



Anyagtudomány és Technológia Tanszék




Mágneses anyagok


Előadó: Dr. Szabó Péter János
szabo.peter.janos@gpk.bme.hu
 A diaszt kidolgozta: Dr. Mészáros István
meszaros@eik.bme.hu

Anyagtudomány
 BMEGEMTNG11

1



Anyagtudomány és Technológia Tanszék




Mágneses tér \leftrightarrow anyag kölcsönhatás leírása


$\vec{B} = \mu \vec{H}$
 $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$
 $\vec{M} = \kappa \vec{H} = \frac{1}{V} \sum \vec{P}_i = \frac{1}{V} \vec{P}$
 $\mu_r = 1 + \kappa$

H : az anyagra ható külső mágneses térerősség
 B : az anyagnak a külső tér hatására adott válasza, a mágneses indukció
 M : az anyagban a külső tér hatására ébredő mágnesezettség
 P : az anyagban lévő elemi mágneses momentum
 μ : mágneses permeabilitás
 κ : mágneses szuszceptibilitás (érzékenység)

2



Anyagtudomány és Technológia Tanszék





Mágnesezettség

Spin: az elektron perdületét jellemző kvantummechanikai mennyiség. Elektronokra az értéke +1/2 vagy -1/2 lehet.

Elemi mágneses momentum: az elektronok mozgásából (elsősorban a perdületükből) származó elemi mágneses tér, „elemi rúd-mágnes”, melynek van északi és déli pólusa is.

Mágnesezettség: az anyagban lévő elemi mágneses momentumok vektori eredője.

3

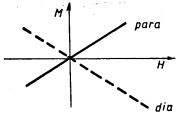
Mágneses anyagok csoportosítása

1. Gyengén mágneses anyagok



Diamágnes: nincs benne spontán mágneses momentum, de külső mágneses tér hatására létrejön a térrel ellentétes irányban. $\kappa < 0$ ($\approx 10^{-5}$). (P, Si, Cu, Zn, Ag, Cd, Au...)

Paramágnes: vannak benne elemi mágneses momentumok, de rendezetlenül mozognak. Külső mágneses tér hatására a tér irányába állnak be. $\kappa > 0$ ($10^{-3} - 10^{-5}$) (Mg, Al, Ti, W...)

Mágnesezési „görbék” lineárisak:



4



 

Mágneses anyagok csoportosítása

2. Rendezett mágneses szerkezetű anyagok

Spontán létrejönnek benne elemi mágneses momentumok, amelyek adott térrészletben, az ún. „domén”-ben maguktól egy irányba állnak. Az egyes domének mágnesezettségi iránya azonban statisztikusan rendezetlenül áll, így az anyag makroszkópicusan nem mágneses. Külső mágneses tér hatására a domének elemi mágneses momentumai egy irányba fordulnak, és úgy is maradnak a tér megszüntetése után is. Maradó mágnesettségű lesz az anyag, ezeket hívjuk klasszikus értelemben „mágnes”-nek.

5

Rendezett mágneses anyagok csoportosítása

Ferro ↑↑↑↑ (Fe, Co, Ni, Gd), ötvözetek, Heussler (Mn, Cr)
A momentumok azonos nagyságúak és állásúak.

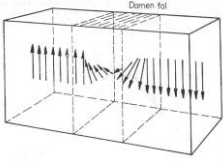
Antiferro ↑↓↑↓ (Cr, Mn)
A momentumok azonos nagyságúak, de páronként ellentétes irányúak

Ferri ↑↓↑↓ (Fe₃O₄, CrO₂, ErO ...)
A momentumok nem azonos nagyságúak, és páronként ellenkező irányban állnak.

6

att MŰEGYTEM 1782

Domén - doménfal



A doméneket elválasztó határ egy véges térfogat, a doménfal, amelyen belül a momentumok átfordulnak.

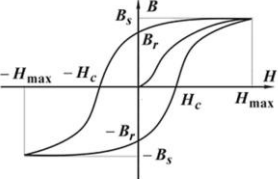
Kicserélődési kölcsönhatás => párhuzamos momentum beállítás

7

7

att MŰEGYTEM 1782

Hiszterézis görbéből származtatott jellemzők



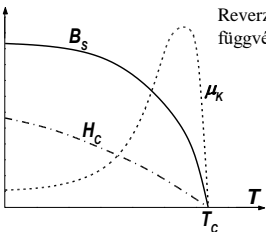
Első mágnesezési (szűz) görbe
B(H) hiszterézis görbék
Telítési indukció (B_s)
Remanens indukció (B_r)
Koercitív erő (H_c)
Permeabilitás (μ_r)

8

8

att MŰEGYTEM 1782

Hőmérsékletfüggés (ferromágnes)



Reverzibilis változás a hőmérséklet függvényében.

Curie hőmérsékletek

Fe	1043 K
Co	1388 K
Ni	627 K

Curie-hőmérséklet: az a hőmérséklet, ahol a ferromágneses anyag paramágnesessé változik.

9

9

att MŰEGYTEM 1782

Az átmágneseződési folyamat kinetikája

A domain mágneszettség irányának befordulása (Falgás)

Külső irányú domének növekedése (Falgás)

Mágneszettséget előtti állapot

Falgás: a külső térerősséggel nagyjából megegyező irányú domének növekedése doménfal-mozgással

Forgás: a doménfal-mozgás már túl nagy energiát igényel, így inkább a momentumok fordulnak be a külső tér irányába.

10

10

att MŰEGYTEM 1782

Mágnes tulajdonságok változtatásának lehetőségei

A műszaki alkalmazások lágy és keménymágneses anyagai

11

11

att MŰEGYTEM 1782

Mágneses anyagok csoportosítása műszaki szempontból:

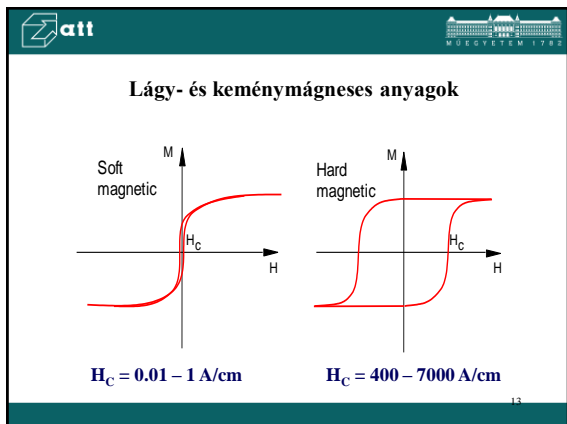
Lágy $H_c < 1 \text{ A/cm}$

Félkemény

Kemény $H_c > 400 \text{ A/cm}$

12

12



13

Lágymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Elektromechanikus eszközök:
Emelő, mozgató mágnesek, relék, mágneskapcsolók

Elektromágneses indukció alapján működő eszközök:
Transzformátorok, fojtók, generátorok, motorok, leválasztó elemek

Mágnes tér árnyékolások

Fluxusvezető elemek

14

Felhasználói igények a lágymágneses anyagoknál

B_M	Nagy
μ	Nagy
H_c	Kicsi
Fajlagos ellenállás	Nagy
Curie-hőmérséklet	Nagy
Alakíthatóság	Nagy
Hiszterézis terület	Kicsi

Tiszta fémek és homogén szilárd oldatok.
Ötvözetek jobbak.

Mechanikai keménység \Leftrightarrow Mágneses keménység

15

att **MŰEGYTEM 1782**

Tiszta Fe

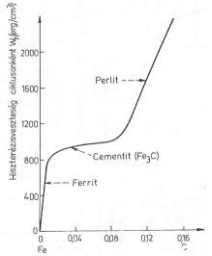
$B_s(20^\circ\text{C}) = 2,15 \text{ T}$
 $\mu_{\text{max}} = 5.000 - 300.000 \text{ A/cm}$
 99,95 % Fe , 0,005% C ARMCO
 Ötvözeten elektrotechnikai lemez
 (Fedin, Fermax...)

Intersticiós C, N, O \Rightarrow rácsorzulás

↓

Dekarbonizálás (szénatomok eltávolítása)

**Tulajdonságai erősen szórnak
Nem kézbentartható**



16

16

att **MŰEGYTEM 1782**

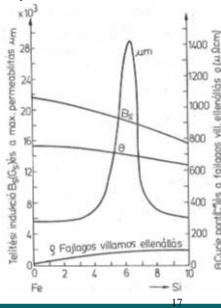
Fe - Si ötvözetek (lemez)

Erősáramú alkalmazás (nagy H, kis f)
 Traszformátor, dinamó-lemez
 (0,2 - 0,5 mm)
 Si hatása: csökkenti az anizotrópiát

Optimum: 6-7 % Si **rideg, kemény**
 Traszformátor: 4-4,5 % Si
 Dinamó: 3,2-3,6 % Si

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

Hőkezelés: nedves hidrogénben
 $C < 0,04 \%$



17

17

att **MŰEGYTEM 1782**

Fe - Ni ötvözetek (Permalloy)

50% Ni - 50% Fe 80% Ni - 20% Fe

Kis telítési indukció (Fe-2,2 T, Ni-0,6 T)
 Nagy permeabilitás (20.000 - 70.000)
 Kis veszteség

Alakítás rendkívül sokat ront a tulajdonságokon.

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

T_c -nél mágnes térben hűtés \Rightarrow permeabilitás * 10

18

18

att MŰEGYTEM 1782

Felhasználói igények a keménymágneses anyagoknál

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

Keménymágnes jelleggörbe

19

19

att MŰEGYTEM 1782

Keménymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Légrésemben előírt indukció keltése / fenntartása.

Híradástechnika:
hangszórók, mikrofonok, mikrohullámú eszközök

Méréstechnika:
galvanométerek

Mechanikai mozgatás, rögzítés:
motorok, emelő stb. mágnesek

Mágneses információ tárolás:
magnó, videó, floppy, merevlemez

20

20

att MŰEGYTEM 1782

Keménymágnesek néhány típusa

Martenzites	(olcsó, klasszikus)
Alnico, Ticonal	(szokásos, tömegtermék)
Cu-Ni-Co, Fe-Co-V	(közepes, alakítható)
Pt-Co, Pt-Fe	(kitűnő izotróp mágnes, drága)
R-Co	(kitűnő, magas ár, 0,1-1 g)
Nd-Fe-B	(kitűnő, de alacsony T_C)
Hexaferritek	(olcsó, porkohászat, egyszerű alkalmazások)

21

21
