

Mágneses anyagok

Előadó: Dr. Szabó Péter János
szabo.peter.janos@gpk.bme.hu

A diasort kidolgozta: Dr. Mészáros István
meszaros@eik.bme.hu

Mágneses tér \Leftrightarrow anyag köölcsönhatás leírása

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

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

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

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

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)

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 mágnés”, melynek van északi és déli pólusa is.

Mágnesezettség: az anyagban lévő elemi mágneses momentumok vektori eredője.

Mágneses anyagok csoportosítása

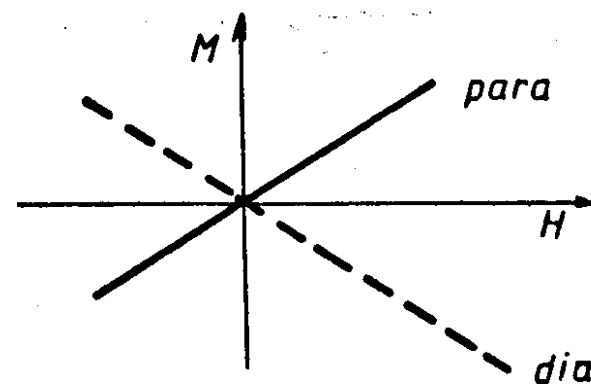
1. Gyengén mágneses anyagok

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



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 makroszkópiusan nem mágneses. Külső mágneses tér hatására a domének elemi mágneses momentumai egy irányba fordulnak, és úgy is maradnak a tér megszűntetése után is. Maradó mágnesettségű lesz az anyag, ezeket hívjuk klasszikus értelemben „mágnes”-nek.

Rendezett mágneses anyagok csoportosítása

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

A momentumok azonos nagyságúak és állásúak.

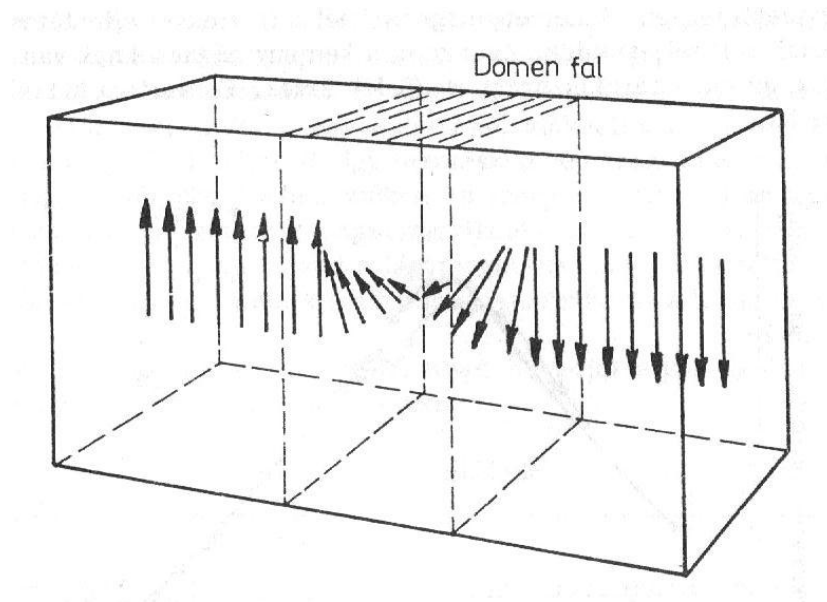
Antiferro ↑↓↑↓ (Cr, Mn)

A momentumok azonos nagyságúak, de páronként ellentétes irányúak

Ferri ↑↓↑↓ (Fe_3O_4 , CrO_2 , ErO ...)

A momentumok nem azonos nagyságúak, és páronként ellenkező irányban állnak.

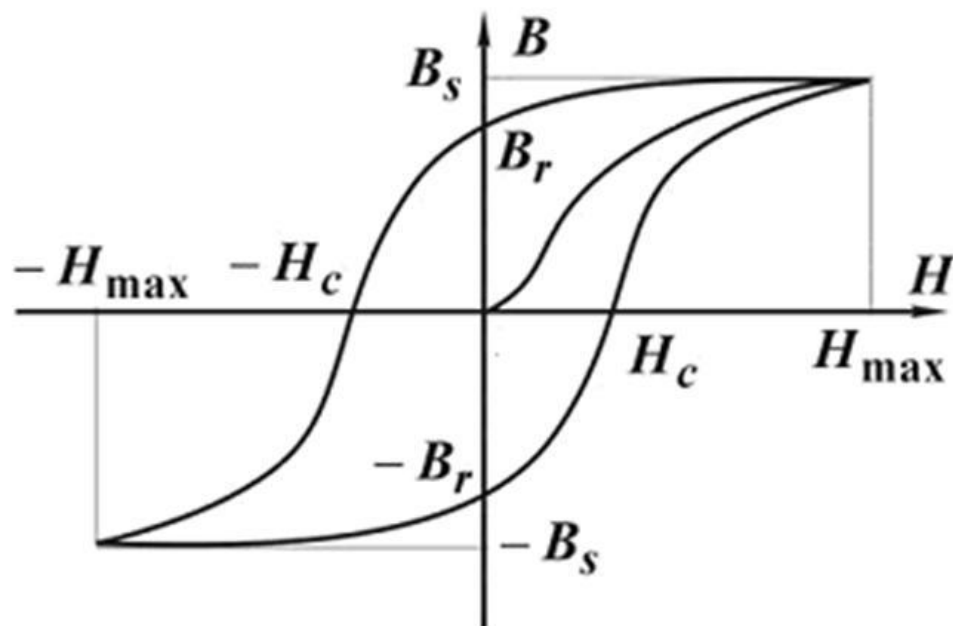
Domén - doménfal



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

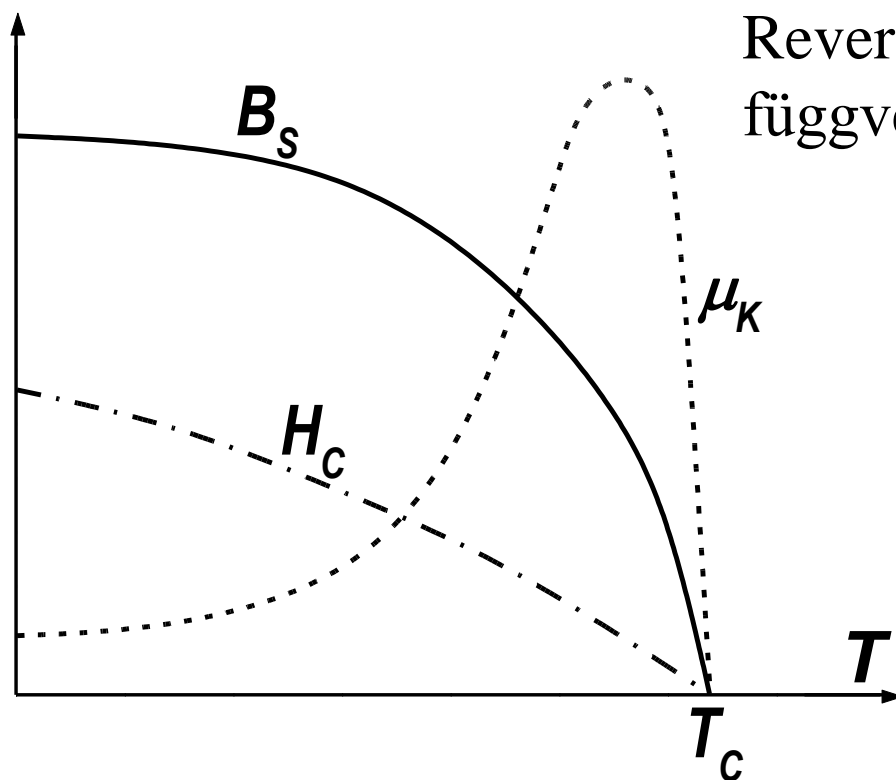
Kicszerélődési kölcsönhatás => párhuzamos momentum beállítás

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)

Hőmérsékletfüggés (ferromágnes)



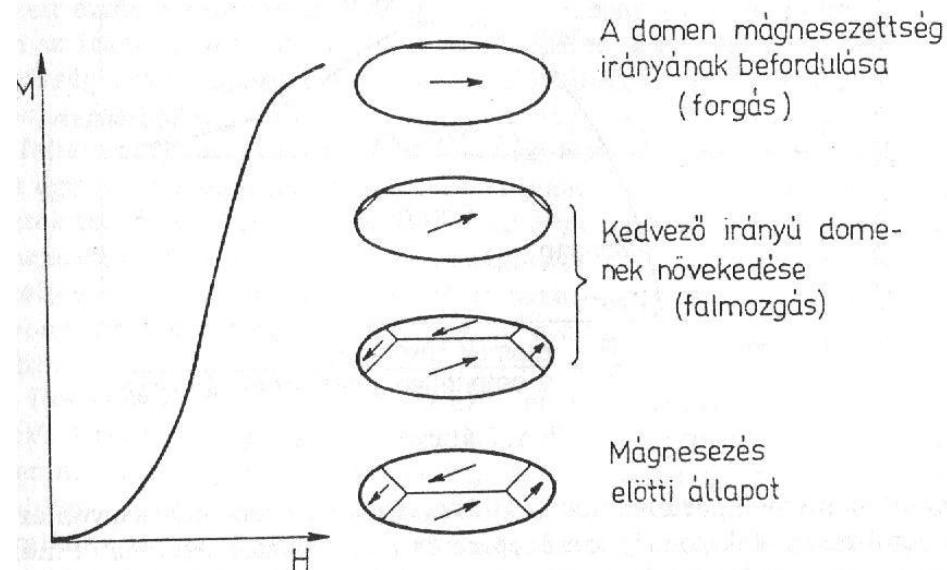
Reverzibilis változás a hőmérséklet függvényében.

Curie hőmérsékletek

| | |
|----|--------|
| Fe | 1043 K |
| Co | 1388 K |
| Ni | 627 K |

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

Az átmágneseződési folyamat kinetikája



Falmozgás: 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.

Mágnes tulajdonságok változtatásának lehetőségei

A műszaki alkalmazások
lággy és keménymágneses anyagai

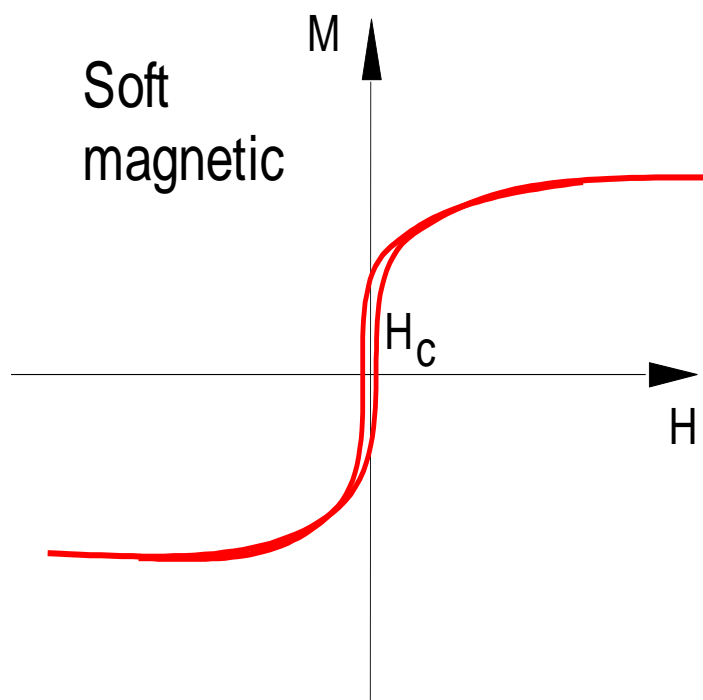
Mágneses anyagok csoportosítása műszaki szempontból:

Lágy $H_c < 1 \text{ A/cm}$

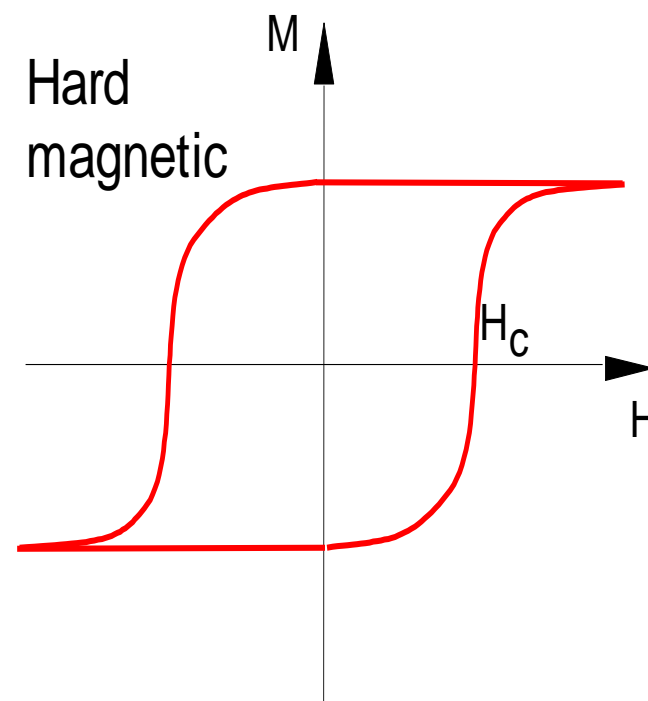
Félkemény

Kemény $H_c > 400 \text{ A/cm}$

Lágy- és keménymágneses anyagok



$$H_C = 0.01 - 1 \text{ A/cm}$$



$$H_C = 400 - 7000 \text{ A/cm}$$

Lágymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Elektromechanikus eszközök:

Emelő, mozgató mágnesek, relék, mágneskapcsolók

Elektromágneses indukció alapján működő eszközök:

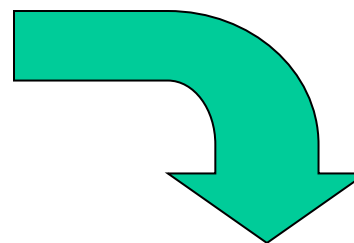
Transzformátorok, fojtók, generátorok, motorok, leválasztó elemek

Mágnestér árnyékolások

Fluxusvezető elemek

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

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

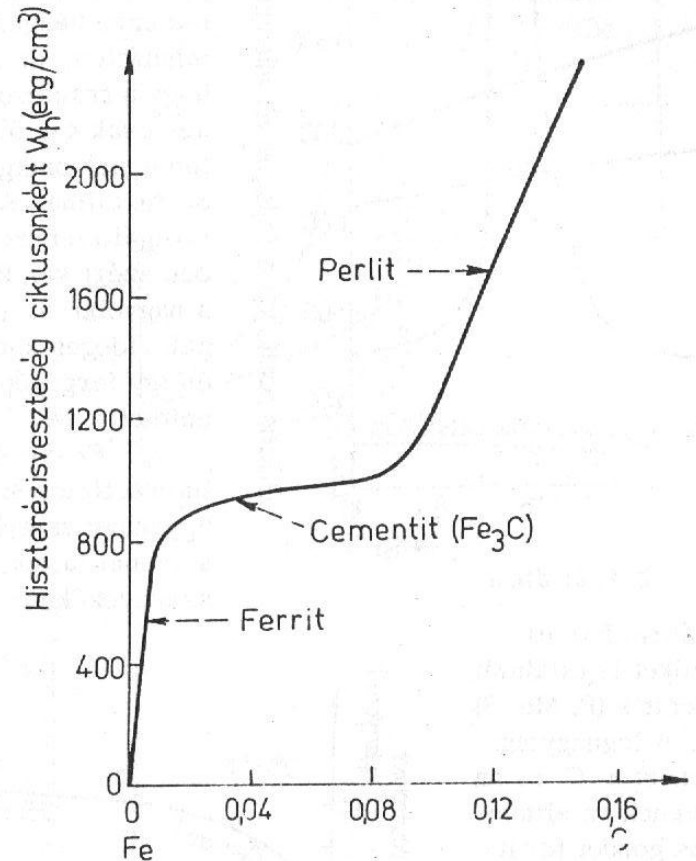
Ötvözetlen elektrotechnikai lemez
(Fedin, Fermax...)

Interstíciós C, N, O \Rightarrow rácstorzulás



Dekarbonizálás (szénatomok eltávolítása)

Tulajdonságai erősen szórnak
Nem kézbentartható



Fe - Si ötvözetek (lemez)

Erősáramú alkalmazás (nagy H , kis f)
 Traszformátor, dinamó-lemez
 (0,2 - 0,5 mm)

Si hatása: csökkenti az anizotrópiát

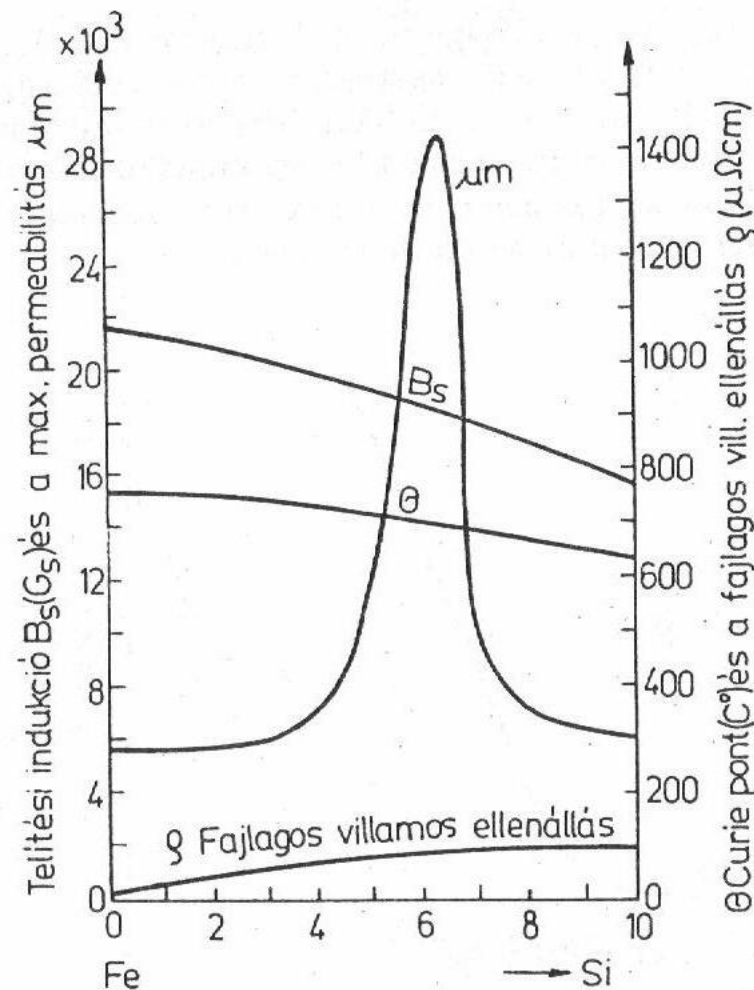
Optimum: 6-7 % Si **rideg, kemény**

Traszformátor: 4-4,5 % Si

Dinamó: 3,2-3,6 % Si

Interstíciós ötvözők: **C, O, P, Mn, S**
 Maradó feszültség

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



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

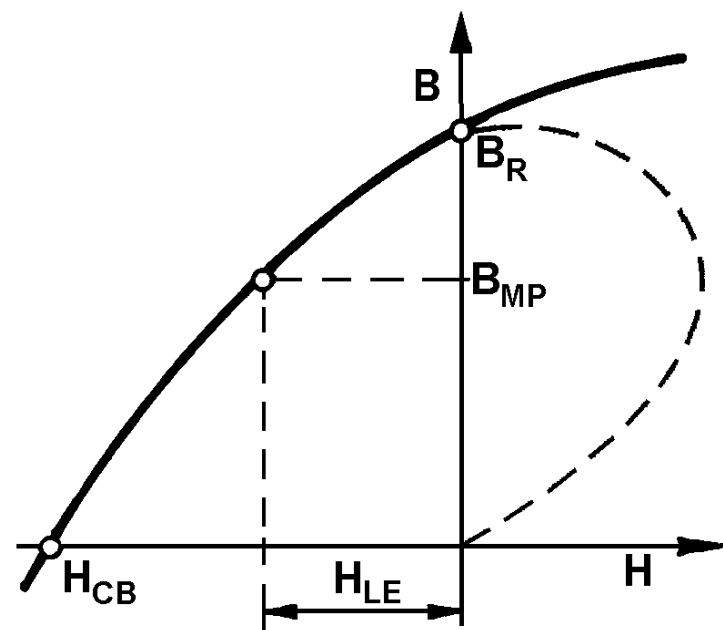
Alakítás rendkívül sokat ront a tulajdonságokon.

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

T_C -nél mágnestérben hűtés \Rightarrow permeabilitás * 10

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

Keménymágnesek jellegzetes felhasználási területei

Légrésben 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

Keménymágnek 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) |