



MINERALE FLUORESCENTE



Fosforescența

Luminanța:

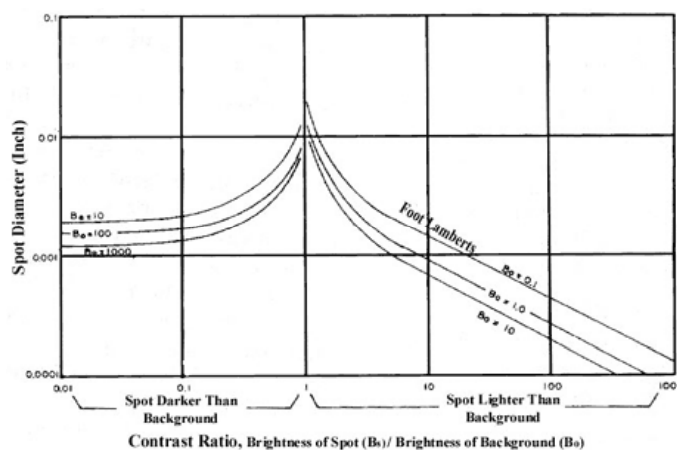
măsoară cantitatea de lumină care trece prin, sau este emisă de o anumită suprafață (pe o anumită direcție, într-un unghi solid).

SI: cd/m^2 ;

CGS: cd/cm^2 .

Alte unități:

- $\text{Lambert} = 1/\pi \text{ cd/cm}^2 = 0.3183 \text{ cd/cm}^2$
- $\text{Foot lambert} = 1/\pi \text{ cd/p}^2$

**Cuprins:**

1. Introducere

2. Inspecția vizuală

3. Metoda lichidului penetrant

4. Inspecția cu particule magnetice

5. Testarea folosind curenții Eddy

6. Testarea ultrasonică

7. Radiografia

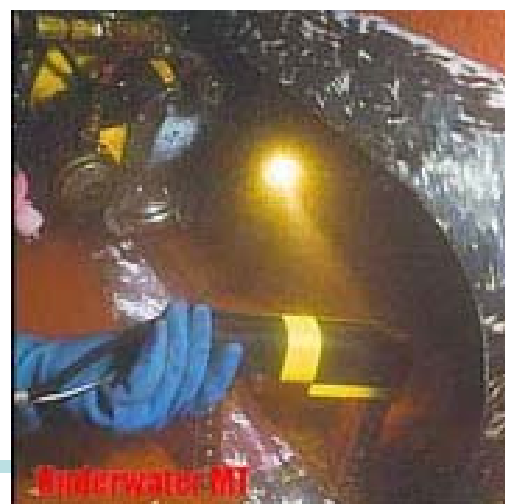
INTRODUCERE

- Inspecția cu particule magnetice IPM
- Metodă de control nedistructiv folosită pentru identificarea fisurilor de suprafață sau din imediata apropiere a suprafeței.
- Prepararea suprafeței probei înainte de inspecție nu este atât de critică ca în MLP
- IPM folosește câmpuri magnetice și particule magnetice mici (de ex. pilitură de fier) pentru a detecta fisurile în probele inspectate.
- Poate fi utilizată doar dacă proba este fabricată dintr-un material feromagnetic.

5

INTRODUCERE

- Metoda este folosită pentru inspectarea unei mari varietăți de produse (turnare, forjare, sudare, etc.).
- La nivel industrial: petrochimică, mașini, centrale electrice, structuri metalice, aerospațiale, inspecții submarine ale structurilor metalice, conductelor, etc.



PRINCIPIILE DE BAZĂ

- IPM poate fi considerată o combinație între două metode de control nedistructiv: testarea scăpărilor de flux magnetic + testarea vizuală.

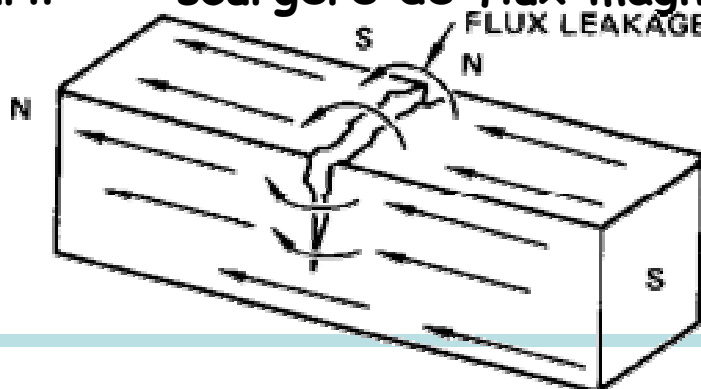
Exemplu: magnet bară;. Are un câmp magnetic intern și produce un câmp magnetic extern. Locul în care liniile de câmp magnetic pătrund în magnet se numesc poli (nord-unde liniile de câmp ies din magnet; sud-unde intră în magnet).



7

PRINCIPIILE DE BAZĂ

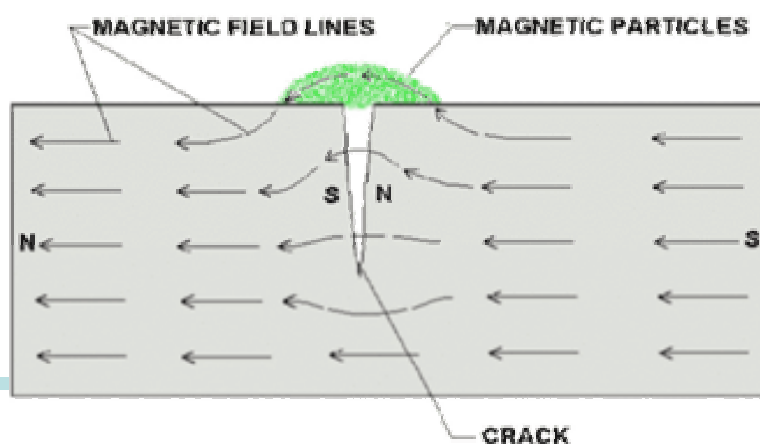
- Când un magnet este rupt în două => doi magneți identici, fiecare cu doi poli.
- Dacă magnetul este doar crăpat și nu separat complet în două, polii N și S se vor forma pe fiecare din părțile rupturii. Câmpul magnetic iese din N și intră în S și se împrășteie în zona crăpăturii => "scurgere de flux magnetic"



8

PRINCIPIILE DE BAZĂ

- Dacă pe un magnet crăpat se împrăștie particule de fier => se vor concentra nu numai la polii magnetului ci și la polii marginilor crăpăturii.
- Aglomerarea de particule magnetice este mai ușor de observat decât crăpătura pentru că are dimensiuni mai mari.



9

PRINCIPIILE DE BAZĂ

- Primul pas în IPM: magnetizarea componentei care trebuie să fie investigată.
- Dacă există defecte în imediata apropiere a suprafeței, acestea vor produce o scurgere de câmp magnetic.
- După ce componenta a fost magnetizată, particule de fier (uscate sau în suspensie) sunt împrăștiate pe suprafața respectivă. Particulele vor fi atrase și se vor aglomera în zonele în care apar scăpările de flux, formând indicații vizibile.

10

ISTORIC

- **Magnetismul: greci-chinezi.**
- **Bergmann, Becquerel, și Faraday au descoperit că toate materialele (inclusiv lichidele și gazele) sunt, afectate de prezența unui câmp magnetic, într-o măsură mai mare sau mai mică... .**
- **1868: Țevile de tun au fost verificate: magnetizare și apoi trecerea unui compas magnetic de-a lungul suprafeței. Ei au putut să identifice crăpăturile prin modificarea indicațiilor compasului magnetic. Aceasta a fost o primă formă de testare nedistructivă însă termenul nu a fost folosit decât după primul război mondial.**

11

ISTORIC

- **1920, William Hoke a observat că particulele magnetice colorate pot fi folosite, împreună cu câmpul magnetic pentru a localiza defectele.**
- **Hoke a descoperit că o fisură de suprafață sau din imediata vecinătate a suprafeței produce o distorsiune a liniilor de câmp magnetic.**
- **Descoperirea a făcut-o în atelierul de lucru. A observat că pilitura unor piese din oțeluri tari, fixate magnetic pentru procesul de pilire, se acumula în zonele care corespundeau unor defecte ale suprafeței.**

12

ISTORIC



"1928 Electro-Magnetic Steel Testing Device (IPM) made by the Equipment and Engineering Company Ltd. (ECO) of Strand, England".

13

ISTORIC

- La începutul anilor 1930's, IPM a înlocuit rapid MLP (udare și albire) la inspecția cazanelor, osiilor, și a roților de cale ferată.
- În zilele noastre, IPM se folosește pentru inspecția produselor înainte de prelucrarea primară (bare de oțel, ...).
- Componente critice ale sistemelor de transport sunt investigate pentru controlul de calitate.
- IPM se utilizează și pentru inspecțiile periodice ale utilajelor care au suferit solicitări intense în timpul folosirii (mașini, tancuri de depozitare, poduri, ...).

14

MAGNETISM

Magneții

- dipol, câmp magnetic, flux magnetic.
- Polii magnetici apar întotdeauna în perechi.
- Surse ale magnetismului atomic

Materiale diamagnetice, paramagnetice și feromagnetice

- Metale diamagnetice:
 - au susceptibilitate magnetică mică, negativă.
 - respinse în câmp magnetic
 - la anularea câmpului extern, proprietățile lor magnetice dispar.
 - solidele cu toți electronii împerecheați, rezultând un moment magnetic nul pe atom.
 - Proprietățile diamagnetice provin din modificarea orbitei electronilor sub influența câmpului magnetic extern.

Materiale diamagnetice, paramagnetice și feromagnetice

- **Metalele paramagnetice**

- au o susceptibilitate mică și pozitivă, în câmp magnetic.
- atrase în câmp magnetic
- nu-și păstrează proprietățile magnetice după oprirea câmpului magnetic exterior.
- Proprietățile paramagnetice provin de la prezența unor electroni neîmperecheați și de la modificarea orbitelor electronilor în prezența câmpului magnetic exterior (Mg, Mo, Li, Ta).

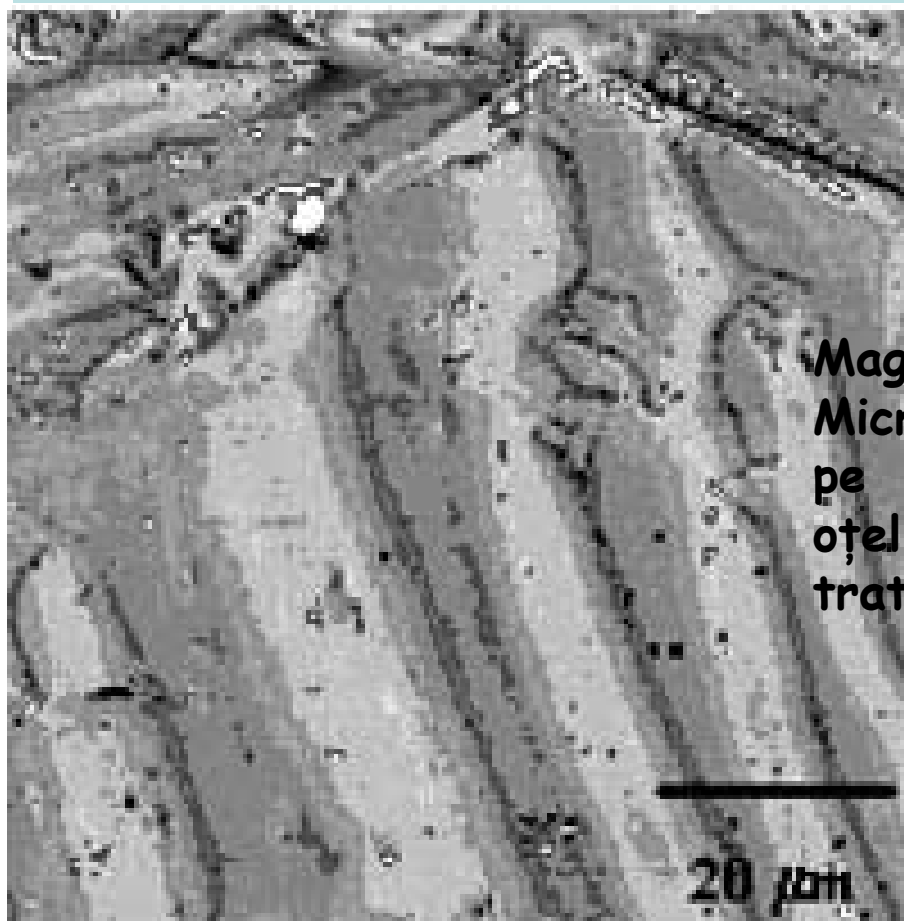
17

Materiale diamagnetice, paramagnetice și feromagnetice

- **Materialele feromagnetice (Fe, Ni, Co)**

- au o susceptibilitate magnetică mare și pozitivă.
- Păstrează proprietățile magnetice și după ce câmpul magnetic a fost înlăturat.
- Materialele feromagnetice conțin atomi cu moment magnetic diferit de zero.
- Domenii magnetice, proba nemagnetizată (câmp magnetic nul), proba magnetizată (câmp magnetic intens).

18



magnetice și

Magnetic Force
Microscopy (MFM)
pe o probă de
oțel-carbon
tratată termic.

19

Materiale diamagnetice, paramagnetice și feromagnetice

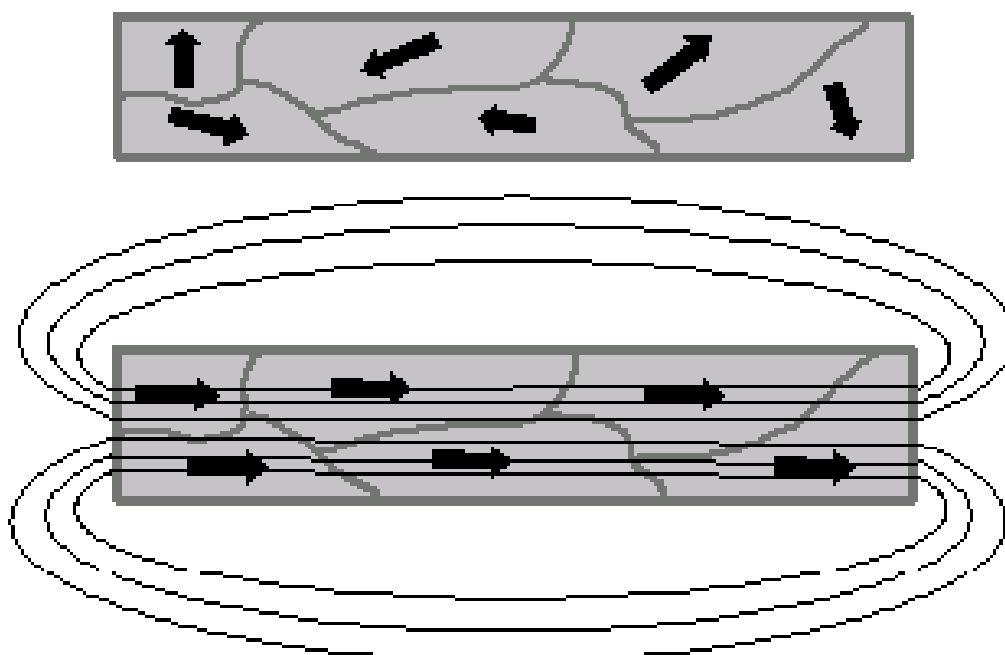
- materialele feromagnetice prezintă magnetizare spontană în fiecare din domeniile magnetice, (saturația în absența unui câmp magnetic).
- deși domeniile sunt saturate, proba nu prezintă o magnetizare netă deoarece domeniile sunt orientate aleatoriu.
- Materialele feromagnetice pot deveni magnetizate atunci când și domeniile magnetice devin aliniate.

20

Materiale diamagnetice, paramagnetice și feromagnetice

- Magnetizarea se poate face prin plasarea materialului într-un câmp magnetic puternic sau prin trecerea unui curent electric prin materialul respectiv.
- Cu cât sunt mai multe domenii aliniate, cu atât este mai intens câmpul magnetic în interiorul materialului.
- Când toate domeniile sunt aliniate, materialul este saturat magnetic.

Materiale diamagnetice, paramagnetice și feromagnetice



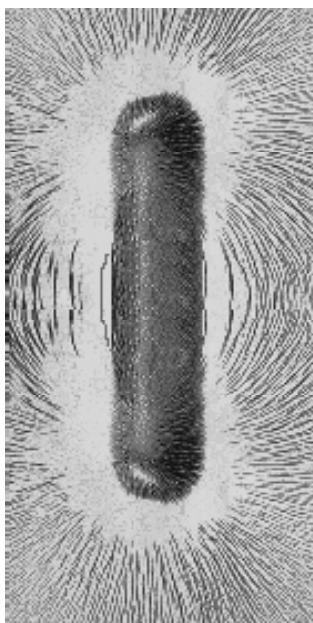
CARACTERISTICILE CÂMPULUI MAGNETIC

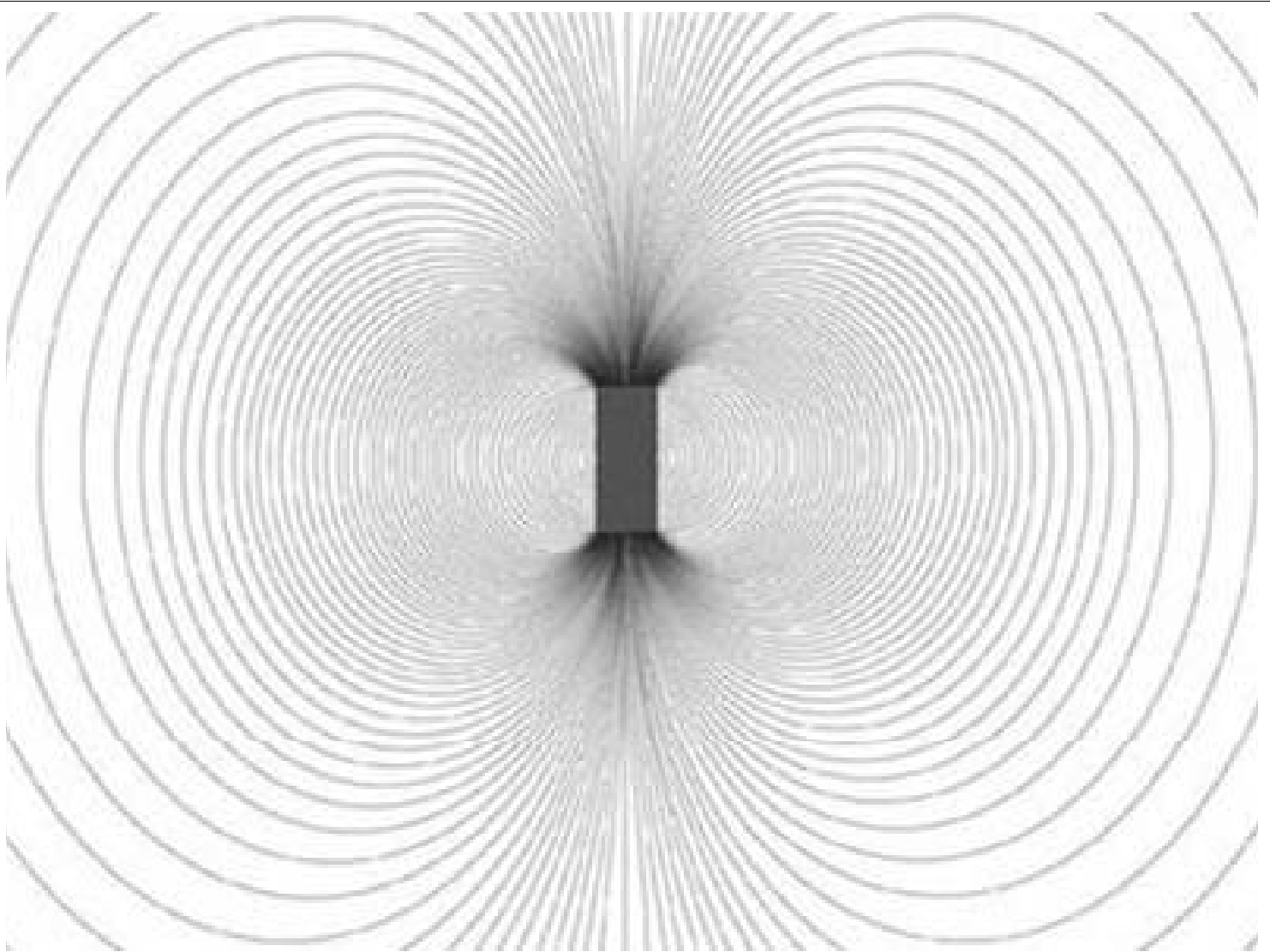
Câmpul magnetic în interiorul și în jurul unui magnet bară

- Poate fi vizualizat folosind pilitură de fier.
- Particulele de pilitură de fier se vor alinia de-a lungul liniilor de câmp magnetic. Se pot identifica cei doi poli ai magnetului.
- Se poate observa că există poli peste tot de-a lungul magnetului bară însă o concentrație mare este la capetele barei. N și S.

CARACTERISTICILE CÂMPULUI MAGNETIC

Câmpul magnetic în interiorul și în jurul unui magnet bară





CARACTERISTICILE CÂMPULUI MAGNETIC

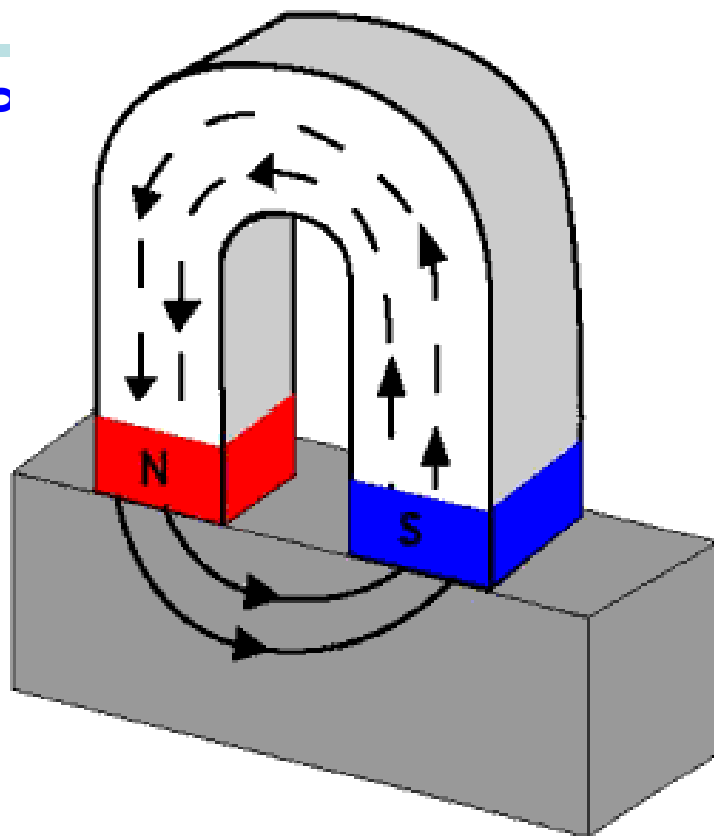
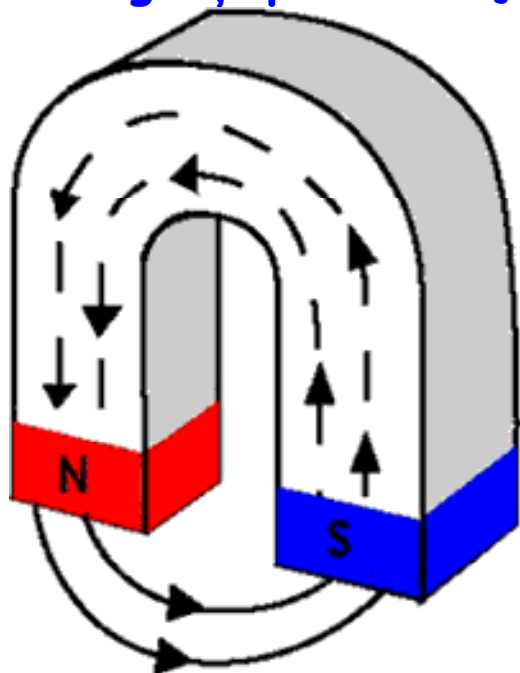
Magneți potcoavă și inel.

Magnetul potcoavă:

- Unul din cei mai comuni tip de magneți.
- Deoarece polii sunt plasați unul lângă celălalt, câmpul magnetic este concentrat în acea regiune.
- Dacă un magnet bară este plasat la capetele unui magnet potcoavă sau dacă magnetul este curbat sub forma unui inel, atunci liniile de câmp magnetic nu mai pătrund în aer

CARACTERISTICILE CÂMP

Magneți potcoavă și inel.



27

PROPRIETĂȚI ALE LINIILOR DE CÂMP MAGNETIC

- Curbe închise de la pol la pol.
- Nu se intersectează.
- Vectorul câmp magnetic este tangent la liniile de câmp.
- Densitatea liniilor de câmp scade (se împrăștie mai tare) la trecerea de la o zonă cu permeabilitate mai mare la una cu permeabilitate mai mică.
- Densitatea lor scade cu creșterea distanței față de poli.
- Sunt orientate de la S la N în material și de la N la S în aer.

28



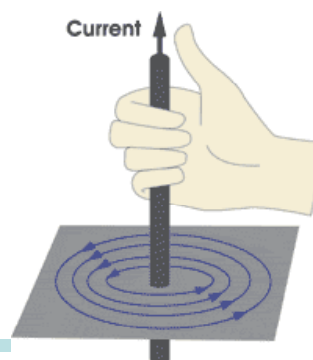
CÂMP ELECTROMAGNETIC

- Magneții nu sunt singura sursă de câmp magnetic
- 1820, Hans Christian Oersted descoperă că trecerea unui curent electric printr-un fir produce deviația unui ac magnetic.
- Oersted a observat că intensitatea câmpului magnetic e proporțională cu mărimea curentului din fir și invers proporțională cu distanța de la fir.
- În majoritatea conductorilor, câmpul magnetic există doar atât cât există curent electric.

29

CÂMP ELECTROMAGNETIC

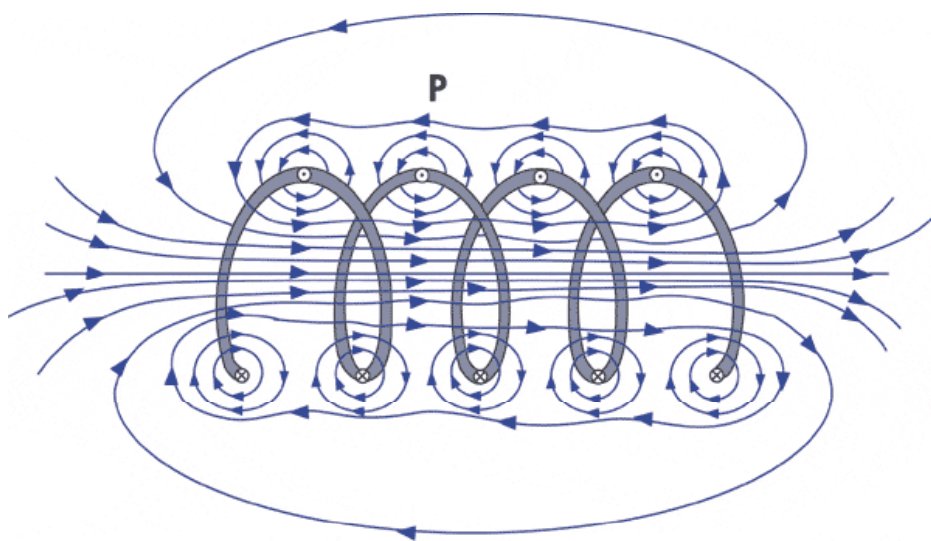
- În conductorii feromagnetici, curentul electric produce orientarea unor domenii magnetice => câmp magnetic rezidual.
- Direcția câmpului magnetic depinde de direcția curentului din fir. Regula mâinii drepte.
- Atenție la convenția despre curgerea curentului electric (Benjamin Franklin).



30

CÂMP ELECTROMAGNETIC

Câmpul magnetic produs de o bobină



31

CÂMP ELECTROMAGNETIC

Câmpul magnetic produs de o bobină

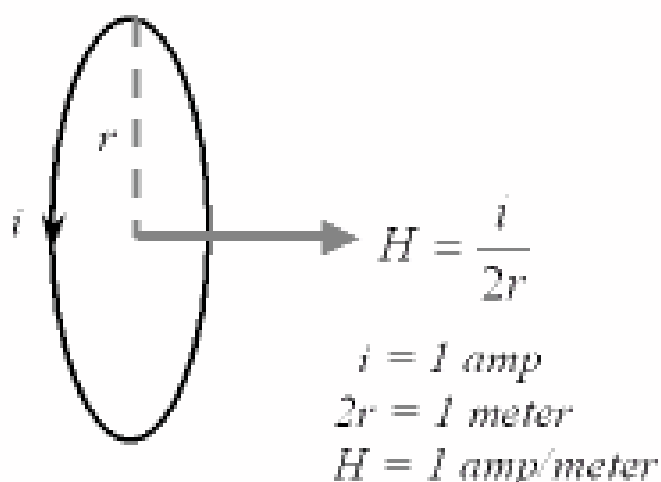
- Intensitatea câmpului magnetic crește cu creșterea curentului și a numărului de spire.
- Solenoid: permite generarea unui câmp magnetic uniform în interiorul acestuia.
- Se pot folosi la magnetizarea probelor feromagnetice.
- Câmpul exterior este slab.

32

CÂMP ELECTROMAGNETIC

		SI	CGS
Câmp magnetic	H	A/m	Oersted
Inducție magnetică	B	Tesla	Gauss
Flux	Φ	Weber	Maxwell
Magnetizare	M	A/m	erg/Oe-cm ³

CÂMP ELECTROMAGNETIC

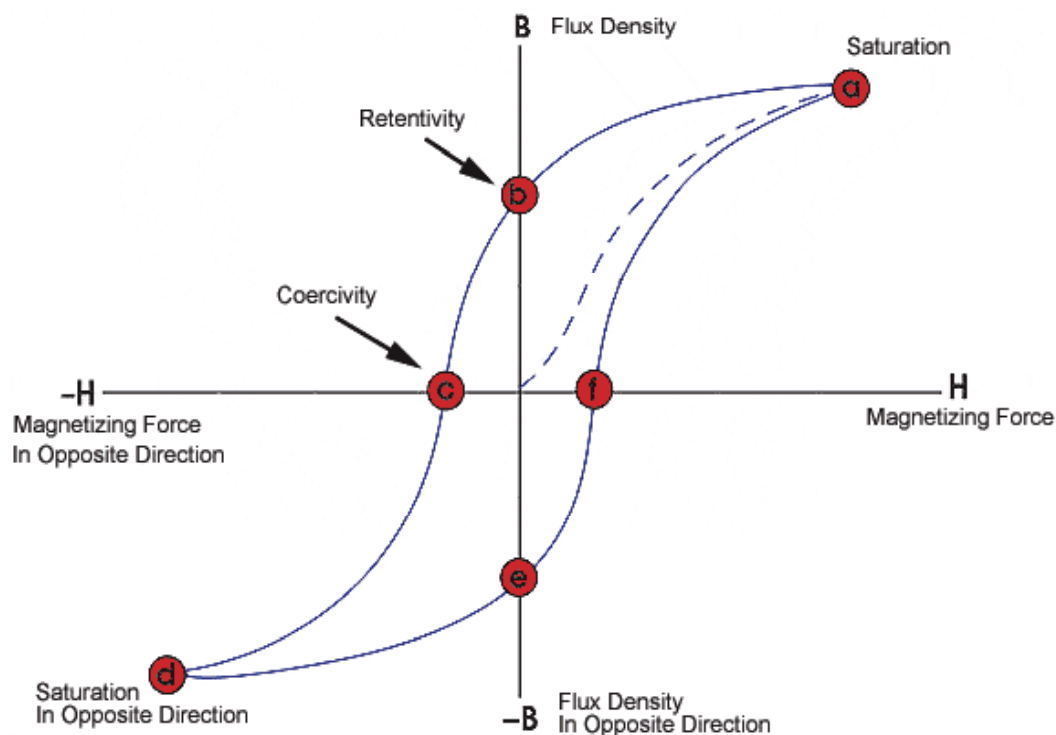


H: A/m. Intensitatea de 1 A/m este produsă în centrul unui conductor circular cu diametrul de 1 m prin care circulă un curent continuu de 1 A.

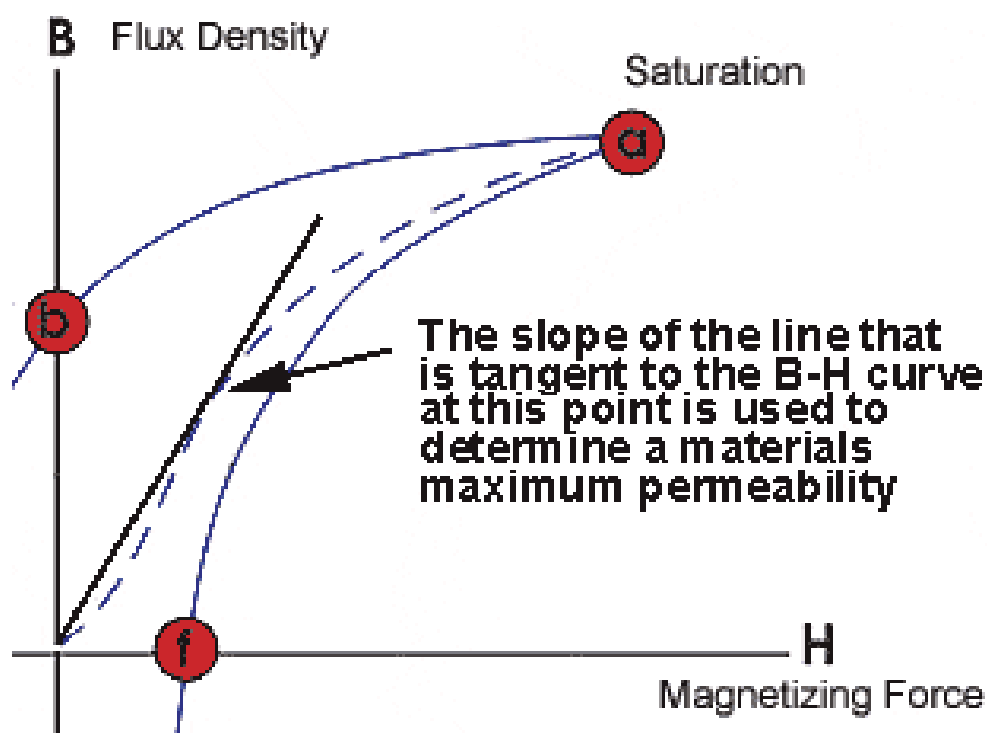
CÂMP ELECTROMAGNETIC

Quantity	CGS unit	SI Unit
Magnetic field	$H = 1 \text{ Oe}$	$H = 1000/4\pi \text{ A.m}^{-1}$
Magnetic induction	$B = 1 \text{ gauss}$	$B = 1 \times 10^{-4} \text{ Tesla}$
Magnetization	$M = 1 \text{ erg.Oe}^{-1}.\text{cm}^{-3}$	$M = 1 \times 10^3 \text{ A.m}^{-1}$

CURBA DE HISTEREZĂ



CURBA DE HISTEREZĂ



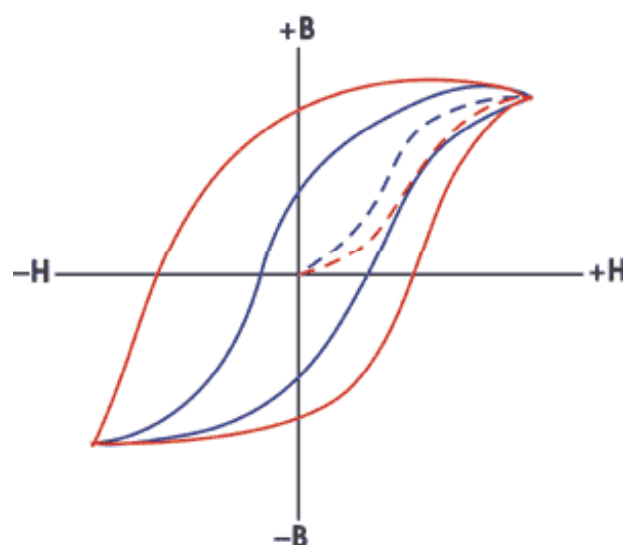
37

CURBA DE HISTEREZĂ

Un material cu histereza largă are:

- Permeabilitate mai mică
- Retentivitate mai mare
- Coercivitate mai mare
- Magnetism rezidual mai mare

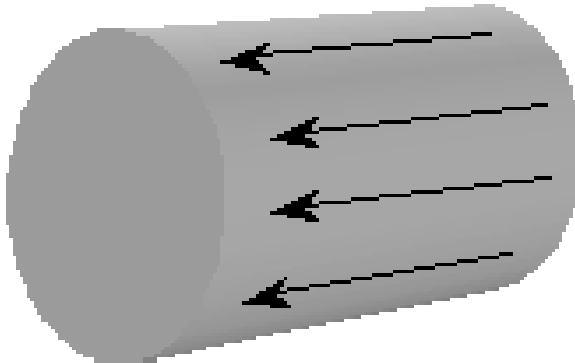
față de un material cu histereză îngustă.



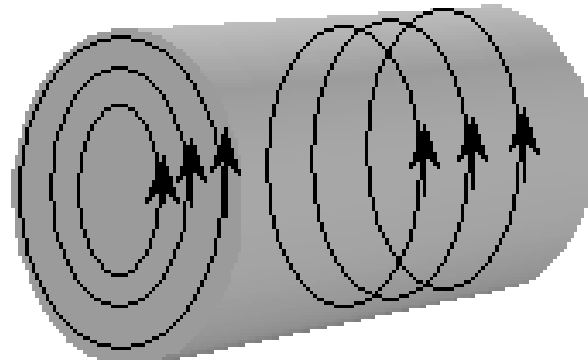
38

Dependența detectabilității fisurilor de orientarea câmpului magnetic.

Două cazuri :



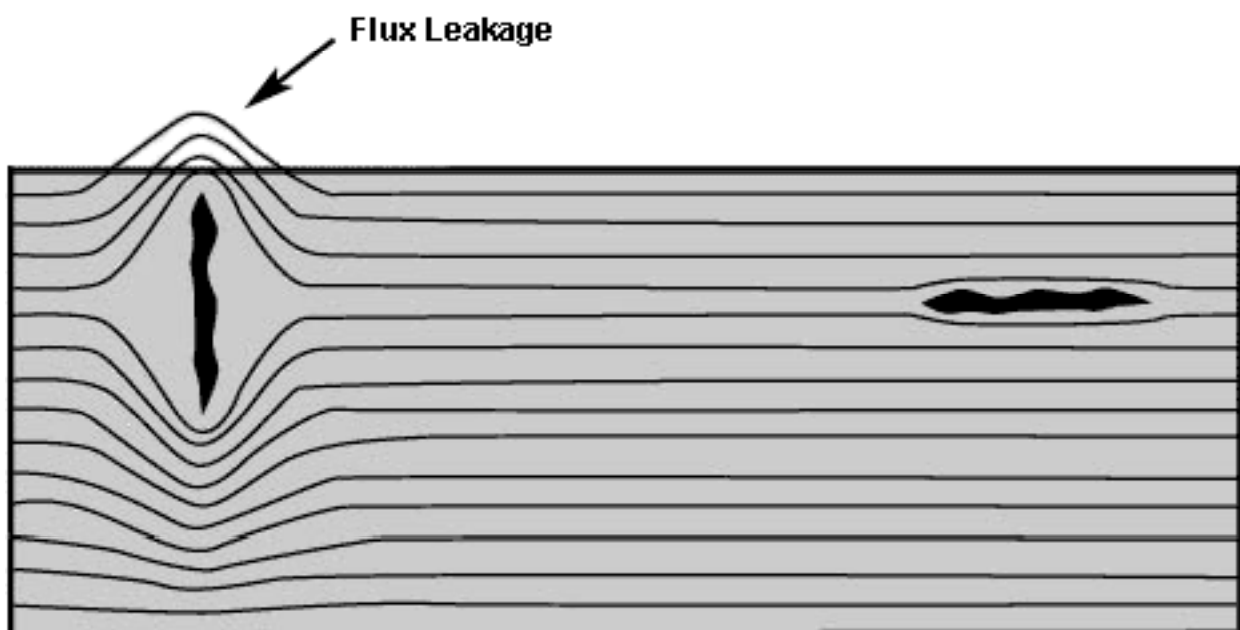
Bobină sau magneți



Curent sau curent prin fir înconjurat de probă

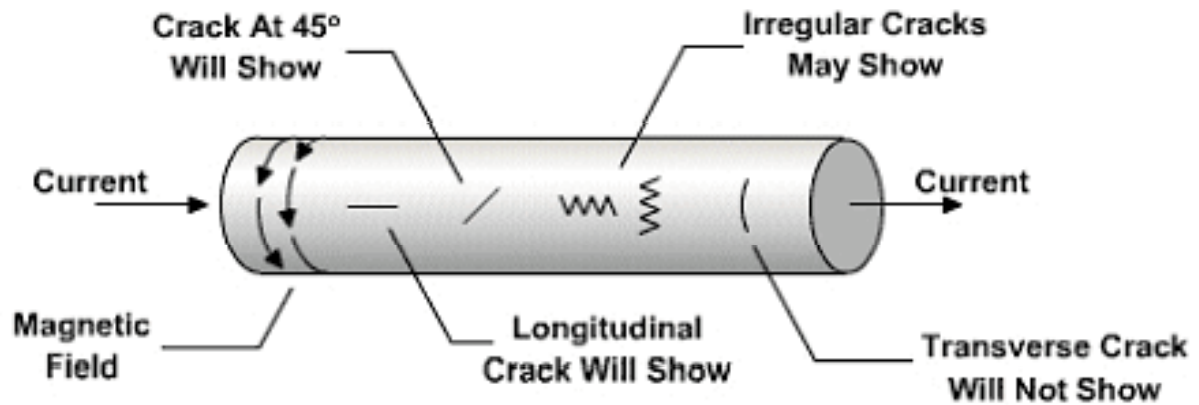
39

Dependența detectabilității fisurilor de orientarea câmpului magnetic.



40

Dependența detectabilității fisurilor de orientarea câmpului magnetic.

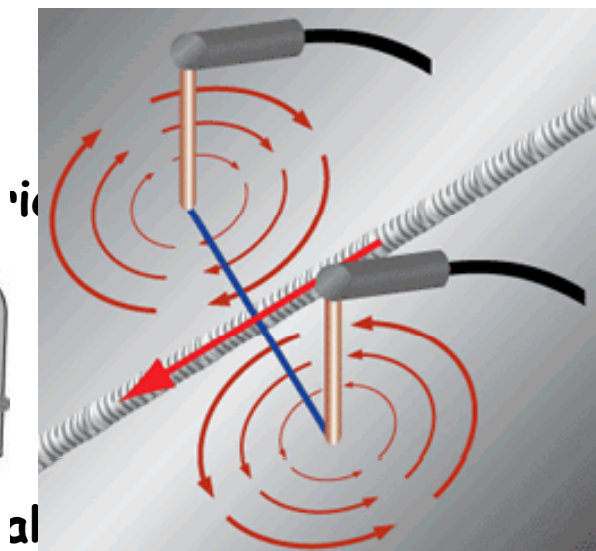
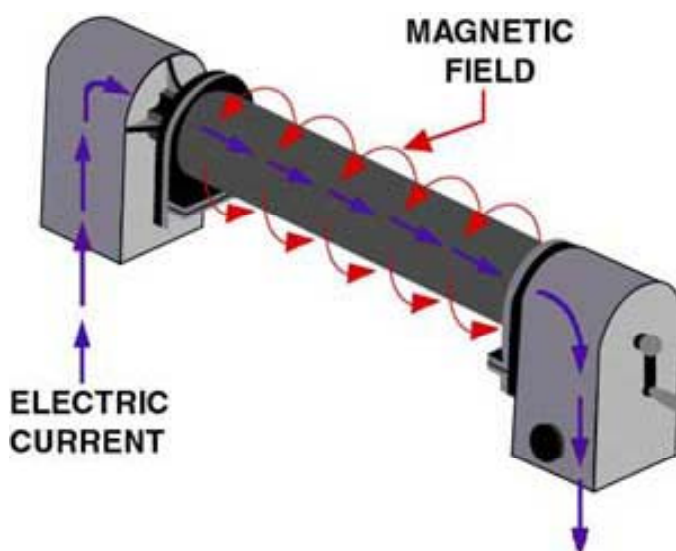


41

Magnetizarea materialelor feromagnetice.

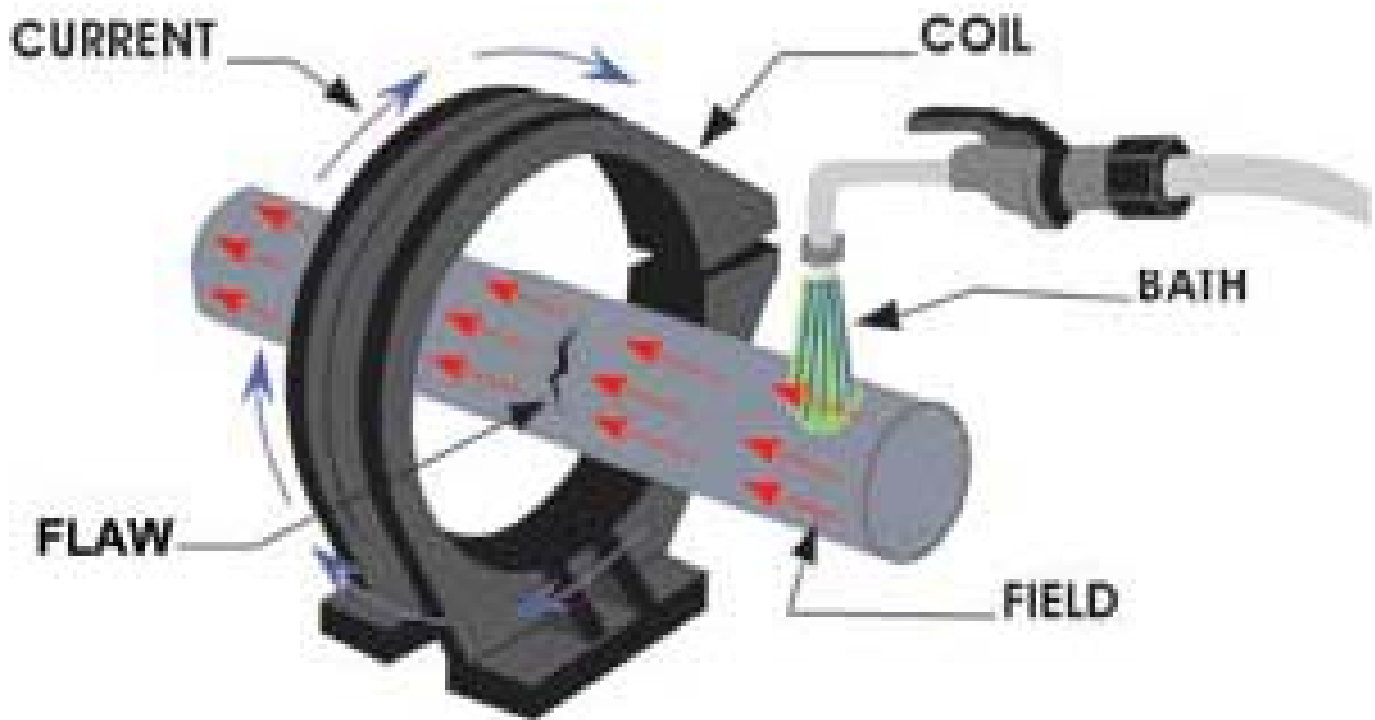
Clasificare

- Metode directe



42

Metode indirecte:



43

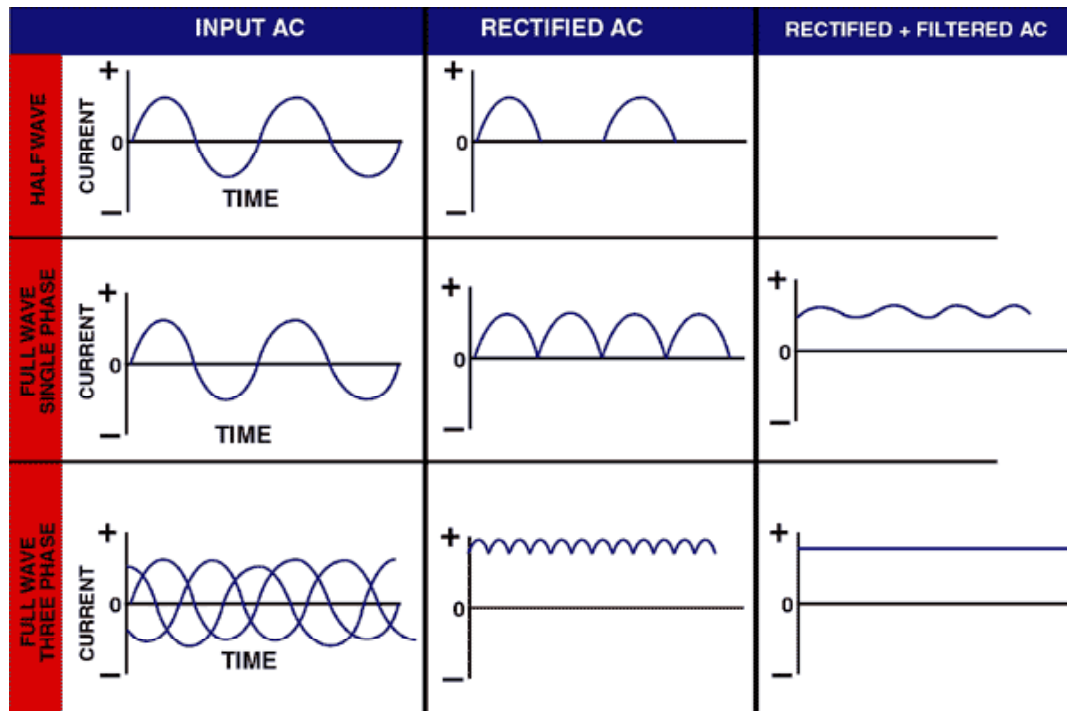
Curent continuu.

- Baterie
- Permite detectarea defectelor de sub suprafață

Curent alternativ.

- Curent la priză
- Efect skin
- Limitat la defecte de suprafață

44

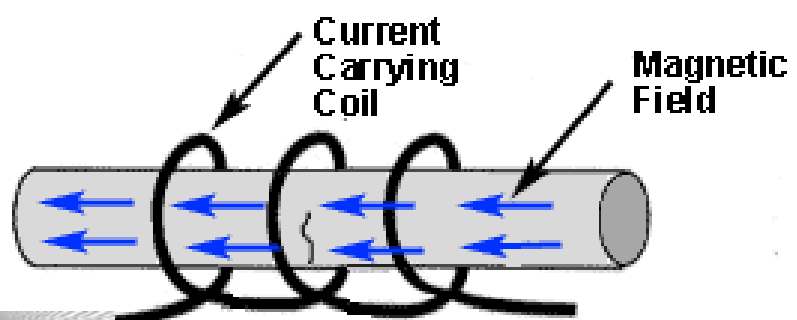
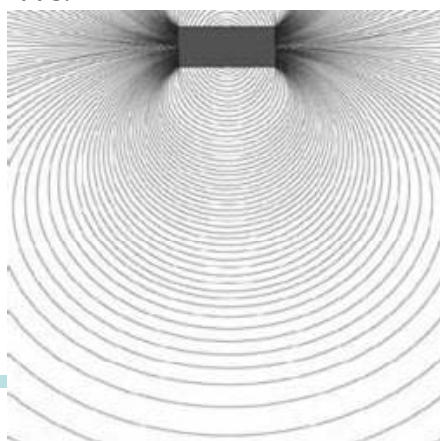
AC-→DC

45

Câmpuri magnetice longitudinale

- Dacă proba are o dimensiune mult mai mare decât celelalte

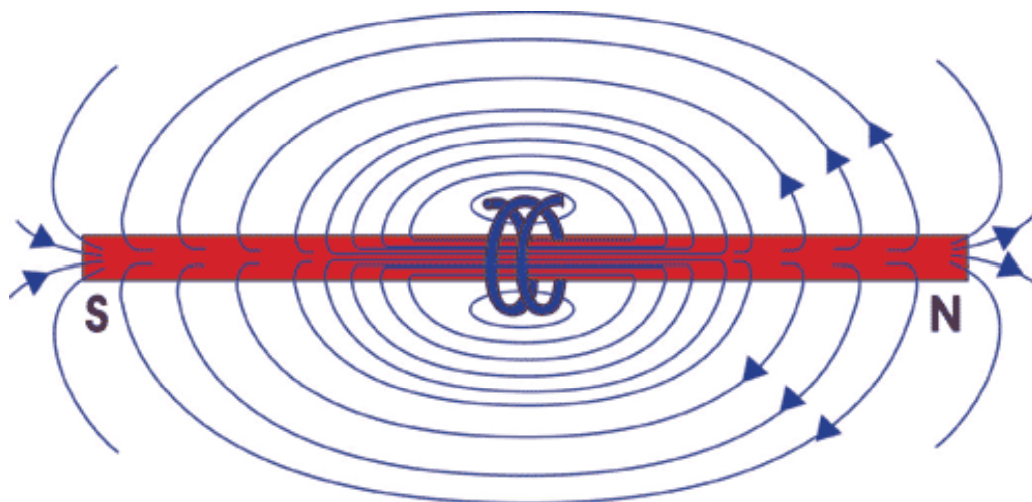
**Solenoid lung-
magnetizare
omogenă**



46

Câmpuri magnetice longitudinale

- Dacă proba are o dimensiune mult mai mare decât celelalte



Solenoid scurt-magnetizare omogenă local

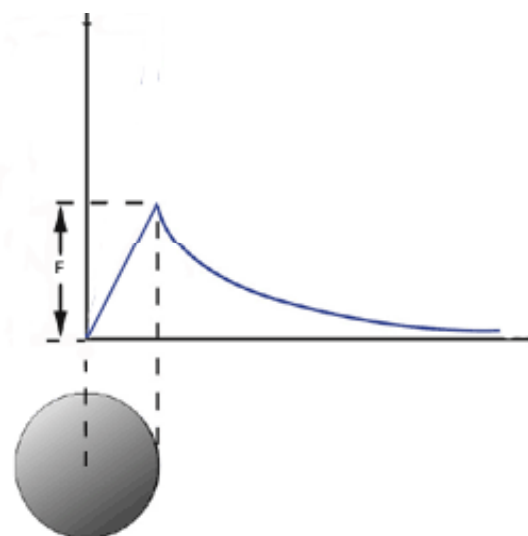
47

Câmpuri magnetice circulare

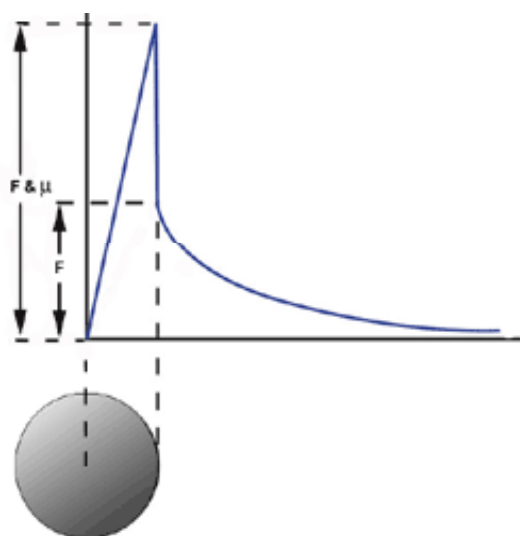
- Pot fi produse de curenți electrici
- Intensitatea câmpului variază de la zero (în centrul conductorului) la maxim (la suprafața acestuia) și apoi scade cu creșterea distanței până la conductor.
- La curent constant, valoarea de maxim scade cu creșterea razei conductorului
- În exteriorul conductorului, câmpul magnetic este direct proporțional cu intensitatea curentului
- În interiorul conductorului, câmpul magnetic este proporțional cu I , μ .

48

Câmpuri magnetice circulare



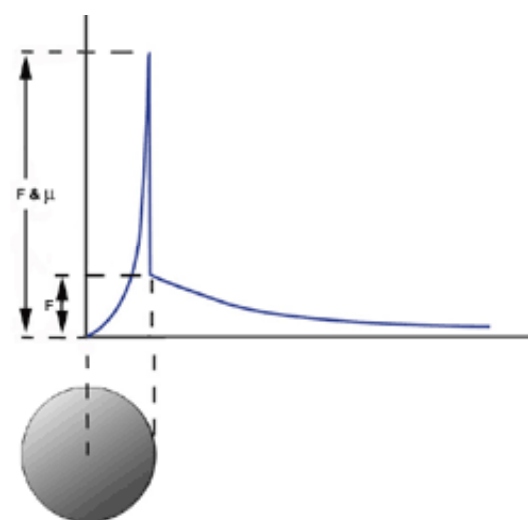
Material ne-magnetic



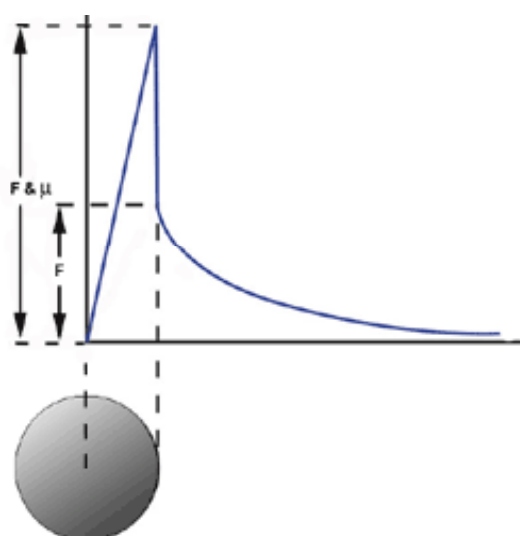
Material magnetic

49

Câmpuri magnetice circulare



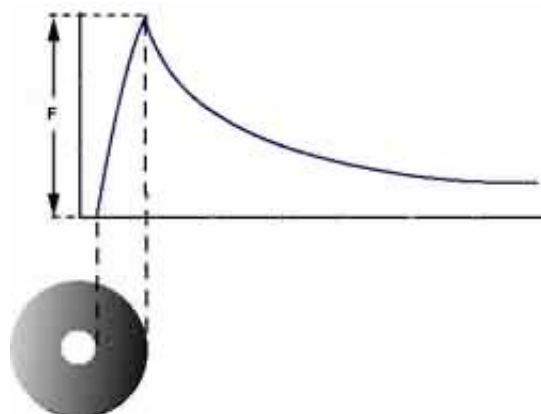
Material magnetic AC



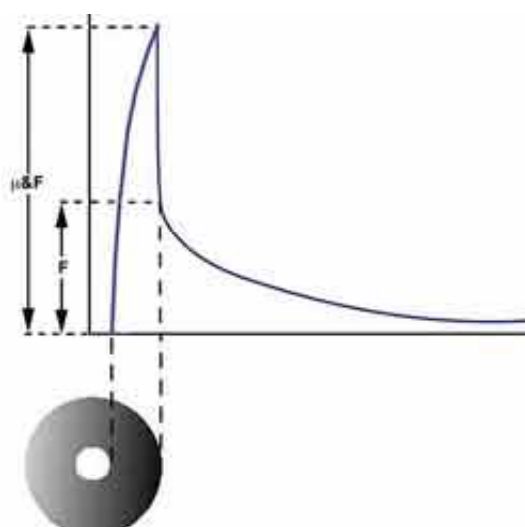
Material magnetic DC

50

Câmpuri magnetice circulare



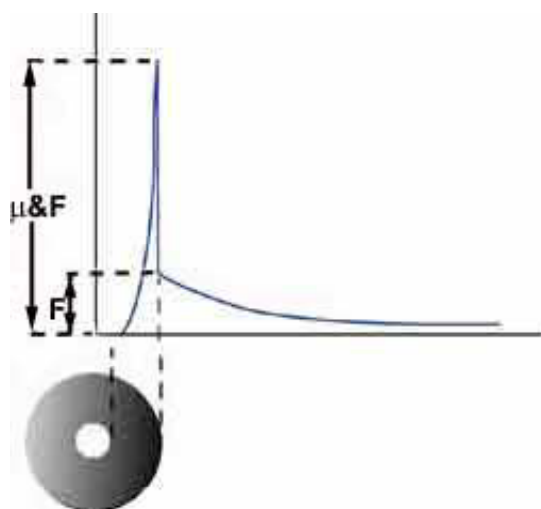
Material ne-magnetic



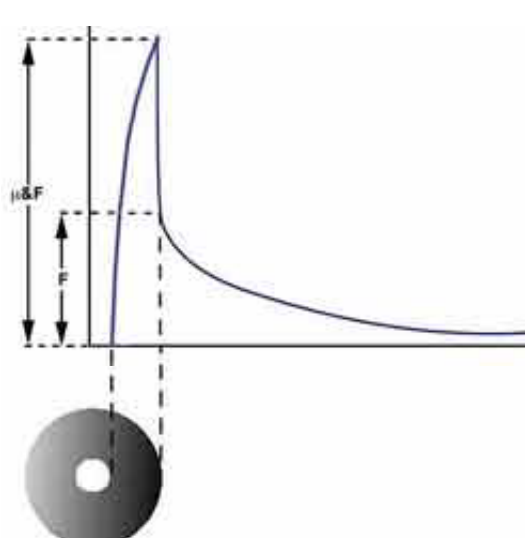
Material magnetic

51

Câmpuri magnetice circulare



Material magnetic **AC**



Material magnetic **DC**

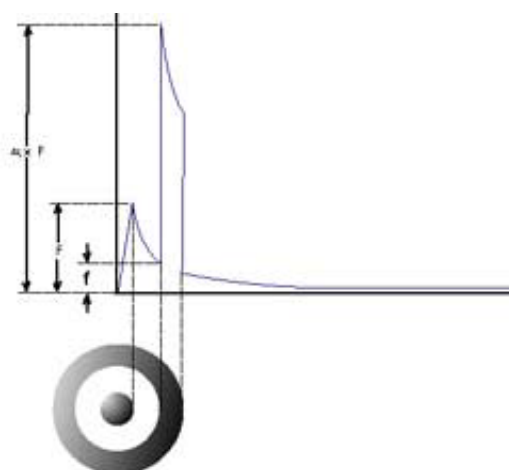
52

Câmpuri magnetice circulare

- Câmpul magnetic este mic pe suprafața interioară a unui conductor magnetizat prin trecerea unui curent electric.
- Metoda de magnetizare directă nu este recomandată pentru inspecția componentelor cu orificii
- Dacă defectul are o adâncime considerabilă el poate fi detectat.
- O mai bună metodă de investigare a componentelor cu orificii este folosirea unui conductor nemagnetic central.

53

Câmpuri magnetice circulare



- Câmpul magnetic la suprafața exterioară este și el suficient de mare pentru a permite inspecția simultană a celor două suprafețe.

54

Demagnetizarea

Câmpul magnetic remanent poate afecta:

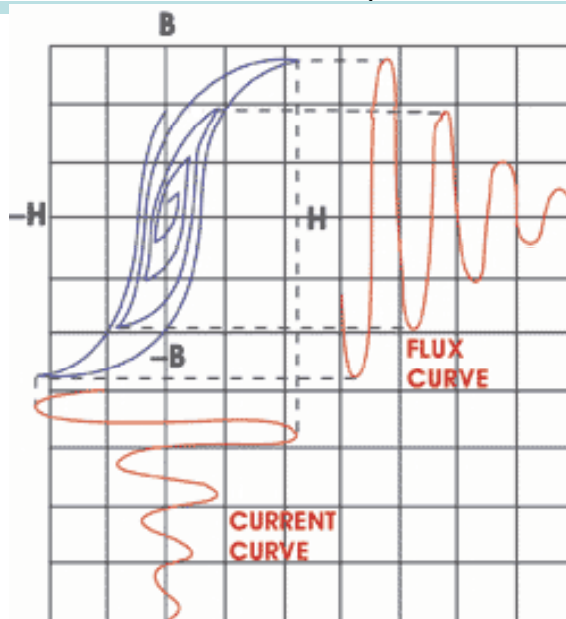
- Prelucrabilitatea materialului pentru că șpanul/pilitura se vor atașa pe suprafața materialului.
- Poate interfera cu componentele electronice de măsură
- Probleme în procesul de sudură.
- ...

Demagnetizarea

Poate fi efectuată în diverse moduri:

- Încălzirea materialului peste temperatura Curie
- Demagnetizare cu ajutorul câmpului magnetic, cicluri de demagnetizare până la orientarea aleatoare a domeniilor magnetice.

Demagnetizarea



Standarde industriale cer ca intensitatea câmpului magnetic măsurată în apropierea probei să nu depășească 3 G.

57

Măsurarea câmpului magnetic

- Este importantă cunoașterea intensității și direcției câmpului magnetic aplicat.
- Direcția: 45-90 grade față de defect
- Intensitatea: suficient de mare pentru a produce indicații: nu prea mare pentru a nu avea indicații nerelevante
- Se măsoară câmpul înafara probei
- Se folosesc sonda Hall și indicatorul de câmp.

58

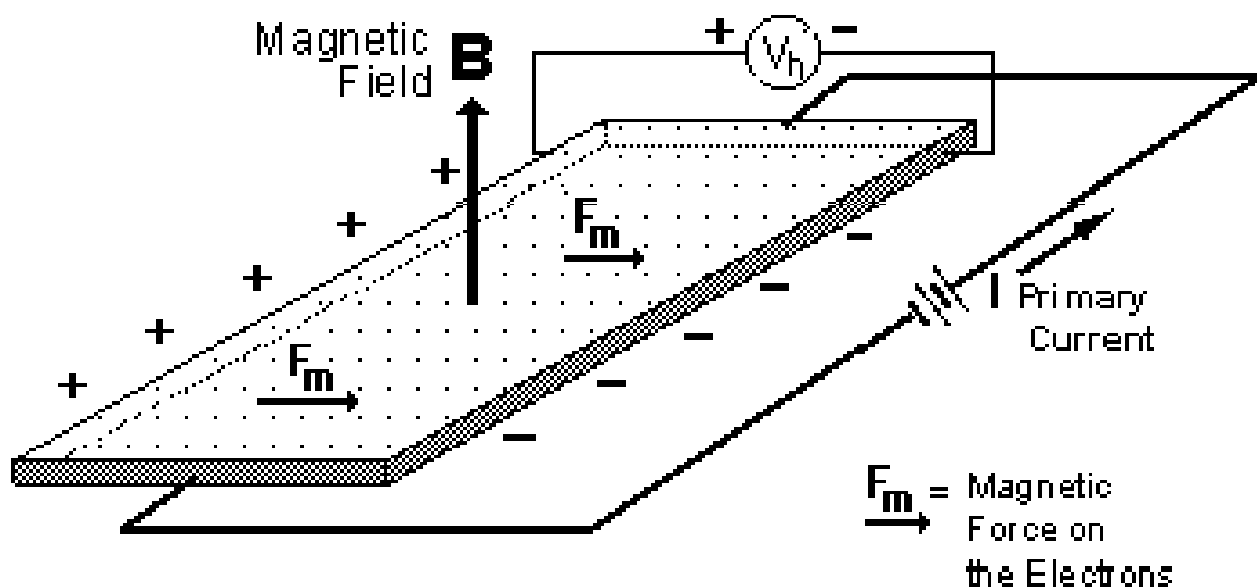
Măsurarea câmpului magnetic

- Indicatori de câmp magnetic
 - Efect mecanic al câmpului magnetic
 - Permite evaluări cantitative
- Sonde Hall
 - Permit o măsurare mai precisă a intensității
 - Se bazează pe efectul HALL



59

Efectul Hall



60

Efectul Hall

- Descoperit de Edwin Hall

$$V_h = I B R_h / b$$

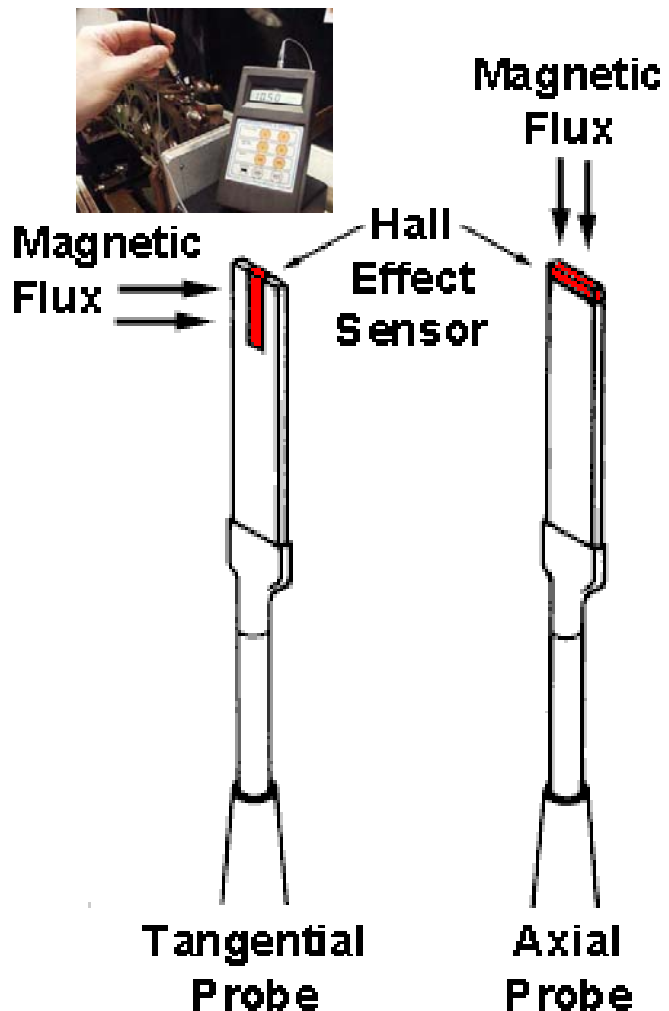
V_h : tensiunea Hall,

I : curentul electric prin

B : componenta, perpendiculară pe câmpul magnetic.

R_h : coeficientul Hall

b : grosimea probei Hall



Avantajele sondei Hall

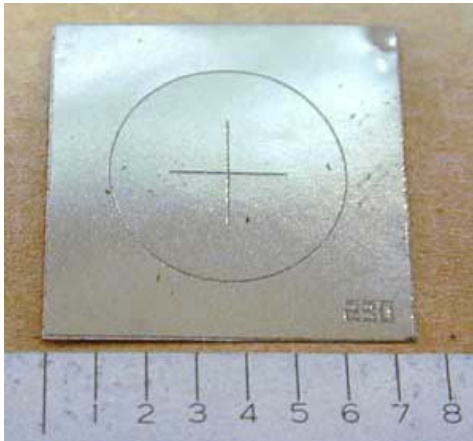
- Permite o măsurare precisă a câmpului magnetic
- Măsurătorile se poate efectua și pe alte direcții prin re-poziționarea sondei Hall

Dezavantaje

- Trebuie calibrată periodic
- Nu pot fi folosite în sisteme multidirecționale (vezi mai jos).

Indicatorul QQI

- Permite identificarea direcției câmpului magnetic
- Se folosește în DC
- Se folosesc suspensii de particule magnetice (nu pudre)



63

Indicatorul Pie Gage

- Disc de permeabilitate magnetică mare divizat în 4, 6 sau 8 secțiuni.
- Între secțiuni: material nemagnetic, care joacă rolul unor defecte



64

Indicatorul Pie Gage

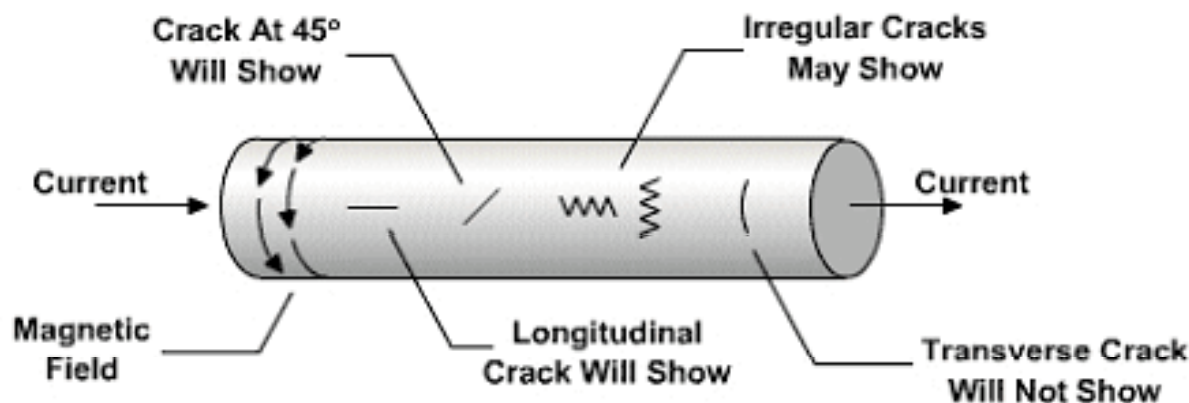
- Suprafețe plane
- Pudre uscate
- Ușor de folosit
- Fiabilitate
- Nu oferă informații despre intensitatea câmpului magnetic.
- Trebuie demagnetizată după folosire



65

Portabilitatea IPM

- Pentru a obține rezultatele așteptate cu IPM, trebuie să magnetizăm proba după cel puțin două direcții.



66

Portabilitatea IPM

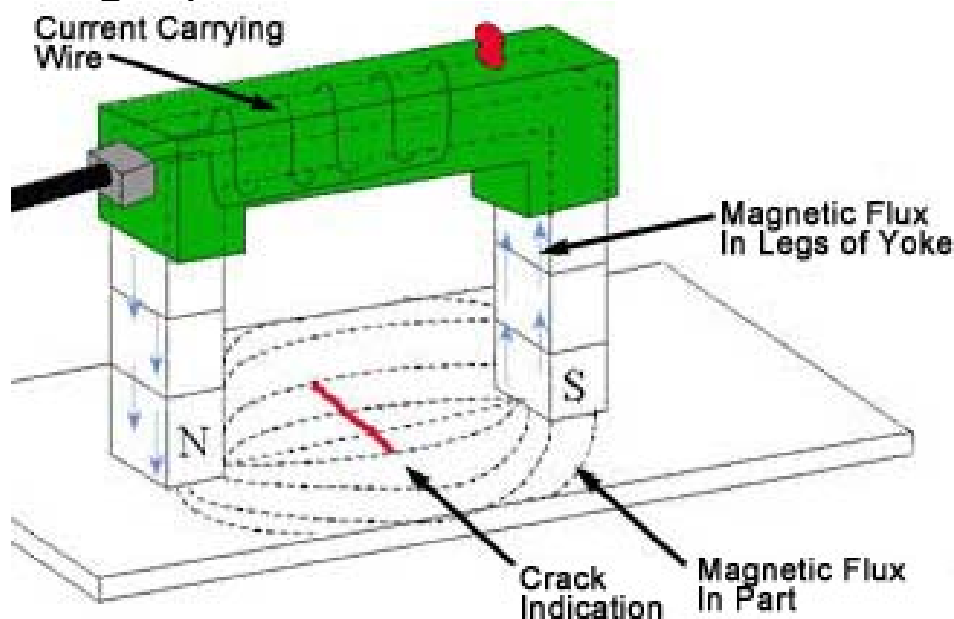
Magneți permanenți

- Bară sau potcoavă
- De obicei magneți puternici
- Difícil de îndepărtat de pe probă și difícil de atașat de probă
- Se folosesc rar, în aplicații speciale:
 - Submarine
 - Unde există pericol de explozie



Portabilitatea IPM

Electromagneți



Portabilitatea IPM

Electromagneți



69

Portabilitatea IPM

Electromagneți



70

Portabilitatea IPM

Prods



Portable Prod Unit

Portabilitatea IPM

Bobine și cabluri



Portabilitatea IPM

Surse de tensiune/curent portabile

73

Sisteme staționare



74

Sisteme staționare

- De obicei pentru uz industrial
- Cele mai folosite sisteme sunt cele orizontale, cu componente pneumatice pentru fixare
- Se produce un câmp magnetic circular prin magnetizare directă
- Pot fi investigate probe de lungimi diferite
- Majoritatea sistemelor au și bobine pentru producerea câmpului magnetic longitudinal
- În baia de sub piesă se reciclează suspensia de particule magnetice



75

Sisteme staționare



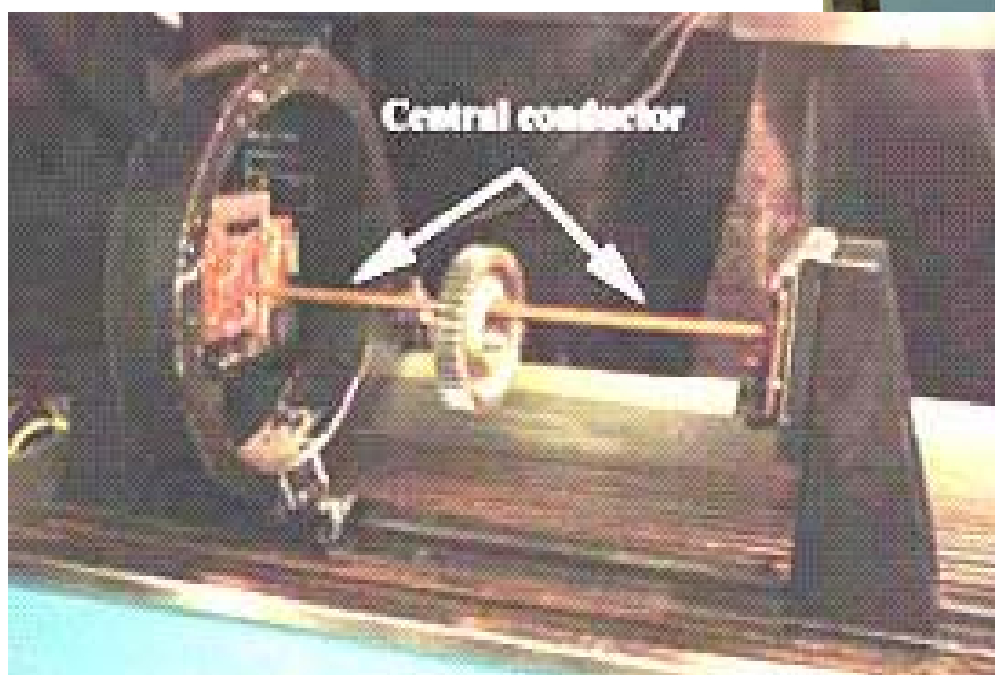
76

Sisteme staționare



77

Sisteme staționare



78

Sisteme staționare

Operațiile:

- Fixarea probei între contactele electrice
- Udarea probei cu soluția magnetică
- Aplicarea unui curent de magnetizare (0.5-1.5 s)
 - Trebuie evitată supraîncălzirea probei sau deteriorarea acesteia
- Demagnetizarea probei



79

Sisteme staționare

Sisteme multidirecționale



Image Courtesy of Magnaflux

80



Image Courtesy of Magnaflux

Sisteme staționare

Sisteme multidirecționale

- Este nevoie de calibrarea sistemului pentru determinarea valorilor curenților necesari.
- Se folosesc diverse dispozitive pentru verificarea intensității și direcției câmpului magnetic

Iluminarea

- Pigmenți vizibili => lumină albă
- Pigmenți fluorescenți => lumină ultravioletă. Cel mai des folosiți sunt pigmenții care emit galben-verde (peak-ul de sensibilitate în întuneric pentru ochiul uman)



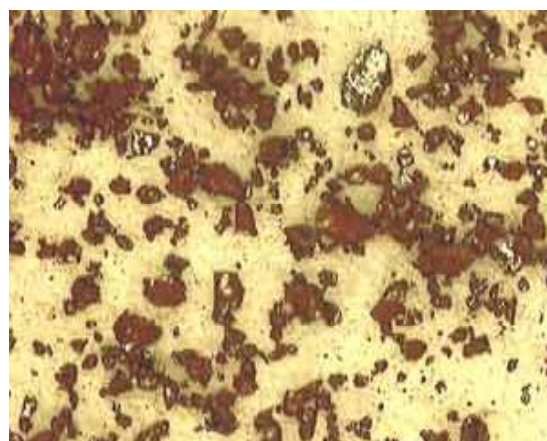
Particulele magnetice

- Particule fine de material magnetic, vopsite
- Permeabilitate mare
 - Atrase ușor de scăpările de flux magnetic
- Retentivitate mică
 - Particulele nu devin magnetizate puternic și deci nu se lipesc una de cealaltă sau de probă.
- Există sub formă de soluții uscate sau umede.

83

Sisteme uscate

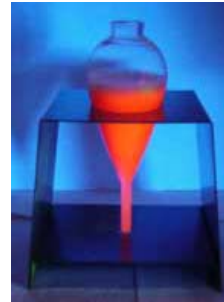
- Dimensiune 50-150 μm
- Nevoie de particule de diferite dimensiuni
 - Astuparea orificiilor
 - Aderarea pe contaminanții suprafețelor, rugozitate
 - Curenți de aer
 - Refolosirea nu este recomandată



84

Sisteme umede

- Suspensii în apă sau ulei
- Mai sensibilă decât metoda uscată
 - Mobilitate
 - Particule mai mici
 - Uniformitatea aplicării
- vizibile și fluorescente
- 10 μm sau mai mici
- 0.1 mm pentru oxid de fier



85

Particule uscate

- Pe suprafețe
rugoase sau
subacvatice



86

Guma magnetică

- Fisuri foarte fine
- Zone greu de atins
- În câmp activ sau rezidual
- Permite obținerea unei "dovezi scrise" a existenței fisurii sau defectului

87



UCTIV

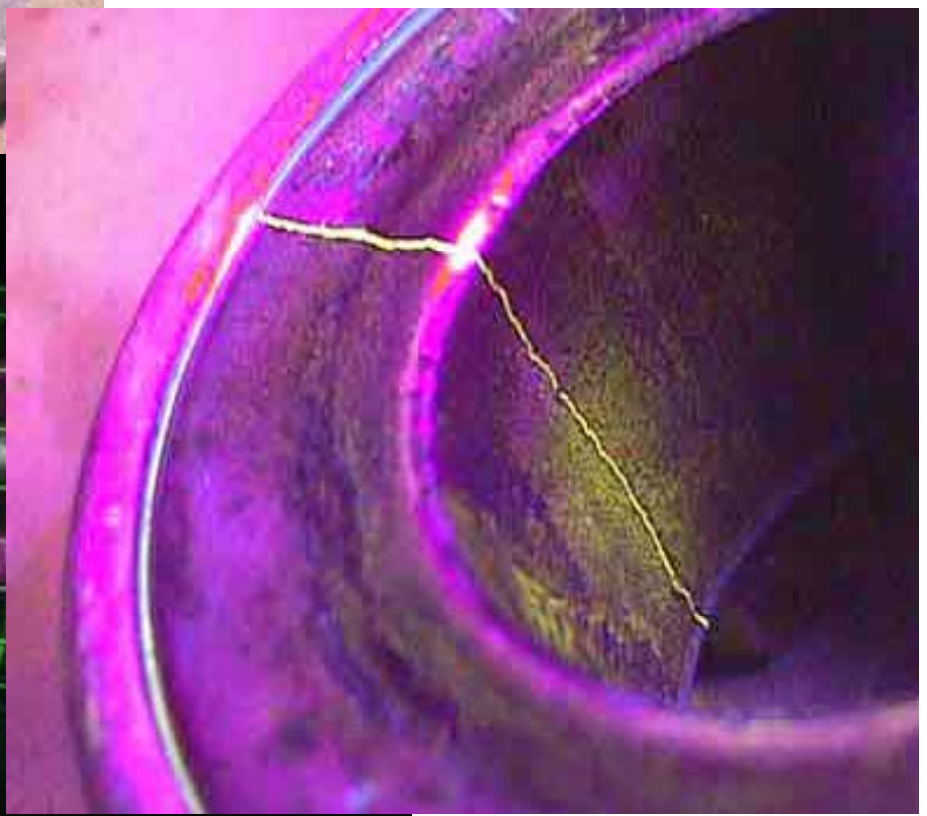
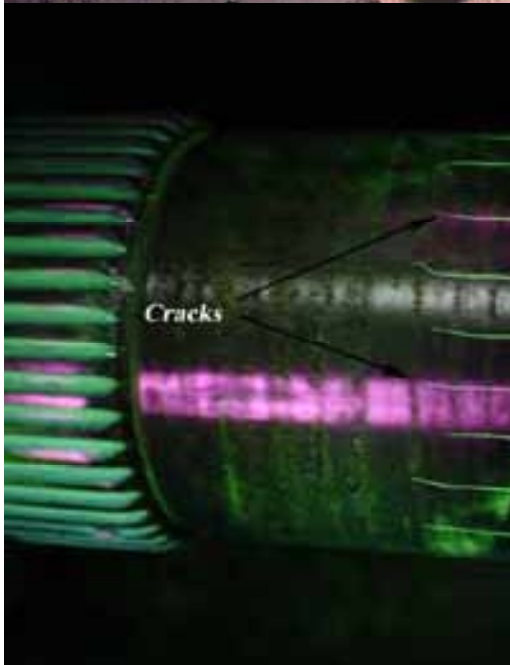


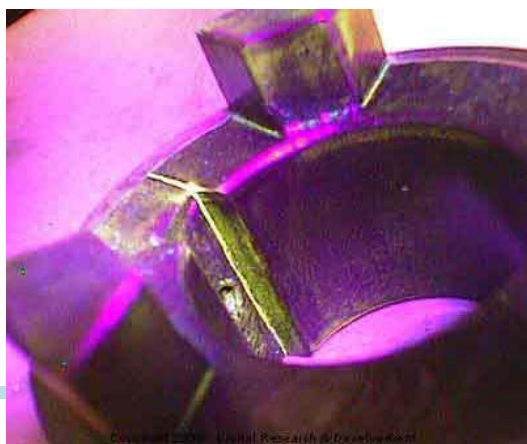
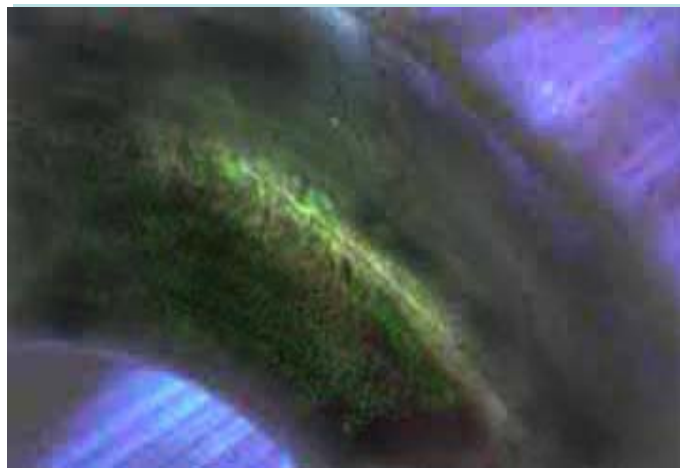
88



... NEDISTRUCTIV

4. INSPECȚIA CU PARTICULE MAGNETICE





Copyright 2000 - Digital Research & Development