



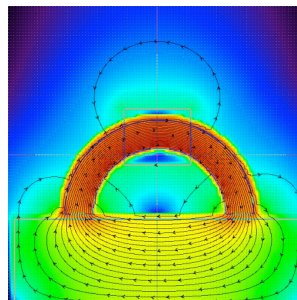
# Mágneses tulajdonságok

## Lágy- és keménymágneses anyagok

Dr. Mészáros István Attila

1

### Mágneses tér $\Leftrightarrow$ anyag kölcsönhatás



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

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

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

$$\mu_r = 1 + \kappa$$

Mágneses permeabilitás

Mágneses szuszeptibilitás  
(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

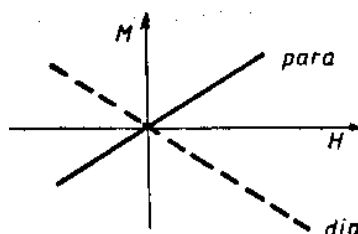
## Gyengén mágneses anyagok

**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**

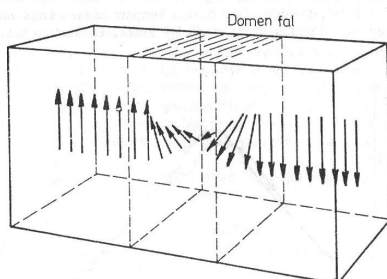
**Mágnesezési görbék**



3

3

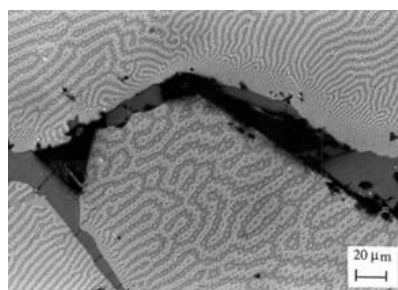
## Ferromágneses anyagok doménszerkezete



Bloch-fal (tömbi anyag)

Egyensúlyi állapotba, a domének mágnesezettsége valamelyik **könnyű mágnesezési irányba** mutat.  
⇒ doménfalak típusai

Fe [100] ⇒ 90° és 180°



Doménszerkezet, MOKE  
FeBNd ( $\text{Nd}_{16}\text{Fe}_{76}\text{B}_8$ )

4

4

## Rendezett mágneses szerkezetű anyagok típusai

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

**Antiferro** ↑↓↑↓ (Cr, Mn)

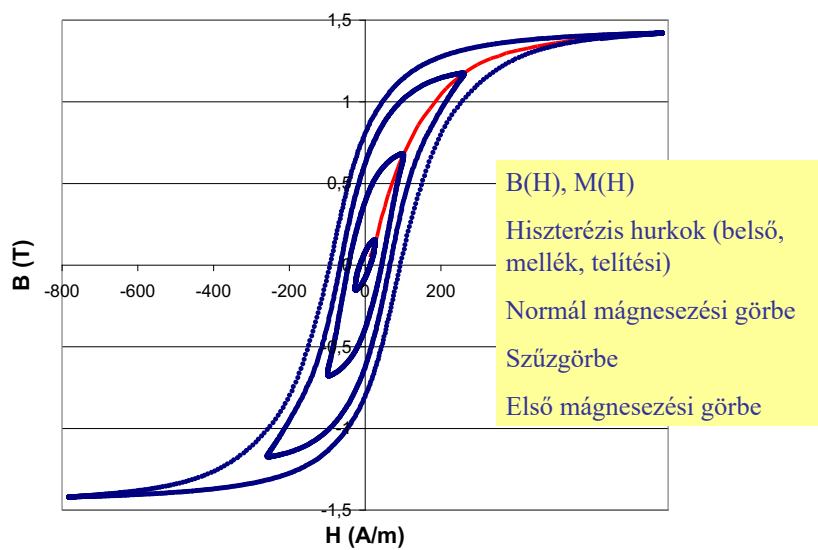
**Ferri** ↑↓↑↓ (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CrO<sub>2</sub>, ErO,

NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, BaOFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>FeO<sub>12</sub>, MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ...)

5

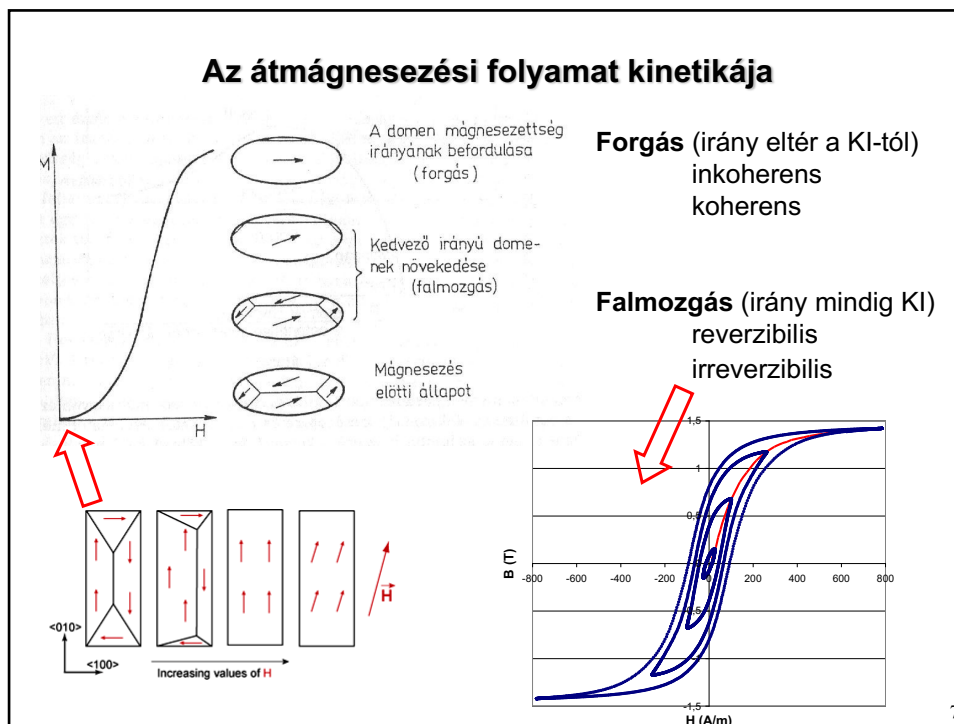
5

## Alapvető mágnesezési görbék

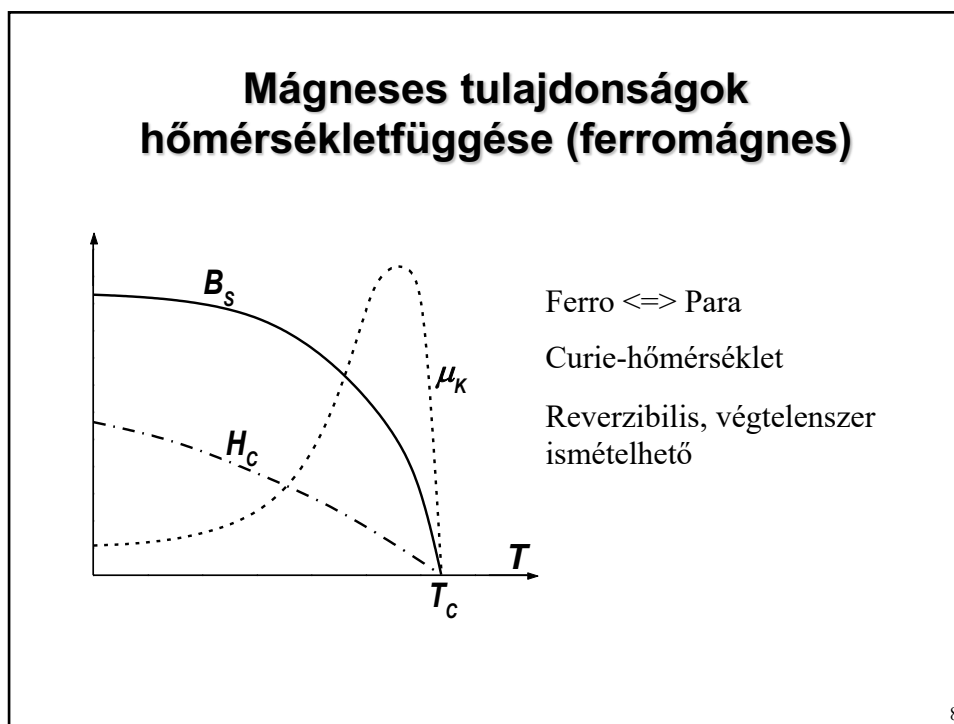


6

6



7



8

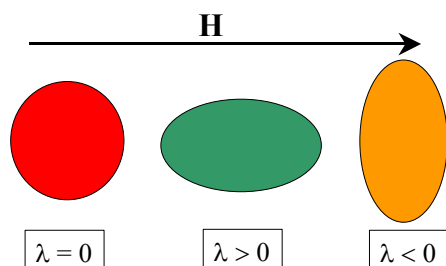
## Magnetostrikció, magnetoelaszticitás

Mágneses tér hatására történő méretváltozás.

$\lambda$  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:  $\approx 0,1$  mm

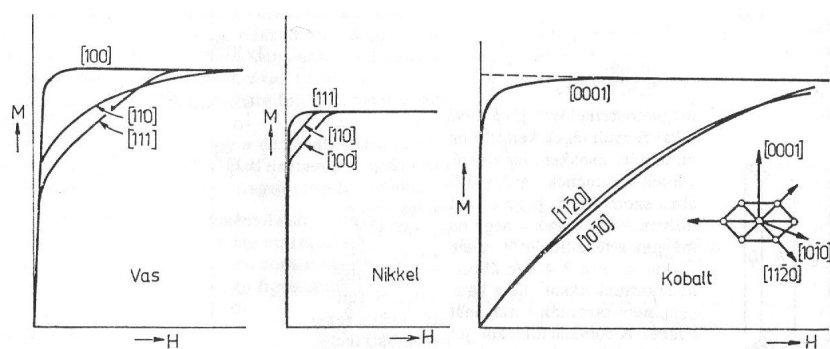
9

9

## Mágneses anizotrópia energia

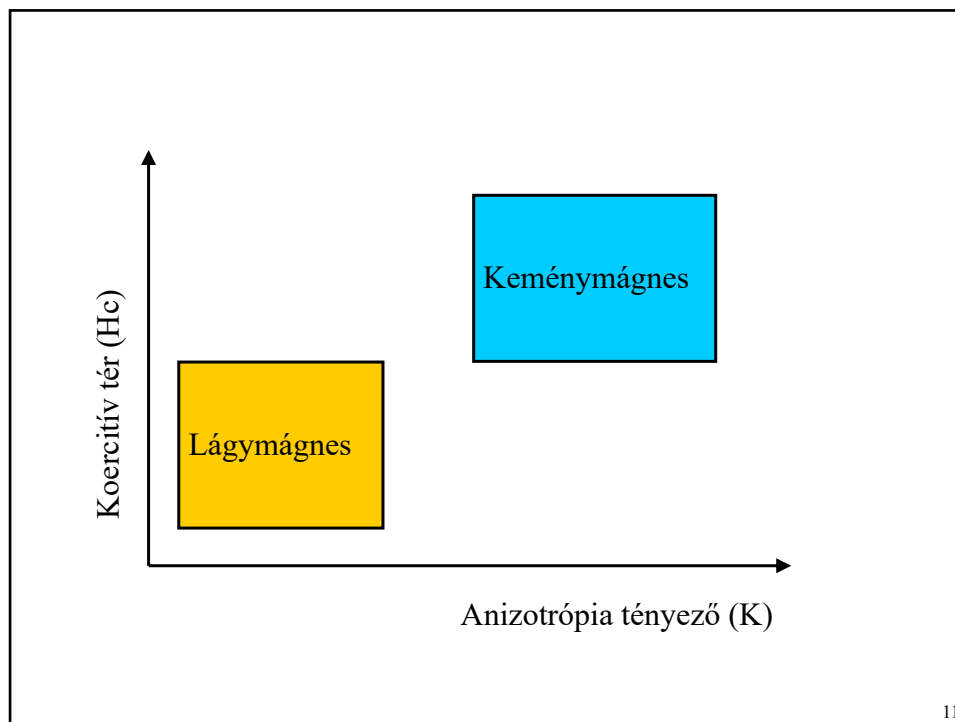
Könnyű és nehéz mágnesezési irányok.

Görbék alatti területek különbsége.



10

10



11

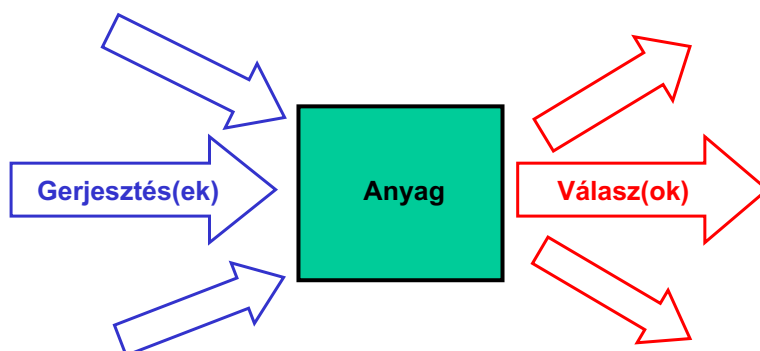
 **att** Anyagtudomány és Technológia Tanszék  M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

# Az elektromágneses anyagvizsgálat alapjai

Dr. Mészáros István Attila

12

Az **anyagvizsgálati eljárások** során az anyaggal előre megtervezett módon energiát közlünk és annak erre a külső gerjesztésre adott válaszát vizsgáljuk és értelmezzük.



13

13

#### Gerjesztési módok:

**mechanikai** (szakítóvizsgálat, keménységmérés, fárasztó vizsgálat, ultrahangos vizsgálat, akusztikus emisszió ...)

**elektromos** (örvényáramú vizsgálat, vezetőképesség mérés, ...)

**mágneses** (mágneses repedésvizsgálat, mágneses tulajdonságok mérése, nemlineáris harmonikusok mérése, MAT, mágneses Barkhausen-zaj vizsgálata, magnetoelasztikus effektus...)

**optikai** (vizuális vizsgálat, optikai mikroszkópos vizsgálat, ...)

**besugárzás** (radiográfiai vizsgálatok, röntgen diffrakció, elektron mikroszkópia, EDS, EBSD, ...)

**termikus** (termofeszültség mérés, hőfárasztó vizsgálat, ...),

**kombinált hatások** (kúszás vizsgálat, feszültség korróziós vizsgálat, ...)

14

14

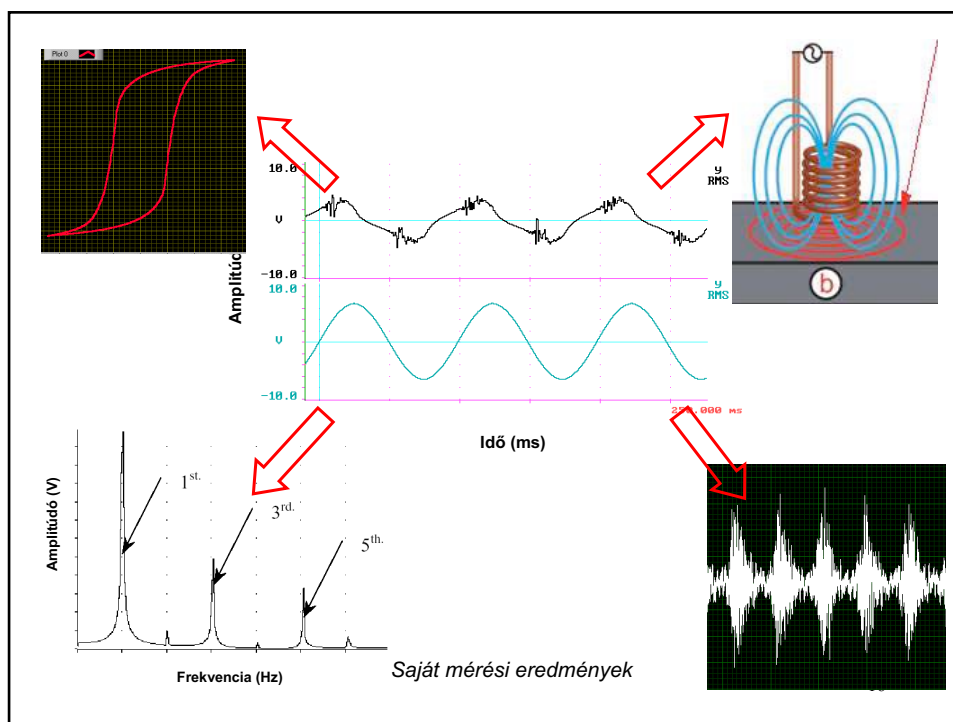
## Mágneses tulajdonságok mérésére alkalmazható módszerek

### Csoportosítási szempontok

- DC, AC mérések
- Zárt-, nyílt mágneskörös
- Erő ill. nyomaték mérésén alapuló módszerek
- Indukción alapuló módszerek
- Szórt tér mérésén alapuló módszerek
- Magneto-optikai módszerek
- Mágnesezési görbék modellezése (mérés kiértékelés)
- Guoy ill. Faraday módszer

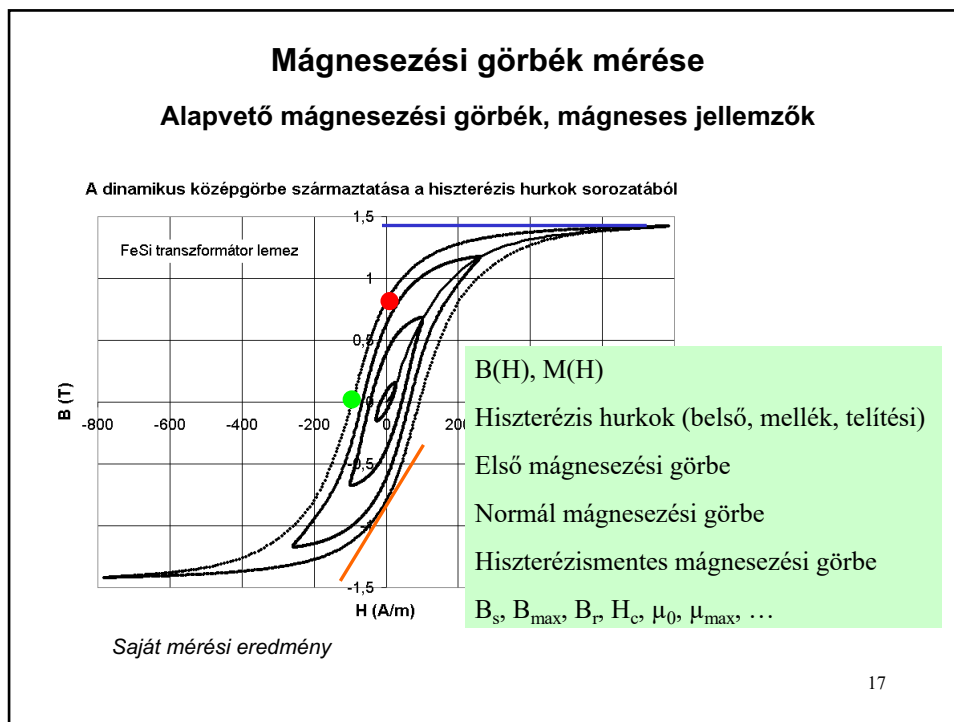
15

15

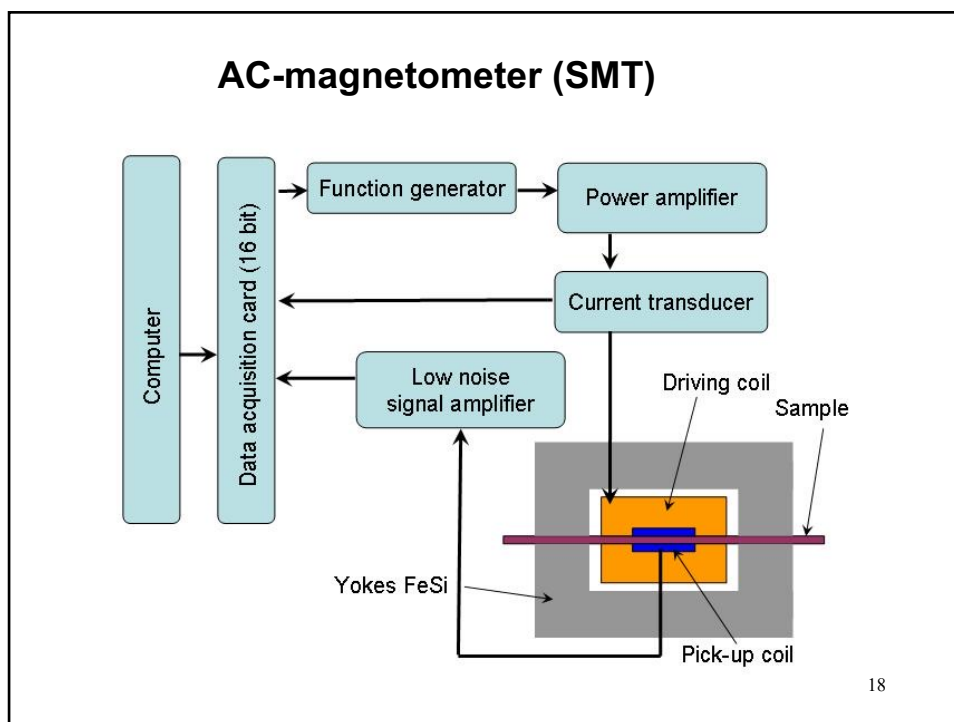


16

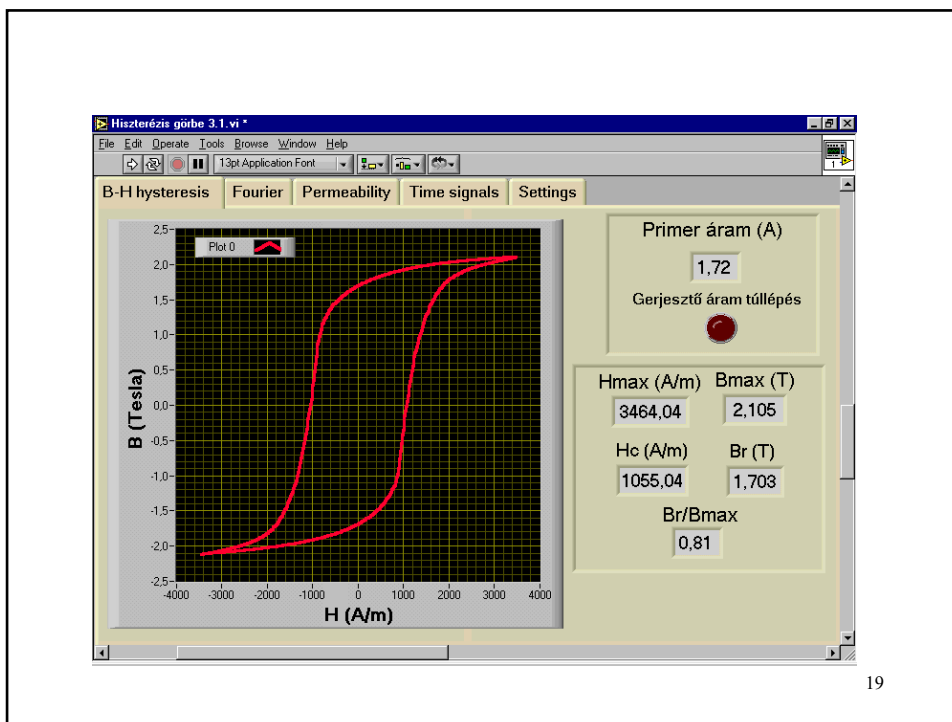




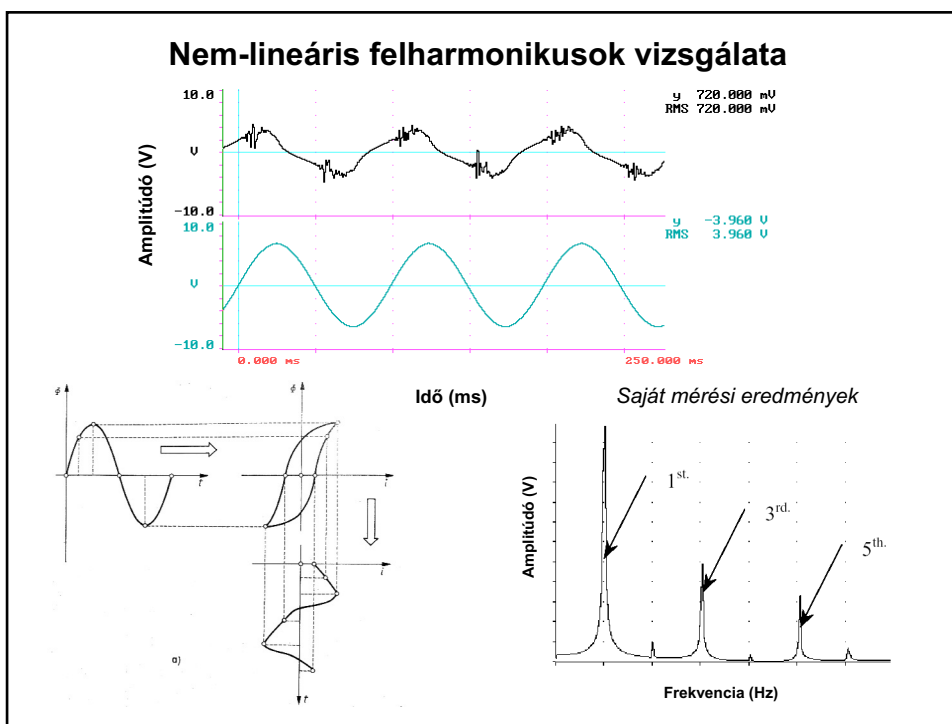
17



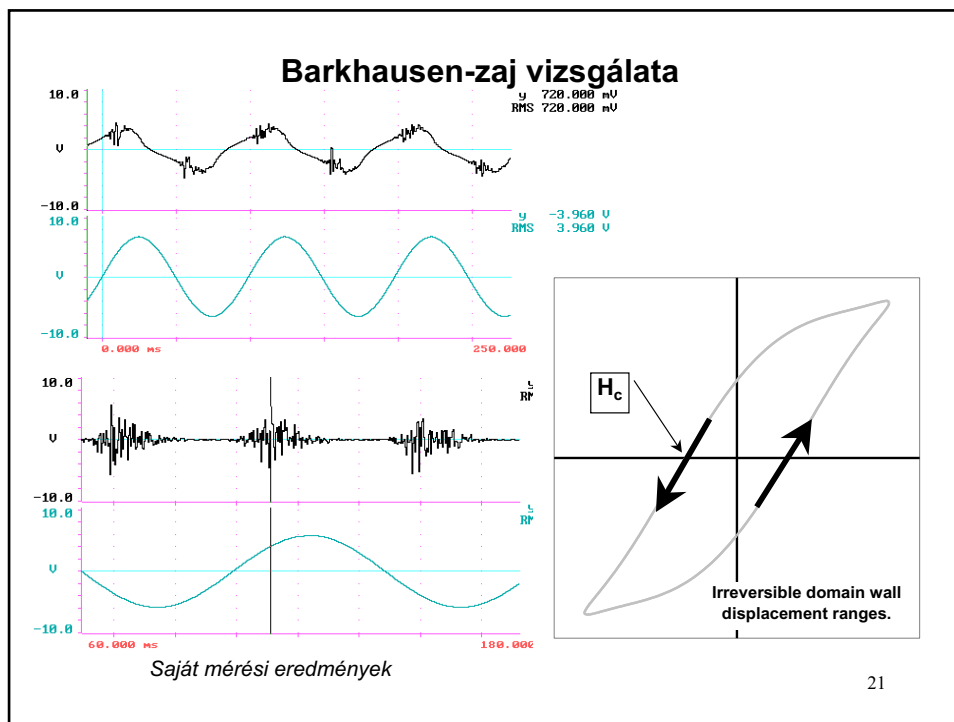
18



19



20



21

**Szövet- és hibaszerkezet érzéketlen (intrinsic) mágneses tulajdonságok**

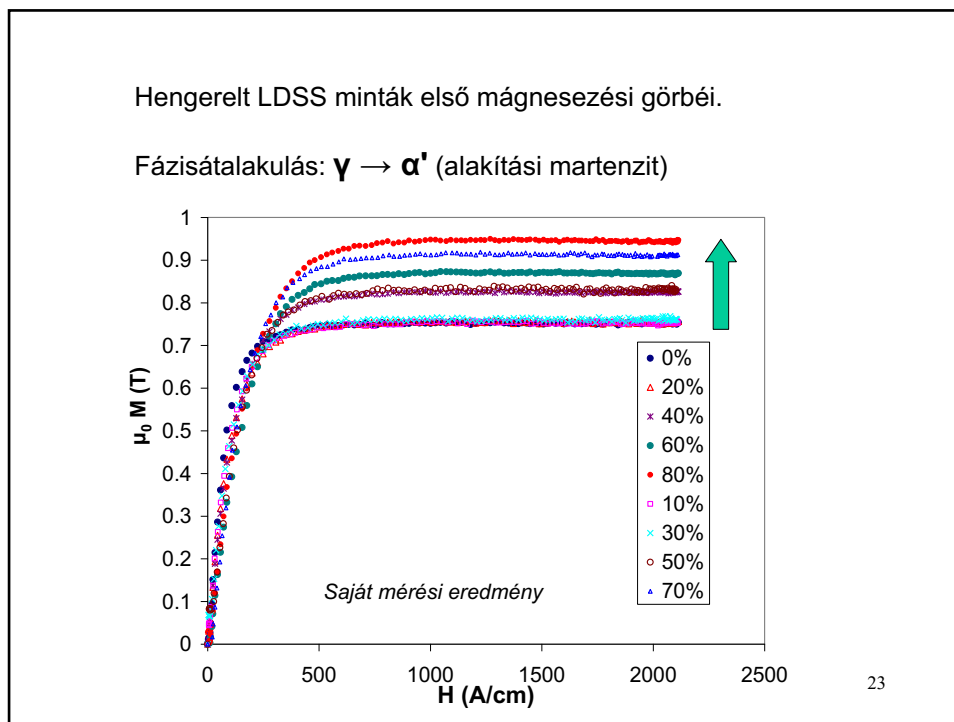
- Telítési polarizáció ill. mágnesszettség (állandó hőmérsékleten)
- Curie hőmérséklet

**Szövet-, hibaszerkezet és feszültség érzékeny (extrinsic) mágneses tulajdonságok**

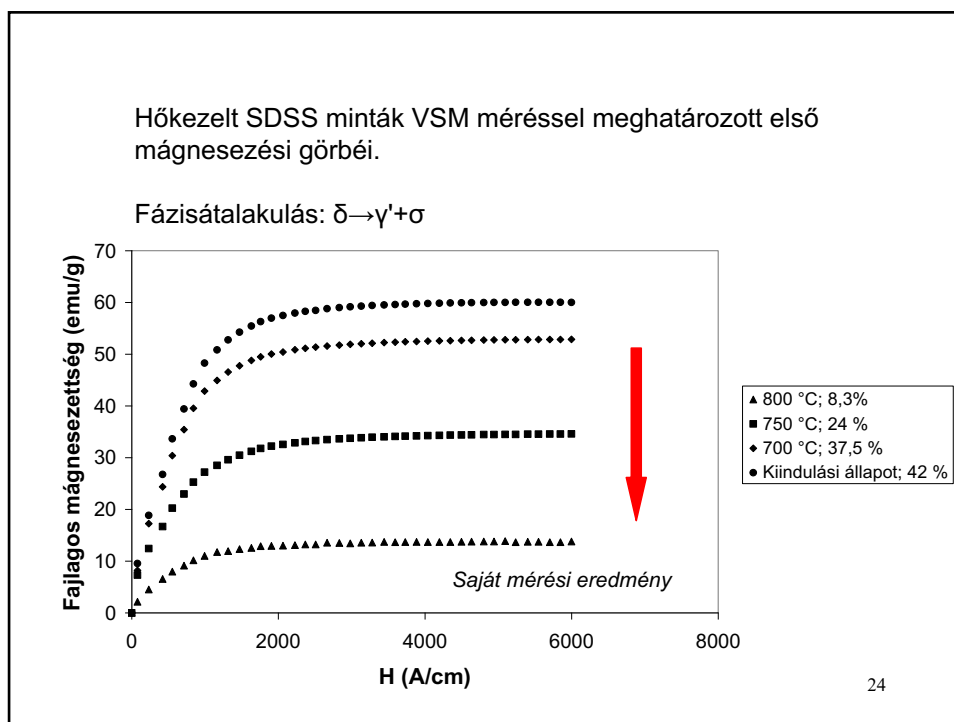
- Mágnesszeti görbék alakja (első, normál, hiszterézis ...)
- Koercitív tér
- Remanens indukció
- Hiszterézis terület
- Permeabilitások (kezdeti, maximális, növekményes ...)
- Felharmonikusok amplitúdója és fázisa
- Barkhausen-zaj (mágneses, akusztikus)
- .....

22

22

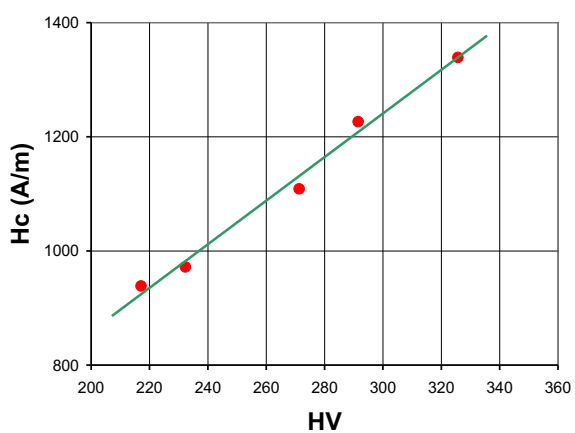


23



24

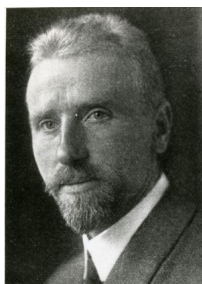
Képlékeny hidegalakítás (hengerlés) hatása a gyengén ötvözött acél keménységére és koercitív terére



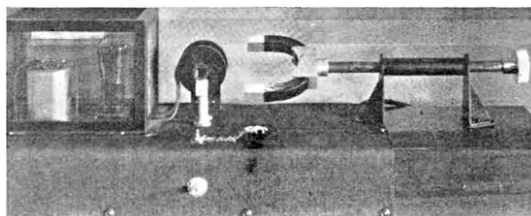
Saját mérési eredmény

25

25



Heinrich Barkhausen  
1919.

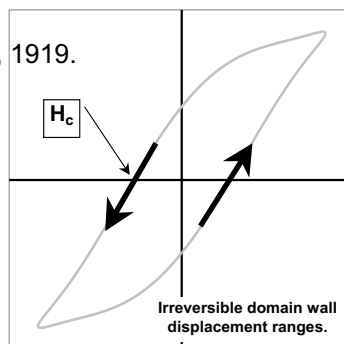
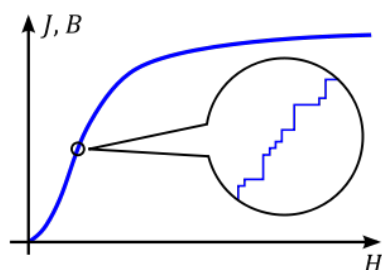


26

26

## Barkhausen-zaj

H. Barkhausen, Phys. Rev. 20, p.401, 1919.

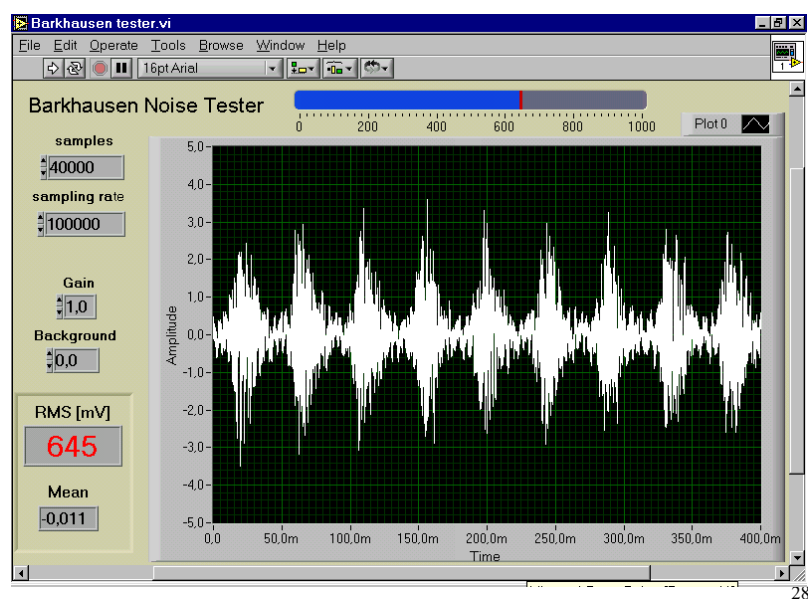


Sixtus & Tonks (Phys. Rev. 24, p.439, 1924), 14%Ni-86%Fe,  
250-380 m/s  $\Rightarrow$  dB/dt nagy  $\Rightarrow$  jól mérhető effektus

**Irreverzibilis doménfalmozgás**, doménfalak ugrásszerű mozgása  
 $\Rightarrow$  Barkhausen-zaj (mágneses, akusztikus)

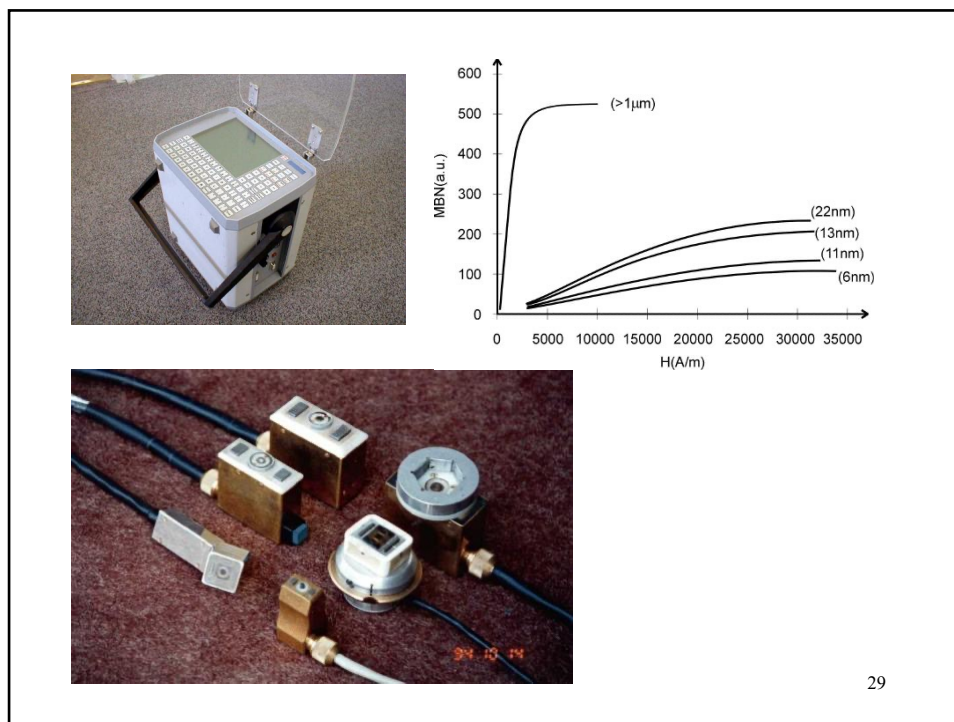
27

27



28

28



29

### Barkhausen-mérés néhány alkalmazása:

- Mechanikai feszültségi állapot (húzó, nyomó) mérése.
- Hegesztett szerkezetekben (varrat és hőhatásövezet) ébredő maradófeszültségek mérése.
- Felületkezelési technológiák (cementálás, nitridálás, boridálás, plazmaszórás stb.) ellenőrzése.
- Indirekt (roncsolásmentes) keménységmérés.
- Szövetszerkezeti változások jellemzése. Szemcseméret mérése. Fázisarány meghatározása, kiválások jellemzése.
- Öntöttvasak, acélok vizsgálata, minőségellenőrzése (lemez ill. gömbgrafitos szerkezetek megkülönböztetése).
- Mechanikai- és hőfárasztási folyamatok nyomon követése, szerkezetek maradék élettartamának becslése.

30

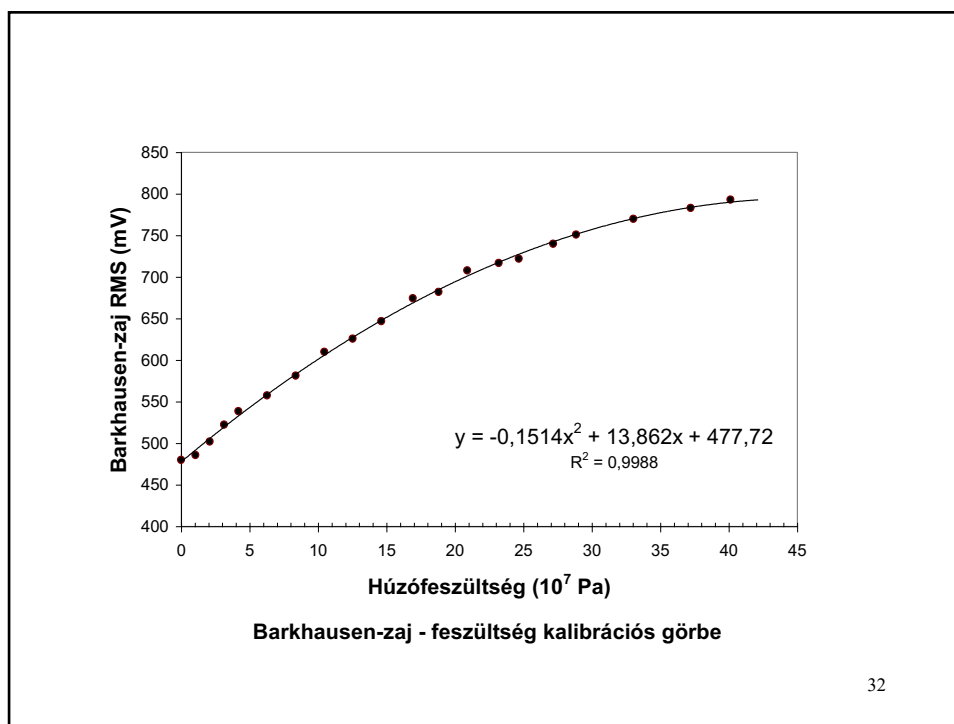
30

Húzófeszültség hatása egy szerkezeti acél Barkhausen zajára

Saját mérési eredmény

31

31



32



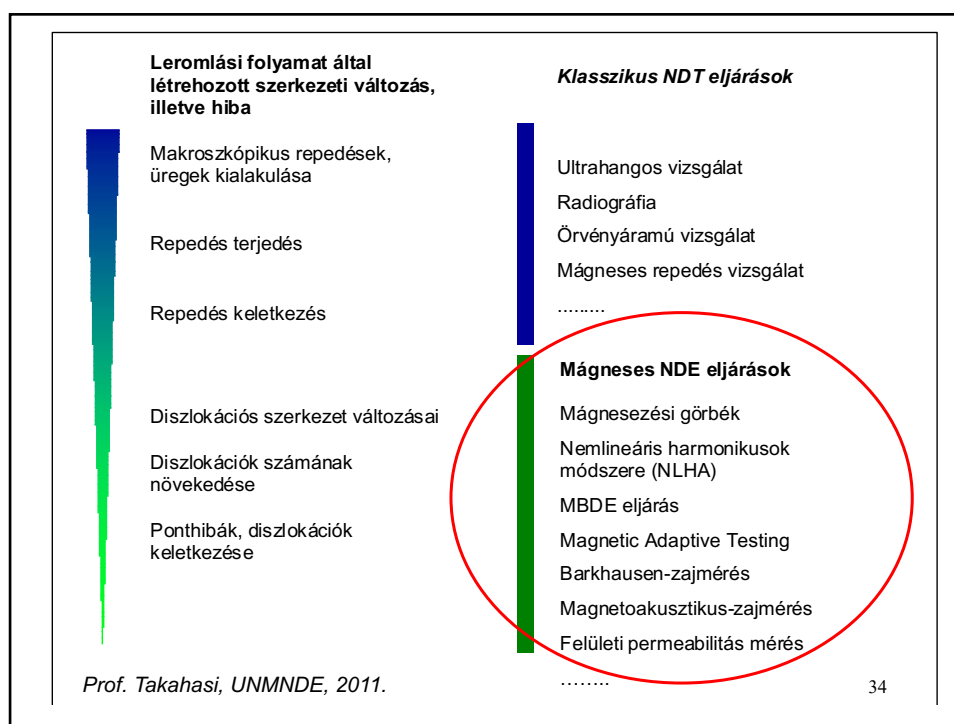
## Összefoglalás

### Mágneses mérések fontosabb alkalmazási területei (szerkezeti acélok vizsgálata):

- Szövet- és hibaszerkezeti változások tanulmányozása
- Fázisátalakulások vizsgálata
- Mechanikai feszültség mérése
- Mérnöki szerkezetek leromlása (szerkezetintegritás)
- Maradék élettartam becslés
- ...

33

33



34

34