



# Metal Fiziđi

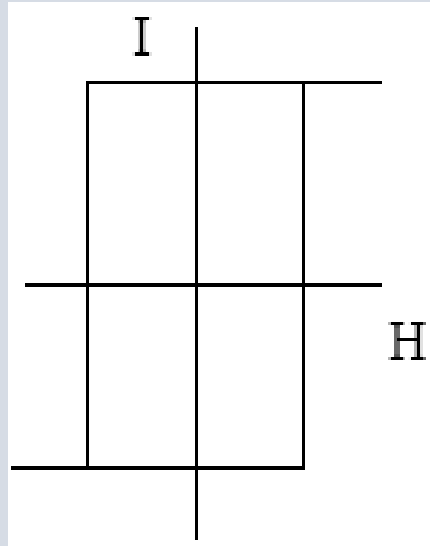
## Ders Notları

# İçindekiler

- Kalıcı Mıknatıslar
- Zorlayıcı Alan, Artık mıknatıslanma,  
Doyum mıknatıslanması
- Maksimum Enerji
- Yük çizgisi ve Maksimum enerji çarpanı
- Kalıcı Mıknatıs kararlılığı
- AlNiCo
- Ferritler
- Nadir-Toprak elementleri
- Manyetostriksiyon

- Kalıcı mıknatıslar, telden geçen bir akım uygulanmadan kuvvetli alanları üretmek için kullanılır. Bu yüzden kuvvetli net bir manyetizasyon sergileyerek, yüksek zorlayıcı alan gerektiren dış alanların varlığında kararlıdırlar.
- Sert manyetik malzemelerde tek eksenli manyetik anizotropi zorunludur ve aşağıdaki özellikleri gerektirmektedirler. Bunlar:
  - 1) Yüksek zorlayıcı alan
  - 2) Büyük manyetizasyon
  - 3) Dikdörtgensel histerisis eğrisi

- İZOTROPİ her üç yönde de (x, y, z) aynı (özdeş) özelliklere sahip olmak anlamına gelir. ANİZOTROPİK, her üç yönde mutlak değer bakımından farklılık gösteren özelliğe sahip olmak anlamına gelir.



İdeal histeresis eğrisi

- Manyetik alanı doğuran enerji, daha önce yüksek manyetik alana girerek depo edilir. Manyetik alan kaldırıldığında kalıcı manyetiklik (artık mıknatıslanma) oluşur. Kalıcı mıknatıslar , daha çok taşınabilir cihazlarda, elektrik gücü kullanımının zor olduğu ya da alan kısıtlamasının olduğu durumlarda tercih edilirler.
- Ferromanyetik malzemeler kalıcı mıknatıs olarak kullanılırlar ve mıknatıslıklarını kolay kolay kaybetmezler.
- Bu tür malzemelerde artık mıknatıslanmanın en büyük olması istenir. Bu da yüksek doyma mıknatıslanması demektir.

# Coercivity

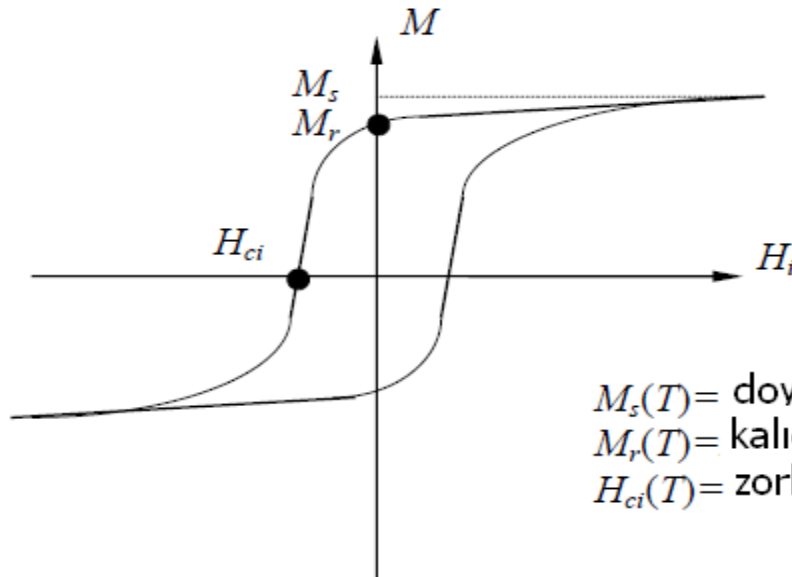
- Coercivity değeri yüksek olan malzemeler sert manyetik malzemeler olarak kullanılırlar.

$$\text{coercivity} > 10 \text{ kA/m} = 125 \text{ Oe}$$

# Artık Miknatıslanma

- Histeresis eğrisindeki I eksenini kesen manyetik alan değerleri, manyetik şiddetin ( $H = 0$ ) sıfıra indirildiği zamanki değerleridir. Bu değerlere malzemenin *artık miknatıslanması* denir.

$T_c$  'nin altında özellikler



$M_s(T)$  = doyma miknatıslanması  
 $M_r(T)$  = kalıcı miknatıslanma  
 $H_{ci}(T)$  = zorlayıcı alan



# Doyma Miknatıslanması

Dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında, örnek içerisindeki manyetik bölgelerin düzenlenmesiyle malzemenin ulaştığı değere doyma miknatıslanması denir.

- Kalıcı manyetiklik , doyma miknatıslanmasına bağlıdır. Bu sebeple kalıcı miknatıslarda doyma miknatıslanması büyük olur.
- Kalıcı miknatıslanmanın yüksek olması için  $MR/M_s$  değeri 1'e yakın olmalıdır.

- Kalıcı manyetiklik değeri doyma mıknatıslanmasından büyük olamaz. Bilinen en büyük doyma mıknatıslanması bazı Co-Fe alaşımlarında görülmüştür.

$$M_s = 1.95 \times 10^6 \text{ J/m}^3$$

$$(BH)_{\max} = 1.19 \times 10^6 \text{ J/m}^3$$

$$(BH)_{\max} = \mu_0 MR^2/4$$

# Maksimum Enerji arpanı

- Maksimum enerji çarpanı mıknatısın yapabileceği maksimum iŖi gösterir.

Bu parametre histeresis döngüsündeki ikinci çeyrek bölgeden elde edilir.

Kalıcı mıknatıslarda hem imalatçılar hem de kullanıcılar açısından en önemli parametre enerji arpanınının maksimum değeridir  $(BH)_{max}$ .

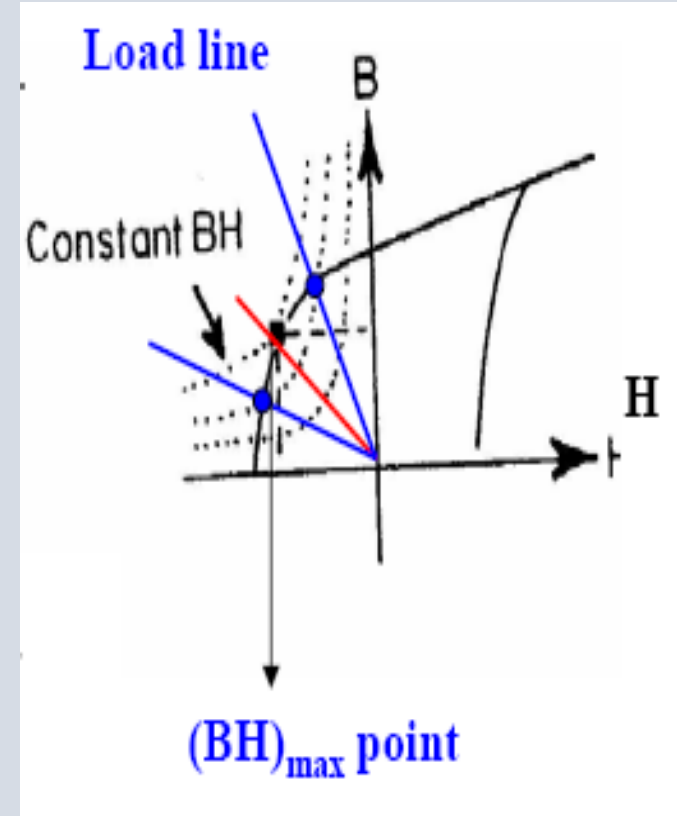
- Genellikle maksimum enerji çarpanı standart olmayan bir birimle verilir. MegaGauss-Oersted

$$1\text{MG Oe} = 7.96\text{kJ/m}^3$$

- Malzeme seçiminde yüksek enerji çarpanı, yüksek coercivity ve yüksek kalıcı manyetiklik değerleri tek başına yeterli değildir. Uygulamada geometrik şekilde önem kazanır.

# Yük çizgisi ve Maksimum enerji noktası

- Yük çizgisi olası en uygun BH noktasından geçer.
- Kısa bir kalıcı mıknatıs kullanılacaksa  $(BH)_{max}$  değerden uzaklaşılır. Coercivity max. olması istenir. Ancak uzun bir kalıcı mıknatısla yapılan uygulamada, artık mıknatıslanmaya yakın bir bölgede çalışılır. Bu durumda artık mıknatıslanmanın max olması istenir.
- Maksimum enerji noktası;  
ikinci-çeyrek daire içine çizilebilecek en büyük alana sahip dikdörtgenin , sürekli bir BH eğrisiyle keştiği noktaya  $(BH)_{max}$  denir.
- BH noktası malzemelerin karakterlerinin en verimli kullanıldığı yeri bize göstermektedir.



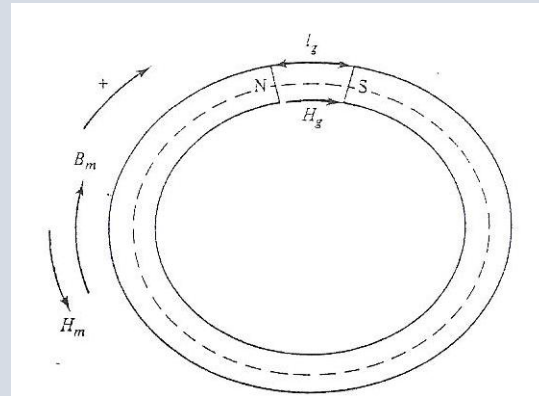
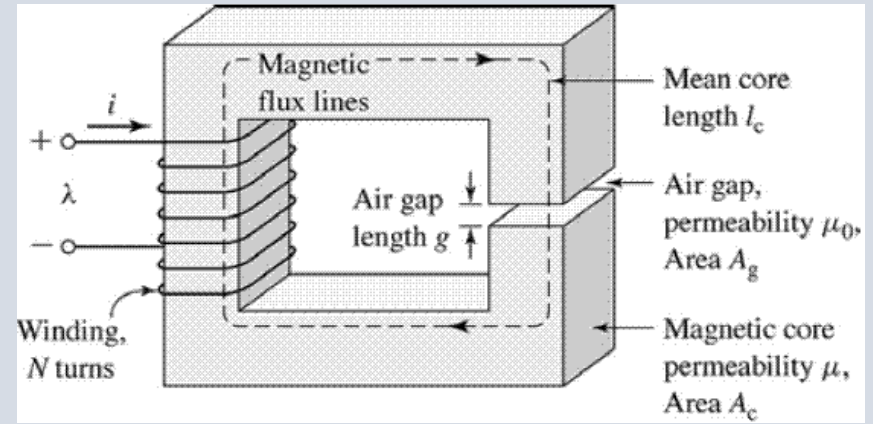
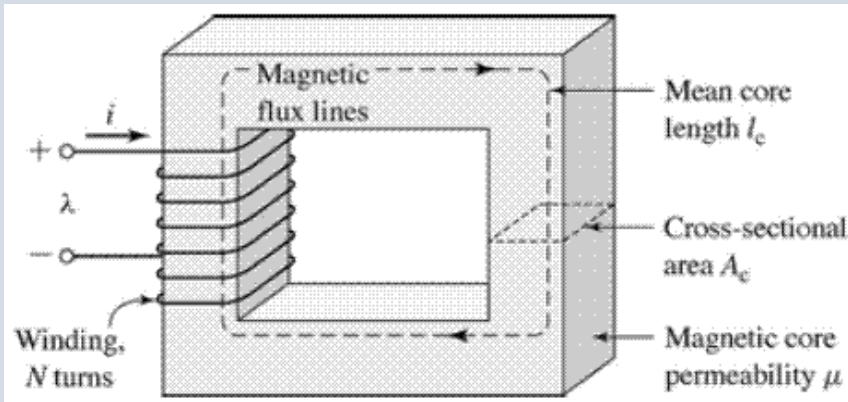
- Yük çizgisi demanyetizasyon faktörünün gösterdiği olası noktalardır. Bu çizginin eğimi mıknatısın şeklinden yada demanyetizasyon faktöründen hesaplanır
- Mıknatısın uzunluğunun çapına oranı ;

$$l:d = N_d$$

demanyetizasyon faktörü olarak bilinir.

$$\underline{\underline{H_d}} = -\underline{\underline{NM}}$$

- Enerji çarpanı maksimum olduğu zaman maksimum manyetik alan elde ediliyor.



Amper Yasası;

$$\oint H dl = 0$$

$$\phi = H_g l_g - H_m l_m = 0$$

$$B_g A_g = H_g A_g = B_m A_m$$

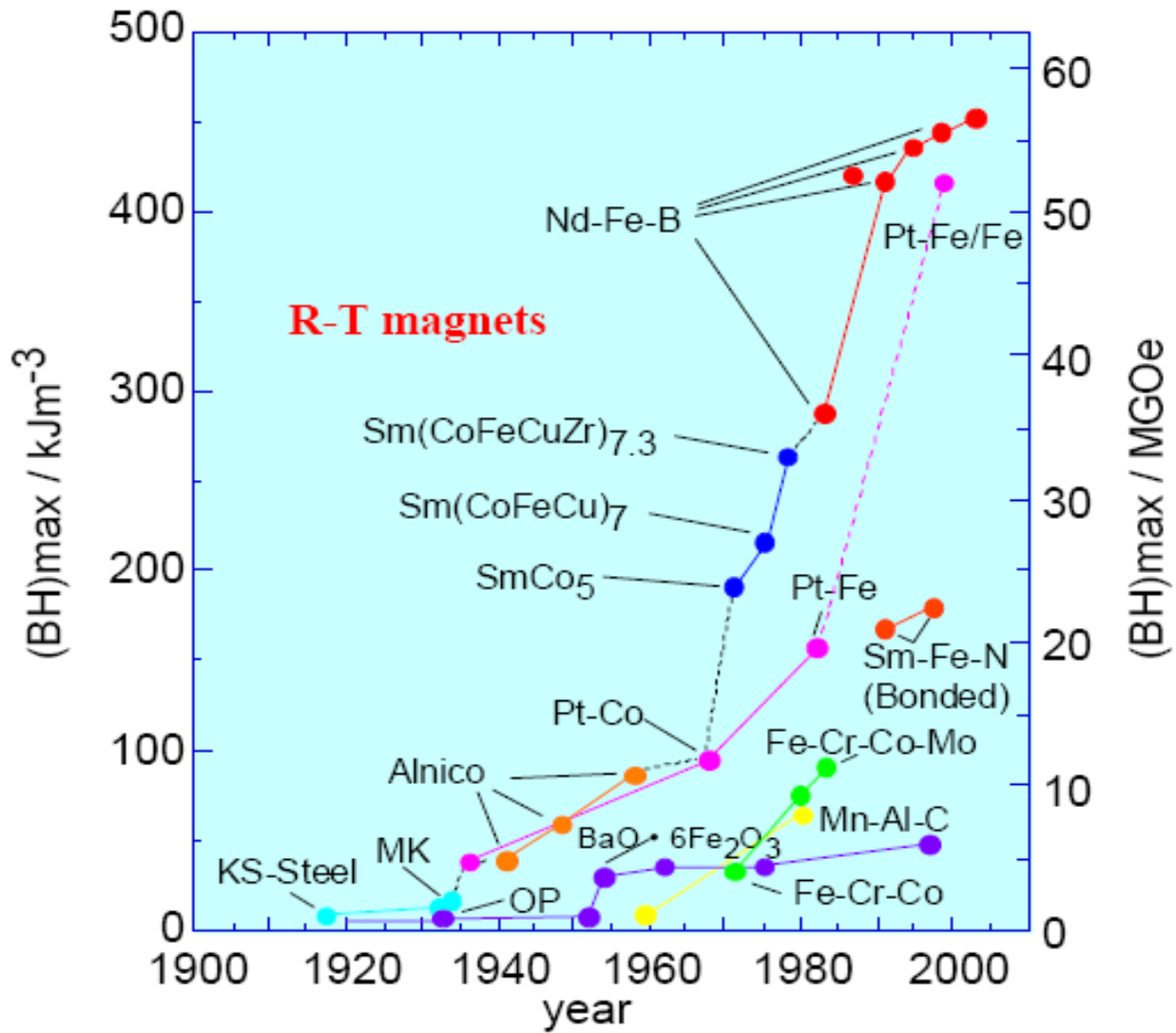
$B=H$  hava boşluğunda;  $A_g$  ve  $A_m$  magnetin ve hava boşluklarının çapraz bölmeleridir.(Cross-sectional areas)

Ve akı genişlemesi boşlukta ihmal edilirse;

$$H_g^2 = B_m H_m l_m A_m / l_g A_g$$

$$H_g^2 V_g = (B_m H_m) V_m$$





$(BH)_{\max} = 460 \text{ kJm}^{-3}$   
 $(57.6 \text{ MGOe})$   
 for NdFeB magnets

Kalıcı mıknatısların gelişimi

# Kalıcı Mıknatıs Kararlılığı

- Sıcaklık artışı manyetik özelliklerde, özellikle Curie sıcaklığı civarında, değişim yaratır. Bu değişim negatif yöndedir. Birçok kalıcı mıknatısta yarıkararlı metalojik durumlarında faz dönüşümü görülür. Ama bu dönüşüm oda sıcaklığında çok yavaş gerçekleşir.Yüksek sıcaklıklarda bu değişim hızı artar.
- Mekanik işlemler, kimyasal aşınma ve radyasyon kalıcı mıknatısın özelliklerini değiştirir.

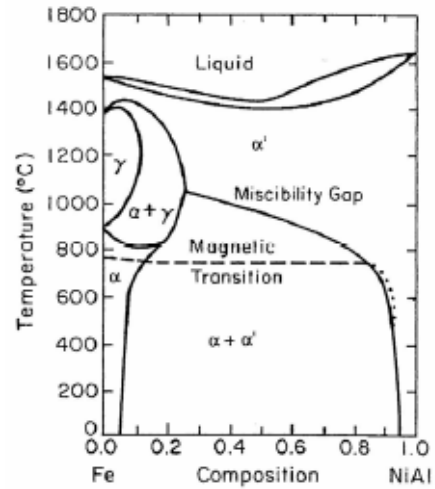
- Kalıcılık, domain duvarı ile alakalıdır.Domain duvarında oluşan hareketlenme malzemenin sert olmasını sağlar.

# AlNiCo

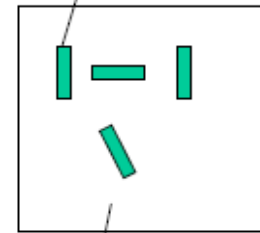
- Alnico'nun en önemli özelliği yüksek kalıcı manyetik akı yoğunluğu ve düşük sıcaklık sabitidir.
- Alnico alaşımlarının Curie sıcaklığı oldukça yüksektir (700-800C). Curie sıcaklığı sürekli mıknatıs malzemesinin manyetik özelliklerini kaybetmeye başladığı en yüksek sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır ve kalıcı mıknatısın işletme koşullarının belirlenmesi bakımından önemlidir.
- İki fazlı olarak bulunurlar. Güçlü manyetik  $\alpha_1$ -(Fe-Co) ve zayıf manyetik  $\alpha_2$  fazını ise (Ni-Al) oluşturur.  $\alpha_2$  fazı domain duvarının hareketini zorlaştırır.
- Manyetik özellikler ısı işlemlerle geliştirilirler. Manyetik alanda tavlandıkları zaman (700 C) coercivity ve enerji çarpanında artış gözlenir.

$$B_c=50-130\text{kA/m} \quad (BH)_{\text{max}}=50-75\text{kJ/m}^3$$

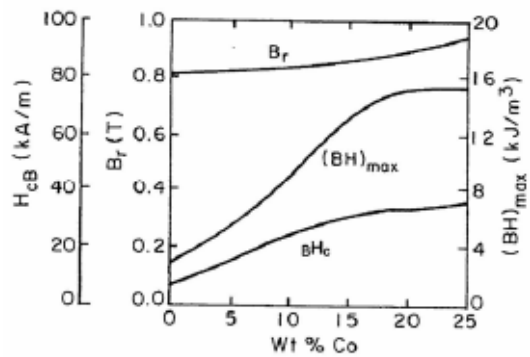
- Dezavantajları düşük coercivity değerlerinin olmasıdır.
- Güçlü manyetik Fe-Co , zayıf manyetik Ni-Al matris içine yerleştirilir. Bunun sonucu olarakta bu tür mıknatıslar çok sert ve kırılığandır.

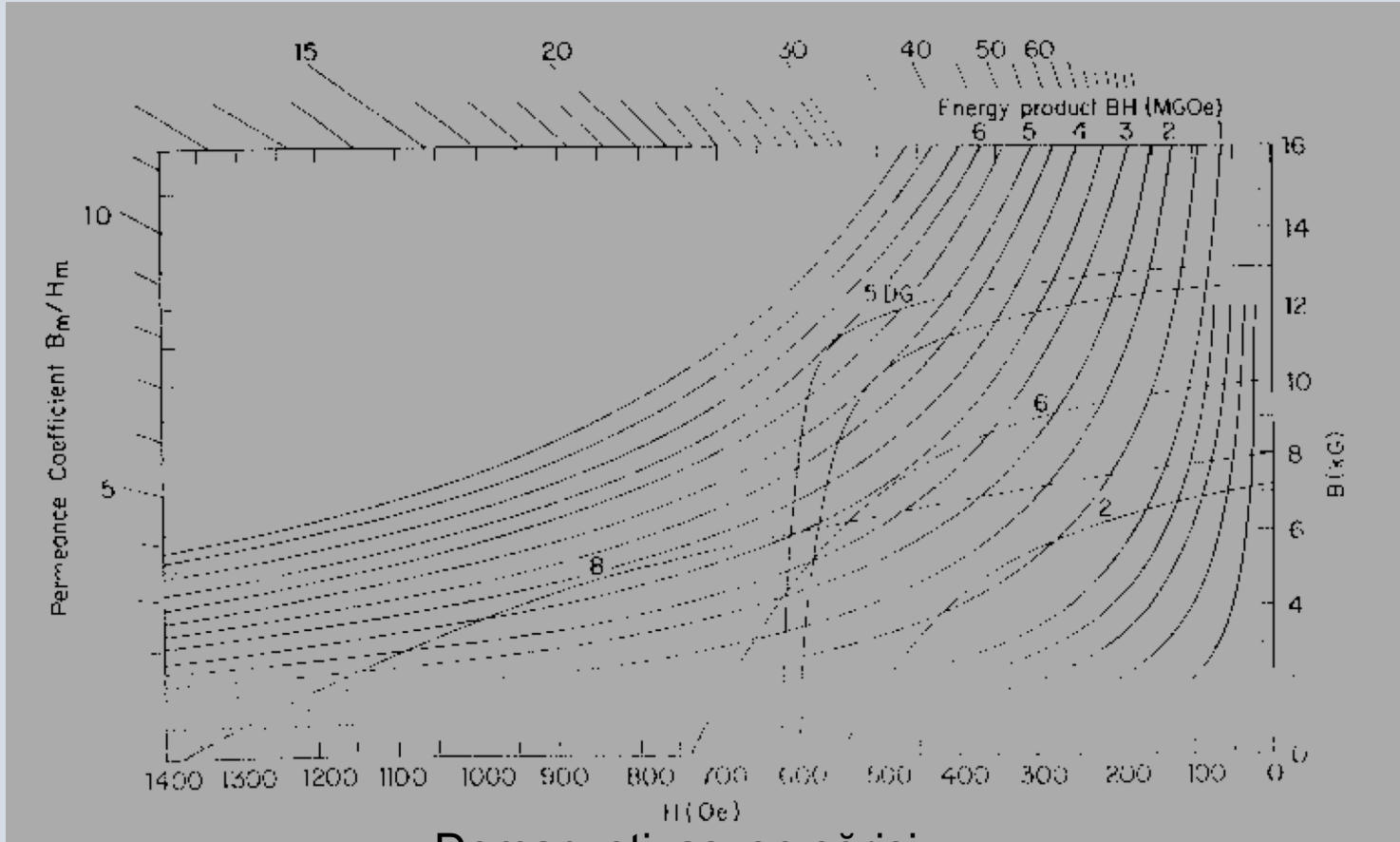


**Fe-rich α phase**



**NiAl-rich α' phase**

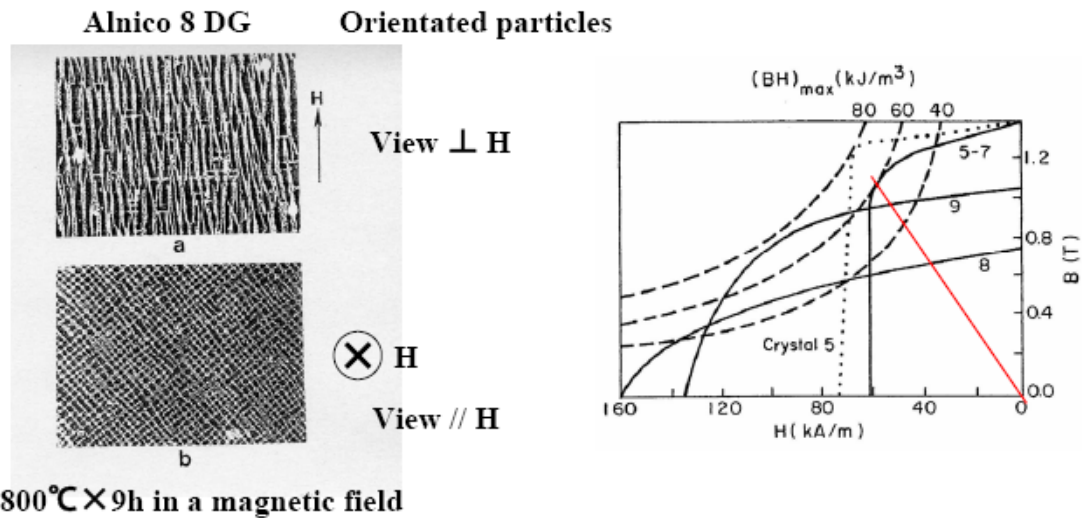




Demanyetizasyon eğrisi

**Demagnetizasyon eğrisi, zorlayıcı kuvvet ve sıcaklığa bağlıdır.**

# Anizotropik AlNiCo Magnetler



Alnico	Character	Composition (wt%) (balance Fe)					Magnetic Properties		
		Ni	Al	Co	Cu	Other	$B_r$ (T)	$B_r H_c$ (kA/m)	$(BH)_{max}$ (kJ/m <sup>3</sup> )
5	Random grain	12-15	7.8-8.5	23-35	2-4	0-0.5 Ti 0-1 Nb	1.2-1.3	52-46	40-44
DG <sup>a</sup> 5	Directed grain 5	13-15	7.8-8.5	24-25	2-4	0-1 Nb	1.3-1.4	62-56	56-64
5 xtl	Single crystal	14	8	25	3		1.4	68	80
8	Random grain	14-15	7-8	37-40	3	<u>7-8 Ti</u>	0.74-0.78	<u>150-170</u>	44-48
DG 8(9)	Directed grain 8	14-16	7-8	32-36	4	0.3S	1.0-1.1	140-110	60-75

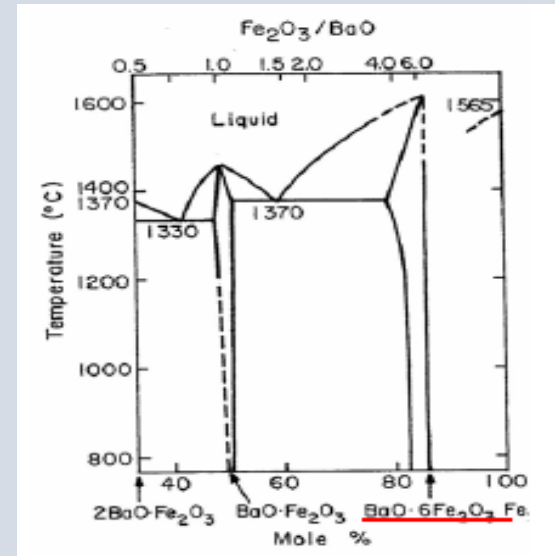
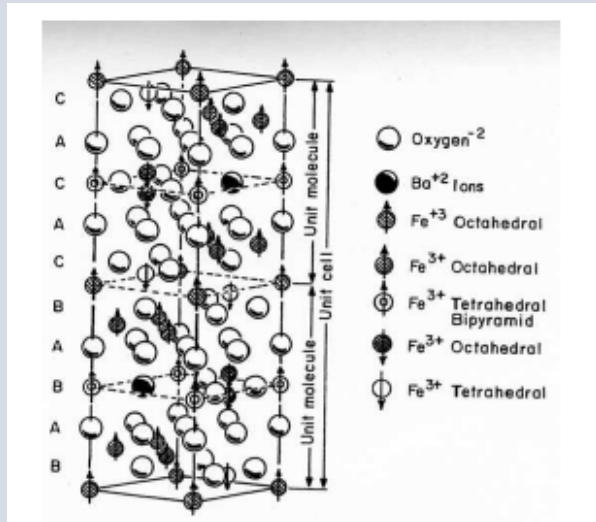
# Ferritler

- Ferrit, Alnico'dan daha yüksek zorlayıcı kuvvete sahipken aynı zamanda düşük kalıcı manyetik akı yoğunluğuna sahiptir. Sıcaklık sabitleri de kısmen yüksektir. Ferrit'lerin en önemli özellikleri düşük maliyetleridir.

# Hekzagonal Ferritler

- $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  veya  $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$
- Esnek plastik matrislerinin içine yerleştirildiği için plastik mıknatıs olarakta bilinirler.
- Coercivity değerleri alnicolardan yüksektir ama enerji çarpanları düşüktür.  $B_c = 150-250\text{kA/m}$  ve  $(BH)_{\text{max}} = 20\text{kJ/m}^3$





Some Fundamental Physical Properties of Ba, Sr, and Pb Hexaferrites

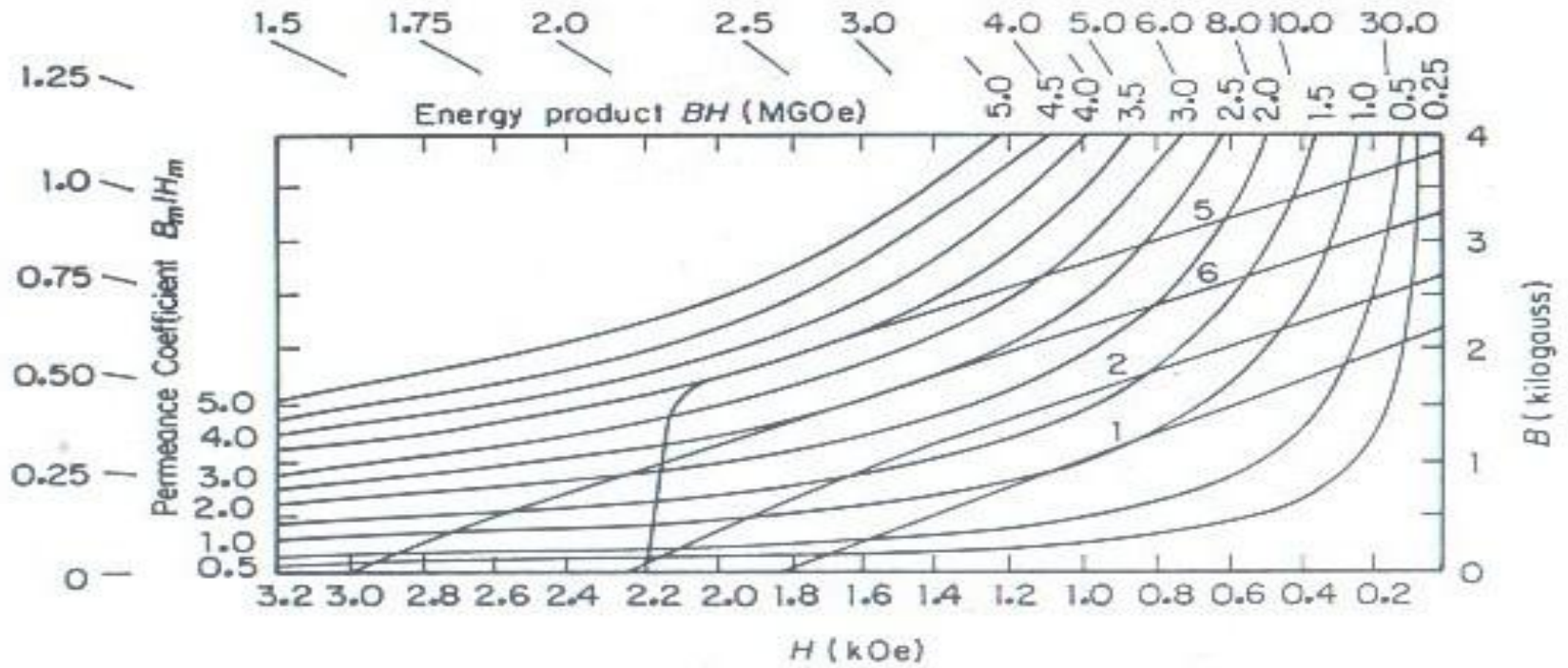
	Lattice Constants (nm)		Mass Density (g/cm <sup>3</sup> )	$\mu_0 M_s$ (RT) (T)	$T_c$ (K)
	<i>a</i>	<i>c</i>			
BaM	0.589	2.32	5.3	0.48	740
SrM	0.587	2.31	5.11	0.48	745
PbM	0.588	2.30	5.68	0.43	725

Magnetic Properties of Isotropic and Anisotropic BaM

Grade	$(BH)_{max}$ (kJ/m <sup>3</sup> )	$B_r$ (T)	$B_s H_c$ (kA/m)	$i_c H_c$ (kA/m)	$\Delta M_s / M_s \Delta T$ (%/K)	$\Delta_i H_c / H_c \Delta T$ (%/K)	Mass Densit (g/cm <sup>3</sup> )
Isotropic	6.5–9	0.19–0.22	125–145	210–270	–0.2	0.2–0.5	4.6–5.4
Anisotropic	20–30	0.32–0.4	125–250	130–340	"	"	"

Source: After Stäblein (1982).

Magnetoplumbite yapısı



Demanyetizasyon eğrisi. 1-izotropik baryumferrit,2-5-6 anisotropik baryumferrit.

# Nadir-Toprak Elementleri

- Nadir toprak, sürekli mıknatısların keşfedilmesi ile birlikte son yirmi yıl boyunca (BH)max enerji yoğunluğunda büyük gelişmeler yaşandı. Nadir toprak malzemelerinin ilk örnekleri Samaryum Kobalt karışımına dayanıyordu. 1960'lı yıllarda keşfedilmiş ve ticari olarak üretimine 1970'li yılların başında başlanmıştır. Samaryum Kobalt yüksek kalıcı akı yoğunluğu, yüksek zorlayıcı kuvvet, yüksek enerji, lineer demanyetizasyon eğrisi ve düşük sıcaklık katsayısı avantajına sahiptir. Küçük boyutta yüksek güç ve düşük eylemsizlik momenti istenen motorlarda kullanımı çok uygundur. Kaynak sıkıntısı nedeni ile malzemenin pahalı olması maliyeti olumsuz etkilemektedir.
- Son yıllarda birleşimi fazla pahalı olmayan neodmiyum (Nd) ve demir (Fe)'e dayanan ikinci jenerasyon nadir toprak kalıcı mıknatısın keşfedilmesi ile malzeme maliyetinin düşürülmesinde önemli bir adım atılmıştır. Günümüzde artan miktarda üretilen NdFeB mıknatıslar SmCo mıknatıslardan sadece oda sıcaklığı şartında daha iyi manyetik özelliklere sahiptir.

# Samaryum-Kobalt

- Bunların anizotropisi Fe-Ni 'lilere göre daha yüksektir.
- Doyma mıknatıslanması yüksektir.

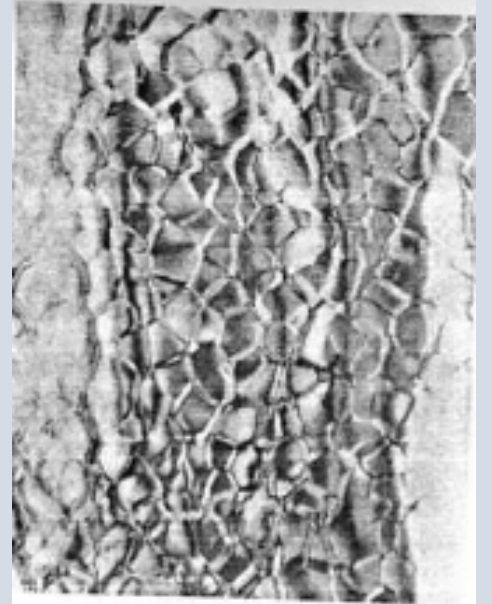
- $\text{SmCo}_5$

$$M_s=780\text{kA/m} \quad B_c=760\text{kA/m}$$

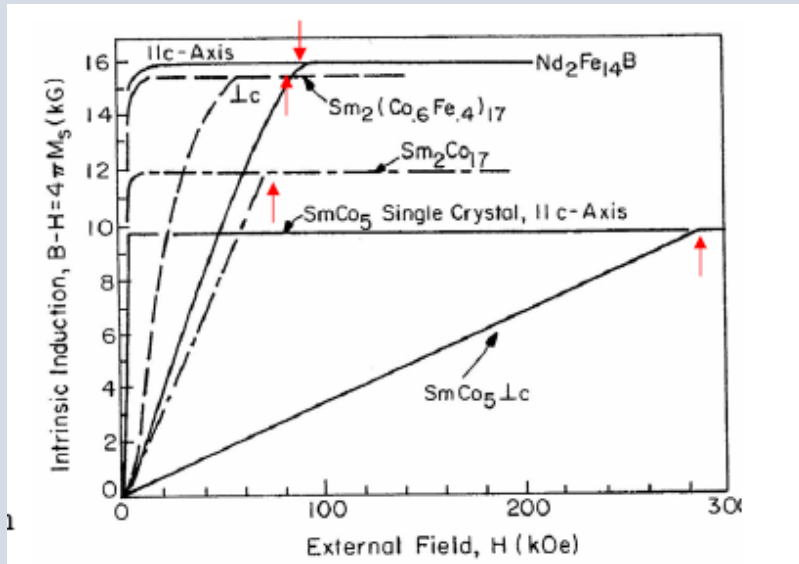
$$BH=150-200\text{kJ/m}^3$$

- $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$

$$B_c=800\text{kA/m} \quad BH=260\text{kJ/m}^3$$



Hücre Yapısı



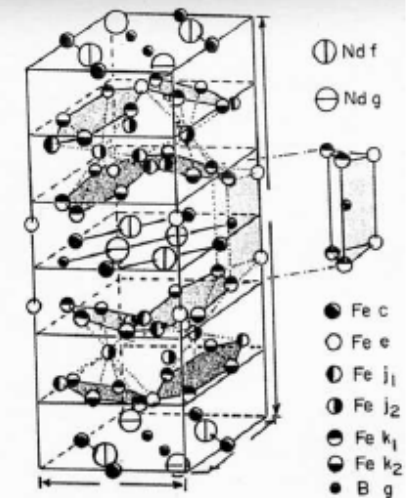
- Yapıdaki nadir toprak elementi anizotropi, geçiş metali ise yüksek Curie sıcaklığı (720 C) ve yüksek mıknatıslanma sağlamaktadır.
- Mıknatıs toz halde 1100 C de ısıtılarak tek fazlı homojen hale getirilir. Mikro yapının düzenlenimi için düşük sıcaklıklarda bekletilir. Fe ile zenginleştirilir.

	$\mu_0 M_s$ (T)	$T_c$ (°C)	$I_s$ (T)	$H_c$ (MA/m)		$(BH)_{max}$ (MG·Oe)	
				Isotropic	Aligned	2D	3D
SmCo <sub>5</sub>	1.0	685-700	10	0.8-1	2.9	14-16	18-24
Sm <sub>2</sub> (CoFe) <sub>17</sub>	1.2-1.5	810-970	3.3	1-1.3	2.4	16-20	24-30
Fe <sub>14</sub> Nd <sub>2</sub> B	1.6	312	5	—	1.2-1.6	34-45	

# NdFeB

- Yüksek coercivity ve enerji çarpanına sahiptirler.
- İki şekilde üretilirler:
  - 1)Toz haline getirilip ısıyla şekillenim
  - 2)Erittikten sonra hızlı soğutma

Crystalline structure of  $R_2Fe_{14}B$



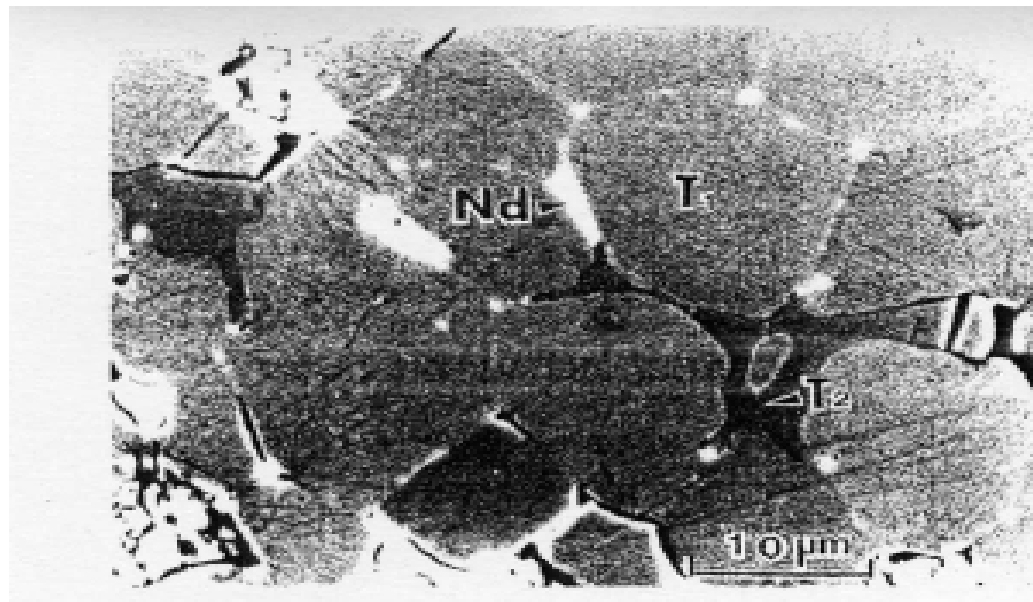
1) Bileşenler Ar atmosferinde alüminyum kaptaki indüksiyon yoluyla eritilirler. Sonra değirmende toz haline getirilirler. Manyetik alan ve basınç altında tavlanır. Ar atmosferinde 1000-1150 °C'de şekillendirilir.

2) Ark fırınında eritilen malzemeler melt spinner kullanılarak 20-80 nm büyüklüğünde homojen parçalar elde edilir. Birbirlerine bağlanarak kullanılırlar.

$$BH=72\text{kJ/m}^3$$

$$BH=320\text{kJ/m}^3$$

## Structure of sintered NdFeB magnet



$T_1: \text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ,  $T_2: \text{Nd}_{1+\varepsilon}\text{Fe}_4\text{B}_4$   
Nd: Nd-rich phase



- Sm-Co' lı mıknatıslara göre daha ucuz bileşenlere sahiptir.
- Curie sıcaklığı düşüktür (300 – 500 C) bu sebeple yüksek sıcaklıklarda kullanılamazlar.
- $B_c=1100\text{kA/m}$
- $(BH)_{\text{max}}=300-350\text{kJ/m}^3$

# MANYETOSTRİKSİYON

- Manyetik malzemelerle ilgili bir olgudur. Manyetik malzemeler manyetize edildiğinde, uzunluğunda küçük bir değişme (mıknatıslanma doğrultusunda) olması özelliğidir. Bir manyetik malzemenin boyutlarını düşürmek ve yükseltmek için bir gerilim uygulandığı zaman manyetik malzemenin bir manyetik akım üretmesinde de bunun tersi olay oluşur.

- Manyetostriksiyon olayı bilgisayar işinde büyük önem taşır, çünkü işletimsel kullanımda manyetik malzemeye uygulanacak gerilimler ve etkiler, histeresis eğrisini bozacak derecede bir değişime neden olabilir.
- Bilgisayar uygulamalarında, MANYETİK ANİZOTROPİ özelliği de önemli bir ilgi alanıdır. Yani, biri bir manyetik materyalin TEK EKSENLİ ANİZOTROPİYE sahip olması gerektiğini söylerse, bu, materyalin manyetik özelliklerinin sadece bir yönde ağırlıklı olması anlamına gelir.