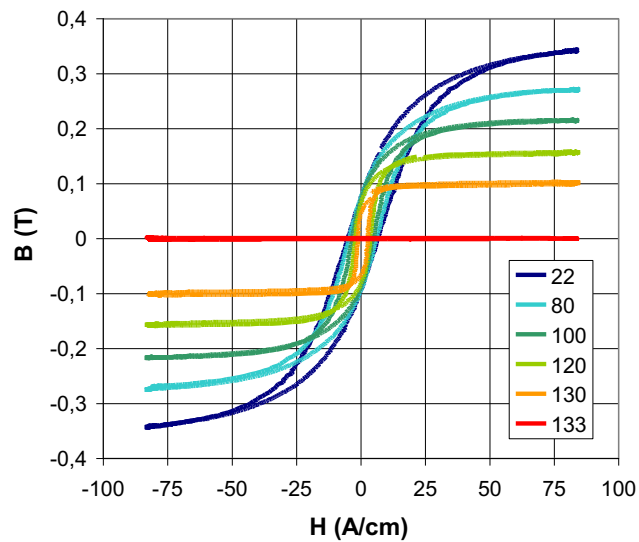
Az átmágnesezési folyamat kinetikája



8

8

MnZn ferrit hiszterézis görbéjének hőmérsékletfüggése
Curie hőmérséklet: 133 °C



9

9

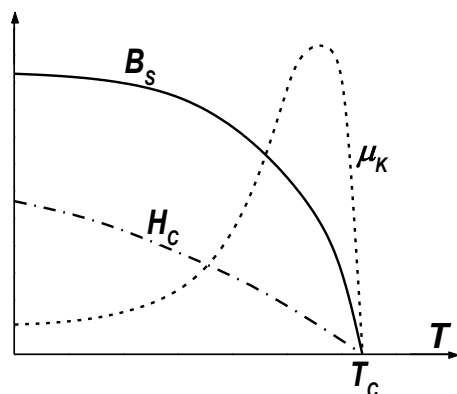
Néhány ferromágneses anyag Curie-hőmérséklete

Fe	770	°C
Co	1121	°C
Ni	368	°C
Gd	20	°C

10

10

Mágneses tulajdonságok hőmérsékletfüggése (ferromágnes)



Ferro \Leftrightarrow Para

Curie-hőmérséklet

Reverzibilis, végtelenszer ismételhető

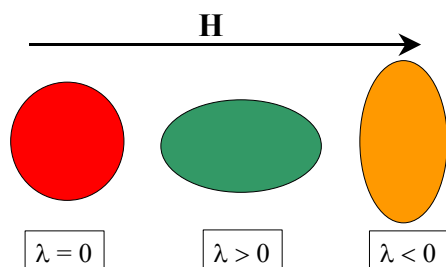
11

11

Magnetostrikció, magnetoelaszticitás

Mágneses tér hatására történő méretváltozás.

λ a telítéshez tartozó érték ($50-100 \cdot 10^{-6}$)



$$\lambda_{\text{térfogati}} = \frac{\Delta V}{V}$$

$$\lambda_{\text{lineáris}} = \frac{\Delta l}{l}$$

Fe $\lambda > 0$, Ni $\lambda < 0$

ultrahang generátor
transzformátor zúgása

Pl: 1 m hosszú
 $\lambda = 100 \cdot 10^{-6}$
Méretváltozás: $\approx 0,1 \text{ mm}$

12

12

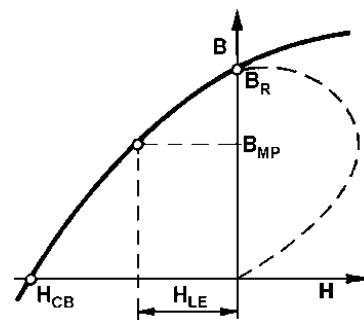
A műszaki alkalmazások lágy- és keménymágneses anyagai

13

13

Felhasználói igények a keménymágneses anyagoknál

B_M	Nagy
B_R	Nagy
$(BH)_{max}$	Nagy
Hiszterézis terület	Nagy
$400 \text{ A/cm} < H_C < 9000 \text{ A/cm}$	



Keménymágnes jelleggörbe

14

14

Keménymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Légrézben előírt indukció keltése / fenntartása.

Drága, sokszor alakíthatatlan.

Híradástechnika:

hangszórók, mikrofonok, mikrohullámú eszközök

Méréstechnika:

galvanométerek

Mechanikai mozgatás, rögzítés:

DC motorok, emelő mágnesek

Mágneses információ tárolás:

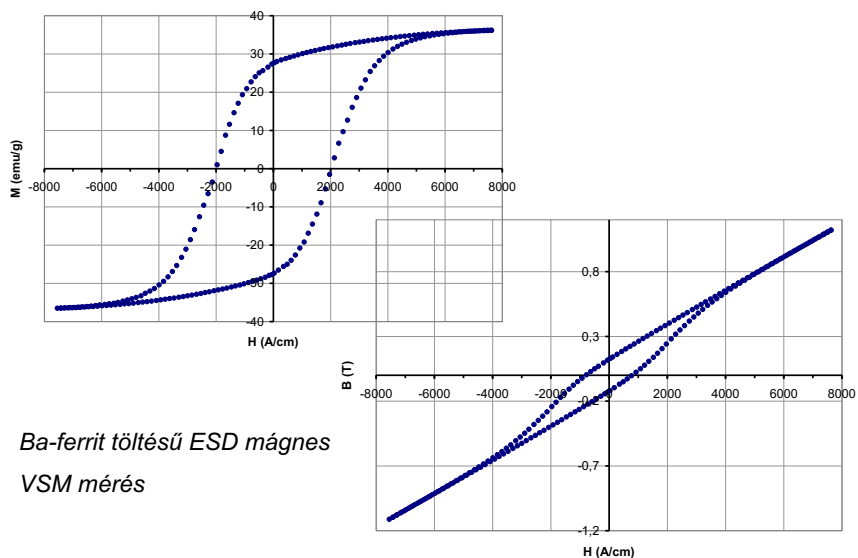
magnó, videó, floppy, merevlemez

15

15

M(H) vagy B(H)

H_{cM} vagy H_{cB} (belső koercitív tér)



16

16

Fe - Al - Ni – Co ötvözetek Alnico

Domen méretű ferromágneses fázis nem mágneses „kvázi-domenfallal elválasztva. + alakizotrópia

$H_c \approx 300-500 \text{ A/cm}$

550 °C hőmérsékletig alkalmazható

Kitűnő termikus stabilitás

Rideg \Rightarrow öntés, porkohászat

Izotróp, anizotróp



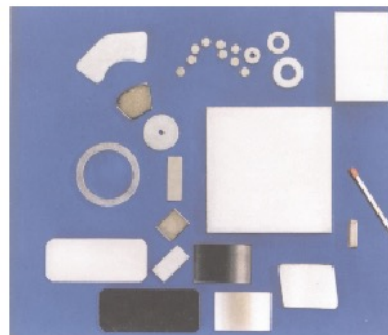
17

17

Ritkaföldfém mágnesek

- Ritkaföldfém (Sm, Nd)
- Előötvözet, őrlés, sajtolás (izosztatikus, mágneseres), hőkezelés
- Gyémánttárcsás vágás

$H_c = 4000 - 9000 \text{ A/cm}$



Shapes of permanent magnets made of VACODYM and VACOMAX

18

18

SmCo Samárium-Kobalt

SmCo₅ ill. Sm₂Co₁₇ összetételű intermetallikus vegyületek

Porkohászat

Hexagonális szerkezet ⇒ nagy kritáyanizotrópia

$H_C = 4000 - 7000 \text{ A/cm}$

Rideg, törékeny

Drága

19

19

Vas-Bór-Neodímium Fe-B-Nd mágnesek

Olcsóbb mint a SmCo

Kevésbé törékeny

$H_C = 4000 - 9000 \text{ A/cm}$

Nd₂Fe₁₄B ferromágneses fázis
(tetragonális rács)

Korrodál (galvanikus Ni, Zn, polimer
bevonat)

Max. üzemi hőmérséklet: 80-180 °C



20

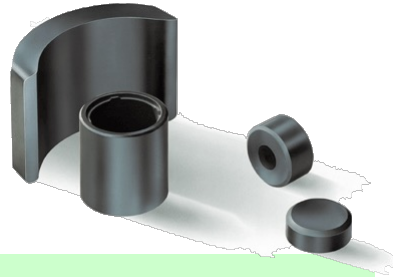
20

Kemény ferritek (Hexagonális ferritek)

Nemfémes mágnesek, kerámiák

Báriumferrit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$

Stronciumferrit $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$



B_s kicsi (max. 0,46-0,47 T)

H_c nagy (1300-2500 A/cm) \leftarrow Nagy egytengelyű anizotrópia

Rideg, törékeny, alakíthatatlan (köszörülés)

Curie hőmérséklet alacsony \Rightarrow prec. felhasználás nincs

Olcsó

21

21

ESD mágnesek Elongated Single Domain

Hosszú, egydomén méretű szemcsék
(CuNiFe, MnBi, Fe_3O_4 , Báriumferrit, Stronciumferrit...)

Kötőanyag (műanyag, gumi, alacsony op. fém)



22

22

Lágymágnesek jellegzetes felhasználási területei

- Fluxusvezető elemek
- Mágnes tér árnyékolások

Elektromechanikus eszközök:

Emelő, mozgató mágnesek, relék, mágneskapcsolók

Elektromágneses indukció alapján működő eszközök:

Transzformátorok, fojtók, generátorok, motorok, leválasztó elemek

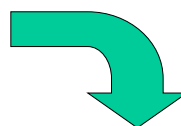
23

23

Felhasználói igények a lágymágneses anyagoknál

B_M Nagy
 μ Nagy
 $0,01 \text{ A/cm} < H_C < 1 \text{ A/cm}$

Fajlagos ellenállás Nagy
Curie-hőmérséklet Nagy
Alakíthatóság Nagy
Veszteség Kicsi
Hiszterézis terület Kicsi



Tiszta fémek és homogén szilárd oldatok.

Ötvözetek jobbak.

Mechanikai keménység \Leftrightarrow Mágneses keménység

24

24

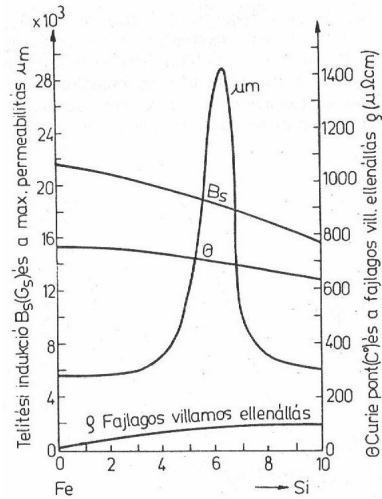
Fe - Si ötvözetek (lemez)

Erősáramú alkalmazás (nagy H, kis f)
 Tranzformátor, dinamó-lemez
 (0,2 - 1 mm)
 Si hatása: csökkenti az anizotrópiát

Optimum: 6,8 % Si **rideg, kemény**
 Tranzformátor: 4-4,5 % Si
 Dinamó: 3,2-3,6 % Si

Intersticiós ötvözők: C, N, O, P, Mn, S
 Maradó feszültség

Goss, kocka textúra

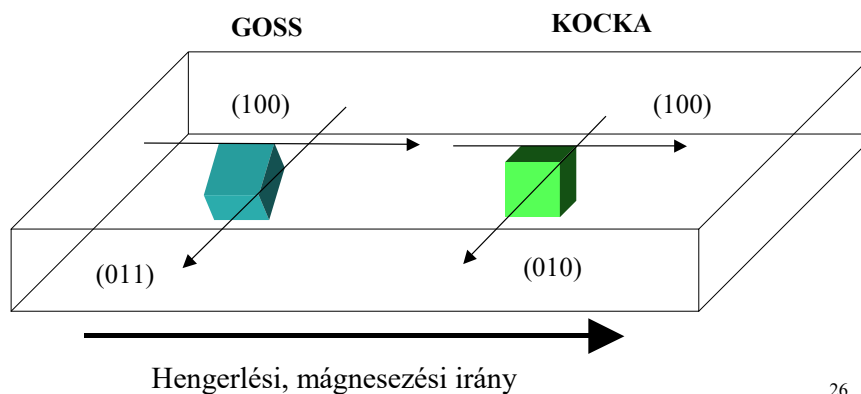


25

25

Textúrált Fe - Si lemezek

Külső H párhuzamos valamelyik könnyű mágnesezési iránnyal
 Hengerlés \Rightarrow szemcse orientáció \Rightarrow anizotróp, textúrás szerkezet
Mágnesezési irány meghatározott !



26

26

Fe - Ni ötvözetek (Permalloy)

80% Ni - 20% Fe

Kis telítési indukció (1,2 T)

Nagy permeabilitás (20.000 - 70.000)

Kis veszteség

Ni₃Fe rendezett rács (75% Ni, 500 °C) megakadályozandó !

Alakítás rendkívül sokat ront a tulajdonságokon.

Lágyítás (900-1000 °C, 1h), gyors hűtés,
feszültségmentesítés (600 °C), gyors hűtés

mágnes téres hőkezelés

27

27

Amorf – nanokristályos ötvözetek

Vékony szalagok (0,02-0,05 mm)

Eutektikus összetétel

Átmeneti fém (Fe, Ni, Co)

Nem fémes ötv.: (Si, P, N, C, B)

Gyorchűtés (10^5 °C/sec)

Harold Liebermann (1976)

Finemet: Fe₇₄Cu₁Nb₃Si₁₅B₇

40-50 Vol% nanokristályos fázis

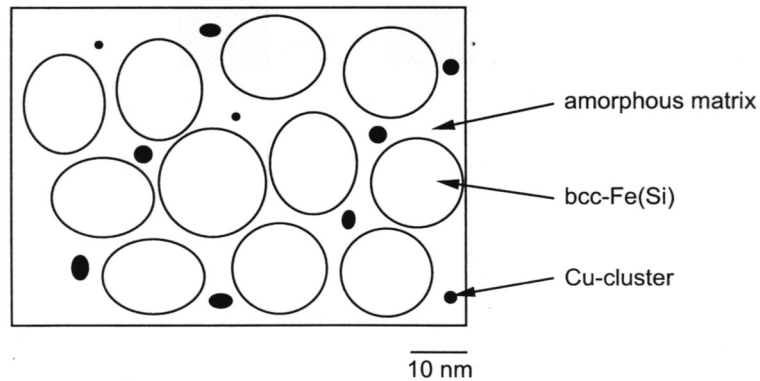
Fe, Ni, Co alapú
amorf ötvözetek



28

28

Nanokristályos állapot „szövetszerkezete”



29

29

Lágy ferritek, gránátok

Kerámia mágnes (Köbös spinel, Ferrimágneses rend)

⇒ Porkohászati technológia

⇒ Rideg, törékeny, nem alakítható (kösörülés)

⇒ Szigetelő (rossz félvezető) ⇒ nagy frekvenciás alkalmazások

MOFe_2O_3 FERRIT

(M kétvegyértékű fém: Mn, Zn, Ni)

Fe momentumok kompenzálják egymást ⇒ B_s kicsi

$3\text{M}_2\text{O}_3\cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$ GRÁNÁT

(M kétvegyértékű ritkaföldfém: Sm, Eu, Gd)

Ittrium ötvözes → YIG

30

30

Néhány további kapcsolódó tantárgy

Cím	Neptun	Kredit
Mágneses anyagok BSc	BMEGEMT AMMA	2kp
Mágneses anyagok és vizsgálatok MSc	BMEGEMT MGK6	4kp
Trendek az anyagtudományban BSc	BMEGEMT AGM6	4kp
Roncsolásmentes anyagvizsgálat BSc	BMEGEMT AGM5	4kp

31

31



32