

Lei 4,80

$$L = \frac{u^2}{R}$$

$z = \text{impedanta}$   
 $z = \text{reluctanta}$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

*Impedanta  
Reluctanta  
Bobina - inductivitate  
Inductivitate*

*dupa curent  
- in circuit  
- fara circuit  
dupa frecventa de act  
- de zona frecventa  
- malby freceve  
- androforare*

Editura Didactică și Pedagogică – București, 1988

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMINTULUI

# STUDIUL MATERIALELOR ELECTROTEHNICE

Manual pentru clasa a IX-a, licee cu profilurile de electrotehnică, aeronautică, filologie-istorie, istorie-geografie, matematică-electrotehnică și matematică-fizică

STUDIUL MATERIALELOR ELECTROTEHNICE IX

$$u = \frac{U}{4.47 \times 10^3}$$



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Ing. prof. ILEANA FETIȚA

Ing. ALEXANDRU FETIȚA

# STUDIUL MATERIALELOR ELECTROTEHNICE

Manual pentru clasa a IX-a, licee cu profilurile de electrotehnică,  
aeronautică, filologie-istorie, istorie-geografie,  
matematică-electrotehnică și matematică-fizică



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI



Manualul constituie reeditarea ediției 1979,  
conform programei școlare aprobate de  
Ministerul Educației și Învățămintului cu  
nr. 39438/1980.

Referenți : ing. T. Fiti  
ing. prof. V. Calotoiu  
ing. prof. C. Nițu

Redactor : ing. Alexandra Moraru  
Tehnoredactor : Elena Opreșanu  
Coperta : V. Wegemann

## INTRODUCERE

Progresele care se obțin în domeniul electrotehnicii, electronicii și energeticii sînt condiționate, în primul rînd, de utilizarea unor materiale electrotehnice cu proprietăți superioare.

Proprietățile materialelor electrotehnice (conductoare, semiconductoare, electroizolante și magnetice) sînt legate de fenomene electrice și magnetice. Cunoașterea proprietăților materialelor electrotehnice este extrem de importantă pentru electrician, deoarece alegerea corectă a acestor materiale permite micșorarea greutateii și a gabaritelor, mărirea securității în exploatare, funcționarea îndelungată și reducerea costurilor produselor electrotehnice și electronice. Aceste proprietăți putîndu-se modifica în timpul exploatării, cunoașterea particularităților diverselor materiale electrotehnice are un rol deosebit și în exploatarea corectă a produselor electrotehnice, pentru evitarea deranjamentelor și avariilor determinate de schimbarea acestor proprietăți.

În domeniul cercetării materialelor electrotehnice există preocuparea permanentă de a se obține materiale de performanță, realizate pe baza materiilor prime existente în țară și a unei tehnologii avansate. Dispunînd de o mare diversitate de materii prime, materiale (cărboni, minereuri, metalifere și nemetalifere, țitei, gaze, lemn și produse agricole industriale și de o puternică bază energetică), țara noastră are condiții prielnice dezvoltării producției de materiale. Ramura industriei materialelor electrotehnice cunoaște un puternic avînt, determinat de dezvoltarea impetuoasă a industriei electrotehnice și electronice. Varietatea și calitatea materialelor electrotehnice sînt asigurate de dezvoltarea industriei chimice, a metalurgiei feroase și neferoase, a construcțiilor de mașini și a industriei textile.

Întreprinderile : de cabluri și materiale electroizolante ; de lacuri și vopsele din București ; de prelucrare a aluminiului — Slatina ; de conductoare emailate — Zalău ; de ferite — Urziceni ; de izolatoare de sticlă — Botoșani ; de hîrtie — Bușteni ; de hîrtie și cartoane „Comuna din Paris“ — Piatra Neamț ; Metrom — Brașov ; Electro-Mureș și Combinatele : metalurgic — Cîmpia Turzii și de oțeluri speciale — Tirgoviște sînt cîteva dintre unitățile cele mai reprezentative care produc materiale electrotehnice pentru nevoile interne și pentru export.



Cunoștințele referitoare la materiale au rolul de a întregi profilul profesional al viitorilor muncitori și tehnicieni, apropiindu-se în mod științific de obiectele muncii lor. În acest sens, studiul materialelor apare ca o disciplină necesară și de bază în pregătirea lor profesională, la fel de importantă ca și disciplinele de specialitate, pe care le completează și le face mai ușor de asimilat și de aplicat în practică.

Manualul de față cuprinde, din marea varietate a materialelor electrotehnice, pe cele mai utilizate în tehnica modernă. În manual s-a urmărit păstrarea unui echilibru între descrierea proprietăților materialelor și explicarea acestora, astfel încât elevul să poată înțelege și găsi datele necesare pregătirii sale.

Pentru sistematizarea și verificarea cunoștințelor însușite, fiecare capitol este însoțit de un rezumat și de întrebări pentru testarea cunoștințelor (alte întrebări, cu privire la întregul material, pot fi elaborate luându-se ca model întrebările din manual, care vizează înțelegerea cauzei fenomenelor, nu memorizarea lor). Aceste rezumate și întrebări permit asimilarea mai ușoară de către elevi a cunoștințelor semnificative din domeniul materialelor electrotehnice, pe care trebuie să le aibă oricare absolvent al primei trepte de liceu cu profil electrotehnic.

## Capitolul 1

### CLASIFICAREA MATERIALELOR ELECTROTEHNICE DIN PUNCT DE VEDERE ELECTRIC

Materialele electrotehnice se clasifică din punct de vedere electric în :

- *conductoare* ;
- *semiconductoare* ;
- *electroizolante*,

în funcție de *rezistivitatea (rezistența specifică)*, mărime electrică ce caracterizează natura materialului.

Prin *rezistivitate electrică a unui material* se înțelege *rezistența electrică pe care o opune, la trecerea curentului electric, un conductor din acel material având lungimea egală cu unitatea de lungime și aria secțiunii egală cu unitatea de suprafață*. Rezistivitatea se notează cu  $\rho$ .

Inversul rezistivității electrice se numește *conductivitate electrică* și se notează cu  $\gamma$  :

$$\gamma = \frac{1}{\rho} . \quad (1.1)$$

Rezistența electrică a unui material este direct proporțională cu rezistivitatea și cu lungimea și invers proporțională cu aria secțiunii :

$$R = \rho \frac{l}{S} , \quad (1.2)$$

de unde :

$$\rho = R \frac{S}{l} , \quad (1.3)$$

în care  $R$  reprezintă rezistența electrică a materialului având aria secțiunii  $S$  și lungimea  $l$ .

În sistemul internațional (SI) de unități, unitatea de rezistivitate este *ohmmetrul*, simbolizat prin  $\Omega\text{m}$ . Această unitate de măsură rezultă exprimându-se rezistența  $R$  în  $\Omega$ , aria secțiunii  $S$  în  $\text{m}^2$  și lungimea  $l$  în  $\text{m}$ .



Adesea rezistivitatea se exprimă și în alte unități de măsură ca :  $\Omega\text{cm}, \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Relațiile de dependență dintre unitățile de măsură ale rezistivității sînt :

$$1 \Omega\text{m} = 10^2 \Omega\text{cm} = 10^6 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}. \quad (1.4)$$

● **Materialele conductoare** au rezistivitatea cea mai mică, cuprinsă între  $10^{-2}$  și  $10 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$ , deci au conductivitatea electrică cea mai ridicată.

Cele mai importante materiale conductoare sînt metalele și aliajele lor. Conductivitatea electrică ridicată a acestora se datorește faptului că *au cel mult trei electroni de valență*, care se pot desprinde ușor de atracția nucleului, devenind *electroni liberi*, fără un aport de energie din exterior. Prin urmare, există în permanență un *nor de electroni liberi* care se deplasează dezordonat în interiorul masei de metal.

Sub influența unui cîmp electric exterior, acești electroni liberi devin *electroni de conducție* și formează *curentul electric de conducție*. Cîmpul electric  $E$  apare într-un conductor de lungime  $l$  la aplicarea unei tensiuni electrice  $U$  între capetele conductorului (fig. 1.1) :

$$E = \frac{U}{l}. \quad (1.5)$$

Cîmpul electric se exprimă în volți pe metru (V/m) sau în alte unități de măsură (kV/m, kV/cm).

Cîmpul electric este orientat dinspre capătul 1, cu potențial mai ridicat, spre capătul 2, cu potențial mai coborît. Electronii liberi din metal (avînd sarcină negativă) sînt supuși la forțe în sens contrar cîmpului, deplasîndu-se în conductor dinspre capătul 2 spre capătul 1 (sensul convențional al curentului este invers sensului real).

În deplasarea lor, electronii se ciocnesc de atomii metalului, descriind un drum foarte complicat și înaintînd prin conductor cu *viteză medie de deplasare relativ mică*. Cu cît numărul de ciocniri este mai mare, cît viteză medie de deplasare este mai mică.

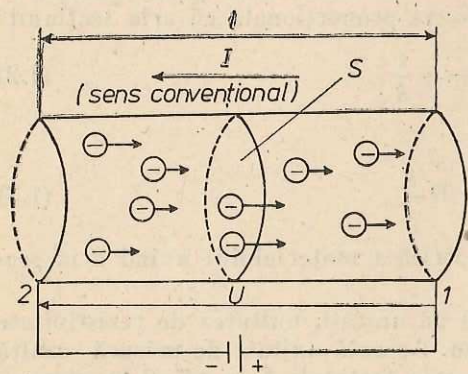


Fig. 1.1. Curentul de conducție.

Dacă se notează cu :

- $S$  — aria secțiunii conductorului prin care se stabilește curentul electric, exprimată în  $\text{m}^2$ ;
- $n_e$  — numărul de electroni de conducție dintr-un metru cub de conductor ;
- $v_e$  — viteza medie de deplasare a electronilor de conducție prin conductor, exprimată în  $\text{m/s}$ ;
- $q_e$  — sarcina electrică a unui electron, exprimată în coulombi ( $q_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ),

atunci, într-o secundă vor trece prin aria secțiunii conductorului toți electronii de conducție, care se găsesc în volumul de conductor  $Sl_i$ , lungimea  $l_i$ , exprimată în  $\text{m}$ , fiind distanța parcursă de electroni într-o secundă. În volumul  $Sl_i$  se găsesc  $n_e \cdot Sl_i$  electroni de conducție, constituind o sarcină de  $q_e \cdot n_e \cdot Sl_i$  coulombi.

Intensitatea curentului, în amperi (sarcina electrică exprimată în coulombi care trece prin aria secțiunii conductorului într-o secundă), corespunzătoare acestei sarcini este :

$$I = q_e n_e S v_e, \quad (1.6)$$

în care :

$$v_e [\text{m/s}] = \frac{l_i [\text{m}]}{t [\text{s}]}. \quad (1.7)$$

Dar viteza medie de deplasare a electronilor de conducție este proporțională cu intensitatea cîmpului electric și deci se poate scrie :

$$v_e = v_1 E, \quad (1.8)$$

în care  $v_1$  este viteza medie de deplasare a electronilor de conducție, sub influența unui cîmp electric care ar avea intensitatea de  $1 \text{ V/m}$ .

În consecință :

$$I = q_e n_e S v_1 E = q_e n_e S v_1 \frac{U}{l} = \frac{U}{R}, \quad (1.9)$$

de unde :

$$R = \frac{1}{q_e n_e v_1} \cdot \frac{l}{S}, \quad (1.10)$$

în care rezistivitatea electrică :

$$\rho = \frac{1}{q_e n_e v_1}, \quad (1.11)$$

iar conductivitatea electrică :

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = q_e n_e v_1. \quad (1.12)$$



Relațiile (1.11) și (1.12) arată că rezistivitatea electrică și respectiv conductivitatea electrică sînt mărimi care caracterizează natura materialului, deoarece numărul de electroni de conducție din unitatea de volum și viteza medie de deplasare la același cîmp electric depind de material.

Numărul electronilor de conducție care trec prin aria secțiunii unui conductor în timp de o secundă este extraordinar de mare, chiar și la curenți de intensități mici. De exemplu, în cazul unui curent avînd intensitatea de 1 A, într-o secundă trece prin aria secțiunii conductorului sarcina electrică de 1 coulomb:

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

Numărul de electroni de conducție care corespund sarcinii de 1 C rezultă din relația:

$$1 \text{ C} = n_e q_e,$$

de unde:

$$n_e = \frac{1 \text{ C}}{q_e} = \frac{1 \text{ C}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 6,3 \cdot 10^{18} \text{ electroni.}$$

Viteza electronilor de conducție (a curentului electric) este surprinzător de mică, așa cum rezultă din următorul calcul aproximativ. Dacă unui conductor de cupru cu aria secțiunii de 1 mm<sup>2</sup> și lungimea de 1 m i se aplică tensiunea de 1 V, prin conductor va trece un curent avînd intensitatea  $I = \frac{U}{R} = \frac{1 \text{ V}}{0,178 \Omega} = 5,62 \text{ A}$ . Acest conductor are un volum de 10 cm<sup>3</sup> și cîntărește 89 g. Masa atomică a cuprului fiind 63,57, conductorul are  $\frac{89}{63,57} = 1,4$  atom-gram (1 atom-gram este numeric egal cu masa atomică exprimată în grame). În acest conductor există  $1,4 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 8,44 \cdot 10^{23}$  atomi ( $6,023 \cdot 10^{23}$  este numărul Avogadro). Presupunîndu-se că fiecare atom participă cu cîte un singur electron la curentul de conducție, cantitatea de electricitate pe care o conține conductorul este de  $8,44 \cdot 10^{23} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 135 \cdot 10^3 \text{ C}$ . Dacă această sarcină electrică ar trece prin aria secțiunii conductorului în timp de o secundă, viteza corespunzătoare a electronilor ar fi de 10 m/s, iar curentul ar avea intensitatea de  $135 \cdot 10^3 \text{ A}$ . Întrucît însă intensitatea curentului este de numai 5,6 A, viteza lui nu poate fi decît de  $\frac{5,6 \cdot 10}{135 \cdot 1000} = 0,415 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} = 0,415 \text{ m/s}$ .

Viteze mai mari se pot imprima electronilor de conducție prin creșterea intensității cîmpului electric, deci prin creșterea tensiunii aplicate, dar în același timp crește în mod corespunzător și intensitatea curentului.

În drumul lor, electronii de conducție, ciocnindu-se de atomii metalului, se manifestă astfel rezistivitatea electrică.

Prin ciocnirea electronilor cu atomii metalului, aceștia cedează o parte din energia lor cinetică, ce se transformă în căldură. Astfel se explică încălzirea materialelor conductoare străbătute de curent electric.

Creșterea temperaturii unui conductor metallic are ca rezultat mărirea agitației termice, creșterea numărului de ciocniri și deci creșterea rezistivității.

Pentru a se caracteriza creșterea rezistivității cu temperatura la materialele conductoare, s-a adoptat *coeficientul de temperatură al rezistivității*, notat cu  $\alpha$ .

Considerîndu-se că la temperatura  $\theta_1$  rezistivitatea materialului este  $\rho_1$ , care crește la  $\rho_2$  cînd temperatura crește la  $\theta_2$ , coeficientul de temperatură al rezistivității este dat de relația

$$\alpha = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1(\theta_2 - \theta_1)}, \quad (1.13)$$

în care  $\rho_2 - \rho_1$  reprezintă *creșterea rezistivității pentru intervalul de temperatură  $\theta_2 - \theta_1$* ;

$\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}$  — *creșterea unității de rezistivitate pentru intervalul de temperatură  $\theta_2 - \theta_1$* ;

$\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1(\theta_2 - \theta_1)}$  — *creșterea unității de rezistivitate pentru o creștere a temperaturii cu o unitate.*

Deci, *coeficientul de temperatură al rezistivității* reprezintă *creșterea unității de rezistivitate pentru creșterea temperaturii cu un grad Celsius sau cu un kelvin.*

Coeficientul  $\alpha$  este o mărime care are ca unitate de măsură °C<sup>-1</sup> sau K<sup>-1</sup> și are aproximativ valoarea 0,004 pentru toate metalele pure. *Valoarea acestui coeficient este totdeauna mai mare decît zero pentru materialele conductoare.*

● **Materialele semiconductoare** au rezistivitatea electrică cuprinsă între 10 și  $10^{12} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ . Aceste materiale în condiții normale nu au elec-

troni liberi, deoarece au patru electroni de valență, care nu se pot transforma în electroni liberi fără aportul unei energii din afară. Această energie exterioară, necesară desprinderii electronilor de valență, are valoare relativ mică și poate fi de natură foarte diferită (termică, luminoasă, mecanică etc.).

Deci, *la materialele semiconductoare rezistivitatea scade cu creșterea temperaturii*, deoarece chiar temperatura favorizează apariția electronilor liberi.

*La aceste materiale coeficientul  $\alpha$  are valori negative.*



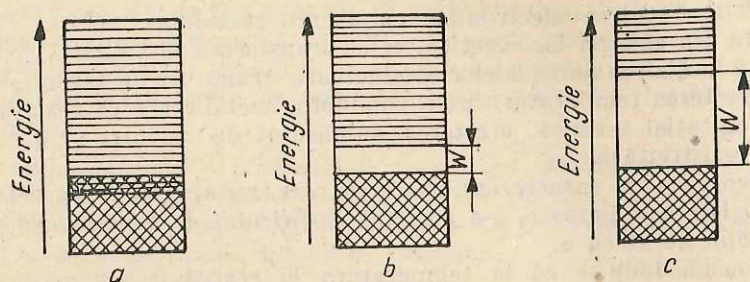


Fig. 1.2. Diagrama energetică pentru materiale:  
a - conductoare; b - semiconductoare; c - electroizolante.

● **Materialele electroizolante** au rezistivitatea electrică cuprinsă între  $10^{12}$  și  $10^{23} \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ . Energia din exterior, necesară pentru smulgerea electronilor de valență și transformarea lor în electroni liberi, atinge valori foarte mari.

Deosebirea dintre conductoare, semiconductoare și electroizolante se poate explica și folosindu-se diagrama energetică bazată pe teoria zonală a corpului solid.

În figura 1.2 sînt reprezentate diagramele energetice pentru cele trei tipuri de materiale electrotehnice. Zona nivelurilor energetice ocupate de electronii de valență este reprezentată prin suprafața dublu hașurată, zona nivelurilor energetice libere este reprezentată prin suprafața simplu hașurată, iar suprafața nehașurată corespunde zonei interzise.

Se observă că la materialele conductoare (fig. 1.2, a) nu există zonă interzisă, electronii de valență pot trece cu ușurință de pe nivelele energetice ocupate pe nivelele energetice libere, iar sub acțiunea unui cîmp electric exterior sînt străbătute de curent electric.

Semiconductoarele (fig. 1.2, b) sînt materiale cu o zonă interzisă îngustă, care poate fi micșorată printr-un aport de energie din exterior (egală cu cel puțin  $W$ ).

Electroizolantele (fig. 1.2, c) sînt materiale la care zona interzisă este atît de mare, încît conductivitatea electronică nu se observă în condiții normale, aportul de energie din exterior, pentru a se produce conducția, fiind deosebit de mare.

Conductivitatea electrică la aceste materiale apare o dată cu schimbarea calitativă a materialului.

## REZUMAT

Materialele electrotehnice se clasifică din punct de vedere electric, în funcție de mărimea numită *rezistivitate*, în:

- conductoare  $\rho = 10^{-2} \dots 10 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ;
- semiconductoare:  $\rho = 10 \dots 10^{12} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ;
- electroizolante:  $\rho = 10^{12} \dots 10^{23} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ .

Rezistivitatea se exprimă în:  $\Omega \text{m}$ ;  $\Omega \text{cm}$ ;  $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ .

Coefficientul de temperatură al rezistivității se notează cu  $\alpha$  și reprezintă variația unității de rezistivitate pentru o variație a temperaturii cu un grad Celsius sau un Kelvin. El are expresia:

$$\alpha = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1(\theta_2 - \theta_1)},$$

de unde:

$$\rho_2 = \rho_1[1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)].$$

La materialele conductoare rezistivitatea crește cu creșterea temperaturii.

La materialele semiconductoare rezistivitatea scade cu creșterea temperaturii.

## VERIFICAREA CUNOȘTINTELOR

1. Rezistivitatea electrică a aluminiului  $\rho_{Al} = 0,027 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ). Să se exprime rezistivitatea aluminiului în  $\Omega \text{m}$  și în  $\Omega \text{cm}$ .
2. Rezistivitatea electrică a cuprului  $\rho_{Cu} = 0,01724 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ). Să se exprime rezistivitatea în  $\Omega \text{cm}$  și  $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ .
3. Rezistivitatea argintului  $\rho_{Ag} = 0,016 \cdot 10^{-4} \Omega \text{cm}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ). Să se exprime rezistivitatea în  $\Omega \text{m}$  și în  $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ .
4. Rezistivitatea zincului  $\rho_{Zn} = 0,06 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ). Să se calculeze conductivitatea zincului la aceeași temperatură.
5. La materialele conductoare coeficientul de temperatură al rezistivității este  
a. pozitiv?  
b. negativ?
6. La materialele semiconductoare coeficientul de temperatură al rezistivității este:  
a. pozitiv?  
b. negativ?
7. Rezistivitatea electrică a wolframului  $\rho_w = 0,055 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  la  $20^\circ\text{C}$ . Să se calculeze rezistivitatea wolframului la temperatura de  $2800^\circ\text{C}$ , știindu-se că  $\alpha = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}} = 0,004^\circ\text{C}^{-1} = 0,004 \text{K}^{-1}$ .
8. Să se determine temperatura înfășurării de cupru a unei mașini electrice dacă înainte de conectarea mașinii la rețea rezistența înfășurării a fost de  $70 \Omega$  la  $15^\circ\text{C}$  și în timpul funcționării a crescut la  $85,5 \Omega$  ( $\alpha = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ).
9. Să se determine rezistența unui conductor de cupru cu lungimea de  $800 \text{m}$ , realizat din șapte sîrme cu diametrul de cîte  $1,7 \text{mm}$ , fiecare, știindu-se că rezistivitatea cuprului este  $0,01724 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ , la  $20^\circ\text{C}$ .



## Capitolul 2

### MATERIALE CONDUCTOARE

Metalele și aliajele lor sînt *conductoare de ordinul I*. Ele au conductivitate electronică, își măresc rezistivitatea cu creșterea temperaturii și nu suferă modificări chimice cînd sînt străbătute de curent electric.

Electrolizii sînt *conductoare de ordinul II*. Ei au conductivitate ionică, își micșorează rezistivitatea cu creșterea temperaturii și suferă modificări chimice cînd sînt străbătuți de curent electric.

În acest capitol sînt prezentate conductoarele de ordinul I, metalele și aliajele lor.

● **Metalele** au însușiri specifice comune, care le deosebesc de celelalte 23 elemente nemetale. Acestea sînt *luciu metallic, ductilitate, maleabilitate, tenacitate, conductibilitate termică și electrică*.

Cu excepția cîtorva metale prețioase (aur, platină), care se găsesc în scoarța pămîntului în stare nativă, restul metalelor se găsesc sub formă de combinații chimice (oxizi, sulfuri, sulfați, carbonați, silicați etc.), numite *minerale*.

Mineralele se găsesc în roci, împreună cu care formează *minereurile*. Metalele se extrag din minereuri prin diferite procedee.

● **Aliajele metalice** sînt substanțe obținute din contopirea intimă a două sau mai multe elemente chimice dintre care cel puțin unul, aflat în proporția cea mai mare în aliaj și numit *component de bază*, este un metal.

Aliajele se obțin prin topirea elementelor componente.

#### A. PROPRIETĂȚILE FIZICE ALE METALELOR ȘI ALIAJELOR

● **Luciul metallic** este *proprietatea metalelor și aliajelor de a reflecta puternic razele de lumină care cad pe suprafețe proaspăt tăiate*.

Luciul metallic se accentuează prin lustruire mecanică, dar dispare în timp ca urmare a reacțiilor de oxidare în atmosferă (fac excepție metalele prețioase și aliajele inoxidabile).

● **Densitatea** este *masa pe care o are unitatea de volum a corpului considerat*:  $d = \frac{m}{V}$ .

Ea se exprimă în  $\text{kg/m}^3$ , care reprezintă densitatea unui corp cu volumul de  $1 \text{ m}^3$ , a cărui masă este de  $1 \text{ kg}$ .

Densitatea se mai exprimă în  $\text{kg/dm}^3$  și  $\text{g/cm}^3$ .

● **Fuzibilitatea** este *proprietatea metalelor de a trece din stare solidă în stare lichidă sub influența căldurii (de a se topi)*.

Temperatura la care are loc topirea metalului se numește *punct de topire*.

Temperatura se exprimă în kelvin sau în grade Celsius. Unitatea de măsură „gradul Celsius” (cu simbolul  $^{\circ}\text{C}$ ) este egală cu unitatea de măsură „kelvin” (cu simbolul K).

Legătura dintre temperatura  $T$  exprimată în kelvin și temperatura  $t$  exprimată în grade Celsius este

$$t[^{\circ}\text{C}] = T[\text{K}] - 273,16 \text{ K.} \quad (2.1)$$

● **Dilatarea termică** reprezintă *modificarea dimensiunii metalelor și aliajelor cînd sînt încălzite*.

*Dilatarea liniară* (în lungime) se caracterizează prin coeficientul de dilatare liniară. *Coeficientul de dilatare liniară* arată cu cît crește în lungime un centimetru dintr-un corp, cînd temperatura crește cu unitatea de temperatură. El se notează cu  $\alpha$  și se exprimă în  $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$  sau în  $\frac{1}{\text{K}}$ .

Coeficientul  $\alpha$  are pentru metale valori de ordinul  $10^{-5} \dots 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  sau  $10^{-5} \dots 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

*Dilatarea în volum* este proporțională cu coeficientul de dilatare în volum  $\beta$ , care este de trei ori mai mare decît cel de dilatare liniară ( $\beta = 3\alpha$ ).

● **Conductibilitatea termică** este *proprietatea metalelor de a transmite căldura*.

Mărimea care caracterizează conductibilitatea termică se numește *conductivitate termică* și reprezintă *conductibilitatea termică a unui corp omogen și izotrop în care o variație de temperatură termodinamică de  $1 \text{ K}$  produce un flux termic de  $1 \text{ W}$  între două plane paralele care au, fiecare, aria de  $1 \text{ m}^2$  și sînt situate la distanța de  $1 \text{ m}$  unul de celălalt*.

Conductivitatea termică se notează cu  $\lambda$  și se exprimă în watt pe metru kelvin ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ) sau în calorie pe secundă centimetru grad Celsius ( $\text{cal/s}\cdot\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ). Evident că aceeași conductivitate termică are valoarea numerică diferită dacă este exprimată în  $\text{W/m}\cdot\text{K}$  sau în  $\text{cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C}$ .



Metalele cu cea mai mare conductivitate termică sînt argintul, cuprul, aurul.

Aliajele au în general conductivitatea termică diferită de cea a metalelor componente.

● **Conductibilitatea electrică** este proprietatea metalelor și aliajelor de a conduce curentul electric.

Mărimea care caracterizează această proprietate se numește *conductivitate electrică*. Ea este inversul rezistivității electrice, se notează cu  $\gamma$  și se exprimă în  $\frac{1}{\Omega m}$ ,  $\frac{1}{\Omega cm}$ ,  $\frac{m}{\Omega mm^2}$ .

Se reamintește că rezistivitatea electrică a metalelor și aliajelor crește cu creșterea temperaturii, deci *conductivitatea electrică scade cu creșterea temperaturii*.

Argintul este metalul cu conductivitatea electrică cea mai mare.

Aliajele au conductivității electrice diferite de cele ale metalelor componente.

## B. CARACTERISTICILE MECANICE ALE METALELOR ȘI ALIAJELOR

Caracteristicile mecanice sînt proprietățile care reflectă comportarea metalelor și aliajelor la acțiunea forțelor mecanice exterioare la care sînt supuse.

● **Elasticitatea** este proprietatea corpurilor de a-și schimba forma sub acțiunea unor forțe exterioare relativ mici și de a reveni la forma inițială de îndată ce forțele exterioare nu mai acționează.

Se consideră o bară metalică, rezemată la capete (fig. 2.1, a). Sub acțiunea unei forțe exterioare  $F_1$ , bara se încovoiește și revine la forma inițială cînd forța dispare (fig. 2.1, b).

● **Plasticitatea** este proprietatea corpurilor de a-și schimba forma sub acțiunea unor forțe exterioare, relativ mari, și de a rămîne deformat permanent și după ce forțele exterioare nu mai acționează (fig. 2.1, c).

Pentru același material, forța care îl deformează plastic este mai mare decît forța care îl deformează elastic.

● **Duritatea** este proprietatea metalelor și a aliajelor de a se opune pătrunderii în masa lor a altor corpuri solide care tind să le deformeze suprafața.

Cea mai răspîndită metodă de determinare a durității este metoda *Brinell*. Această metodă (fig. 2.2) constă în apăsarea unei bile de oțel cu diametrul  $D$  (care poate fi de 2,5; 5 sau 10 mm) cu o forță  $F$  (cuprinsă de obicei între 62,5 și 3 000 daN) pe suprafața probei. Durata apăsării este de obicei 15 s. După îndepărtarea bilei, pe suprafața pie-

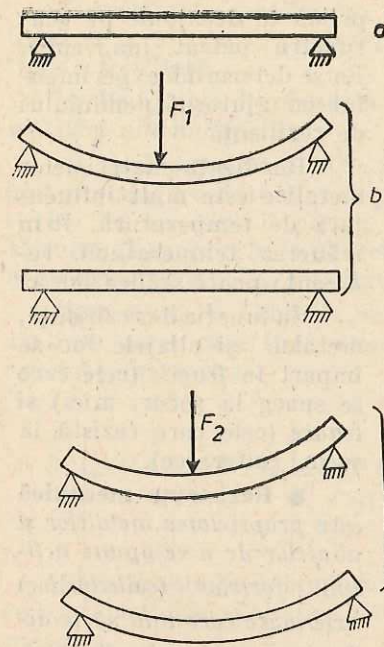
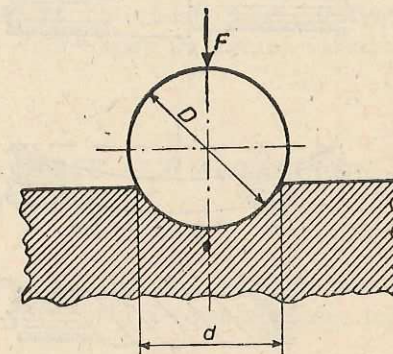


Fig. 2.1. Deformarea unei bare metalice sub acțiunea forței de încovoiere :  
a — bară nedeformată ; b — bară deformată elastic ; c — bară deformată plastic.

Fig. 2.2. Principiul metodei Brinell de determinare a durității metalelor.



sei rămîne o amprentă de forma unei calote sferice de diametru  $d$ , care se măsoară cu ajutorul unei lupe gradate. Cifra de duritate  $HB$  se calculează în funcție de diametrul bilei  $D$ , de forța  $F$  și de diametrul  $d$  al amprentei, cu relația :

$$HB = \frac{F}{S} [\text{daN/mm}^2], \quad (2.2)$$

în care  $F$  este forța aplicată, în daN, iar  $S$  este aria, în  $\text{mm}^2$ , a calotei de diametru  $d$  :

$$S = \frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2}. \quad (2.3)$$

Cifra de duritate în funcție de diametrul  $d$  al calotei poate fi luată și din tabele special întocmite, publicate în literatura de specialitate.

Există și alte metode pentru determinarea durității, ca : *metoda Rockwell* și *metoda Vickers*, descrise în literatura de specialitate.

● **Reziliența** este proprietatea metalelor și aliajelor de a rezista la șocuri (solicitări aplicate brusc). Ea reprezintă raportul dintre energia necesară ruperii piesei și secțiunea transversală a piesei. Reziliența se ex-



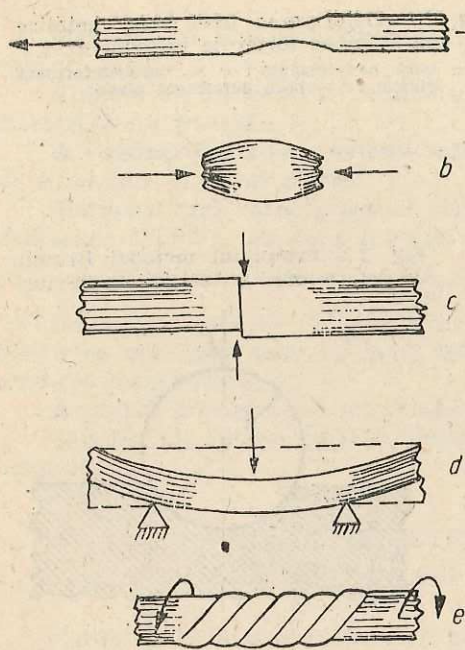


Fig. 2.3. Solicitări simple determinate de forțe exterioare care acționează asupra unei bare: a - întindere; b - compresiune; c - forfecare; d - încovoiere; e - răsucire.

- întindere (fig. 2.3, a);
- compresiune (fig. 2.3, b);
- forfecare sau tăiere (fig. 2.3, c);
- încovoiere (fig. 2.3, d);
- răsucire (fig. 2.3, e).

În practică corpurile sînt supuse la solicitări compuse (simultan la mai multe solicitări simple).

Pentru dimensionarea pieselor confecționate din materiale metalice, supuse la anumite forțe exterioare, este necesar să se cunoască forțele care acționează, precum și rezistența specifică (efort unitar) a materialului.

Rezistența specifică la întindere sau compresiune a materialului reprezintă raportul dintre forța exterioară  $F$ , măsurată în newtoni (sau decanewtoni) și  $S$  aria secțiunii piesei, măsurată în  $\text{mm}^2$ . Ea se notează cu  $\sigma$ :

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2.4)$$

primă în decajoule pe centimetru pătrat ( $\text{daJ/cm}^2$ ). Ea se determină experimental cu ajutorul pendulului de reziliență.

Reziliența materialelor metalice este mult influențată de temperatură. Prin scăderea temperaturii, reziliența poate scădea bursc.

În funcție de reziliență, metalele și aliajele lor se împart în *fragile* (cele care se sparg la șocuri mici) și *tenace* (cele care rezistă la șocuri puternice).

● **Rezistența mecanică** este proprietatea metalelor și aliajelor de a se opune acțiunii forțelor (solicitărilor) exterioare care tind să le deformeze sau să le distrugă.

Forțele exterioare pot determina următoarele solicitări simple ale corpurilor;

Rezistențele specifice se determină pe baza încercărilor de rezistență și a calculelor, pentru fiecare material în parte și pentru fiecare tip de solicitare.

● **Rezistența la oboseală** este proprietatea metalelor de a rezista la solicitări alternative.

O piesă metalică poate să suporte fără să se rupă o forță aplicată lent și o singură dată, dar se poate rupe cînd o forță de aceeași valoare revine de un anumit număr de ori. Fenomenul se numește *oboseală*. Rezultă că rezistența la oboseală a unui material metalic este mai mică decît rezistența sa la solicitare statică.

Rezistența la oboseală se determină la materialele destinate realizării de piese care funcționează timp îndelungat la sarcini variabile repetate (periodice).

### C. CARACTERISTICILE TEHNOLOGICE ALE METALELOR ȘI ALIAJELOR

Caracteristicile tehnologice sînt proprietățile care stabilesc modul în care metalele și aliajele pot fi prelucrate prin diverse procedee tehnologice.

● **Capacitatea de turnare** a unui metal sau aliaj este proprietatea de a putea fi turnat în forme, pentru a se obține piese turnate de forme variate.

Această capacitate este dependentă de *fuzibilitatea și fluiditatea materialului*. Cu cît un material este mai fuzibil (se topește la temperatură mai joasă) și cu cît are fluiditatea mai mare, adică în stare topită să umple golurile cele mai înguste ale formelor de turnare, materialul are capacitate de turnare mai mare.

● **Forjabilitatea** este proprietatea metalelor și aliajelor de a putea fi deformat plastic fără fisurare, la cald sau la rece, prin lovire sau presare.

Forjabilitatea se determină prin *încercarea de refulare*.

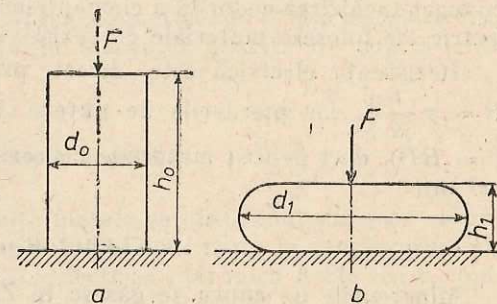


Fig. 2.4. Încercarea de refulare: a - proba înainte de încercare; b - proba după încercare.



Această încercare constă în turtirea, prin presare, lentă sau prin lovire, a unei probe de formă cilindrică cu înălțimea  $h_0$  și diametrul  $d_0$  pînă la o înălțime  $h_1$  și un diametru  $d_1$  (fig. 2.4).

Proba refulată trebuie să nu prezinte crăpături sau fisuri.

Forjabilitatea este cu atît mai bună, cu cît diferența  $h_0 - h_1$ , pînă la apariția fisurilor exterioare, este mai mare.

● **Maleabilitatea** este proprietatea metalelor și aliajelor de a putea fi prelucrate în foi subțiri.

Cel mai maleabil metal este aurul, după care urmează argintul, plumbul, staniul.

● **Ductilitatea** este proprietatea pe care o au metalele și aliajele de a putea fi trase (trefilate) în fire subțiri.

Materialele care sînt maleabile sînt și ductile.

Forjabilitatea, maleabilitatea și ductibilitatea sînt caracteristici care depind direct de plasticitatea materialului.

● **Sudabilitatea** este proprietatea metalelor și aliajelor de a permite îmbinarea prin încălzire pînă la topire, cu sau fără adaos de metal.

● **Prelucrabilitatea** este proprietatea metalelor și aliajelor de a putea fi prelucrate prin așchiere (strunjire, găurire, frezare, rabotare etc.).

#### D. MATERIALELE CONDUCTOARE CU ÎNALTĂ CONDUCTIVITATE ELECTRICĂ

În grupa materialelor conductoare se distinge o subgrupă de materiale care au o rezistivitate foarte mică, folosite la realizarea conductoarelor de bobinaj, liniilor electrice de transport și distribuție a energiei electrice și a contactelor electrice.

Pentru diminuarea pierderilor de putere, condiția pierderi care provoacă încălzirea nedorită a elementelor de circuit străbătute de curent electric, se folosesc materiale cu rezistivitate cît mai redusă.

Rezistența electrică este direct proporțională cu rezistivitatea ( $R = \rho \frac{l}{S}$ ), iar pierderile de putere sînt proporționale cu rezistența ( $P = RI^2$ ), deci pentru materiale cu rezistivitate mică corespund pierderi mici.

##### 1. CUPRUL (Cu)

Minerurile de cupru se găsesc în Zair, S.U.A., U.R.S.S., Spania, Suedia, Germania, Chile, și foarte puțin la noi în țară, în județele Tulcea, Caraș-Severin, Alba, Bistrița-Năsăud, Suceava, Harghita, Maramureș, Bihor și Satu Mare.

În industria electrotehnică se utilizează exclusiv cuprul electrolitic (rafinat pe cale electrolitică) avînd o puritate de 99,60–99,90%.

Caracteristicile specifice ale cuprului electrolitic sînt :

– densitatea,  $d_{Cu} = 8,9 \text{ kg/dm}^3$ ;

– temperatura de topire,  $\theta_{t \text{ Cu}} = 1083^\circ\text{C}$ ;

– conductivitatea electrică,  $\gamma_{Cu} = 58 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  (la  $20^\circ\text{C}$ );

– rezistivitatea electrică,  $\rho_{Cu} = 0,01724 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ );

– conductivitatea termică,  $\lambda_{Cu} = 0,938 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C} = 0,938 \cdot$

$\cdot 4,1868 \cdot 10^2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Ca material conductor, cuprul prezintă mare conductivitate electrică și termică, ocupînd locul al doilea printre celelalte metale (după argint).

Se dizolvă în acid sulfuric și acid azotic.

Cuprul este atacat de sulf, clor, hidrogen, în contact cu care capătă boala hidrogenului, care îi provoacă fragilitate.

Caracteristicile mecanice ale cuprului depind în mare măsură de tratamentul termic. După tragere, la rece, se obține cuprul tare (dur) care are o rezistență mecanică mare și o alungire mică la întindere.

Din cuprul tare, supus recoacerii la temperatura de  $450-500^\circ\text{C}$ , după răcire se obține un cupru moale, cu rezistență mecanică mică și alungire mare la întindere.

Cuprul este foarte ductil și maleabil, se lipește și se sudează cu ușurință și are rezistență satisfăcătoare la coroziune.

Datorită acestor proprietăți, cuprul are aplicații multiple în electrotehnică și electronică : pentru conductoare de bobinaj cu diametrul începînd de la sutimi de milimetru, benzi și table de diferite dimensiuni, bare, țevi, piese de contact, lamele de colector la mașini electrice, linii de transport a energiei electrice, redresoare cu cuproxid, circuite imprimate etc.

Cuprul se folosește și în aliaje magnetice, în aliaje de mare rezistivitate și în aliaje cu rezistență mecanică sporită de cupru (alame și bronzuri).

##### Aliajele cuprului

Prin alierea cuprului cu alte metale se obțin materiale cu caracteristici mecanice mai bune, cu rezistență mai mare la temperaturi ridicate, care au însă conductivitate electrică mai mică decît cea a cuprului nealiat.

● **Alama** este un aliaj al cuprului cu zincul, avînd conținutul de cupru între 50 și 60%.



Cînd conținutul de cupru în alamă este mai mare de 80%, aliajul se numește *tombac*. Tombacul are culoare mai roșcată decît alama și o conductivitate electrică mai bună.

Alamele se simbolizează cu Am urmat de o cifră care indică conținutul în cupru. Astfel Am 63 înseamnă alamă care conține 63% cupru; Am 95 înseamnă tombac avînd 95% cupru.

*Zincul din alamă mărește rezistența și plasticitatea aliajului*; prin urmare alama este maleabilă și ductilă, ea putînd fi turnată, forjată, laminată la cald și la rece, obținîndu-se sub formă de tablă, bare, sîrme, fevi și diferite profiluri.

Alamele sînt foarte rezistente la coroziune.

Pe lîngă *alamele obișnuite* (din cupru și zinc) se folosesc și *alame speciale*, care conțin pe lîngă zinc și alte elemente, ca: mangan, fier, aluminiu, staniu, plumb, siliciu, nichel, fosfor etc. Aceste elemente se introduc în alamă, în general, în detrimentul conținutului de zinc.

*Caracteristicile electrice, mecanice și termice ale alamelor* sînt funcție de conținutul elementelor componente:

— aluminiul din alamele speciale mărește duritatea, rezistența la tracțiune și rezistența la coroziune;

— siliciul mărește rezistența la coroziune, iar în alamele turnate favorizează menținerea suprafețelor curate;

— staniu mărește rezistența alamelor la coroziune, în special în apa de mare;

— fierul îmbunătățește caracteristicile mecanice, introducîndu-se în alame pînă la 1,5%. Peste 1,5% Fe coroziunea aliajului crește simțitor;

— manganul îmbunătățește, de asemenea, caracteristicile mecanice, mărește rezistența la temperaturi ridicate, precum și rezistența la coroziune;

— nichelul, introdus în detrimentul conținutului de cupru, îmbunătățește caracteristicile mecanice, rezistența la coroziune și la temperaturi ridicate;

— plumbul favorizează prelucrarea materialului prin așchiere, dar înrăutățește sudabilitatea aliajului;

— fosforul mărește fluiditatea aliajului (deci și capacitatea de turnare), dar scade mult conductivitatea electrică.

● **Bronzul** este un aliaj al cuprului cu staniu (bronz obișnuit) și al cuprului cu aluminiul, cadmiu, beriliu, crom, plumb, telur, titan, argint, zirconiu etc. (bronzuri speciale).

Bronzurile se caracterizează prin duritate mare, rezistență mare la coroziune și proprietăți elastice foarte bune.

○ *Bronzul cu staniu* are un conținut de staniu pînă la 14%. Acest aliaj are o mare elasticitate, rezistență mare la uzură mecanică și coroziune, însă conductivitatea electrică este sensibil scăzută.

Aceste bronzuri au avantajul că în contact cu cuprul nu prezintă coroziune electrochimică, ambele avînd aproximativ același potențial electrochimic.

Bronzul cu staniu se simbolizează cu Bz urmat de o cifră care indică conținutul de staniu. Astfel Bz 10 înseamnă bronz cu 10% staniu.

Bronzurile cu staniu se folosesc pentru realizarea de arcuri, membrane, bușe, lagăre etc.

○ *Bronzul cu aluminiu* are conținutul de aluminiu pînă la 10%. Acest aliaj are rezistența de rupere la tracțiune dublă față de cea a bronzului obișnuit; de asemenea, prezintă o rezistență mare la coroziune.

Bronzul cu aluminiu se simbolizează cu BzAl urmat de o cifră care indică procentul de aluminiu.

Aceste bronzuri se folosesc la realizarea pieselor supuse uzurii mecanice (bușe, lagăre etc.).

○ *Bronzul cu beriliu* conține între 2 și 2,5% beriliu și are caracteristici mecanice îmbunătățite, fără o scădere pronunțată a conductivității electrice.

Tratat termic, capătă proprietăți apropiate de cele ale oțelurilor de arcuri.

Aceste aliaje se comportă bine pînă la temperatura de 250°C și au și o rezistență mare la oboseală.

Bronzul cu beriliu poate conține și nichel, proprietățile aliajului fiind îmbunătățite în special în ceea ce privește rezistența la temperaturi ridicate, rezistență la uzură, și prezintă elasticitate dublă față de cea a bronzului cupru-beriliu.

Bronzul cupru-beriliu-nichel este feromagnetic.

Bronzurile cu beriliu se întrebunțează pentru realizarea arcurilor conductoare de curent electric, contactelor de prize, portperiilor, cuștelor de întreruptoare, pieselor de ceasornicărie etc.

○ *Bronzul cu cadmiu* cu un conținut de 0,9% cadmiu are rezistența de rupere la tracțiune aproximativ de două ori mai mare decît cea a cuprului tare, fără să prezinte o scădere prea mare a conductivității electrice, ceea ce îl face utilizabil la realizarea conductoarelor, liniilor electrice aeriene, liniilor de troleibuz, electrozilor pentru sudură, contactelor întreruptoarelor.

○ *Bronzul cu crom* conține între 0,3 și 1,5% crom, iar conductivitatea electrică ajunge pînă la 80% din cea a cuprului.

Își păstrează proprietățile mecanice pînă la temperatura de 400°C.

Se utilizează pentru conductoarele liniilor electrice de înaltă tensiune, la electrozi de sudură, în tehnica nucleară etc.



○ *Bronzul cu argint* conține pînă la 0,1% argint și are o duritate mare care se păstrează pînă la temperatura de 300°C.

Acest aliaj se utilizează pentru realizarea lamelelor de colector ale mașinilor electrice cu regimuri grele de funcționare (mașini de tracțiune, mașini destinate a funcționa în mediul tropical etc.).

○ *Bronzul cu mangan* este folosit pentru produse laminate și turnate, caracteristicile aliajului fiind menținute și la temperaturi ridicate.

○ *Bronzul cu zirconiu* conține 0,1—0,2% zirconiu și este rezistent la vibrații puternice; poate fi folosit la temperaturi pînă la 290°C; se utilizează la mașini electrice pentru fabricarea inelelor de contact.

## 2. ALUMINIUL (Al)

Aluminiul este cel mai răspîndit metal din scoarța pămîntului și se găsește sub formă de minereuri. Minereurile cele mai importante de aluminiu sînt: *bauxita* și *criolita*, care se găsesc în Franța, U.R.S.S., Ungaria, Grecia, India, S.U.A. În țara noastră se găsesc importante zăcămintele de bauxită în munții Bihorului.

Extragerea aluminiului pur din bauxită se realizează la noi în țară în două etape. Prima etapă constă în extragerea aluminei ( $Al_2O_3$ ) din bauxită, care se efectuează la Combinatul de alumina din Oradea. A doua etapă constă în extragerea aluminiului pur, din alumina, prin rafinare electrolitică, la Combinatul de aluminiu din Slatina.

Aluminiul se obține cu o puritate variind între 98 și 99,90%.

*Caracteristicile aluminiului* sînt:

- densitatea,  $d_{Al} = 2,70 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Al} = 658^\circ\text{C}$ ;
- conductivitatea electrică,  $\gamma_{Al} = 37 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  (la 20°C);
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Al} = 0,027 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la 20°C);
- conductivitatea termică,  $\lambda_{Al} = 0,53 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C} = 0,53 \cdot 4,1868 \cdot 10^2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (la 20°C).

Aluminiul este cel mai ușor dintre metalele utilizate în tehnică.

Rezistența la coroziune a aluminiului în atmosferă uscată este satisfăcătoare, datorită peliculei de oxid de aluminiu, care este aderentă și neporoasă. În atmosferă umedă, datorită potențialului său de electrod foarte negativ (−1,3 V), aluminiul este distrus în contact cu metalele tehnice obișnuite.

Aluminiul nu rezistă la vibrații mecanice și are rezistență mică la oboseală.

*Principalele utilizări ale aluminiului* în industria electrotehnică și electronică sînt:

— fabricarea armăturilor pentru condensatoare cu hîrtie, condensatoare electrolitice și ca anod în condensatoarele din circuitele integrate peliculare;

— fabricarea mantalelor de protecție a cablurilor electrice, în locul plumbului;

— realizarea înfășurărilor transformatoarelor și mașinilor electrice;

— fabricarea înfășurărilor rotoarelor în scurtcircuit ale motoarelor asincrone;

— realizarea conductoarelor și cablurilor de transport și distribuție a energiei electrice.

Pentru liniile electrice aeriene, rezistența mecanică a conductoarelor de aluminiu este insuficientă pentru a susține greutatea proprie a conductorului de suprasarcinile provocate de gheață, zăpadă, vînt. Din această cauză conductoarele pentru liniile electrice aeriene se realizează din aluminiu cu inimă de oțel (fig. 2.5). Sîrmele de oțel zincat, care formează inima sau miezul conductorului, suportă sarcina mecanică principală, iar conductoarele de aluminiu, care se înfășoară în jurul miezului de oțel, au rolul principal de a conduce curentul electric, avînd rezistivitatea mult mai mică decît oțelul.

Conductoarele de oțel-aluminiu au greutatea relativ mare, flexibilitate redusă, coeficienți diferiți de dilatare termică a elementelor componente.

### Aliajele aluminiului

În scopul măririi rezistenței mecanice a aluminiului se realizează aliaje cu rezistență mecanică ridicată și conductivitate electrică suficient de mare. Se cunosc astfel o serie de aliaje ca: *aluminiu-siliciu*; *aluminiu-cupru*, *aluminiu-magneziu*; *aluminiu-mangan*; *aluminiu-nichel*; *aluminiu-beriliu* etc.

Aliajele de aluminiu înlocuiesc cuprul, care este un element deficitar, la realizarea conductoarelor liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune și a cablurilor de înaltă și joasă tensiune.

Există o largă varietate de aliaje de turnătorie și aliaje laminabile ale aluminiului.

● **Aliajul duraluminiu** conține 4% cupriu, 0,5% mangan, 0,5% magneziu, restul aluminiu.

Acest aliaj are caracteristici mecanice superioare aluminiului, însă o rezistență slabă la coroziune, motiv pentru care aliajul se acoperă cu un strat protector de aluminiu pur.

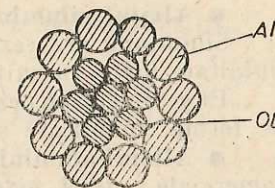


Fig. 2.5. Conductor funie oțel-aluminiu.



● **Aliajul silumin** conține 13,5% siliciu, restul aluminiu.

Silumiul are rezistență la coroziune superioară aluminiului, are fluiditate mare, permițând o turnare de calitate a pieselor.

El este utilizat pentru turnarea de carcase, șasiuri sau diverse piese cu forme complicate și pereți subțiri.

● **Aliajul aluminiu-magneziu-siliciu** este cunoscut sub denumirile comerciale: *aldrei, alduro, almelec* etc.

El conține 0,7% magneziu, 0,6% siliciu, 0,25% fier, restul aluminiu.

Acest aliaj este caracterizat prin rezistență mecanică mare la tracțiune, ceea ce îl face utilizabil la realizarea liniilor electrice aeriene.

● **Aliajul aluminiu-mangan** este utilizat pentru realizarea prin turnare a coliviilor rotoarelor în scurtcircuit ale motoarelor electrice asincrone.

### 3. COMPARAȚIE ÎNTRE DOUĂ CONDUCTOARE ELECTRICE, REALIZATE DIN CUPRU ȘI RESPECTIV DIN ALUMINIU

Se consideră două conductoare electrice echivalente (care au lungime egală și aceeași rezistență electrică), unul din cupru și celălalt din aluminiu.

Știindu-se că între rezistivitățile electrice ale cuprului și aluminiului există relația:

$$\rho_{Cu} = \frac{1}{1,57} \rho_{Al}, \quad (2.5)$$

pentru ca cele două conductoare, de aceeași lungime, să aibă aceeași rezistență electrică, secțiunile conductoarelor trebuie să fie diferite.

Din condiția de egalitate a rezistențelor:

$$\rho_{Cu} \frac{l_{Cu}}{S_{Cu}} = \rho_{Al} \frac{l_{Al}}{S_{Al}}, \quad (2.6)$$

rezultă, pentru  $l_{Cu} = l_{Al}$ :

$$\frac{\rho_{Cu}}{S_{Cu}} = \frac{\rho_{Al}}{S_{Al}} \text{ sau } \frac{1}{1,57} \frac{\rho_{Al}}{S_{Cu}} = \frac{\rho_{Al}}{S_{Al}}, \quad (2.7)$$

de unde:

$$S_{Al} = 1,57 S_{Cu}. \quad (2.8)$$

Deci conductorul de aluminiu are o secțiune de 1,57 ori mai mare decât secțiunea conductorului de cupru.

Dacă se ține seamă că între densitățile cuprului există relația:

$$d_{Cu} = 3,3 d_{Al}, \quad (2.9)$$

se poate calcula raportul dintre masele celor două conductoare:

$$m_{Al} = V_{Al} d_{Al} = l_{Al} S_{Al} d_{Al}, \quad (2.10)$$

în care  $V_{Al} = l_{Al} S_{Al}$  reprezintă volumul conductorului de aluminiu.

Înlocuindu-se în relația (2.10)  $S_{Al}$  cu  $1,57 S_{Cu}$ ,  $d_{Al}$  cu  $\frac{1}{3,3} d_{Cu}$  și  $l_{Al}$  cu  $l_{Cu}$  rezultă:

$$m_{Al} = l_{Cu} \cdot 1,57 S_{Cu} \cdot \frac{1}{3,3} d_{Cu} = \frac{1,57}{3,3} m_{Cu} = 0,475 m_{Cu} \approx 0,5 m_{Cu}. \quad (2.11)$$

Deci, masa conductorului de aluminiu este aproximativ jumătate din cea a conductorului de cupru.

### 4. ARGINTUL (Ag)

Argintul se găsește în natură sub formă de minereu numit argentină ( $Ag_2S$ ) sau în galenele argentifere ( $PbAg_2S$ ).

Caracteristicile argintului sînt:

- densitatea,  $d_{Ag} = 10,5 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Ag} = 961^\circ\text{C}$ ;
- conductivitatea electrică,  $\gamma_{Ag} = 62,5 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Ag} = 0,016 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- conductivitatea termică,  $\lambda_{Ag} = 1,096 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C} = 1,096 \cdot 4,1868 \cdot 10^3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Argintul are cea mai mare conductivitate electrică și termică.

El este foarte maleabil și foarte ductil (dintr-un gram de argint se poate obține un fir lung de aproximativ 2 km; din argint se pot obține foi cu grosimea de  $1/2000 \text{ mm}$ ).

Argintul are o mare afinitate față de sulf, cu care dă sulfuri.

La temperatura obișnuită și chiar la temperaturi înalte argintul este foarte rezistent la oxidare.

Argintul fiind foarte moale, pentru mărirea durității lui se aliază cu alte metale, componenta principală a aliajului rămînînd argintul.

Aliajul de argint cu 3% cupru, cunoscut sub denumirea de *argint dur*, are duritate foarte mare și conductivitate electrică și termică apropiate de cele ale argintului pur. Acest aliaj, precum și aliajele argint-cadmium, argint-aur, argint-platină și argint-paladiu sînt utilizate ca materiale pentru contacte electrice.



Argintul și aliajele sale sînt utilizate pentru armături de condensatoare, conductoare pentru curenți de înaltă frecvență, fuzibile pentru siguranțe, fire de suspensie pentru aparate de măsurat etc.

Argintul este un component în aliajele de metale prețioase folosite pentru realizarea reostatelor de precizie și etalon.

Aliajul argint cupru-zinc se folosește ca aliaj de lipit pentru lipituri care lucrează la temperaturi ridicate.

### 5. AURUL (Au)

Minerul aurifer se găsește în formațiunile vulcanice, în zăcămintele filoniene, fie ca aur nativ, fie în combinații cu alte elemente (telururi), fie în filoane de sulfuri complexe, împreună cu argintul, cuprul, zincul și plumbul.

Minerul aurifer se prelucrează în centrele: Ferneziu, Baia Mare, Săsar în nord-vestul țării și Gura Barza, Zlatna, Baia de Arieș, Roșia Montană, Certeju de Sus din Munții Apuseni.

Caracteristicile aurului sînt:

- densitatea,  $d_{Au} = 19,32 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Au} = 1\,063^\circ\text{C}$ ;
- conductivitatea electrică,  $\gamma_{Au} = 45,4 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Au} = 0,022 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- conductivitatea termică  $\lambda_{Au} = 0,7 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C} = 0,7\cdot 4,1868\cdot 10^2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Aurul este cel mai ductil și maleabil dintre metale. Din aur se pot obține foițe cu grosimea de  $1/10\,000 \text{ mm}$ .

El nu oxidează la nici o temperatură.

Aurul pur, fiind foarte moale, se aliază cu alte metale (platină, argint, nichel, cobalt, cupru).

Titlul aurului într-un aliaj de aur este exprimat în carate: 24 carate = 1 000 părți = 100%, adică aur pur.

Aurul este un element ideal pentru acoperiri, protejînd materialul de oxidări. La depunerile electrolitice se utilizează aur de 24 și unecri de 18 carate, ultimul avînd o rezistență mai mare la uzură și fiind mai ieftin.

Straturi electrolitice de aur se depun pe grilele tuburilor electronice, pe electrozii celulelor fotoelectrice.

Aliaje ca: aur-argint-cupru, aur-nichel, aur-cobalt, aur-argint-platină, aur-platină, sînt folosite la contactele electrice ale instrumentelor de precizie, la aparate de control și în automatizări etc.

### 6. PLATINA (Pt)

Platina se găsește în nisipuri aurifere. În U.R.S.S. în munții Urali se găsesc cele mai mari zăcăminte de platină. Zăcămintele de platină se găsesc și în America de Nord.

Caracteristicile platinei sînt:

- densitatea,  $d_{Pt} = 21,45 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Pt} = 1\,770^\circ\text{C}$ ;
- conductivitatea electrică,  $\gamma_{Pt} = 10,2 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Pt} = 0,098 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- conductivitatea termică,  $\lambda_{Pt} = 0,167 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C} = 0,167\cdot 4,1868\cdot 10^2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Platina este cel mai stabil metal din punct de vedere chimic.

Este foarte maleabilă și ductilă, putîndu-se lamina în foi și trefila în fire foarte subțiri.

Platina este cel mai scump dintre metale și, pe lângă acest dezavantaj, trebuie menționată duritatea ei mică.

Se utilizează la realizarea contactelor electrice, fiind în acest caz aliată cu diferite elemente ca: iridiu, ruteniu, wolfram, nichel.

Contactele platină-iridiu sînt indicate pentru instrumente de precizie cu frecvență mare de întrerupere.

Din platină se execută electrozi pentru termocupluri, rezistențe pentru cuptoare electrice și are o largă utilizare și în industria chimică, datorită stabilității sale chimice.

### 7. FIERUL (Fe) MATERIAL CONDUCTOR

Fierul se utilizează în anumite situații ca material conductor în locul cuprului și aluminiului. Aceasta pe de o parte datorită costului mult mai redus și pe de altă parte, rezistenței mecanice superioare. Fierul are însă rezistivitate electrică mult mai mare decît cea a cuprului și a aluminiului și rezistență slabă la coroziune.

Caracteristicile fierului sînt:

- densitatea,  $d_{Fe} = 7,8 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Fe} = 1\,533^\circ\text{C}$ ;
- conductivitatea electrică,  $\gamma_{Fe} = 7,8 \dots 9,54 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Fe} = 0,105 \dots 0,13 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ );
- conductivitatea termică,  $\lambda_{Fe} = 0,174 \text{ cal/s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C} = 0,174\cdot 4\,1868\cdot 10^2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

La folosirea conductoarelor din fier în curent alternativ apare pronunțat efectul pelicular, care constă în refularea curentului spre periferia conductorului. Efectul pelicular este cu atît mai pronunțat, cu cît frecvența curentului este mai ridicată, cu cît diametrul conduc-



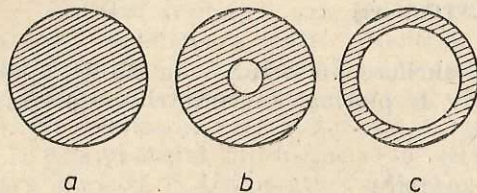


Fig. 2.6. Repartiția curentului electric în secțiunea conductorului :

*a* — în curent continuu și în curent alternativ de joasă frecvență ; *b* — în curent alternativ de înaltă frecvență ; *c* — în curent alternativ de foarte înaltă frecvență.

frecvență (fig. 2.6, *c*). Porțiunea hașurată reprezintă secțiunea conductorului străbătută de curent electric.

Datorită efectului pelicular rezistența electrică a conductorului crește, întrucât secțiunea efectivă (străbătută de curent electric) scade și prin urmare, cu creșterea rezistenței, cresc și pierderile electrice ( $RI^2$ ).

Fierul se utilizează pentru linii de telecomunicații, pentru linii electrice de alimentare cu energie electrică ce trebuie să suporte o sarcină mecanică importantă sub formă de funie ca miez al conductelor din aluminiiu cu inimă de oțel etc.

## 8. NICHELUL (Ni)

Minerurile, constituite din sulfuri și arsenuri de nichel, se găsesc în U.R.S.S. (în munții Urali) și în Canada.

Caracteristicile nichelului sînt :

- densitatea,  $d_{Ni} = 8,9 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Ni} = 1455^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Ni} = 0,068 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Nichelul nu se oxidează în atmosferă și în apă la temperatură obișnuită.

El este maleabil la cald și la rece, ductil și sudabil.

În stare pură nichelul se utilizează la fabricarea anozilor băilor galvanice și la nichelarea metalelor pentru protecția împotriva coroziunii.

Nichelul este component într-o mare varietate de aliaje de înaltă rezistivitate, precum și în aliaje magnetice.

## 9. METALE CU TEMPERATURĂ ÎNALTĂ DE TOPIRE

### a. Wolframul (W)

Wolframul sau tungstenul se găsește sub formă de mineruri, între care wolframita este cel mai răspîndit.

Minerurile de wolfram se găsesc în U.R.S.S., R. P. Chineză, Suedia, Austria, Anglia, Spania etc.

Caracteristicile wolframului sînt :

- densitatea  $d_w = 19,25 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire  $\theta_{t, w} = 3380^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_w = 0,055 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Wolframul are cel mai ridicat punct de topire dintre toate metalele. El nu se oxidează la temperatura obișnuită. La temperatura de  $700^\circ\text{C}$  începe să se oxideze ; de aceea, folosirea la temperaturi peste  $700^\circ\text{C}$  necesită atmosferă protectoare.

Wolframul este foarte dur, casant și greu prelucrabil.

Acest metal se obține prin metalurgia pulberilor la temperaturi foarte înalte, iar produsul poate fi trefilat pînă la dimensiuni de sutimi de milimetru prin tehnologii complicate.

Utilizările wolframului în industria electrotehnică și electronică sînt : la filamentele lămpilor cu incandescență ; la electrozi în tuburile electronice ; ca anod în tuburile Röntgen ; ca electrozi pentru sudură ; la realizarea contactelor electrice ; ca rezistențe pentru cuptoare electrice (în atmosferă protectoare) ; la alierea diferitelor oțeluri speciale ; la termocupluri ; component în aliaje magnetice etc.

În țara noastră se realizează o gamă variată de tuburi cinescop de bună calitate la întreprinderea de Cinescoape — București.

### b. Molibdenul (Mo)

Molibdenul are caracteristicile următoare :

- densitatea,  $d_{Mo} = 10,2 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Mo} = 2630^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Mo} = 0,052 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Molibdenul se oxidează la temperaturi peste  $600^\circ\text{C}$ .

El poate fi trefilat, ca și wolframul, pînă la dimensiuni de sutimi de milimetru.

Aplicațiile molibdenului sînt : la lămpi cu incandescență, pentru suportul filamentelor ; la contacte electrice ; rezistențe pentru cuptoare electrice de topire și tratamente termice (în atmosferă protectoare) ; ca electrozi de sudură ; ca element de aliere în oțelurile speciale ; component în aliaje magnetice etc.



### c. Tantalul (Ta)

Tantalul se obține prin metalurgia pulberilor și are următoarele caracteristici :

- densitatea,  $d_{Ta} = 16,6 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Ta} = 2\,990^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Ta} = 0,125 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Rezistența la coroziune a tantalului este foarte mare, comparabilă cu cea a platinei.

El se oxidează la temperaturi peste  $600^\circ\text{C}$ .

Are utilizări multiple, printre care : ca anod în condensatoarele electrolitice ; ca elemente de încălzire la cuptoarele electrice ; ca anod în tuburile electronice de emisie etc.

### d. Niobiul (Nb)

Niobiul se produce prin metalurgia pulberilor și are următoarele caracteristici :

- densitatea,  $d_{Nb} = 8,56 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Nb} = 2\,470^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea,  $\rho_{Nb} = 0,142 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Niobiul se utilizează în metalurgie ca element de aliere pentru aliaje rezistente la temperaturi înalte, element din aliaje dure etc.

## 10. METALE CU TEMPERATURA JOASĂ DE TOPIRE

### a. Staniul (Sn)

Staniul sau cositorul se găsește sub formă de minereu, cel mai răspândit fiind casiterita ( $\text{SnO}_2$ ), care se găsește în U.R.S.S., Malaia, Bolivia.

Caracteristicile staniului sînt :

- densitatea,  $d_{Sn} = 7,30 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Sn} = 232^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Sn} = 0,12 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Staniul este *metalul cel mai ușor fuzibil*. Este moale, flexibil, ductil, maleabil.

El rezistă bine la acțiunea agenților atmosferici. În aer se oxidează lent și numai la suprafață, formînd o peliculă foarte subțire, densă și rezistentă, care protejează metalul de oxidare ulterioară.

Staniul se utilizează la acoperirea tablelor de oțel în scopul protejării împotriva coroziunii ; pentru lipituri, în stare pură sau aliat ; pentru confecționarea fuzibilelor siguranțelor ; este component al bronzurilor.

### b. Plumbul (Pb)

Principalul minereu din care se extrage plumbul este sulfura de plumb ( $\text{PbS}$ ), numită *galenă*. Cantități mari din acest minereu se găsesc în U.R.S.S., Polonia, S.U.A., Mexic, Canada și România. În țara noastră plumbul se extrage din minele de la Baia Sprie și Herga din zona Baia Mare, de la Rușchița județul Caraș-Severin și de la Baia de Arieș, județul Alba. Prelucrarea plumbului se face în uzinele metalo-chimice din Baia Mare, Ferneziu și București.

Caracteristicile plumbului sînt :

- densitatea,  $d_{Pb} = 11,3 \text{ kg/dm}^3$  ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Pb} = 327^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Pb} = 0,21 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Plumbul este un metal moale, ductil și maleabil. Aliat cu stibiul, plumbul devine mai dur („plumb tare“).

Vaporii de plumb sînt toxici, putînd provoca intoxicații grave.

Plumbul nu este rezistent la vibrații, mai ales la temperaturi ridicate. Pentru a se mări rezistența la vibrații, plumbul se aliază cu cadmiul, stibiul, cuprul, staniul, dar devine mai puțin rezistent la coroziune.

În aer uscat metalul se acoperă cu un strat bazic de carbonat de plumb.

Plumbul nu este atacat de acidul clorhidric, sulfuric, fosforic, dar se dizolvă ușor în acid azotic diluat și în acid acetic diluat ; nu este atacat nici de apă.

Plumbul oferă cea mai bună protecție împotriva razelor Röntgen și a razelor gamma.

El este utilizat pentru mantale de protecție contra pătrunderii umezelii la cabluri electrice ; la fabricarea acumulatorilor electrice cu plăci de plumb ; la realizarea unor aliaje de lipit ; pentru ecrane de protecție contra razelor X sau Röntgen. Sulfura de plumb se utilizează la fabricarea celulelor fotoelectrice.

### c. Zincul (Zn)

Cel mai important minereu de zinc este *blendă* ( $\text{ZnS}$ ) cu aproximativ 67% zinc. Acest minereu se găsește în România, Polonia, Germania. În țara noastră concentratele de zinc sînt prelucrate în uzina de la Copșa Mică, care produce și aliaje și coloranți pe bază de zinc.



Caracteristicile zincului sînt :

- densitatea,  $d_{Zn} = 7,13 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_{t, Zn} = 419^\circ\text{C}$ ;
- rezistivitatea electrică,  $\rho_{Zn} = 0,06 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  (la  $20^\circ\text{C}$ ).

Stratul de oxid care se formează la suprafața metalului este un strat protector.

La temperatura obișnuită zincul este casant, dar la temperaturi între  $100$  și  $150^\circ\text{C}$  devine maleabil și astfel poate fi laminat, forjat, trefilat. Peste temperatura de  $150^\circ\text{C}$  redevine casant.

Nu este atacat deloc de apă.

Principalele utilizări ale zincului : zincarea tablelor și sîrmelor de fier, operație care se numește impropriu „galvanizare” ; este component al alamelor ; pentru realizarea electrozilor elementelor galvanice și a lamelor fuzibile pentru siguranțe.

Aliaje ale zincului cu cuprul sau aluminiu sînt folosite pentru conductoare electrice care înlocuiesc uneori conductoarele de cupru sau aluminiu.

## E. MATERIALE CONDUCTOARE CU ÎNALTĂ REZISTIVITATE ELECTRICĂ

Cu aceste materiale se realizează :

- rezistoare de precizie și rezistoare etalon ;
- rezistoare de pornire și reglare ;
- rezistoare pentru încălzire electrică.

Materialele conductoare cu înaltă rezistivitate electrică trebuie să satisfacă următoarele condiții :

- să aibă rezistivitate mare pentru a se putea obține rezistoare cu rezistență electrică cît mai mare, într-un volum cît mai mic (cu consum minim de material conductor) ;
- să suporte temperatura de funcționare, fără ca la răcire să devină fragile sau să-și modifice proprietățile inițiale ;
- coeficientul de temperatură al rezistivității :

$$\alpha = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

să fie cît mai mic, adică rezistivitatea să se modifice cît mai puțin cu temperatura ( $\alpha = 10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) ;

— tensiunea termoelectromotoare față de cupru să fie cît mai redusă, îndeosebi pentru materiale utilizate la fabricarea rezistoarelor de precizie folosite la aparatele de măsurat. În caz contrar aceste tensiuni falsifică indicațiile aparatului de măsurat ;

- să fie ieftine.

Se folosesc fie metale pure, fie aliaje. Metalele pure au o întrebuintare limitată, deoarece au rezistivitatea electrică relativ mică, coeficientul de temperatură al rezistivității relativ mare ( $\alpha = 0,004^\circ\text{C}^{-1}$ ), și în plus sînt supuse coroziunii la temperaturi ridicate.

### 1. ALIAJE PENTRU REZISTOARE ETALON ȘI DE PRECIZIE

Ca aliaje pentru rezistoare etalon și de precizie utilizează *manganina* și *aliajele pe bază de metale prețioase*.

● **Manganina** are următoarea compoziție aproximativă : 85% cupru, 12% mangan și 3% nichel sau aluminiu.

Pentru *manganina* cu nichel coeficientul de temperatură al rezistivității este  $10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , rezistivitatea  $0,43 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , tensiunea termoelectromotoare în raport cu cuprul  $2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  și temperatura maximă de utilizare  $60^\circ\text{C}$  (pentru asigurarea invariabilității rezistenței electrice timp îndelungat).

Manganina se prelucrează ușor, putînd fi trasă în benzi și fire subțiri.

Pentru îmbunătățirea proprietăților manganinei, ea se supune unui tratament termic de îmbătrînire, prin recoacere la  $100-140^\circ\text{C}$  în vid, decapare, răcire lentă și apoi păstrare îndelungată la temperatura camerei.

● **Aliajele pe bază de metale prețioase** sînt : *aur-crom*, *argint-mangan-staniu*, *argint-nichel*.

Aceste aliaje au rezistivitate mare și coeficient mic de variație a rezistivității cu temperatura.

### 2. ALIAJE PENTRU REZISTOARE

Ca aliaje pentru rezistoare se utilizează : *constantanul*, *nichelina* și alte aliaje (*cupru-zinc*, *cupru-nichel-zinc*, *fonta*).

● **Constantanul** este cel mai utilizat aliaj din această categorie și conține 60% cupru și 40% nichel.

El are *cel mai mic coeficient de temperatură al rezistivității*, aproximativ  $10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , motiv pentru care se numește *constantan*, adică aliat cu rezistivitate electrică practic constantă.

Constantanul are rezistivitatea electrică  $0,5 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$  și temperatura maximă de utilizare  $450^\circ\text{C}$ .

Are tensiunea termoelectromotoare mare în raport cu cuprul, de  $39 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , ceea ce îl face inutilizabil la realizarea rezistoarelor de precizie și etalon.

La temperatura de  $900^\circ\text{C}$  constantanul se oxidează, acoperindu-se cu o peliculă flexibilă și izolantă electric. Această peliculă permite utilizarea firelor de constantan astfel oxidate, să fie bobinate pe un suport



izolant, spiră lângă spiră, în construcția rezistoarelor, cu condiția ca tensiunea între două spire vecine să nu depășească 1 V.

● **Nichelina** este un aliaj de *cupru-nichel-mangan*.

Există diferite sorturi de nichelină în funcție de conținutul de nichel, care poate varia între 25 și 35%.

Conținutul de mangan în aliaj reprezintă 2–3%.

Nichelinelor au rezistivități de ordinul  $0,4 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ , coeficientul de temperatură al rezistivității de  $14 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$  și tensiunea termoelectromotoare de  $25 \mu\text{V}/\text{C}$ .

Temperatura maximă de utilizare a nichelinei este  $300^\circ\text{C}$ .

Nichelina se utilizează în special pentru reostată de pornire și reglare a turației la motoarele electrice.

**Alte aliaje pentru rezistoare** sînt aliajele din *cupru-zinc*, *cupru-zinc-nichel* (alpaca), precum și *fonta*.

Aceste aliaje au coeficientul de temperatură al rezistivității mult mai mare decît cel al constantanului.

Fonta are rezistivitate mare (circa  $1,5 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ), dar are dezavantajul că devine foarte casantă, în special după ce rezistoarele au funcționat la temperaturi ridicate.

### 3. METALE ȘI ALIAJE PENTRU ELEMENTE DE ÎNCĂLZIRE ELECTRICĂ

În anumite cazuri sînt utilizate și metale tehnice pure ca aluminiul, fierul, wolframul, molibdenul, nichelul, platina, tantalul, pentru dispozitive de încălzire, cu toate deficiențele arătate la începutul subcapitolului E.

#### a. Aliaje pe bază de nichel

● **Nicromul** conține 25–30% crom, restul nichel.

Prezența manganului în aliaj în proporție de 1–2% favorizează forjarea și laminarea, iar în proporție de 5–8% sporește mult rezistivitatea electrică.

Nicromurile care funcționează la temperaturi înalte conțin și 5–8% molibden, care sporește stabilitatea termică și rezistența la temperaturi ridicate.

Aliajele nicrom au temperatura maximă de utilizare  $1000^\circ\text{C}$  și o mare rezistență la oxidare.

● **Feronicromul** conține 60–70% nichel, 15–20% crom, 15–25% fier, eventual și cîteva procente de mangan și molibden introduse în aliaj în aceleași scopuri și la aliajele nicrom.

La temperaturi de  $600\text{--}900^\circ\text{C}$  aceste aliaje devin fragile.

Sînt mai ieftine decît aliajele nicrom, dar sînt mai puțin rezistente la oxidare, din cauza conținutului de fier în aliaj.

#### b. Aliaje pe bază de fier

Aliajele pe bază de nichel fiind scumpe, s-au elaborat aliaje pe bază de fier, rezistente la temperaturi mari.

● **Fecralul** conține aproximativ 12–15% crom, 5% aluminiu, restul fier.

Aliajul este utilizabil pînă la temperaturi de  $1050^\circ\text{C}$ .

Fecralul este mai dur și mai fragil decît micromul, prelucrîndu-se mai greu.

Există aliaje de tip fecral care au un procent mai ridicat de crom și aluminiu, acestea putînd lucra la temperaturi pînă la  $1350^\circ\text{C}$ , dar fiind mai dure se prelucurează numai la cald.

● **Kanthalul**, produs al uzinelor „Kanthal” din Suedia, conține 20–24% crom, 5–6% aluminiu, 2% cobalt și restul fier.

Are rezistivitatea electrică  $1,3\text{--}1,35 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ , superioară aliajelor nicrom, și o temperatură maximă de utilizare de  $1250^\circ\text{C}$ .

● **Cromalul** conține 64% fier, 30% crom, 4,5 aluminiu și 1,5% carbon, mangan, sulf și fosfor.

Poate lucra la temperaturi maxime pînă la  $1300^\circ\text{C}$ .

### REZUMAT

După modul în care se comportă cînd sînt străbătute de curentul electric, materialele conductoare se clasifică în:

- conductoare de ordinul I (metale și aliaje);
- conductoare de ordinul II (electroliti).

Proprietățile metalelor și aliajelor	}	fizice	{	– luciul metalic ; – densitatea ; – luzibilitatea ; – dilatarea termică ; – conductibilitatea termică ; – conductibilitatea electrică.
		mecanice	{	– elasticitatea ; – plasticitatea – duritatea ; – reziliența ; – rezistența mecanică ; – rezistența la oboseală
		tehnologice	{	– capacitatea de turnare – forjabilitatea ; – maleabilitatea – ductibilitatea – sudabilitatea – prelucrabilitatea



Metale și  
aliaje folosi-  
te în electro-  
tehnică

de înaltă conducti- vitate electrică	aliajele cuprului	cuprul (Cu)	alame	obișnuite (Cu + Zn)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Mn} \\ \text{Fe} \\ \text{Al} \\ \text{Sn} \\ \text{Pb} \\ \text{Si} \\ \text{Ni} \\ \text{P} \end{array} \right.$
				speciale (Cu + Zn) +	
			bronzuri	obișnuite (Cu + Sn)	
				speciale	
	aliajele aluminului	aluminiu (Al)	$\left\{ \begin{array}{l} - \text{duraluminiu (Al + Cu + Mn + Mg)} \\ - \text{silumin (Al + Si)} \\ - \text{aldrei (Al + Mg + Si + Fe)} \\ - \text{aluminiu mangan (Al + Mn)} \end{array} \right.$		
			metalele prețioase	$\left\{ \begin{array}{l} - \text{argint (Ag)} \\ - \text{aur (Au)} \\ - \text{platină (Pt)} \end{array} \right.$	
		fierul (Fe) nichelul (Ni)			
			metale cu înaltă temperatură de topire	$\left\{ \begin{array}{l} - \text{wolframul (W)} \\ - \text{molibdenul (Mo)} \\ - \text{tantalul (Ta)} \\ - \text{niobiul (Nb)} \end{array} \right.$	
			metale cu joasă temperatură de topire	$\left\{ \begin{array}{l} - \text{staniul (Sn)} \\ - \text{plumbul (Pb)} \\ - \text{zincul (Zn)} \end{array} \right.$	
			pentru rezistența etalon și de pre- cizie	$\left\{ \begin{array}{l} \text{manganina (Cu + Mn + Ni sau Al)} \\ \text{pe bază de metale} \\ \text{prețioase} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{Au + Cr} \\ \text{Ag + Mn + Sn} \\ \text{Ag + Ni} \end{array} \right.$	
de înaltă rezistivi- tate electrică			pentru rezistoare	$\left\{ \begin{array}{l} - \text{constantanul (Cu + Ni)} \\ - \text{nichelina (Cu + Ni + Mn)} \\ - \text{aliaje cupru-zinc (Cu + Zn)} \\ - \text{alpaca (Cu + Zn + Ni)} \\ - \text{fontă (Fe + C)} \end{array} \right.$	
			pentru elemente de încălzire electrică	$\left\{ \begin{array}{l} \text{pe bază} \\ \text{de nichel} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} - \text{nicromul (Ni + Cr)} \\ - \text{feronicromul (Ni + Cr + Fe)} \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{pe bază} \\ \text{de fier} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} - \text{fecralul (Fe + Cr + Al)} \\ - \text{kanthalul (Fe + Cr + Al + Co)} \\ - \text{cromalul (Fe + Cr + Al +} \\ \quad + \text{C + Mn + S + P)} \end{array} \right.$	

## VERIFICAREA CUNOȘTINTELOR

- Fuzibilitatea și dilatarea termică sint proprietăți:
  - fizice ?
  - mecanice ?
  - tehnologice ?
- Elasticitatea și plasticitatea sint proprietăți:
  - fizice ?
  - mecanice ?
  - tehnologice ?
- Maleabilitatea și ductibilitatea sint proprietăți:
  - fizice ?
  - mecanice
  - tehnologice ?
- Densitatea cuprului  $d_{Cu} = 8,9 \text{ kg/dm}^3$ . Să se exprime în  $\text{g/cm}^3$ .
- Temperatura de topire a aluminiului  $\theta_{t, Al} = 658^\circ\text{C}$ . Să se exprime temperatura în kelvin (K).
- Un conductor cu aria secțiunii de  $4 \text{ mm}^2$  și lungimea de  $200 \text{ m}$  are rezistența electrică de  $1,35 \Omega$ . Să se determine natura materialului din care este realizat conductorul.
- Se consideră două conductoare echivalente (de aceeași lungime și cu aceeași rezistență), unul din cupru și celălalt din fier. Știindu-se că rezistivitatea cuprului  $\rho_{Cu} = 0,01724 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , iar a fierului  $\rho_{Fe} = 0,13 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  și că densitatea cuprului  $d_{Cu} = 8,9 \text{ kg/dm}^3$ , iar a fierului  $d_{Fe} = 7,8 \text{ kg/dm}^3$ , să se calculeze care dintre cele două conductoare are secțiune mai mare și masă mai mare.
- De ce la realizarea conductoarelor de bobinaj, a liniilor electrice de transport, distribuție și utilizare a energiei electrice, precum și a contactelor electrice se folosesc materiale conductoare cu înaltă conductivitate electrică ?
- De ce la realizarea rezistoarelor și a elementelor de încălzire electrică se folosesc materiale conductoare cu înaltă rezistivitate ?
- De ce materialele folosite pentru rezistoare în general și pentru rezistoare de precizie și etalon în special trebuie să aibă coeficientul de temperatură al rezistivității cit mai mic ?



### Capitolul 3

## ALIAJE FIER-CARBON

Aliajele feroase se obțin din minereuri de fier, care conțin fierul sub formă de *oxizi* sau *carbonați*.

Procesul de bază la obținerea aliajelor feroase îl reprezintă reducerea oxizilor de fier din minereu cu ajutorul cocsului și oxidului de carbon, la temperaturi înalte, într-un cuptor special numit *furnal*.

Aliajele feroase sînt *fontele* și *oțelurile*, care conțin, pe lângă fier și carbon, și alte elemente ca : *siliciu, mangan, fosfor și sulf*, numite *elemente permanente însoțitoare* ale fierului și carbonului. Ele sînt prezente în aliajele feroase în proporții relativ mici (de ordinul sutimilor sau zecimilor de procent).

### A. FONTE

Se cunosc *fonte brute* sau *fonte de primă topire* și *fonte turnate în piese* sau *fonte de a doua topire*.

#### 1. FONTE BRUTE SAU FONTE DE PRIMĂ TOPIRE

Fontele brute (de primă topire) reprezintă produsul primar al combinatelor siderurgice, fiind obținute prin reducerea minereurilor cu ajutorul cocsului în furnale.

Fontele brute se utilizează numai pentru fabricarea altor aliaje feroase și anume : a *fontelor turnate* și a *oțelurilor*.

Fontele brute au între 3,5 și 4,5% carbon și se clasifică în : *fonte brute nealiat* și *fonte brute aliate*.

● **Fontele brute nealiat** sînt fontele în care siliciul și manganul nu depășesc 5% fiecare.

Fontele brute nealiat, folosite pentru obținerea oțelului, au simbolul FAK și se mai numesc și *fonte de afinare*.

Fontele brute nealiat, folosite pentru obținerea fontelor turnate în piese, au simbolurile FK sau FX, după cum sînt turnate în forme deschise sau în formă de calupuri.

● **Fontele brute aliate** sînt fontele în care siliciul și manganul depășesc 5% fiecare.

Fontele brute aliate se folosesc ca adaos la elaborarea oțelurilor speciale și se simbolizează astfel :

FS — fontă brută silicioasă ;

FOg — fontă brută manganoasă sau oglindă ;

FSOg — fontă silicomanganoasă.

#### 2. FONTE TURNATE ÎN PIESE SAU FONTE DE A DOUA TOPIRE

Aceste fonte se obțin prin retopirea în cuptoare speciale, numite *cubilouri*, a fontei brute împreună cu fontă veche și fondanți.

Ele conțin între 2 și 4,3% carbon și elementele permanent însoțitoare.

În funcție de conținutul elementelor însoțitoare și de condițiile de solidificare se deosebesc : *fonte albe*, *fonte cenușii*, *fonte maleabile*.

● **Fontele albe** au simbolul Fa și conțin : 2,3—3,1% carbon ; 0,6—1,4% siliciu, 0,08% sulf, 0,3—0,5% mangan și pînă la 0,2% fosfor.

Sînt folosite pentru fabricarea pieselor rezistente la uzură și pentru obținerea fontelor maleabile.

● **Fontele cenușii** au simbolul Fc și conțin : peste 2,06% carbon ; 0,5—3,5% siliciu, care îmbunătățește proprietățile de turnare ; 0,08—0,12% sulf, care mărește duritatea și micșorează fluiditatea ; 0,5—0,8% mangan, care micșorează acțiunea dăunătoare a sulfului și 0,2—1% fosfor, care reduce temperatura de topire mărește duritatea și fragilitatea.

Fontele cenușii sînt cele mai utilizate pentru realizarea de piese turnate din fontă în industria construcțiilor de mașini și industria electrotehnică.

● **Fontele maleabile** se obțin din fontele albe printr-un tratament de maleabilitate, care constă într-o încălzire îndelungată (între 20 și 80 h) la 950—970°C, urmată de o răcire foarte înceată pînă la 720°C și apoi o răcire pînă la temperatura ambiantă.

Fontele maleabile se simbolizează prin Fm și sînt foarte utilizate în construcția de mașini pentru fabricarea pieselor mici sau cu pereți subțiri.



## B. OȚELURI

Oțelurile au caracteristici mecanice superioare fontelor, forjându-se și laminându-se. De asemenea, ele pot fi turnate și sudate.

Oțelurile se elaborează din fontă prin reducerea carbonului la 0,04—2,06% și a conținutului de siliciu și mangan.

Există un număr foarte mare de calități de oțeluri, cu utilizări diferite în funcție de proprietățile lor.

### CLASIFICAREA OȚELURILOR

Oțelurile se clasifică după mai multe criterii.

● În funcție de compoziția chimică, se deosebesc : oțeluri nealiate și oțeluri aliate.

● **Oțelurile nealiate** (numite oțeluri carbon), care conțin fier, carbon și elemente însoțitoare în proporții obișnuite, sînt de două feluri :

— *oțeluri carbon obișnuite*, simbolizate cu inițialele OL urmate de un număr de două cifre care exprimă rezistența minimă de rupere la tracțiune, în daN/mm<sup>2</sup> ;

— *oțeluri carbon de calitate*, simbolizate prin OLC, urmat de un număr de două cifre, care exprimă în sutimi procentul de carbon.

● **Oțelurile aliate** conțin pe lângă fier, carbon și elementele însoțitoare și anumite elemente de aliere ca : crom, nichel, wolfram, vanadiu și titan.

Oțelurile aliate sînt denumite după elementul principal de aliere : oțel manganos, oțel nichel, oțel crom-nichel, oțel crom-nichel-mangan, oțel nichel-molibden, oțel silicios, oțel wolfram, oțel cobalt.

*Oțelul manganos* se folosește la rotoarele mașinilor electrice, iar oțelul nichel și oțelul crom-nichel la arbori, carcase pentru mașini supuse vibrațiilor și șocurilor, roți dințate, piese rotitoare pentru mașini cu turații mari.

*Oțelul crom-nichel-mangan* se folosește ca sîrmă pentru bandajarea rotoarelor.

*Oțelul nichel-vanadiu* și *oțelul nichel-molibden* sînt folosite pentru realizarea pieselor deosebit de solicitate.

*Oțelul silicios*, în funcție de procentul de siliciu, se utilizează la realizarea tablei silicioase pentru tole, a carcaselor, scuturilor și polilor mașinilor electrice.

*Oțelul wolfram* se utilizează pentru realizarea de scule așchietoare, matrițe și magneți permanenți.

*Oțelul cobalt* se folosește pentru realizarea magneților permanenți.

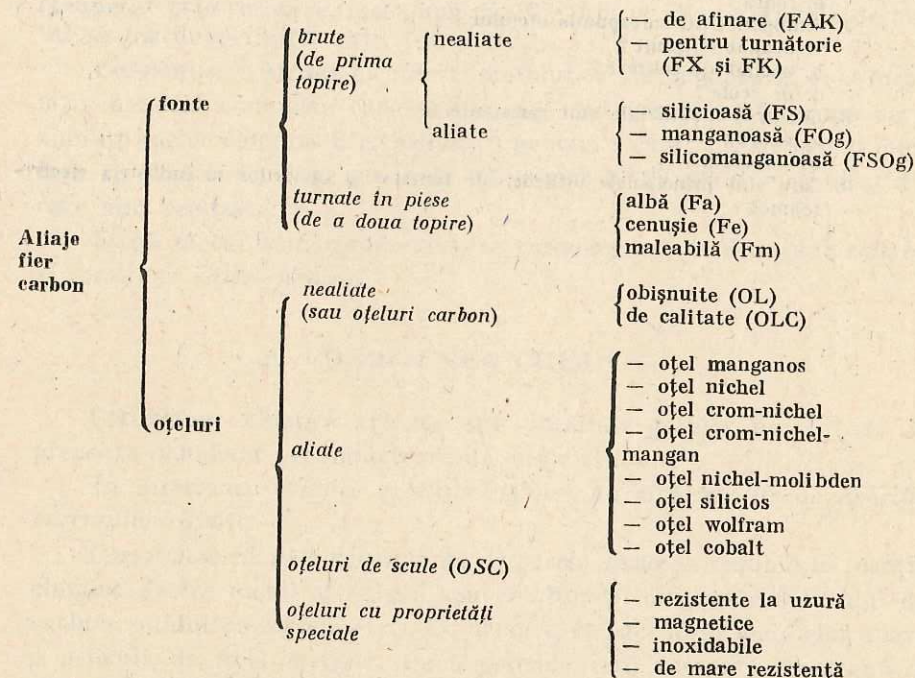
● După destinație oțelurile se clasifică astfel :

— *oțeluri pentru construcții*, destinate construcțiilor metalice (poduri, vagoane etc.) și construcții de mașini (roți, arbori etc.) ;

— *oțeluri pentru scule*, simbolizate prin OSC, urmat de un număr, care indică procentul mediu de carbon ; exemplu OSC 8 reprezintă oțel pentru scule cu 0,8% carbon ;

— *oțeluri speciale*, care sînt : oțeluri cu proprietăți magnetice, folosite la realizarea magneților permanenți ; oțeluri inoxidabile, rezistente la coroziune ; oțeluri de mare rezistivitate și stabilitate, folosite la realizarea de rezistoare ; oțeluri rezistente la uzură ; oțeluri pentru arcuiri etc.

### REZUMAT



Oțelurile se elaborează din fontă prin reducerea procentului de carbon, siliciu, și mangan, în cuptoare speciale, prin procedeul de afinare.



## VERIFICAREA CUNOȘTINTELOR

1. Prin reducerea minereurilor de fier cu ajutorul cocsului în furnale se obține:
  - a. fontă ?
  - b. oțel ?
2. Procentul de carbon este mai mare la:
  - a. fontă ?
  - b. oțel ?
3. Simbolul FAK corespunde fontei brute obișnuite:
  - a. de afinare ?
  - b. pentru turnătorie ?
4. Simbolul FSOg corespunde fontei brute aliată:
  - a. manganoasă ?
  - b. silicioasă ?
  - c. silico-manganoasă ?
5. Fonta maleabilă se obține din:
  - a. fonta cenușie ?
  - b. fonta albă ?
6. Oțelul se obține din:
  - a. minereu de fier ?
  - b. fontă ?
7. Simbolul OLC corespunde oțelului:
  - a. nealiat obișnuit ?
  - b. nealiat de calitate ?
  - c. de scule ?
8. Oțelurile inoxidabile sînt rezistente la:
  - a. uzură ?
  - b. coroziune ?
9. Care sînt principalele utilizări ale fontelor și oțelurilor în industria electro-tehnică ?

## Capitolul 4

### COROZIUNEA METALELOR

*Coroziunea este procesul de degradare lentă și progresivă a metalelor, de la suprafață către interior, sub acțiunea chimică sau electrochimică a mediului înconjurător.* 10

Cunoașterea acestui proces în vederea combaterii lui are deosebită importanță pentru tehnicieni, întrucît pagubele provocate de coroziune ating proporții uriașe. Conform datelor existente, aproape o treime din producția mondială anuală de metal este scoasă din uz ca urmare a coroziunii. Cum numai două treimi din metalul corodat este recuperat prin retopire, înseamnă că 10% din producția anuală de metal se pierde definitiv prin coroziune.

Coroziunea distruge nu numai metalul ca materie brută, ci și instalații metalice complexe care sînt scoase din funcțiune în urma coroziunii pieselor componente, instalații pentru a căror prelucrare și montare se cheltuiesc sume cu mult mai mari decît costul metalului din care sînt realizate.

După mecanismul procesului de corodare există *coroziune chimică* și *coroziune electrochimică*.

#### A. COROZIUNEA CHIMICĂ

Coroziunea chimică are loc sub acțiunea gazelor uscate sau în prezența lichidelor neconductoare de electricitate.

*În coroziunea chimică reacțiile chimice nu sînt însoțite de apariția curentului electric.*

*Coroziunea chimică determinată de gazele uscate se rezumă la reacția chimică dintre metal și oxigen sau combinații oxigenate (dioxidul de carbon, oxidul de carbon etc.). Ca urmare, la suprafața metalelor apare o peliculă de oxid metalic. Dacă pelicula este aderentă, continuă și compactă (lipsită de pori), ea este protectoare. În acest caz metalul s-a pasivizat.*



Peliculele de oxizi protectori sînt : oxidul de cupru, oxidul de aluminiu, oxidul de zinc, oxidul de plumb etc. Spre deosebire de aceştia oxidul de fier nu este protector.

*Coroziunea chimică determinată de lichide neconductoare de electricitate* (uleiuri, benzină, motorină, soluții decapante etc.) se datorește dizolvării metalelor, fără formare de pelicule protectoare.

Coroziunea chimică este favorizată de creșterea temperaturii.

## B. COROZIUNEA ELECTROCHIMICĂ

Coroziunea electrochimică apare la contactul dintre metale diferite, în prezența unor soluții bune conducătoare de electricitate (electroliti).

Ea apare și la suprafața unui metal în contact cu electroliti, datorită prezenței impurităților din structura oricărui metal tehnic.

Principalul electrolit care favorizează apariția electrocoroziunii îl constituie peliculele de umezeală în care sînt dizolvați oxizi de sulf, oxizi de azot, cloruri etc.

*Coroziunea electrochimică este însoțită totdeauna de apariția curentului electric*, care se datorește formării și funcționării unor pile galvanice microscopice sau de dimensiuni mai mari.

Dintre două metale în contact, în prezența unui electrolit, se corodează cel cu potențial electrochimic mai negativ. Metalul cu potențial mai negativ cedează electroni, se încarcă pozitiv și constituie anodul pilei, iar metalul care primește electroni are rol de catod. Anodul, în urma reacțiilor chimice, este dizolvat, deci se corodează.

Potențialele electrochimice ale metalelor s-au stabilit față de potențialul hidrogenului, care s-a considerat egal cu zero.

Seria potențialelor electrochimice la metale este următoarea :

Metal	Mg	Al	Mn	Zn	Cr	Fe	Cd	Ti	Co
Potențial electrochimic, în V	-1,87	-1,3	-1,1	-0,76	0,56	-0,44	-0,40	-0,33	-0,255
	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Ag	Hg	Pt	Au
	-0,25	-0,14	-0,13	0	+0,345	+0,81	+0,86	+0,86	+1,38

În figura 4.1, *a* este reprezentat procesul de corodare a fierului sub un strat protector de nichel, ca urmare a prezenței unui por în stratul de protecție sau a deteriorării acestui strat și infiltrării electrolitului între fier și nichel. Potențialul electrochimic al fierului fiind  $-0,44$  V,

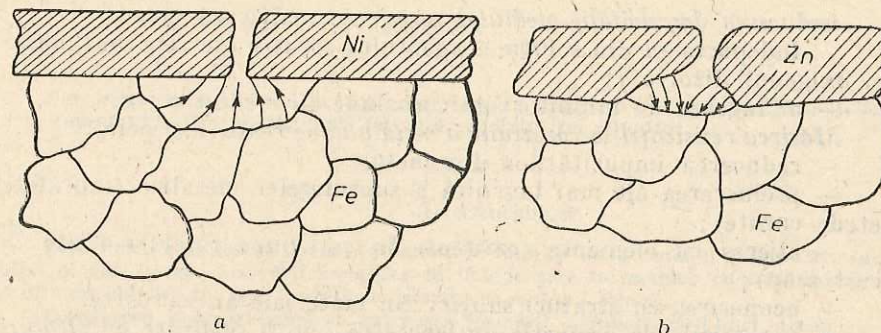


Fig. 4.1. Coroziunea electrochimică :

*a* — fier protejat cu un strat de nichel ; *b* — fier protejat cu un strat de zinc.

iar al nichelului  $-0,25$  V, fierul este mai electronegativ decât nichelul și în consecință are loc un transport de sarcini electrice de la fier la nichel. Ca urmare, fierul se dizolvă în electrolit, corodîndu-se sub stratul de protecție.

Dacă se protejează fierul cu un strat de zinc (fig. 4.1, *b*), transportul de sarcini electrice are loc de la zinc la fier, deoarece zincul cu potențial  $-0,76$  V este mai electronegativ decât fierul. Prin urmare, în acest caz se corodează stratul de protecție.

Coroziunea electrochimică este influențată de numeroși factori ca : structura și starea suprafeței metalului, temperatura, concentrația oxigenului dizolvat în soluție.

Viteza de desfășurare a procesului de corodare poate fi modificată de un număr de substanțe chimice prezente în soluție sau în atmosfera umedă.

Cele care grăbesc corodarea se numesc *acceleratori*, iar cele care încetinesc corodarea se numesc *inhibitori*.

Coroziunea în atmosferă este în principal coroziune electrochimică, deoarece în atmosferă există totdeauna umiditate. Coroziunea în atmosferă este mai pronunțată în zonele industriale și pe litoralul mărilor și se accentuează iarna.

## C. PROTECȚIA METALELOR ÎMPOTRIVA COROZIUNII

Protecția metalelor împotriva coroziunii se poate obține pe două căi :

- prin reducerea agresivității mediului corosiv ;
- prin mărirea rezistenței la coroziune a metalului (pasivizarea lui).



*Reducerea agresivității mediului corosiv* se realizează prin :

- îndepărtarea din soluție a agentului corosiv (de cele mai multe ori oxigenul dizolvat) ;

- adăugarea de inhibitori de coroziune în mediul corosiv.

*Mărirea rezistenței la coroziune a metalului* se realizează prin :

- reducerea impurităților din metale ;
- prelucrarea cât mai îngrijită a suprafețelor metalice (suprafețe netede curate) ;

- alierea cu elemente rezistente la coroziune (oțeluri aliate în acest scop) ;

- acoperirea cu straturi subțiri din materiale anticorrosive.

● **Acoperirile de protecție anticorrosive** pot fi realizate cu *straturi de natură organică* (unsori, vopsele, lacuri, emailuri, bitumuri etc.) sau cu *straturi de natură anorganică* (oxizi, fosfați, cromăți etc.).

Straturile de natură anorganică se utilizează și în scop decorativ.

Peliculele de oxizi și fosfați aderă bine la suprafața metalului suport, dar sînt fragile și poroase.

● **Acoperirile cu straturi metalice protectoare**, care au o răspîndire tot mai largă, pot fi depuse prin următoarele metode :

- *prin galvanizare* (depunere electrochimică) se depun straturi protectoare de : zinc, cadmiu, nichel, crom, staniu și argint ;

- *prin cufundare la cald* stratul protector se depune, introducîndu-se piesa de protejat într-o baie de metal protector topit, și apoi răcind-o în aer. Pe această cale se depune : zincul, plumbul, staniul (metale ușor fuzibile) ;

- *prin difuzie termică* (depunere termochimică) metalul protector, în stare de vapori și în prezența unor săruri, pătrunde în metalul de protejat. Temperaturile de difuzie sînt mai ridicate decît temperaturile de topire ale metalelor de difuzie. Se depun pe această cale : zincul, aluminiul, cromul ;

- *prin șprîțuire* se împrăștie metalul de protecție în stare topită, cu ajutorul unor pistoale cu aer comprimat, pe suprafața curățată a piesei de protejat. Metalele care se depun pe această cale sînt : aluminiul, zincul, cadmiul, staniul, plumbul, cuprul, nichelul, fierul și unele aliaje ca bronzul și oțelul inoxidabil ;

- *prin placare*, care este o metodă mecano-termică, se produce adeziunea intimă a metalelor, obținută prin laminare sau presare la cald sau la rece. Se plachează cuprul cu aluminiul obținîndu-se cupal ; oțelul cu cupru, cu nichel, cu oțel inoxidabil, cu titan, cu tantal ; dur-aluminiul cu foi de aluminiu ;

- *prin depuneri în vid* stratul depus este foarte uniform și perfect aderent, deoarece depunerile se fac în vid înaintat.

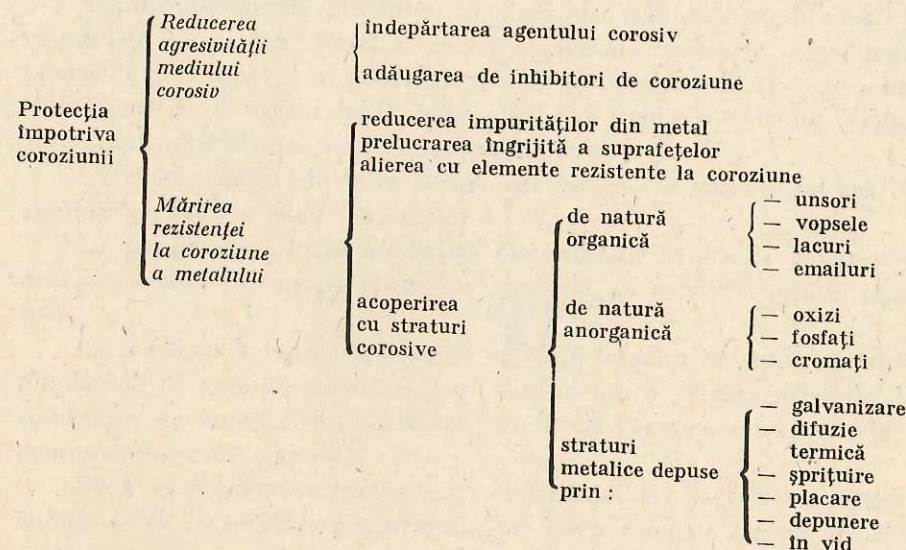
Coroziunea este procesul de degradare lentă și progresivă a metalelor și aliajelor de la suprafață către interior, sub acțiunea mediului înconjurător.

Coroziunea { chimică  
                  { electrochimică

**Coroziunea chimică** se datorește reacțiilor chimice între metal și gaze uscate (de obicei oxigenul) sau dizolvării metalelor în lichide care nu conduc curentul electric. Coroziunea chimică nu este însoțită de apariția curentului electric.

**Coroziunea electrochimică** se datorește formării și funcționării unei pile microscopice sau de dimensiuni mai mari. Ea este însoțită de apariția curentului electric.

Substanțele care grăbesc corodarea se numesc *acceleratori*, iar cele care încetinesc corodarea se numesc *inhibitori*.



VERIFICAREA CUNOȘTINTELOR

1. Care sînt condițiile de apariție a coroziunii chimice ?
2. Care sînt condițiile de apariție a coroziunii electrochimice ?
3. Care sînt deosebirile între coroziunea chimică și electrochimică ?
4. În pilele galvanice care se formează la coroziunea electrochimică, metalul care se corodează este :
  - a. anod ?
  - b. catod ?



5. Dacă cuprul cositorit prezentînd pori în stratul de staniu se află în prezența unui electrolit, este corodat :
  - a. cuprul ?
  - b. staniul ?
6. Dacă o piesă de fier este protejată cu un strat de crom care prezintă fisuri permițînd infiltrarea unui electrolit, se corodează :
  - a. fierul ?
  - b. cromul ?
7. Care sînt factorii care influențează coroziunea ?
8. Care sînt metalele care se depun prin cufundare la cald pe metalele slab rezistente la coroziune :
  - a. ușor fuzibile ?
  - b. greu fuzibile ?
9. Depunerea de straturi protectoare prin difuzie are loc la temperatură :
  - a. mai ridicată ?
  - b. mai coborîtă decît temperatura de topire a metalului de difuzie ?
  - c. egală cu temperatura de topire a metalului de difuzie. ?

## Capitolul 5

### MATERIALELE SEMICONDUCTOARE

#### A. INTRODUCERE

Materialele semiconductoare sînt materiale care, din punctul de vedere al conductivității electrice, ocupă o poziție intermediară între materialele conductoare și materialele electroizolante.

Semiconductoarele alcătuiesc o clasă de substanțe numeroase și răspîndite în natură. Practic, oxizii de metale, sulfurile, seleniurile, telururile etc., precum și o serie de elemente simple, cum sînt carbonul (sub formă de grafit), telurul, borul, fosforul, arseniul, seleniul, cesiul, germaniul, siliciul sînt materiale semiconductoare.

La aceste materiale între banda energetică (de valență) și cea de conducție există o bandă interzisă.

La temperaturi joase nu există electroni în banda de conducție, deci semiconductoarele, la aceste temperaturi, nu conduc curentul electric.

La creșterea temperaturii crește agitația termică, iar unii electroni din banda de valență capătă energii suplimentare și trec în banda de conducție, devenind electroni liberi, caz în care semiconductorul poate conduce curentul electric.

Deci, *la materialele semiconductoare rezistivitatea (inversul conductivității) scade cu creșterea temperaturii, iar coeficientul de creștere a rezistivității cu temperatura are totdeauna valori negative.*

Conducția electrică la semiconductoare poate apărea numai dacă se transmite din exterior energie, ca : energie termică, electromagnetică (luminoasă) etc., capabilă să asigure electronilor din banda de valență energii suficient de mari pentru a sări în banda de conducție.

În funcție de modul în care poate să apară conductivitatea electrică se deosebesc : *semiconductoare cu conductivitate intrinsecă și semiconductoare cu conductivitate extrinsecă.*



## B. SEMICONDUCTOARE CU CONDUCTIVITATE INTRINSECĂ

Conductivitatea intrinsecă apare numai la materialele semiconductor pure.

În figura 5.1 se consideră o secțiune printr-un cristal de germaniu, în care se observă că între atomi se realizează o legătură chimică covalentă (fig. 5.1, a). Prin această legătură chimică, în jurul fiecărui nucleu al atomului de germaniu se găsesc câte opt electroni: patru aparțin nucleului respectiv, iar ceilalți patru celorlalți atomi cu care formează legătura covalentă. Prin urmare fiecare electron de valență are o atracție dublă.

La temperatura camerei, datorită agitației termice, o parte din electronii de valență părăsesc legătura covalentă și devin electroni liberi (de conducție). Fiecare electron de valență devenit electron liber, lasă în urma lui o legătură chimică nesatisfăcută sau un gol (fig. 5.1, b).

Perechi electron-gol pot fi generate nu numai pe cale termică, ci și datorită unui aport de energie de altă natură.

Sub influența unui câmp electric  $E$ , electronul de conducție se deplasează cu viteza  $v_e$ , în sens invers câmpului. Sub acțiunea aceluiași câmp exterior, un electron de valență aflat în vecinătatea golului va avea energie suficientă pentru a se deplasa și a ocupa locul liber. La rândul său, electronul care a ocupat locul liber lasă în urma lui un gol care poate fi ocupat de un alt electron de valență din vecinătate ș.a.m.d. Are loc o deplasare a electronilor de valență în sens invers câmpului și în același timp o deplasare a locului liber (golului) în sensul câmpului.

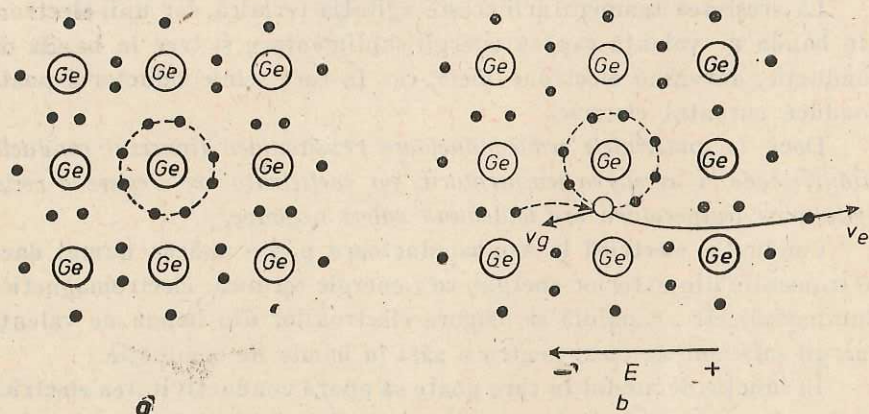


Fig. 5.1. Reprezentarea în plan a unei porțiuni dintr-un cristal de germaniu pur : a — cristalul nu conduce curent electric ; b — cristalul poate conduce curent electric.

Golurile se comportă ca niște particule încărcate cu sarcină electrică pozitivă, care se deplasează în sensul câmpului cu viteza  $v_g$  ( $v_g = v_e$ ).

Deci, la materialele semiconductor pure electronii liberi și golurile care apar sînt perechi (numărul de electroni liberi este egal cu numărul de goluri).

La aceste semiconductor conductivitatea electrică apare atât prin deplasarea electronilor liberi (de conducție) în sens invers câmpului, cît și prin deplasarea electronilor de valență în sens invers câmpului (sau a golurilor în sensul câmpului electric).

## C. SEMICONDUCTOARE CU CONDUCTIVITATE EXTRINSECĂ

Conductivitatea extrinsecă apare la semiconductor care sînt impurificate în mod special cu alte elemente, impurificate, care se mai numește și dătarea semiconductorului sau doparea semiconductorului.

În funcție de elementele folosite pentru impurificare există două tipuri de semiconductor extrinseci: tip n și tip p.

### 1. SEMICONDUCTOARE DE TIP n

Aceste semiconductor se obțin prin dătarea semiconductorului pur cu atomi pentavalenți de: fosfor, arsen, bismut, stibiu, în concentrații mici de ordinul  $10^{-7}$ .

În figura 5.2, a se presupune dătarea germaniului cu fosfor. Din cei cinci electroni de valență ai fosforului, reprezentați măriți în desen,

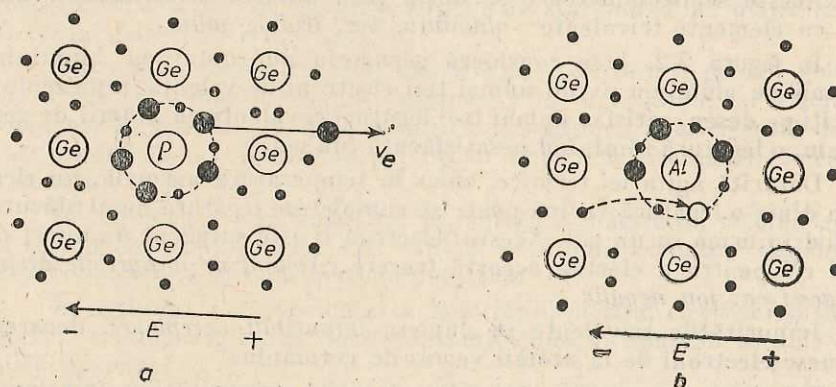


Fig. 5.2. Reprezentarea în plan a unei porțiuni dintr-un cristal de germaniu impurificat :

a — impurificator cu fosfor ; b — impurificator cu aluminiu.



patru dintre ei vor forma legături covalente cu atomii vecini de germaniu, la fel ca într-un semiconductor pur. Al cincilea electron al fosforului va fi atras numai de nucleul propriu, deci va avea o legătură mai slabă. Acestui electron îi este suficient un aport de energie de numai 0,05 eV pentru a deveni electron liber, față de 0,76 eV pentru producerea unei perechi electron-gol în germaniu. În consecință, la temperatură obișnuită, practic, toți atomii impurităților pentavalente pierd al cincilea electron, care devine electron de conducție, iar *atomul de impuritate devine ion pozitiv*. Acești electroni de conducție nu lasă în urma lor goluri, deoarece ei nu provin din legături covalente.

Impuritățile pentavalente reprezintă sursa de electroni de conducție pentru semiconductor și de aceea sînt numite *impurități donoare*.

Simultan cu apariția electronilor de conducție generați de impurități, apar și perechi electron-gol ca și la semiconductoarele pure. Ca urmare, la aceste semiconductoare numărul total de electroni de conducție este totdeauna mai mare decît numărul de goluri („sarcini pozitive“).

În consecință, la semiconductoarele cu impurități pentavalente electronii (sarcini negative) reprezintă purtători majoritari de sarcină, iar golurile (sarcini pozitive) reprezintă purtători minoritari.

*Conductivitatea electrică datorîndu-se în principal sarcinilor negative (electronilor liberi), semiconductorul se numește de tip n.*

## 2. SEMICONDUCTOARE DE TIP *p*

Aceste semiconductoare se obțin prin dotarea semiconductorului pur cu elemente trivalente: *aluminiu, bor, iridiu, galiu*.

În figura 5.2, *b* se consideră germaniu pur dotat cu aluminiu. Atomii de aluminiu avînd numai trei electroni de valență reprezentați măriți pe desen, satisfac numai trei legături covalente cu atomii de germaniu, o legătură rămînînd nesatisfăcută (un gol).

Datorită agitației termice, chiar la temperatură normală, un electron dintr-o legătură vecină poate să completeze legătura nesatisfăcută, lăsînd în urma sa un gol. Acestui electron îi este suficient un aport de 0,04 eV pentru a efectua această trecere. *Atomul de impuritate devine în acest caz ion negativ*.

Impuritățile trivalente se numesc *impurități acceptoare*, deoarece primesc electroni de la atomii vecini de germaniu.

Simultan cu apariția golurilor datorită impurităților trivalente, apar și perechi electron-gol, astfel încît numărul de goluri este mai mare decît numărul de electroni liberi. Deci, golurile (sarcini pozitive)

reprezintă purtători majoritari de sarcină, iar electronii purtători minoritari.

*Conductivitatea electrică datorîndu-se în principal, în acest caz „sarcinilor pozitive“, semiconductorul se numește de tip p.*

## D. RECOMBINAREA PURTĂTORILOR DE SARCINĂ

În oricare semiconductor apare simultan cu procesul de generare a purtătorilor de sarcină (electroni și goluri) un proces de dispariție a lor prin captarea electronilor de conducție de către goluri.

*Prin recombinare, electronii liberi devin electroni de valență, iar golul dispare.*

Intervalul de timp între generarea și dispariția unui purtător de sarcină se numește  *timpul de viață al purtătorului*.

Alături de rezistivitate, timpul de viață al purtătorului de sarcină reprezintă o caracteristică importantă a semiconductorului.

## E. JONCTIUNEA *pn*

Se numește joncțiune *pn*, zona de contact între două regiuni ale aceluiași cristal de semiconductor, o regiune dotată cu impurități acceptoare, de tip *p* — și o regiune dotată cu impurități donoare, de tip *n* (fig. 5.3, *a*).

În regiunea *n* purtători majoritari sînt electronii și golurile purtători minoritari, iar în regiunea *p* golurile sînt purtători majoritari și electroni purtători minoritari.

Din cauza concentrațiilor diferite de electroni și goluri, golurile vor trece prin joncțiunea din regiunea *p* în regiunea *n*, iar electronii vor trece în sens invers, din regiunea *n* în regiunea *p*. La această deplasare participă în primul rînd purtătorii mobili de sarcină din imediata vecinătate a joncțiunii.

În regiunea *p*, din imediata vecinătate a joncțiunii, plecînd goluri și sosînd electroni, aceștia sînt captați de atomii acceptori ionizîndu-i negativ; apare o sarcină spațială negativă.

În regiunea *n*, în vecinătatea joncțiunii, plecînd electroni și sosînd goluri, acestea ionizează pozitiv atomii donori; apare o sarcină spațială pozitivă.

Deci de o parte și de alta a joncțiunii apar două straturi cu sarcini electrice, de semne contrare. Această regiune cu sarcini spațiale se numește *regiune de trecere* (zonă desenată hașurat în fig. 5.3, *a*).



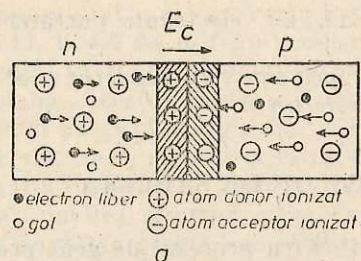
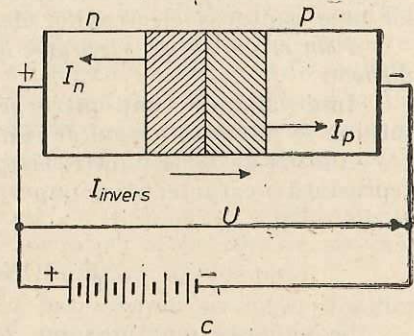
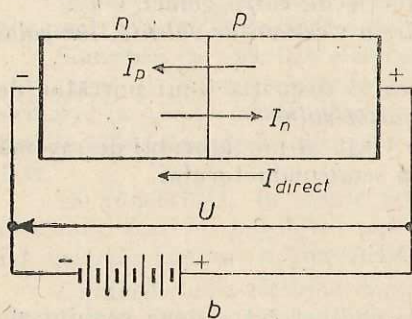


Fig. 5.3. Joncțiunea pn: a - joncțiunea pn nepolarizată; b - joncțiunea pn polarizată direct; c - joncțiunea pn polarizată invers.



În această regiune, datorită sarcinilor spațiale de semne contrare apare un câmp electric orientat dinspre regiunea  $n$  spre regiunea  $p$  (de la sarcini pozitive la sarcini negative), numit *câmp de contact*  $E_c$ .

Acest câmp electric împiedică trecerea în continuare a purtătorilor de sarcină, deoarece sarcina spațială pozitivă din regiunea de trecere împiedică difuzia golurilor din  $p$  în  $n$ , iar sarcina spațială negativă din regiunea de trecere împiedică difuzia electronilor din  $n$  în  $p$ .

Se creează astfel o stare de echilibru, în care transportul de electroni și de goluri încetează.

### 1. JONCȚIUNEA pn POLARIZATĂ DIRECT

Polarizarea directă a unei joncțiuni se face cu ajutorul unei surse de tensiune electrică exterioară, legîndu-se borna pozitivă a sursei la regiunea  $p$  și borna negativă la regiunea  $n$  (fig. 5.3, b).

Tensiunea aplicată creează un câmp electric  $E$ , orientat de la  $p$  la  $n$ , care are sens invers câmpului de contact  $E_c$ .

Deoarece câmpul aplicat are valoare mai mare decît câmpul de contact, deplasarea purtătorilor de sarcină este determinată de acest

câmp. Electronii din regiunea  $n$  atrași de potențialul pozitiv al sursei, trec cu ușurință prin joncțiune, iar golurile din  $p$  difuzează prin suprafața de contact spre potențialul negativ al sursei.

În concluzie, prin joncțiunea  $pn$  polarizată direct se stabilește un curent electric, care se numește *curent direct* și are sensul „convențional” de la  $p$  la  $n$ . *Intensitatea curentului direct crește repede cu creșterea tensiunii de polarizare directă.*

### 2. JONCȚIUNEA pn POLARIZATĂ INVERS

Polarizarea inversă a joncțiunii  $pn$  se obține prin legarea bornei minus a sursei de tensiune la regiunea  $p$  și a bornei plus la regiunea  $n$  (fig. 5.3, c).

Cîmpul electric produs de această tensiune este orientat în același sens cu câmpul de contact  $E_c$ , întărind acțiunea acestuia. Electronii din regiunea  $n$ , fiind atrași de potențialul pozitiv al sursei, se depărtează de suprafața de contact (joncțiune); iar golurile din regiunea  $p$ , atrase de potențialul negativ, se depărtează și ele de joncțiune.

Ca urmare, în dreapta și stînga joncțiunii apare o zonă sărăcită de purtători de sarcină, zonă denumită *strat de blocare* (zona hașurată în desen).

Această zonă are o rezistență electrică foarte mare, prin care nu circulă curent electric determinat de purtători majoritari.

În circuit se stabilește totuși un curent extrem de mic datorat purtătorilor minoritari (perechi electron-gol) ca urmare a agitației termice denumit *curent invers*, cu sensul „convențional” de la  $n$  la  $p$ . *Intensitatea curentului invers este practic independentă de tensiunea de polarizare inversă.*

Datorită stratului de blocare, joncțiunea  $pn$  are proprietatea de a lăsa să circule curentul într-un singur sens, proprietate folosită la redresarea curentului alternativ.

Funcționarea tuturor dispozitivelor semiconductoare se bazează pe procesele fizice care au loc în joncțiunea  $pn$ .

Dioda semiconductoare este o joncțiune  $pn$ , tranzistorul are două joncțiuni  $pn$ , iar alte dispozitive semiconductoare conțin trei sau mai multe joncțiuni.

### F. ELEMENTE SEMICONDUCTOARE

Principalele elemente semiconductoare sînt: *germaniul, siliciul și seleniul*. În afara acestora și telurul, fosforul, arseniul, antimoniul, grafitul sînt elemente semiconductoare, dar cu proprietăți mai slabe.



● **Germaniul** este un element tetravalent și se găsește în natură sub formă de minereu de germaniu, numit *germanită*, care conține 3—10% germaniu.

Germaniul are numărul atomic  $Z = 32$ , densitatea 5,33 kg/dm<sup>3</sup> la 25°C și temperatura de topire 970°C.

El este un metal de culoare alb-argintie, foarte dur și casant și se relucează extrem de greu.

Din punct de vedere chimic, germaniul este stabil, fiind atacat de puțini acizi și baze.

Apa nu are nici o influență asupra germaniului.

Se dizolvă într-un amestec de acid azotic și acid fluorhidric chiar la temperatura camerei.

Cu hidrogenul se combină formînd hidruri, iar cu oxigenul dă oxidul de germaniu GeO și bioxidul de germaniu GeO<sub>2</sub>.

Caracteristicile electrice sînt influențate de concentrația și felul impurităților conținute în el.

● **Siliciul** este un element tetravalent, deosebit de răspîndit în natură sub formă de silicați și bioxid de siliciu (cuart). Este al doilea element ca răspîndire după oxigen și reprezintă 25,75% din scoarța pămîntului.

Siliciul are numărul atomic  $Z = 14$ , densitatea 2,33 kg/dm<sup>3</sup> și temperatura de topire 1 400°C.

Are culoare cenușie-albastră și luciu metalic.

În combinație cu hidrogenul dă *silani*, care sînt folosiți în tehnica dispozitivelor semiconductoare (diode, redresoare, celule fotoelectrice, circuite integrate etc.). Nu este atacat de acizii clorhidric și sulfuric dar este atacat de hidroxizii de sodiu și potasiu și de amestecul de acid azotic cu acid fluorhidric.

Siliciul prezintă avantajul că își menține caracteristicile și la temperaturi ridicate (150—200°C).

● **Seleniul** face parte din grupa a VI-a a sistemului periodic și spre deosebire de germaniu și siliciu, care sînt elemente cristaline, el poate fi atît cristalin, cît și amorf.

Seleniul are numărul atomic  $Z = 34$ , densitatea în stare cristalină 4,46 kg/dm<sup>3</sup> și temperatura de topire 170°C.

Seleniul este foarte sensibil în aer și nu reacționează cu apa, în schimb reacționează ușor cu clorul și fluorul, iar la cald reacționează cu oxigenul. Cu metalele formează seleniuri.

Este unul dintre primele semiconductoare folosite la realizarea redresoarelor și celulelor fotoelectrice.

Pe lîngă elementele semiconductoare, în tehnică sînt folosite și combinații semiconductoare ca : sulfura de zinc, sulfura de cadmiu, carbura de siliciu, oxidul cupros sau cuproxidul, amestecuri de oxizi etc.

● **Sulfurile** sînt substanțe fluorescente, adică prezintă proprietatea de a emite o radiație luminoasă un anumit timp după ce au primit o radiație de excitație (raze X, ultraviolete, catodice, fascicule de particule nucleare etc.). Datorită acestei proprietăți materialele fluorescente sînt utilizate în iluminatul modern prin descărcări în gaze, pentru fabricarea ecranelor osciloscopelor, televizoarelor etc.

● **Carbura de siliciu** își micșorează mult rezistivitatea cu creșterea tensiunii. Carbura de siliciu este folosită pentru realizarea *varistoarelor* folosite pentru protecția liniilor electrice împotriva supratensiunilor.

● **Oxizii** își micșorează rezistivitatea cu creșterea temperaturii și sînt folosiți la fabricarea *termistoarelor*, utilizate la măsurări de temperaturi, limitarea curentului într-un circuit electric, ca de exemplu limitarea curentului la pornirea motoarelor electrice.

REZUMAT

La temperaturi joase materialele semiconductoare nu conduc curentul electric, deoarece nu au electroni liberi.

Conducția electrică apare la materialele semiconductoare numai dacă se transmite din exterior energie suficientă pentru ca electronii de valență să sară în banda de conducție.

Semiconductoare {  
cu conductivitate intrinsecă  
cu conductivitate extrinsecă { de tip *n*  
de tip *p*

Conductivitatea intrinsecă apare numai la semiconductoarele pure și se datorește în egală măsură electronilor (sarcini negative) și golurilor (sarcini pozitive), care se găsesc în număr egal în semiconductor.

Conductivitatea extrinsecă apare la semiconductoare impurificate în mod voit cu elemente pentavalente sau elemente trivalente.

La semiconductoarele de tip *n*, obținute prin dotare cu elemente pentavalente electronii liberi sînt în număr mai mare decît golurile și constituie purtătorii majoritari, iar golurile purtătorii minoritari. Conductivitatea electrică la aceste semiconductoare datorindu-se în principal electronilor liberi (sarcinilor negative), semiconductoarele se numesc de tip *n*.



La semiconductoarele de tip *p*, obținute prin dotare cu elemente trivalente, golurile sînt în număr mai mare decît electronii liberi și constituie purtătorii majoritari, iar electronii liberi purtători minoritari. Conductivitatea electrică la aceste semiconductoare datorîndu-se în principal golurilor (sarcinilor pozitive), semiconductoarele se numesc de tip *p*.

Joncțiunea *pn* se obține din două semiconductoare în contact, unul de tip *n* și celălalt de tip *p*.

Joncțiunea *pn* permite trecerea curentului, numit curent direct, cînd se leagă polul negativ al sursei de tensiune la semiconductorul *n* și polul pozitiv la semiconductorul *p*.

Joncțiunea *pn* este străbătută de un curent electric extrem de mic, numit curent invers, cînd polul negativ al sursei de tensiune se leagă la semiconductorul *p* și polul pozitiv la semiconductorul *n*. În acest caz se spune că joncțiunea *pn* nu conduce curent electric.

Deci joncțiunea *pn* permite trecerea curentului electric într-un singur sens, proprietate folosită la redresarea curentului alternativ.

Materiale semi- conductoare	{	elemente semiconductoare	{ germaniu siliciu seleniu
		compuși semiconductori	{ sulfuri (sulfura de zinc, sulfura de cadmiu etc.), carburi (carbura de siliciu) oxizi (oxidul cupros, amestecuri de oxizi de crom, mangan, fier, cobalt, nichel etc.)

#### VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Curentul electric în semiconductoare se datorește :
  - a. electronilor liberi ?
  - b. golurilor ?
  - c. electronilor liberi și golurilor ?
2. În semiconductorul intrinsec numărul de electroni liberi, față de numărul golurilor este :
  - a. mai mare ?
  - b. egal ?
  - c. mai mic ?
3. Semiconductorul de tip *n* se obține prin dotare cu elemente :
  - a. trivalente ?
  - b. tetravalente ?
  - c. pentavalente ?
4. Semiconductorul de tip *p* se obține prin dotare cu elemente :
  - a. trivalente ?
  - b. tetravalente ?
  - c. pentavalente ?
5. Elementele pentavalente folosite la dotare sînt pentru semiconductor surse de :
  - a. electroni ?
  - b. goluri ?

6. Elementele trivalente folosite la dotare sînt pentru semiconductor surse de :
  - a. electroni ?
  - b. goluri ?
7. Electronii elementelor pentavalente care devin electroni liberi și nu provin din legături covalente :
  - a. lasă în urma lor goluri ?
  - b. nu lasă în urma lor goluri ?
8. Cîmpul electric de contact *E* care apare la joncțiunea *pn* are sensul :
  - a. de la *p* la *n* ?
  - b. de la *p* la *n* ?
9. Semnul convențional al curentului direct în joncțiunea *pn* polarizată direct (+ pe *p* și - pe *n*) este :
  - a. de la *n* la *p* ?
  - b. de la *p* la *n* ?



## Capitolul 6

### MATERIALE ELECTROIZOLANTE

Materialele electroizolante numite și *dielectrice* sînt caracterizate de o rezistivitate electrică deosebit de mare cuprinsă între  $10^{12}$  și  $10^{23}$   $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .

Ele servesc pe de o parte la izolarea electrică între elementele conductoare de curent electric, care se găsesc la potențiale electrice diferite, și a elementelor conductoare față de pămînt, iar pe de altă parte, ca dielectric în condensatoarele electrice.

Materialele electroizolante sînt cele mai numeroase materiale electrotehnice, numărul lor fiind în continuă creștere, datorită în special chimiei macromoleculare, care în ultimele trei decenii s-a dezvoltat considerabil. Cu toate că numărul lor este foarte mare, nu există însă materiale electroizolante care să corespundă în totalitate din punct de vedere electric, mecanic, chimic, termic, să aibă cost redus și fiabilitate ridicată.

Materialele electroizolante fiind cele care își pierd mai repede proprietățile (îmbătrînesc) în comparație cu materialele conductoare și magnetice, determină de fapt durata de serviciu a echipamentelor și instalațiilor în care sînt utilizate (mașini și aparate electrice, transformatoare electrice, linii electrice de transport, distribuție și utilizare a energiei electrice etc.).

#### A. DIELECTRICUL ÎN CÎMPUL ELECTRIC

Dielectricii se deosebesc de materialele conductoare prin existența unui număr extrem de mic de electroni liberi, care pot să se orienteze într-un cîmp electric, materialul fiind străbătut în acest caz de un *curent de conducție* extrem de mic, numit și *curent de scurgere*. Existența acestui curent de scurgere arată că rezistivitatea electrică a materialelor electroizolante este foarte mare, dar nu infinită (dacă  $\rho$  ar fi infinit,  $\gamma$  ar fi zero și dielectricul ar fi izolant ideal).

În materialele electroizolante situate în cîmp electric, pe lângă fenomenul de conducție (aparitia curentului de scurgere), apare și un al doilea fenomen numit *de polarizare*. Se deosebesc două tipuri de dielectrici: *nepolari* și *polari*, fenomenul de polarizare manifestîndu-se în funcție de tipul dielectricului.

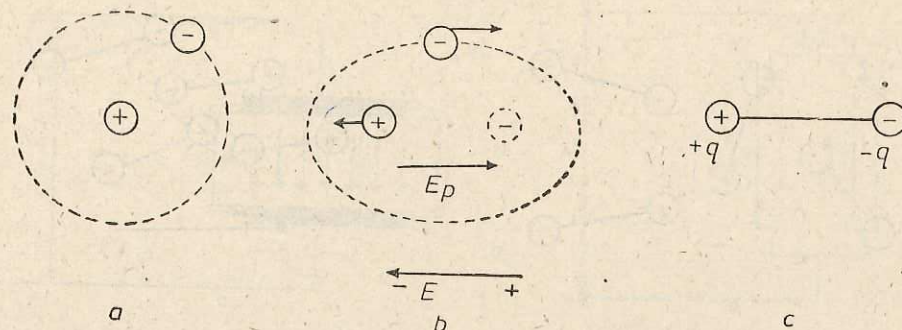


Fig. 6.1. Polarizarea dielectricilor nepolari:  
a — atom în absența cîmpului electric; b — atom în prezența cîmpului electric;  
c — dipol electric.

● **Dielectricii nepolari**, în lipsa cîmpului electric, sînt neutri din punct de vedere electric. Aceasta înseamnă că sarcinile negative ale electronilor repartizați în jurul nucleului se comportă ca o sarcină negativă rezultantă, care are centrul de acțiune în centrul nucleului, astfel încît sarcina rezultantă negativă se compensează total cu sarcina pozitivă a nucleului și atomul sau molecula nu manifestă în exterior nicio proprietate electrică (fig. 6.1, a).

Dacă un astfel de atom (de exemplu, atomul de hidrogen) se găsește într-un cîmp electric  $E$  (fig. 6.1., b), nucleul pozitiv va fi deplasat în sensul cîmpului, iar orbita electronului se modifică, astfel încît centrul său de acțiune (reprezentat punctat în desen) se schimbă și nu mai coincide cu punctul în care se află nucleul. Datorită acestui cîmp exterior nucleul și electronii suferă mici deplasări, astfel încît atomul se comportă ca și cum ar fi format din două sarcini egale și de semn contrar  $+q$  și  $-q$  (fig. 6.1, c). Acest ansamblu de sarcini egale și de semne contrare, situate la mică distanță între ele, se numește *dipol*.

Fenomenul de formare a dipolilor se numește *polarizarea dielectricului*.

Dipolul produce un cîmp electric propriu  $E_p$ , avînd sens contrar cîmpului aplicat  $E$ .

Pentru valori mari ale cîmpului electric, deplasarea sarcinilor electrice atinge o valoare limită după care are loc distrugerea (străpungerea) dielectricului, în urma căruia dielectricul pierde proprietățile de izolant.

La dispariția cîmpului electric  $E$  încetează și polarizarea.

● **Dielectricii polari** sînt dielectrici ai căror atomi formează dipoli și în absența cîmpului electric.

La acești dielectrici dipolii sînt așezați dezordonat în material, iar cîmpul electric rezultat al dielectricului este nul (fig. 6.2, a).



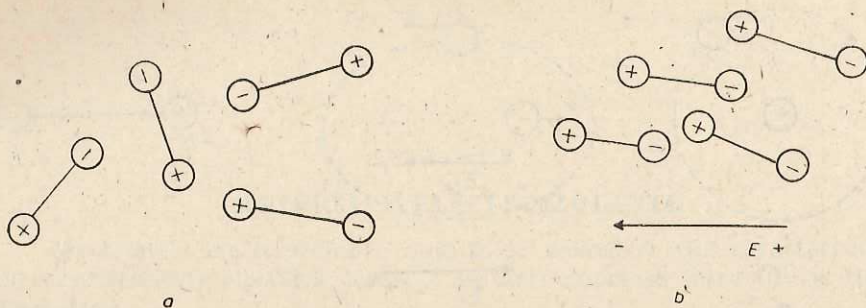


Fig. 6.2. Polarizarea dielectricilor polari :

a — dipoli în absența câmpului electric ; b — dipoli în prezența câmpului electric.

Sub influența câmpului electric exterior dipolii tind să se rotească astfel, încât axele lor să coincidă cu direcția câmpului exterior (fig. 6.2, b).

Deci, fenomenul de polarizare constă în formarea, sub influența câmpului electric exterior, de dipoli în cazul materialelor nepolare sau într-o rotire a dipolilor la materialele polare.

Ca urmare a fenomenului de polarizare apare un curent electric numit *curent de polarizare*.

La aplicarea unui câmp electric continuu, în dielectric apar curenți de conducție și de polarizare, iar cei de polarizare dispar într-un interval de timp foarte scurt ( $10^{-3} \dots 10^{-15}$  s, timp în care se formează, respectiv se orientează dipolii).

La aplicarea unui câmp electric alternativ curenții de conducție și de polarizare se mențin pe toată durata aplicării câmpului.

Curenții de conducție și de polarizare produc pierderi de energie care încălzesc materialul și determină îmbătrânirea.

## B. PROPRIETĂȚILE ELECTRICE ALE MATERIALELOR ELECTROIZOLANTE

Proprietățile electrice sînt determinate de cele două fenomene care apar în dielectrici : de conducție și de polarizare.

Aceste proprietăți sînt :

- rezistivitatea de volum și rezistivitatea de suprafață ;
- constanta dielectrică (permitivitatea dielectrică) ;
- rigiditatea dielectrică ;
- tangenta unghiului de pierderi.

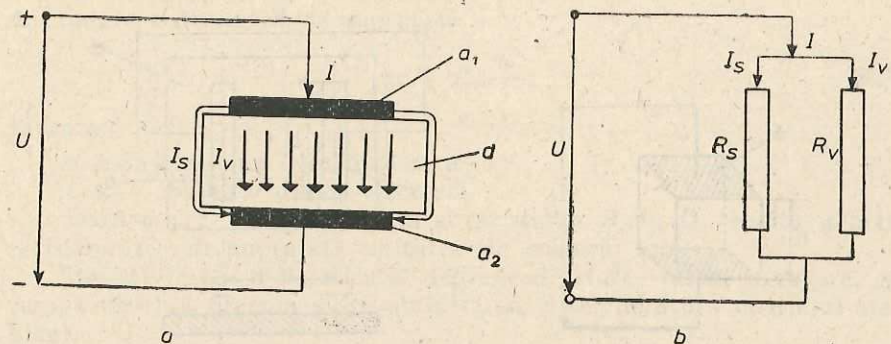


Fig. 6.3. Curentul de scurgere în cazul unui dielectric solid :

a — dielectric supus unei tensiuni continue ; b — schema echivalentă a dielectricului supus tensiunii continue.

● **Rezistivitatea de volum și rezistivitatea de suprafață și respectiv rezistența de volum și rezistența de suprafață** sînt proprietăți ale materialului, legate de fenomenul de conducție electrică.

Este știut că orice dielectric real nu este un izolator electric perfect ; de aceea, în timpul funcționării dielectricul permite trecerea unui curent electric. Acest curent de scurgere este extrem de mic în comparație cu curenții care trec prin elementele conductoare ale instalației electrice.

Curentul de conducție are două căi de trecere prin dielectric : prin masa (volumul) dielectricului și pe suprafața acestuia. În figura 6.3, a s-a reprezentat dielectricul \$d\$, așezat între două armături metalice \$a\_1\$ și \$a\_2\$, între care se aplică *tensiunea continuă* \$U\$.

Curentul total (curentul de scurgere \$I\$) care se stabilește are două componente : *curentul* \$I\_v\$, care trece între cele două armături prin volumul dielectricului și *curentul* \$I\_s\$, care trece de la o armătură la cealaltă pe suprafața dielectricului. Adică :

$$I = I_v + I_s. \quad (6.1)$$

Trecînd prin cele două căi, curentul întîmpină o *rezistență de volum* \$R\_v\$ și o *rezistență de suprafață* \$R\_s\$.

Rezistența totală a dielectricului \$R\_{tz}\$ se determină astfel :

$$R_{tz} = \frac{U}{I}, \quad (6.2)$$

în care :

$$R_{tz} = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s}, \quad (6.3)$$

deoarece cele două rezistențe \$R\_v\$ și \$R\_s\$ sînt legate în paralel (fig. 6.3, b).



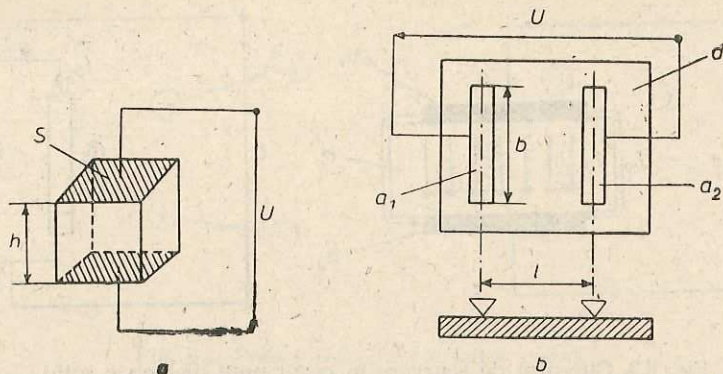


Fig. 6.4. Schema de principiu pentru determinarea rezistivității la dielectrice solizi :  
 a — de volum ; b — de suprafață.

○ Rezistența unității de volum este rezistența specifică de volum și se numește *rezistivitate de volum*.

● **Rezistivitatea de volum**  $\rho_v$  este definită ca rezistența electrică, măsurată în curent continuu, a unui cub din dielectric cu latură egală cu unitatea (fig. 6.4, a).

Rezistența de volum este :

$$R_v = \rho_v \frac{h}{S}, \quad (6.4)$$

de unde, rezistivitatea de volum :

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h}, \quad (6.5)$$

în care :

$S$  este aria unei fețe a cubului ;

$h$  — înălțimea cubului.

Dacă  $h$  se exprimă în m,  $S$  în  $m^2$  și  $R_v$  în  $\Omega$ , rezultă pentru rezistivitatea de volum unitatea de măsură  $\Omega m$ . Alte unități de măsură pentru  $\rho_v$  sînt :  $\Omega cm$  și  $\Omega mm^2/m$ .

Rezistența unității de suprafață este rezistența specifică de suprafață și se numește *rezistivitate de suprafață*.

**Rezistivitatea de suprafață**  $\rho_s$  este definită ca rezistența electrică măsurată în curent continuu, a unei suprafețe de dielectric ( $d$ ) delimitată de doi electrozi în formă de cuțit ( $a_1$  și  $a_2$ ) (fig. 6.4, b).

Rezistența de suprafață este :

$$R_s = \rho_s \frac{l}{b}, \quad (6.6)$$

de unde rezistivitatea de suprafață :

$$\rho_s = R_s \frac{b}{l}, \quad (6.7)$$

în care :

$b$  este lungimea electrozilor-cuțit ;

$l$  — distanța dintre electrozi.

Dacă  $b$  și  $l$  se exprimă în m și rezistența  $R_s$  în  $\Omega$ , rezultă pentru rezistivitatea de suprafață unitatea de măsură  $\Omega$ .

Rezistivitatea dielectricului depinde de starea lui de agregare, de compoziția lui, precum și de umiditatea și temperatura mediului ambiant.

● **Constanta dielectrică sau permitivitatea dielectrică** este o proprietate a materialului legată de fenomenul de polarizare electrică.

În figura 6.5 se consideră un dielectric avînd grosimea  $d$  și așezat între două armături, fiecare avînd suprafața  $S$ . S-a obținut astfel un condensator electric.

Dacă acestui condensator i se aplică o tensiune continuă  $U$ , armăturile condensatorului se încarcă cu sarcini egale și de semn contrar  $+Q$  și  $-Q$ , iar dacă condensatorului i se aplică o tensiune alternativă, semnul sarcinilor pe armături se inversează în permanență.

Această sarcină  $Q$  este proporțională cu tensiunea  $U$  aplicată (cu cît tensiunea  $U$  este mai mare, cu atît și sarcina  $Q$  este mai mare), deci :

$$Q = CU, \quad (6.8)$$

unde  $C$  este factor de proporționalitate și poartă numele de *capacitate electrică a condensatorului*.

Capacitatea condensatorului este cu atît mai mare, cu cît suprafața  $S$  a armăturilor este mai mare și cu cît distanța  $d$  dintre armături este mai mică.

Se înțelege că capacitatea mai depinde și de natura dielectricului care există între cele două armături. Mărimea care caracterizează fiecare dielectric din acest punct de vedere se numește *constantă dielectrică absolută* sau *permitivitate absolută* și se notează cu  $\epsilon$  (se citește epsilon).

Prin urmare, se poate scrie expresia capacității sub forma :

$$C = \epsilon \frac{S}{d}. \quad (6.9)$$

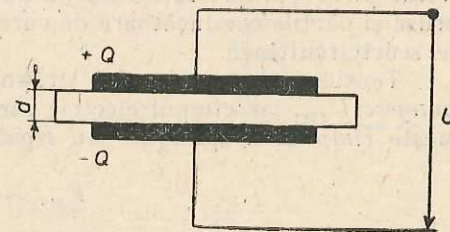


Fig. 6.5. Condensator electric.



Permitivitatea absolută este dată de relația :

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r, \quad (6.10)$$

în care :

$\epsilon_0$  este permitivitatea vidului avînd, în sistemul internațional de unități, valoarea  $\frac{1}{4\pi \cdot 10^9}$  și unitatea de măsură farad pe

metru (F/m) ;

$\epsilon_r$  — permitivitatea relativă a dielectricului reprezentînd raportul dintre capacitatea condensatorului avînd între armături dielectricul considerat și capacitatea aceluiași condensator (cu aceeași suprafață a armăturilor și cu aceeași distanță între armături) avînd ca dielectric vidul :

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}, \quad (6.11)$$

în care :

$C$  este capacitatea condensatorului cu dielectricul considerat ;

$C_0$  — capacitatea condensatorului cu dielectricul vid.

Pentru determinarea capacităților  $C$  și  $C_0$  încercările se fac la tensiune alternativă, deoarece permitivitatea relativă fiind legată de fenomenul de polarizare, curentul de polarizare trebuie să se mențină pe toată durata încercării (la tensiune continuă curentul de polarizare dispare după  $10^{-13} \dots 10^{-15}$  s).

Permitivitatea relativă nu are unitate de măsură, întrucît reprezintă raportul dintre două mărimi de aceeași natură.

Permitivitatea  $\epsilon_r$  are valoarea 1 pentru vid, se consideră 1 pentru toți dielectricii gazoși și poate ajunge la valori pînă la 10 000 pentru compuși ai bariului.

● **Rigiditatea dielectrică** este o proprietate a materialului legată de fenomenul de străpungere (pierderea proprietăților de izolanț) sub influența cîmpului electric.

Există o anumită valoare a cîmpului electric pentru care dielectricul pierde proprietățile de izolanț, rezistența de izolație  $R_{iz}$  scade brusc și părțile conducătoare de curent, care erau izolate prin dielectric se scurtcircuitează.

Tensiunea la care are loc străpungerea se numește *tensiune de străpungere*  $U_{str}$ , iar cîmpul electric corespunzător acestei tensiuni se numește *cîmp de străpungere* sau *rigiditate dielectrică*, definit de relația :

$$E_{str} = \frac{U_{str}}{d}, \quad (6.12)$$

în care  $d$  este grosimea dielectricului.

Rigiditatea dielectrică are unitatea de măsură kV/cm sau kV/mm. Este clar că dielectricii nu se utilizează la tensiuni care să determine străpungerea lor.

*Dielectricii gazoși și lichizi își refac proprietățile izolante după străpungere îndată ce cîmpul electric dispare, în timp ce dielectricii solizi se distrug prin străpungere.*

● **Tangenta unghiului de pierderi** este o proprietate a materialului legată atît de fenomenul de conducție, cît și de fenomenul de polarizare, fenomene care determină pierderi electrice în dielectrici.

În cazul în care dielectricul este supus unei tensiuni continue, pierderile de energie în dielectric se datoresc numai curentului de conducție, care fiind foarte mic și pierderile corespunzătoare sînt mici.

În cazul tensiunii alternative, aceste pierderi (determinate, pe lîngă curentul de conducție și de curentul de polarizare) sînt mult mai mari și, transformîndu-se în căldură, îmbătrînesc materialul sau în cazul cel mai rău îl distrug.

În figura 6.6, a se consideră un condensator electric alimentat cu tensiune alternativă.

Dacă dielectricul condensatorului ar fi ideal (nestrăbătut de curenți), curentul care se stabilește în circuit între cele două armături, prin sursă ar fi defazat înaintea tensiunii cu un unghi  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  (fig. 6.6, b).

Pierderile în dielectric reprezintă putere :

$$P = UI \cos \varphi, \quad (6.13)$$

și cum  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , deci  $\cos \varphi = 0$ , rezultă  $P = 0$  la dielectricul ideal.

Pentru dielectricul real curentul  $I$  este defazat față de tensiune cu un unghi  $\varphi < \frac{\pi}{2}$  (fig. 6.6, c).

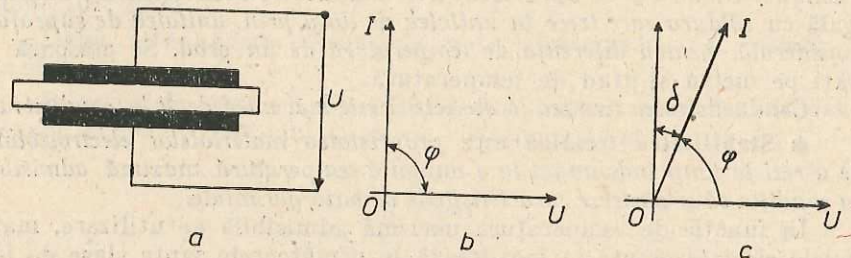


Fig. 6.6. Unghiul de pierderi în dielectric :  
a — condensator alimentat cu tensiune alternativă ; b — defazajul dintre tensiune și curent în cazul dielectricului ideal ; c — defazajul dintre tensiune și curent în cazul dielectricului real.



Complementul unghiului de defazaj se notează cu  $\delta$  ( $\delta = \frac{\pi}{2} - \varphi$ ) și se numește *unghi de pierderi*. El este cu atât mai mare cu cât curentul care trece prin dielectric este mai mare.

S-a stabilit că pierderile în dielectricii supuși la tensiuni alternative sînt proporționale cu tangenta acestui unghi.

Pentru diverși dielectrici tg  $\delta$  variază între  $10^{-1}$  și  $10^{-4}$ .

Un bun izolant trebuie să aibă tg  $\delta$  cît mai mică.

### C. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE MATERIALELOR ELECTROIZOLANTE

● **Higroscopicitatea** este *proprietatea dielectricului de a absorbi umiditatea din mediul ambiant*.

Ea depinde de compoziția chimică și structurală, precum și de porozitatea materialului.

Higroscopicitatea influențează tangenta unghiului de pierderi, care crește mult o dată cu creșterea umidității din material, și rezistivitatea de volum  $\rho_v$ , care scade cu creșterea umidității.

● **Densitatea**  $d = \frac{\text{masa}}{\text{volum}}$ , se exprimă în kg/dm<sup>3</sup>.

● **Porozitatea**  $p$  este *raportul dintre volumul porilor  $V_p$  și volumul total  $V_t$  al unei mostre de material*:

$$p(\%) = \frac{V_p}{V_t} 100. \quad (6.14)$$

La materialele electroizolante pe bază de celuloză porozitatea poate atinge valori pînă la 50%.

● **Conductibilitatea termică** reprezintă *proprietatea materialului de a conduce căldura și se apreciază prin conductivitatea termică, numeric egală cu căldura care trece în unitatea de timp prin unitatea de suprafață considerată, pentru diferența de temperatură de un grad*. Se măsoară în wați pe metru și grad de temperatură.

*Conductivitatea termică la dielectrici este mai mică decît la conductoare.*

● **Stabilitatea termică** este *proprietatea materialelor electroizolante de a rezista timp îndelungat la o anumită temperatură maximă admisibilă cu condiția să-și păstreze caracteristicile de bază garantate*.

În funcție de temperatura maximă admisibilă de utilizare, materialele electroizolante se încadrează în următoarele șapte clase de izolație: Y, A, E, B, F, H, C, cărora le corespund următoarele temperaturi maxime admisibile de utilizare: 90, 105, 120, 130, 155, 180 și peste 180°C.

● **Stabilitatea la temperaturi scăzute** este *proprietatea materialelor electroizolante de a-și menține principalele caracteristici electrice și mecanice în condițiile temperaturilor scăzute (de ordinul -60 pînă la -70°C)*.

● **Punctul de aprindere și punctul de inflamabilitate** reprezintă *temperatura cea mai joasă la care un material emite o cantitate suficientă de vapori, care poate da cu aerul înconjurător un amestec combustibil*.

Amestecul combustibil se poate aprinde cu ajutorul unei flăcări, caz în care se determină *punctul de inflamabilitate* sau se poate aprinde singur, caz în care se determină *punctul de aprindere*.

● **Solubilitatea** este *proprietatea materialelor electroizolante de a se putea dizolva într-o substanță lichidă numită solvent*.

Solubilitatea se apreciază după cantitatea maximă de substanță care poate fi dizolvată în solventul dat, adică după concentrația soluției saturate (%).

● **Stabilitatea chimică** reprezintă *rezistența materialelor față de acizi, gaze, apă, baze, săruri solubile etc.*

### D. CARACTERISTICILE MECANICE

Caracteristicile mecanice sînt: *rezistența la tracțiune, compresiune încovoiere, rezistența la oboseală, duritatea, rezistența*, proprietăți care au fost definite în capitolul 2.B.

### E. MATERIALE ELECTROIZOLANTE GAZOASE

La materialele electroizolante gazoase constanta dielectrică este aproximativ egală cu 1 și rezistivitatea electrică (de volum) este de ordinul  $10^{15}$   $\Omega\text{cm}$ .

După străpungere, izolația la materialele gazoase se reface instantaneu.

Principalele gaze electroizolante sînt: aerul, azotul, hidrogenul, neonul, argonul, criptonul și gazele electronegative.

#### 1. AERUL

Aerul la presiune normală este prezent în toate dispozitivele și instalațiile electrotehnice, iar în unele dintre acestea și la presiuni ridicate sau foarte scăzute.



El este lipsit de toxicitate, dar exercită în timp, mai ales sub acțiunea curentului electric, o acțiune corosivă asupra unor metale, o acțiune de degradare asupra unor materiale electroizolante și de oxidare a uleiurilor.

Rigiditatea dielectrică a aerului în câmp uniform și în condiții normale de temperatură și presiune este de 32 kV/cm.

## 2. AZOTUL

Azotul are aproximativ aceleași caracteristici ca și aerul, fără însă să favorizeze oxidarea uleiurilor și a materialelor electroizolante.

El se utilizează împreună cu un gaz inert la umplerea baloanelor lămpilor cu incandescență, ca dielectric în condensatoarele de înaltă tensiune, precum și la transformatoare cu ulei — perne de azot — pentru evitarea oxidării uleiului.

Sub presiune, azotul este utilizat la umplerea unor cabluri de înaltă tensiune.

## 3. HIDROGENUL

Hidrogenul este cel mai ușor gaz.

Din cauza densității sale reduse (de 14,14 ori mai mică decât cea a aerului), frecările în mașinile electrice rotative sînt de două ori mai mici la utilizarea hidrogenului ca mediu de răcire în locul aerului, permițînd creșterea puterii față de mașini identice răcite cu aer.

Conductivitatea termică a hidrogenului este de aproximativ șapte ori mai mare decât cea a aerului și capacitatea de răcire de 1,5 ori mai mare; rigiditatea dielectrică este 0,6—0,7 din cea a aerului.

Amestecul de hidrogen cu aerul în anumite proporții este exploziv.

Hidrogenul se utilizează ca mediu de răcire în special la mașinile electrice cu turație mare (la turbogeneratoare).

În atmosferă de hidrogen izolația mașinilor electrice îmbătrînește mai lent, din cauza absenței oxigenului.

## 4. GAZELE ELECTRONEGATIVE

Se numesc astfel, datorită tendinței lor de a absorbi electronii liberi cu care vin în contact, micșorînd astfel șansele de formare a arcului electric dintre doi electrozi sau ajutînd la stingerea sa, dacă s-a format.

Cel mai utilizat gaz electronegativ, folosit în aparatura de înaltă tensiune, este hexafluorura de sulf ( $SF_6$ ). Acesta este un gaz inert și neinflamabil, de cinci ori mai greu decât aerul și cu rigiditate dielectrică de 2,2 ori mai mare decât cea a aerului.

În anumite condiții, hexafluorura de sulf corodează cuprul, alumiuniul și oțelul, din cauza conținutului de sulf.

Sub acțiunea arcului electric hexafluorura de sulf se descompune în gaze toxice (compuși de sulf fluorurați).

În prezent se prevăd perspective pentru gazele perfluorocarbonil, acestea avînd stabilitate termică mai ridicată cu 50—100°C decât hexafluorura de sulf (se utilizează la temperaturi de 200—250°C).

Alt gaz electronegativ cu denumirile comerciale Frigen 12 sau Freon 12 (în Germania) și Genetron 12 (în S.U.A.) este folosit ca izoant și ca agent de răcire (de exemplu la frigiderele electrice).

## F. MATERIALE ELECTROIZOLANTE LICHIDE

Materialele electroizolante lichide sînt materialele care în timpul exploatării se găsesc în stare lichidă.

Ele prezintă, ca și gazele, avantajul că ocupă toate spațiile libere și după străpungere se regenerează instantaneu.

Sînt mai grele și mai scumpe decât gazele, dar transmit mai bine căldura.

Majoritatea dielectricilor lichizi sînt inflamabili, se oxidează în timp, dau amestecuri gazoase inflamabile sau toxice și atacă într-o oarecare măsură materialele conductoare și electroizolante solide cu care vin în contact.

Ca dielectrici lichizi se utilizează uleiurile minerale, uleiurile sintetice și hidrocarburi aromatice (benzen, toluen etc.) utilizate ca solvenți în compoziția lacurilor electroizolante.

### 1. ULEIURI MINERALE

Uleiurile minerale sînt produse naturale obținute din țitei prin distilare fracționată.

După utilizările lor, uleiurile minerale se împart în următoarele sorturi: ulei de transformator, ulei de cablu, ulei de condensator.

● Uleiul de transformator servește ca izolanț în transformator și la răcirea transformatorului.



El izolează înfășurările (între ele și față de miezul feromagnetic) și evacuează pierderile din transformator în timpul funcționării, contribuind la răcirea lui.

Uleiul de transformator se utilizează și la întreruptoare electrice.

Proprietățile esențiale ale uleiului variază cu compoziția lui și sînt următoarele :

- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta \approx 10^{-3}$  ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 2,2 \dots 2,4$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 125 \dots 150$  kV/cm ;
- rezistivitatea,  $\rho > 10^{12}$   $\Omega\text{cm}$  (la 20°C) ;
- punctul de inflamabilitate minim,  $\theta_{i, min} = 125 \dots 135^\circ\text{C}$  ;
- temperatura maximă admisibilă de exploatare,  $\theta_{max} = 90^\circ\text{C}$  ;
- viscozitate mică (pentru o bună circulație a uleiului în transformator).

Aceste proprietăți se verifică prin încercări pe probe luate periodic din transformatoarele și întreruptoarele aflate în exploatare,

● **Uleiul de cablu** se utilizează fie pentru impregnarea hîrtiei la cablurile izolate cu hîrtie, fie la cabluri cu circulație de ulei.

Uleiul folosit pentru impregnarea hîrtiei este viscos la temperatura de exploatare (10...60°C) și fluid la temperatura de 130°C de impregnare a hîrtiei.

Uleiul folosit la cablurile cu circulație de ulei trebuie să fie fluid, asemănător cu uleiul de transformator.

Proprietățile uleiului de cablu sînt următoarele :

- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 2,17 \dots 2,31$  ;
- punctul de inflamabilitate minim,  $\theta_{i, min} = 150 \dots 170^\circ\text{C}$  (pentru uleiul de circulație ) și 250...270°C (pentru uleiul de impregnare).

● **Uleiul de condensator** se utilizează pentru impregnarea hîrtiei de izolație a condensatoarelor.

Este uleiul mineral, bine rafinat, cu tangenta unghiului de pierderi ( $\text{tg } \delta$ ) mai mică de  $10^{-3}$ .

Acest ulei, avînd permitivitatea relativă  $\epsilon_r$  mică, condensatoarele în care se folosește ca dielectric au dimensiuni mari, motiv pentru care el este înlocuit cu uleiuri sintetice.

## 2. ULEIURI VEGETALE

Uleiurile vegetale numite și uleiuri sicative (de in și de tung) sînt utilizate la fabricarea lacurilor electroizolante.

Ca și uleiurile minerale, uleiurile vegetale sînt tot uleiuri naturale.

## 3. ULEIURI SINTETICE CLORURATE

Aceste uleiuri poartă diferite denumiri comerciale : askareli (S.U.A., Franța, Anglia), clophen (Germania), sovol și sovtol (U.R.S.S.).

Ele prezintă mai multe *avantaje* față de uleiurile minerale, : nu sînt inflamabile, nu se oxidează sub acțiunea arcului electric, se descompun dar nu dau gaze inflamabile.

În schimb au *dezavantajele* : conductibilitate termică mai mică și acțiune corosivă mai puternică asupra materialelor electroizolante cu care vin în contact. De asemenea, acidul clorhidric, care se dezvoltă prin descompunerea askareliilor, este toxic și corosiv.

Uleiurile sintetice au permitivitatea relativă dublă față de uleiurile minerale :  $\epsilon_r = 4,5 \dots 6$ , ceea ce a determinat folosirea lor la condensatoarele electrice, obținîndu-se reduceri de volum de 40—50% față de condensatoarele cu ulei mineral.

În transformatoare, avantajul askareliilor este neinflamabilitatea lor. Ei pot fi utilizați și la întrerupătoare, deoarece sub acțiunea arcului electric nu produc gaze inflamabile.

Pe lângă uleiurile sintetice clorurate există și *uleiuri sintetice fluorurate și uleiuri sintetice siliconice\**. Acestea din urmă se pot utiliza la temperaturi de exploatare pînă la 200°C.

Toate uleiurile sintetice sînt mult mai scumpe decît uleiurile minerale.

## G. MATERIALE ELECTROIZOLANTE SOLIDE, ORGANICE

Cea mai mare parte din materialele electroizolante sînt materiale organice, adică compuși ai carbonului.

Numărul extrem de mare de combinații organice cunoscute (aproximativ un milion) în comparație cu cele anorganice (aproximativ 40 000) se explică prin proprietatea atomilor de carbon de a se putea uni între ei cu legături simple, duble sau triple.

### 1. RĂȘINI

Rășinile sînt substanțe macromoleculare (care conțin peste 1 000 de atomi de moleculă) naturale sau sintetice, termoplaste sau termorigide.

\* *Siliconii* sînt compuși organici ai siliciului, rezistenți la temperaturi ridicate și cu bună stabilitate chimică.



Rășina termoplastă la căldură se înmoaie și se topește reversibil adică după răcire poate fi retopită.

Rășina termorigidă (sau termoreactivă) nu se înmoaie la căldură, însă se transformă ireversibil, adică se carbonizează.

### a. Rășini naturale

Rășinile naturale sînt produsul fiziologic al unor vietăți, produsul unor arbori rășinoși sau obținute din arbori rășinoși aflați în pământ în descompunere.

● **Șelacul** este produsul fiziologic al unor vietăți care trăiesc în India și în Birmania, fiind depus pe ramurile arborilor.

Substanța, curățată de impurități, se topește și la răcire se obține sub formă de solzi subțiri și fragili.

Caracteristicile șelacului sînt :

- temperatura de topire,  $\theta_t = 75 \dots 80^\circ\text{C}$  ;
- temperatura de înmuiere,  $\theta_m = 50 \dots 60^\circ\text{C}$  ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 3,5$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 30 \text{ kV/mm}$  ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16} \Omega\text{cm}$  ;
- rezistivitatea de suprafață,  $\rho_s = 10^{14} \Omega$ .

Șelacul este substanță termorigidă. Se dizolvă în alcool, acid acetic, acid formic etc. Are bune proprietăți de înclieiere.

Se utilizează în special la fabricarea lacurilor de lipit, de impregnare și ca liant la fabricarea materialelor plastice.

● **Colofoniul (sacizul)** se obține din rășina unor conifere.

Caracteristicile colofoniului sînt :

- temperatura de topire,  $\theta_t = 120 \dots 155^\circ\text{C}$  ;
- temperatura de înmuiere,  $\theta_m = 50 \dots 70^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16} \Omega\text{cm}$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 10 \dots 15 \text{ kV/mm}$ .

Colofoniul este solubil în alcool, uleiuri, hidrocarburi, acid acetic etc. Prin dizolvarea în uleiuri minerale se obține „masa galbenă” folosită la impregnarea hîrtiei pentru izolația cablurilor de înaltă tensiune sau umplerea manșoanelor căblurilor electrice.

La temperatura de  $150^\circ\text{C}$  colofoniul dizolvă oxidul de cupru și ca urmare acestei proprietăți este folosit drept flux la lipirea cuprului. Se mai folosește la prepararea lacurilor și compundurilor.

● **Copalurile** sînt rășini fosile.

Chihlimbarul este o varietate de copal și se găsește și în munții Buzăului.

Caracteristicile chihlimbarului sînt :

- temperatura de topire,  $\theta_t = 250 \dots 330^\circ\text{C}$  ;
- temperatura de înmuiere,  $\theta_m = 95 \dots 200^\circ\text{C}$  ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{17} \dots 10^{19} \Omega\text{cm}$ .

Copalurile sînt foarte nehigroscopice și se utilizează la fabricarea unor lacuri care dau pelicule dure și nehigroscopice.

### b. Rășini sintetice

Macromoleculele acestor rășini se obțin prin gruparea moleculelor mici (monomeri), sub efectul presiunii și temperaturii, și în prezența unui catalizator prin următoarele reacții: *polimerizare*, *policondensare* și *poliadifiție*.

*Polimerizarea* este o reacție în lanț care se realizează fără eliminare de produse secundare de reacție, astfel încît macromolecula are aceeași compoziție chimică ca și monomerul.

*Policondensarea* este o reacție în trepte care se poate intrerupe în orice moment, pentru a putea fi apoi continuată. Se realizează cu eliminarea de produse de reacție (de obicei apă).

*Poliadifiția* este o reacție în trepte în care nu se separă produse secundare de reacție.

● **Rășinile sintetice de polimerizare** cele mai utilizate sînt: polistirenul, polietilena, policlorura de vinil, politetrafluoretilena.

○ *Polistirenul* (fig. 6.7, b) are ca monomer stirenul (fig. 6.7, a). Polistirenul este o rășină transparentă, termoplastă și nepolară. Polistirenul are proprietăți electrice foarte bune, este nehigroscopic, are temperatură de înmuiere scăzută și reziliență mică, este inflamabil. Masa moleculară variază între 40 000 și 50 000.

Caracteristicile polistirenului sînt :

- densitatea,  $d = 1,05 \text{ kg/dm}^3$  ;
- rezistivitatea de volum (la  $20^\circ\text{C}$ ),  $\rho_v = 10^{14} \dots 10^{17} \Omega\text{cm}$  ;

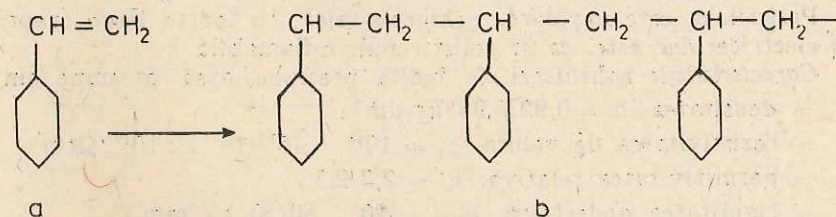
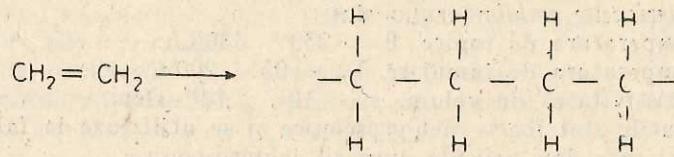


Fig. 6.7. Formula chimică pentru :  
a — stiren ; b — polistiren.





a.

b.

Fig. 6.8. Formula chimică pentru :  
a — etilenă (etenă) ; b — polietilenă.

- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 2,2 \dots 2,4$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 50 \dots 70$  kV/mm ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 2 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$ .

Poliesterul se utilizează în special în domeniul frecvențelor înalte sub formă de piese, plăci, tuburi, folii, fire, precum și ca bază în lacurile electroizolante.

Din polistiren se realizează carcase de bobine, socluri de tuburi electronice, capace, bacuri de acumulare și înlocuiește chihlimbarul în aparatele de măsurat.

Pentru realizarea de folii și fire se utilizează polistiren obținut printr-un procedeu de tensionare mecanică (procedeu denumit styroflex), îmbunătățindu-se mult rezistența mecanică și flexibilitatea materialului.

Folii de grosimi între 10 și 150  $\mu\text{m}$  sint utilizate ca dielectric în condensatoare și pentru izolarea cablurilor de înaltă frecvență.

○ *Polietilena* (fig. 6.8, b) are ca monomer etilena (etenă) (fig. 6.8, a).

Dacă polimerizarea se realizează la presiune înaltă la 1 000—2 000 at și temperaturi de 200—300°C se obține polietilena de înaltă presiune și densitate mică, cu masa moleculară de 10 000—50 000.

Dacă polimerizarea se realizează la presiuni reduse și temperaturi de 20—70°C se obține polietilena de joasă presiune și densitate mare, cu masa moleculară de 50 000—1 000 000.

Polietilena este nepolară, nehigroscopică, cu foarte bune proprietăți electrice, dar este, ca și polistirenul, inflamabilă.

*Caracteristicile polietilenei* de înaltă presiune/joasă presiune sint :

- densitatea,  $d = 0,92/0,96$  kg/dm<sup>3</sup> ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16}/10^{17} \dots 10^{19}$   $\Omega\text{cm}$  ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 2,3/2,3$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 20 \dots 50/50$  kV/mm ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 2 \cdot 10^{-3} \dots 8 \cdot 10^{-4}/3 \cdot 10^{-4} \dots 6 \cdot 10^{-4}$ .

Foliile de polietilenă se utilizează pentru izolarea cablurilor submarine, a cablurilor telefonice și a cablurilor utilizate în medii chimic agresive. Foliile de polietilenă se mai utilizează și ca dielectric în condensatoare, precum și la asamblarea produselor care se transportă peste mări.

Polietilena se utilizează ca izolație a conductoarelor de bobinaj pentru motoarele electrice care funcționează sub apă și pentru cabluri de înaltă frecvență, izolarea realizându-se prin extrudare.

○ *Policlorura de vinil* (fig. 6.9, b) are ca monomer clorura de vinil (fig. 6.9, a).

Policlorura de vinil nu se utilizează ca rășină pură, ci ca material plastic, adică un amestec cuprinzând pe lângă rășina respectivă și plastifianți, umplutură, coloranți și stabilizatori.

Policlorura de vinil care conține plastifianți se numește *PVC moale*, iar dacă nu conține plastifianți se numește *PVC tare (dură)*.

Policlorura de vinil este un material polar, cu proprietăți electrice mult mai slabe decât ale polistirenului și polietilenei, proprietăți care se înrăutățesc și mai mult dacă conține plastifiant.

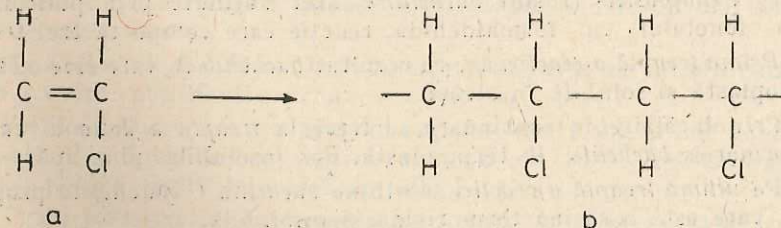
Policlorura de vinil rezistă bine la acțiunea ozonului, a uleiului mineral și are rezistența mare la îmbătrânire.

Caracteristicile policlorurii de vinil moale/dură sint :

- densitatea,  $d = 1,38/1,38$  kg/dm<sup>3</sup> ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{11} \dots 10^{16}$   $\Omega\text{cm}$  ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 4 \dots 7/3 \dots 4$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 50 \dots 75/40 \dots 50$  kV/mm ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 15 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-1}/15 \cdot 10^{-4} \dots 4 \cdot 10^{-2}$ .

Policlorura de vinil este rășina de polimerizare cea mai utilizată la frecvență industrială.

Nu se utilizează la frecvențe înalte din cauza valorii mari a  $\text{tg } \delta$  și nici în curent continuu, din cauza fenomenului de electroliză care poate apărea dacă materialul conține săruri.



a.

b.

Fig. 6.9. Formula chimică pentru :  
a — clorură de vinil ; b — policlorură de vinil.



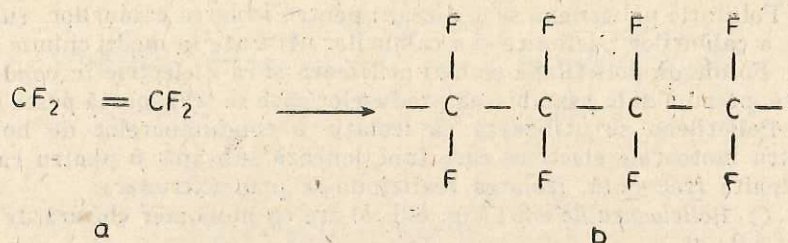


Fig. 6.10. Formula chimică pentru :  
 a - tetrafluoretilenă ; b - politetrafluoretilenă.

Se utilizează sub formă de plăci, tuburi, folii, fire, piese de diverse forme obținute prin turnare.

Cu policlorura de vinil pot fi utilizate conductoarele și cablurile, prin extrudare.

○ *Politetrafluoretilena* (PTFE) (fig. 6.10, b) are ca monomer tetrafluoretilena (fig. 6.10, a).

Politetrafluoretilena are mare stabilitate la temperatură, putînd fi utilizată între  $+ (200 \dots 250^\circ\text{C})$  și  $-65^\circ\text{C}$ . Are bună stabilitate chimică, este dielectric nepolar cu foarte bune *caracteristici electrice* și anume :

- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{16} \dots 10^{19} \Omega \cdot \text{cm}$  ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 2$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 20 \dots 90 \text{ kV/mm}$  ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 2 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ .

Politetrafluoretilena se utilizează în aplicațiile unde se cere mare stabilitate termică și chimică, la frecvență industrială și la frecvențe înalte.

Prelucrarea ei este însă dificilă și are cost ridicat.

● **Rășinile sintetice de policondensare**, cele mai utilizate sînt : fenoplastele, aminoplastele, poliamidele, poliesterii.

○ *Fenoplastele* (rășini *bachelitice*) sînt obținute prin policondensarea fenolului cu formaldehida, reacție care comportă trei trepte.

*Prima treaptă a reacției* are ca rezultat *bachelita A*, care este o rășină termoplastă și solubilă în alcool.

Prin încălzire în continuare se trece la *treapta a doua a reacției*, cu formarea *bachelitei B*, termoplastă, dar insolubilă, plus apă.

Pe *ultima treaptă a reacției* se obține *bachelita C* (*bachelita propriuzisă*), care este o rășină termorigidă și insolubilă.

*Bachelita* este polară, avînd proprietăți electrice mai slabe, dependente de frecvență și temperatură și este higroscopică.

Sub influența arcului electric rășina se carbonizează și apar gaze inflamabile și toxice.

Folosirea ca material plastic, cu umplutură anorganică, poate suporta scurt timp chiar temperatura de  $200^\circ\text{C}$ .

*Caracteristicile bachelitei* sînt :

- densitatea,  $d = 1,3 \text{ kg/dm}^3$  ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{11} \dots 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$  ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 5 \dots 6,5$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 12 \dots 16 \text{ kV/mm}$  ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 6 \cdot 10^{-2} \dots 10^{-1}$ .

Fenoplastele au o largă întrebuințare în industria electrotehnică, sub formă de piese și lacuri electroizolante.

Piese se execută din bachelită amestecată cu umplutură (rumeguș de lemn), care ieftinește mult produsul.

Lacurile bachelitice, obținute prin dizolvarea bachelitei A în alcool, sînt folosite la fabricarea materialelor electroizolante stratificate și la impregnarea înfășurărilor mașinilor și aparatelor electrice.

○ *Aminoplastele* sînt rășini *carbamidice* și *melaminice*.

Ele au proprietăți asemănătoare fenoplastelor, dar sînt transparente, putînd fi colorate.

Rășinile melaminice au stabilitatea termică mai bună și higroscopicitatea mai redusă decît fenoplastele.

Aminoplastele au aceleași utilizări cu fenoplastele, dar sînt mai scumpe.

○ *Poliamidele* sînt rășinile de tip nailon, perlon, capron și relon.

Se utilizează pentru executarea unor piese, iar foliile și firele au caracteristici mecanice net superioare față de fibrele textile obișnuite.

Recent, pe piața mondială au apărut hirtii poliamidice cu denumirea comercială *hirtii „nomex“*, cu bune caracteristici mecanice și electrice, stabile pînă la temperaturi admisibile clasei H de izolație.

Hirtille „nomex“ se utilizează ca izolație în transformatoare și mașini electrice în locul cartoanelor electrotehnice, dar sînt mai scumpe decît acestea.

○ *Poliesterii* sînt rășini termoplaste și pot fi trase în folii transparente (mylar, hostafan) sau fire subțiri (terylene).

Foliile de hostafan, cu grosimi cuprinse între 0,2 și 0,006 mm, au rezistențe la întindere și sfișiere deosebit de mari, higroscopicitate redusă, putînd fi utilizate pînă la  $130^\circ\text{C}$ .

Firele poliesterice sînt superioare ca rezistență mecanică și stabilitate termică tuturor firelor sintetice și sînt mai elastice decît firele de sticlă.



Poliesterii sînt utilizați și la fabricarea lacurilor de emailare, ca și poliamidele.

● **Rășinile sintetice de poliadiție** sînt *rășini epoxidice și poliuretanicе*.

○ *Rășinile epoxidice* sînt termorigide și au masă moleculară 500—4 000.

Rășinile epoxidice au caracteristici electrice și mecanice foarte bune, rezistă bine la agenți chimici, au stabilitate termică bună și nu sînt inflamabile.

Aceste rășini au proprietăți adezive deosebit de bune pe metale, materiale plastice, sticlă, ceramică etc.

Sînt utilizate la umplerea manșoanelor și cutiilor terminale ale cablurilor, pentru obținerea de piese cu forme complicate, precum și la încapsularea (îmbrăcarea) unor piese, transformatoare de măsură, condensatoare etc., într-un strat de rășină.

Rășinile epoxidice se utilizează și la fabricarea lacurilor de impregnare, de lipire și de emailare.

○ *Rășinile poliuretanicе* sînt polare și au caracteristici electrice și mecanice asemănătoare celor ale poliamidelor.

Ele se folosesc sub formă de fire, folii și piese, precum și la fabricarea lacurilor de impregnare, acoperite și de emailare a conductoarelor.

Lacurile poliuretanicе de emailare a conductoarelor prezintă avantajul că, conductoarele izolate pot fi sudate fără a fi dezizolate în prealabil.

## 2. MATERIALE PLASTICE PRESATE

Rășinile sintetice avînd un cost ridicat, s-au realizat materiale pe bază de rășini sintetice, numite *materiale plastice*, cu o largă utilizare în industria electrotehnică.

Materialele plastice presate au caracteristici mecanice, uneori și termice, superioare rășinilor, în schimb au proprietăți electrice mai slabe decît acestea.

Materialul plastic presat este alcătuit din: *liant* (rășină pură) și *umplutură*, care poate fi organică (rumeguș de lemn, bucăți de hîrtie și fibre textile) sau anorganică ( cuarț, praf de mică, azbest).

Materialul plastic poate să mai conțină plastifianți, coloranți și alte substanțe care îi măresc plasticitatea și îi micșorează fragilitatea și care îi dau culoare, dar îi înrăutățesc proprietățile electrice.

În funcție de rășina utilizată ca liant, se deosebesc materiale plastice *termoplaste* și materiale plastice *termorigide*.

Recent s-au realizat materiale plastice armate cu fire de sticlă, care se obțin introducîndu-se în masa lor, încă fluidă, fire de sticlă cu lungimi de circa 45 mm.

Materialele plastice armate au rezistențe mari la încovoiere și întindere, densitate mică, stabilitate termică și chimică și bune proprietăți electrice.

## 3. MATERIALE PLASTICE STRATIFICATE

Stratificatele se realizează din straturi suprapuse (hîrtii de impregnare, țesături din fire de bumbac sau din fire sintetice, țesături din fire de sticlă sau din fire de azbest, furnir de lemn), fixate între ele printr-o rășină termorigidă. Ca rășini se folosesc cele bachelitice, carbamidice, epoxidice, siliconice, melaminice.

Stratificatele se fabrică sub formă de plăci, tuburi sau cilindri, din care se realizează diverse piese.

Stratificatele în plăci se obțin suprapunîndu-se hîrtille, țesăturile sau furnirul, impregnate cu lac pe bază de rășini termorigide, care se introduc apoi în prese încălzite. În timpul presării, rășina topindu-se pătrunde în porii materialului suport, iar apoi prin policondensare (sau poliadiție) se întărește, obținîndu-se plăcile termorigide.

● **Stratificatele pe bază de hîrtie** sînt utilizate în joasă și înaltă tensiune, la tablouri de distribuție, cilindri pentru înfășurări, suporturi pentru circuite imprimate etc.

Aceste stratificate au caracteristici mecanice și electrice bune, determinate de rășina de impregnare, dar sînt higroscopice.

În țara noastră, stratificatele pe bază de hîrtie impregnata cu lacuri fenolformaldehydice (bachelitice) poartă denumirea de *perlinax* sau *izoplac*.

● **Stratificatele pe bază de țesături din fire de bumbac** au caracteristici mecanice deosebit de bune, iar cele electrice mai slabe.

Ele sînt utilizate îndeosebi, pentru piese solicitate din punct de vedere mecanic (roți dințate, lagăre pentru viteze mici etc.) și mai puțin ca material izolant.

Stratificatele pe bază de țesături din fire de bumbac, impregnate cu lac pe bază de rășini fenolformaldehydice, fabricate în țara noastră, sînt cunoscute sub denumirea de *textolit*.

● **Stratificatele pe bază de țesături din fire de sticlă** sînt impregnate cu lacuri epoxidice sau siliconice și poartă denumirea de *stictotextolit*.

Sînt foarte puțin higroscopice, au mare stabilitate termică, caracteristici electrice și mecanice bune.



● **Stratificatele pe bază de furnir de lemn** se impregnează cu lac bachelitic, obținându-se *faneritul*, puțin utilizat în electrotehnică datorită proprietăților slabe.

#### 4. MATERIALE PE BAZĂ DE CELULOZĂ

Celuloza este substanța macromoleculară naturală, cu greutate moleculară între 1 000 și 2 000, ce se obține din lemnul de conifere, bumbac, in, cânepă etc.

Ea este foarte poroasă, deci și foarte higroscopică. Din această cauză *toate produsele pe bază de celuloză sînt utilizate în electrotehnică numai impregnate cu lacuri sau compunduri.*

Produsele pe bază de celuloză nu pot suporta temperaturi ridicate.

Celuloza se utilizează în industria electrotehnică pentru fabricarea *hîrțiilor, cartoanelor și țesăturilor.*

● **Hîrțiile** cele mai utilizate sînt următoarele: pentru cabluri electrice, pentru condensatoare, de impregnare, de rulare, pentru tole, de telefonie și hîrtia-suport pentru produse de mică.

○ **Hîrtia pentru cabluri electrice** are grosimea între 0,08 și 0,12 mm, densitatea mică pentru a fi ușor impregnată, rigiditatea dielectrică mare, tangenta unghiului de pierderi mică și rezistența mare la sfișiere, pentru a putea fi înfășurată în jurul conductorului fără să se rupă.

○ **Hîrtia pentru condensatoare**, servind ca dielectric în condensator, trebuie să fie foarte subțire (0,06—0,034 mm), să aibă permitivitatea relativă mare (4—5, pentru a se putea obține la un volum mic condensatoare de capacitate mare), să aibă rigiditatea dielectrică mare (2 000—3 000 kV/cm) și tangenta unghiului de pierderi mică ( $25 \cdot 10^{-4}$ ).

Ea se impregnează cu ulei de condensator, ulei de ricin, parafină, în scopul îmbunătățirii caracteristicilor electrice.

○ **Hîrtia de impregnare și rulare** servește la fabricarea stratificatelor sub formă de plăci (hîrtia de impregnare) și a tuburilor și cilindrilor bachelizați (hîrtia de rulare).

Hîrtia de impregnare are grosimea de 0,12 mm, iar cea de rulare de 0,05—0,07 mm.

Aceste hîrtii au densitate redusă (0,5—0,6 kg/dm<sup>3</sup>), pentru a absorbi bine lacurile de impregnare.

○ **Hîrtia de tole** servește la izolarea tolelor, miezurilor magnetice și are densitate redusă și grosimi de 0,03 mm.

○ **Hîrtia de telefonie** servește la izolarea cablurilor telefonice și a conductoarelor de bobinaj; are grosimi de 0,05 mm și mare rezistență la răsucire.

○ **Hîrtia suport pentru produse de mică** are grosimi cuprinse între 0,0025 și 0,03 mm. Este deosebit de poroasă pentru a permite evapo-

rarea solventului din lacul cu care se lipesc foițele de mică pe hîrtia suport. Această hîrtie are mare rezistență de rupere la tracțiune.

○ **Hîrtia acetilată** se obține prin tratarea fibrelor de celuloză cu acid acetic, în prezența unui catalizator. Această hîrtie are higroscopicitate mai redusă și proprietăți electrice superioare față de hîrtia obișnuită, dar caracteristicile mecanice (elasticitatea, rezistența la sfișiere și îndoire) mai scăzute. Este mai scumpă decît hîrtia obișnuită.

● **Cartonul electrotehnic sau preșpanul** este format din numeroase straturi de hîrtie fină, presate în stare umedă, rezultînd grosimi între 0,25 și 7 mm.

Preșpanul de calitate cu grosimea de 1 mm se compune din 20—25 straturi bine legate între ele, încît să fie exclusă exfolierea cartonului.

Preșpanul se utilizează în construcția mașinilor electrice, transformatoarelor și condensatoarelor.

Preșpanul pentru transformatoarele cu răcire în ulei are densitate redusă (sub 1 kg/dm<sup>3</sup>), pentru a absorbi mai ușor uleiul, căpătînd astfel rigiditate dielectrică mare. Are stabilitate termică și chimică.

Preșpanul pentru condensatoare este caracterizat prin puritate chimică deosebită.

Preșpanul pentru mașini electrice are bune caracteristici electrice și mecanice.

● **Lemnul**, deși nu poate fi socotit ca un material electroizolant propriu-zis. își găsește totuși utilizare în electrotehnică la fabricarea unor piese ca: pîrghii de întreruptoare și separatoare, suporturi pentru miezul transformatoarelor în ulei, pene pentru creștăturile mașinilor electrice, stîlpi pentru linii electrice și de telecomunicații, iar sub formă de rumeguș se folosește ca material de umplutură la materiale plastice presate.

Impregnarea lemnului cu ulei de transformator, cu parafină, cu lacuri bachelitice, care are ca rezultat creșterea rigidității dielectrice de la 20 la 70 kV/cm, se face totdeauna după prelucrarea completă a pieselor de lemn.

#### ● Fire și țesături textile naturale

○ **Firele de bumbac sau mătase**, utilizate la izolarea conductoarelor de bobinaj, trebuie să fie cît mai subțiri și mai rezistente la tracțiune.

Firele se pot împleti sub formă de ciorap și impregnate cu lacuri dau *tuburile linoxinice* (sterling sau varnish).

○ **Țesăturile textile** obținute prin împletirea firelor au proprietăți care depind de calitatea firelor utilizate și de modul de împletire.

Țesăturile impregnate cu lacuri uleioase se numesc *țesături galbene*, a căror rigiditate dielectrică ajunge la 350 kV/cm, au permitivitatea



relativă  $\epsilon_r = 4$ , rezistivitatea de volum  $\rho_v = 10^{12}$   $\Omega\text{cm}$  și tangenta unghiului de pierdere  $\text{tg } \delta = 0,5 \dots 0,15$ .

Țesăturile impregnate cu lacuri bituminoase se numesc *țesături negre*, a căror rigiditate dielectrică este maimare, ajungînd la 400 kV/cm, celelalte caracteristici fiind asemănătoare celor ale țesăturilor galbene.

Firele sintetice sînt superioare firelor naturale din punctul de vedere al rezistenței mecanice și al proprietăților electroizolante, fiind complet nehiroscopice.

## 5. LACURI ELECTROIZOLANTE

Lacurile electroizolante sînt materiale lichide în timpul utilizării lor și se solidifică după aplicare, formînd o peliculă electroizolantă.

Solidificarea are loc pe baza unui proces fizic (evaporarea solventului) sau pe baza unor procese fizice și chimice (evaporarea solventului și oxidarea sau polimerizarea sau policondensare sau poliadiție).

Lacurile electroizolante care nu au solvent se întăresc în urma unor procese chimice.

*Componențele principale ale unui lac electroizolant sînt :*

— *baza lacului* (rășină naturală sau sintetică, bitum, ulei sicativ sau amestecuri din aceste materiale), care va forma pelicula ;

— *solventul* (alcool, benzen, toluen, glicerină, cloroform etc.), care este volatil.

Lacurile electroizolante mai pot conține materiale auxiliare ca : *pigmenți, catalizatori, plastifianți etc.*

În funcție de domeniul de utilizare, lacurile electroizolante sînt :

— lacuri de impregnare ;

— lacuri de acoperire ;

— lacuri de lipire ;

— lacuri de emailare.

● **Lacurile de impregnare** sînt folosite la impregnarea înfășurărilor și la impregnarea țesăturilor și hîrtilor.

Cele pentru impregnarea înfășurărilor au rolul de a face înfășurarea mașinilor și aparatelor electrice compactă, rezistentă la forțele centrifuge și la vibrațiile care se produc în timpul funcționării. De asemenea, lacul are rolul de a împiedica pătrunderea umezelii și agenților chimici, de a evacua căldura din interiorul înfășurării prin umplerea golurilor de aer și de a mări rezistența de izolație a înfășurării.

Aceste lacuri au ca bază o rășină naturală sau sintetică dizolvată în solvent adecvat, uscarea lacului realizîndu-se în cuptoare. Pentru impregnarea înfășurărilor se folosesc și lacuri fără solvent.

Lacurile pentru impregnarea țesăturilor și hîrtilor au același rol ca și lacurile pentru impregnarea înfășurărilor.

Pentru țesături de bumbac și hîrtii se folosesc *lacuri pe bază de uleiuri sicative de in și de tung (lacuri galbene) și lacuri pe bază de uleiuri sicative, bitumuri și asfalturi (lacuri negre)*.

Pentru țesături de sticlă și azbest, folosite la temperaturi ridicate, impregnarea se face cu lacuri siliconice.

● **Lacurile de acoperire** au rolul de a proteja suplimentar înfășurările impregnate, împotriva umezelii și agenților chimici.

Lacurile de acoperire au adesea pigmenți și sînt, în general lacuri cu uscarea în aer liber. Peliculele rezultate din aceste lacuri sînt mai puțin flexibile decît peliculele rezultate din lacurile de impregnare, dar au conductivitate termică mai ridicată.

Dintre lacurile de acoperire, cele mai utilizate sînt lacurile *poliuretanică, epoxidică și gliptalică*.

● **Lacurile de lipire** sînt utilizate în special pentru fabricarea produselor pe bază de mică.

Se pot folosi și pentru lipirea materialelor electroizolante pe metale.

Lacurile de lipire au ca bază *rășini naturale (șelacul) sau rășini sintetice (epoxidice, gliptalice, siliconice)*.

● **Lacurile de emailare** servesc la izolarea conductoarelor de cupru obținîndu-se o izolație mult mai subțire (0,5—5  $\mu\text{m}$ ), față de izolația de bumbac, mătase sau hîrtie.

Rigiditatea dielectrică a acestor lacuri este deosebit de ridicată (800—1 000 kV/cm).

Lacurile de emailare trebuie să adere perfect la suprafața conductorului, să dea pelicule elastice pentru a nu se fisura și să aibă coeficient de dilatare egal cu cel al conductorului de izolat.

Lacurile de emailare sînt : *uleioase, poliamidice, epoxidice, poliuretanică, siliconice și politetrafluoretilenice*.

*Observație.* Nu există o delimitare strictă între diferitele tipuri de lacuri, astfel încît unele lacuri de impregnare pot servi ca lacuri de acoperire sau de lipire.

## 6. COMPUNDURILE (MASE ELECTROIZOLANTE)

Compundurile sînt amestecuri de rășini, ceruri, bitumuri, uleiuri, fără să conțină solvenți.

Pentru a fi utilizate, ele se încălzesc și se înmoaie, iar masa izolantă se obține prin răcirea compundurilor topite.

Prim răcire, compundurile nu formează pelicule.

Se deosebesc *compunduri de impregnare și compunduri de umplere*.



● **Compundurile de impregnare** sînt termoplaste și au proprietăți electrice foarte bune, stabilitate termică ridicată și sînt ne higroscopice.

Compundurile asigură o impregnare mai rezistentă la umezeală decît lacurile de impregnare.

Deosebit de importantă este masa izolantă pe bază de colofoni și ulei mineral — masa galbenă — utilizată la impregnarea hirtiei de cablu.

● **Compundurile de umplere** servesc la umplerea manșoanelor și a cutiilor terminale ale cablurilor, umplerea unor condensatoare și etanșarea bateriilor de acumulare pentru autovehicule.

Au rolul de a evita pătrunderea umezelii și de a mări rigiditatea dielectrică a izolației.

Deosebit de utilizate sînt compundurile bituminoase, care sînt ne higroscopice, au bune proprietăți electrice și cost redus.

Există și compunduri termorigide, care sînt lichide în stare inițială, solidificîndu-se în urma transformării chimice (sînt de fapt lacurile fără solvent — v. subcapitolul G.5).

## 7. BITUMURI

Bitumurile sînt amestecuri de hidrocarburi care conțin și cantități mici de sulf, și oxigen.

*Bitumurile naturale*, numite *asfalturi*, sînt provenite din zăcăminte care se găsesc în apropierea zăcămintelor de țiței din care s-au format.

*Bitumurile artificiale*, numite *bitumuri*, se obțin la distilarea produselor petroliere.

Bitumurile și asfalturile au culoarea neagră sau brun-închisă, sînt termoplaste, iar la temperatura obișnuită sînt fragile și au higroscopicitate redusă.

Prin adaos de sulf, bitumurile și asfalturile devin termorigide.

Ele nu sînt solubile în apă și nici în alcool, dar se dizolvă în hidrocarburi aromatice, în uleiuri și mai greu în benzină.

*Caracteristicile biturilor și asfalturilor* sînt :

- densitatea,  $d = 1,0 \dots 1,1 \text{ kg/dm}^3$ ;
- temperatura de înmuiere,  $\theta_m = 55 \dots 140^\circ\text{C}$ ;
- temperatura de topire,  $\theta_t = 170 \dots 200^\circ\text{C}$ ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{14} \Omega\text{cm}$ ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 2,4 \dots 3,3$ ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 10 \dots 40 \text{ kV/mm}$ ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 8 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-2}$ .

Bitumurile și asfalturile sînt utilizate la fabricarea lacurilor de impregnare (lacuri negre), a compundurilor de impregnare și acoperire, precum și ca masă de umplere a manșoanelor și cutiilor terminale ale cablurilor.

## H. MATERIALE ELECTROIZOLANTE SOLIDE, ANORGANICE

Materialele electroizolante solide, anorganice, folosite în electrotehnică sînt : sticla, mica, ceramica, azbestul, marmura, ardezia.

Ele prezintă, față de materialele electroizolante solide organice, următoarele *avantaje* :

- stabilitate termică ridicată (peste  $200^\circ\text{C}$ ) ;
- nu se carbonizează și nu se erodează sub efectul arcului electric ;
- nu se oxidează ;
- au o bună stabilitate chimică

Au însă următoarele *dezavantaje* față de materialele organice :

- proprietăți electrice mai slabe ;
- sînt fragile și au o rezistență la întindere redusă ;
- nu pot fi obținute în grosimi mici și în fire subțiri, cu excepția sticlei ;
- se prelucrează mai greu ;
- au cost mai ridicat.

### 1. STICLA

Sticla rezultă din topirea amestecului de cuarț (bioxid de siliciu) cu diverși oxizi metalici și răcirea bruscă a amestecului topit. În funcție de oxizii metalici componenți se obțin sticle cu proprietăți diferite.

În compoziția diferitelor sortimente de sticlă pot intra următorii oxizi : oxid de calciu ( $\text{CaO}$ ) ; oxid de aluminiu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ; oxid de fier ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ; oxid de sodiu ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ; oxid de magneziu ( $\text{MgO}$ ) ; oxid de bor ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) ; oxid de bariu ( $\text{BaO}$ ) ; oxid de plumb ( $\text{PbO}$ ).

Sticla este material termoplast, transparent, casant, ne higroscopic, nu este atacată de baze și acizi, cu excepția acidului fluorhidric.

Sticlele au temperaturi de topire cuprinse între  $400$  și  $1600^\circ\text{C}$ , cea mai înaltă temperatură corespunzînd sticlei de cuarț pur.

Densitatea sticlelor variază între  $2$  și  $8,1 \text{ kg/dm}^3$ , cea mai mare corespunzînd *crystalului*, care are în compoziția sa oxid de plumb.

Rezistivitatea electrică de volum a sticlelor variază între  $10$  și  $10^{17} \Omega\text{cm}$ .

Rigiditatea dielectrică nu depinde de compoziția sticlei, ci numai de incluziunile de aer și este de  $30-45 \text{ kV/mm}$ .

Tangenta unghiului de pierderi a sticlelor variază între  $3 \cdot 10^{-3}$  și  $10^{-2}$ .

Permitivitatea relativă variază între  $3,7$  și  $16,5$ .

În funcție de domeniul de utilizare se deosebesc : *sticla pentru condensatoare, izolatoare, lămpi electrice și tuburi electronice, sticla pentru*



emailare, sticla de umplutură, sticla pentru fibre, hirtia de sticlă, fibre de sticlă pentru comunicații.

● **Sticla pentru condensatoare** se realizează sub forma unor pelicule cu grosimi de 0,025 mm, cu tangenta unghiului de pierderi mică, cu rigiditate dielectrică mare și permitivitate dielectrică ridicată.

● **Sticla pentru izolatoare** are, pe lângă proprietăți electroizolante bune, higroscopicitate foarte redusă, stabilitate la acțiunea agenților chimici și o mare rezistență la variații bruște de temperatură.

Folosită la început numai pentru izolatoarele instalațiilor de telecomunicații, în ultimii ani este tot mai mult utilizată la izolatoare pentru liniile electrice de înaltă tensiune.

Izolatoarele de sticlă, față de izolatoarele de ceramică, prezintă avantaje economice și de exploatare, putându-se controla vizual starea izolatorului datorită transparenței sale.

● **Sticla pentru lămpile electrice și tuburile electronice** trebuie să suporte temperaturi ridicate, să fie transparentă la radiații ultraviolete, rezistentă la acțiunea vaporilor metalici și să aibă coeficient de dilatare cât mai apropiat de cel al metalului cu care se îmbină în lampa sau tubul electronic.

● **Sticla pentru emailare** este ușor fuzibilă și, măcinată fin, se aplică în strat subțire pe suprafețele de protejat (de exemplu, rezistoare bobinate), topindu-se apoi în cuptoare la temperaturi de 700–800°C. În acest fel, suprafețele de protejat se acoperă cu un strat subțire izolant și protector împotriva coroziunii.

Emailul de sticlă trebuie să aibă coeficient de dilatare riguros egal cu cel al materialului pe care îl protejează, pentru ca la variații de temperatură să nu se fisureze.

● **Sticla de umplutură** servește la fabricarea micalexului (produs pe bază de mică).

● **Sticla pentru fibre** servește la fabricarea fibrelor de sticlă cu diametre foarte mici de ordinul 0,005–0,007 mm.

Fibrele de sticlă trebuie să fie foarte flexibile, fiind utilizate la izolarea conductoarelor și la realizarea țesăturilor din sticlă.

Țesăturile din sticlă se impregnează de obicei cu rășini siliconice.

Țesăturile din sticlă se utilizează pentru fabricarea sticlotextolitului și sticlomicafoliului.

● **Hirtia de sticlă** se fabrică din fibre scurte sau din fulgi de sticlă, impregnați cu un liant.

Hirtia de sticlă impregnată poate fi utilizată și la condensatoare.

● **Fibrele de sticlă pentru comunicații** sînt de mare puritate (sticlă de cuarț) și servesc drept ghid de undă în comunicații electrice pe frecvențe optice.

În țara noastră se fabrică o mare diversitate de sorturi de sticle cu utilizări în diferite sectoare economice atât pentru nevoile interne, cât și pentru export, în întreprinderi specializate ca de exemplu Fieni, Botoșani, Turda etc.

## 2. MICA

Mica este material electroizolant natural.

În electrotehnică sînt utilizate două varietăți de mică: *muscovit* și *flogopit*.

Zăcămintele de mică se găsesc în America de Sud, India, Coreea, Mexic, Canada, Madagascar și în țara noastră în munții Lotrului și la Răzoare lângă Cluj-Napoca. Zăcămintele de mică din țara noastră dau foițe de mică, de dimensiuni reduse, care se pot utiliza sub formă de fulgi sau pulbere.

● **Muscovitul** este incolor sau cu nuanțe de roz sau verde și are următoarele caracteristici:

- densitatea,  $d = 2,7 \dots 3,2 \text{ kg/dm}^3$ ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 6 \dots 7$ ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 2\,000 \dots 2\,500 \text{ kV/cm}$ ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{16} \text{ } \Omega\text{cm}$ ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 3 \cdot 10^{-4}$ ;
- temperatura maximă de lucru,  $\theta_{max} = 500^\circ\text{C}$ .

Muscovitul se utilizează în special ca dielectric în condensatoare și ca izolație în înaltă frecvență, avînd tangenta unghiului de pierderi redusă.

● **Flogopitul** este colorat în brun, aproape negru, în galben sau în verde și are următoarele caracteristici:

- densitatea,  $d = 2,6 \dots 2,8 \text{ kg/dm}^3$ ;
- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 5 \dots 6$ ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 2\,000 \text{ kV/cm}$ ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{13} \dots 10^{15} \text{ } \Omega\text{cm}$ ;
- tangenta unghiului de pierderi,  $\text{tg } \delta = 15 \cdot 10^{-4}$ ;
- temperatura maximă de lucru,  $\theta_{max} = 800^\circ\text{C}$ .

Flogopitul admite temperaturi de lucru mai mari decît muscovitul, dar are caracteristici electrice și mecanice (flexibilitate și rezistență, la uzură) inferioare față de muscovit.

Flogopitul este inert din punct de vedere chimic și se topește la temperatura de 1 200–1 300°C.

Flogopitul se utilizează în mașinile și aparatele de înaltă tensiune, datorită rigidității sale dielectrice ridicate.



Flogopitul se folosește ca izolație între lamelele colectorului la mașinile electrice, deoarece are rezistență mare la temperatură și rezistență la uzură apropiată de cea a cuprului din care sînt realizate lamelele.

### Produse pe bază de mică

Produsele pe bază de mică sînt micanitele, micafoliul, micabanda, micalexul, hîrtia de mică, termomicanita.

● **Micanitele** sînt alcătuite din foițe de mică aglomerate cu un liant (lac electroizolant).

Ele se fabrică în mai multe sortimente :

○ *Micanita de formare* este dură la temperatura obișnuită, dar prin încălzire poate fi modelată în diverse forme, care se păstrează și prin răcire.

Are ca liant șelacul, lacul siliconic, lacul gliptalic.

Are grosimi între 0,15 și 1 mm.

Se utilizează la confecționarea de diverse piese izolante.

○ *Micanita flexibilă* este flexibilă la orice temperatură.

Ea poate fi fără suport sau cu un suport din țesătură de sticlă pe o singură parte, sau cu două suporturi din țesătură de sticlă dispuse pe ambele părți. De asemenea, poate avea un suport sau două suporturi din hîrtie, mătase naturală sau folie poliesterică.

Are ca liant lac oleobituminos sau siliconic.

Are grosimi între 0,15 și 0,6 mm.

Se utilizează ca izolație de creștătură, izolație la capetele de bobine, garnituri etc.

○ *Micanita de colector* este dură de la temperatura obișnuită pînă la aproximativ 100°C.

Ea nu are suport și are ca liant șelacul.

Plăcile din micanită de colector au grosimi între 0,4 și 1,5 mm.

Se utilizează ca lamele izolante la colectorii mașinilor electrice.

○ *Micanita de garnituri* este tot o micanită dură, care are ca liant șelacul sau lacurile siliconice.

Se utilizează pentru realizarea de garnituri electroizolante.

● **Micafoliul** are ca suport hîrtia, liant șelacul și are grosimi de 0,10, 0,15 și 0,20 mm.

Dacă suportul este de țesătură de sticlă și liantul lac siliconic, produsul poartă denumirea de *sticlomicafoliu*.

Se utilizează pentru izolarea barelor mașinilor electrice de înaltă tensiune și ca material electroizolant la mașinile de curent continuu utilizate în tracțiune.

● **Micabanda** poate avea două suporturi din hîrtie, din mătase naturală sau din țesătură de sticlă și grosimi de 0,13 mm.

Ea poate avea și un singur suport din materiale indicate mai sus, în care caz grosimea este de 0,10 mm.

Dacă suportul este din țesătură de sticlă produsul se numește *sticlomicabandă*.

Se utilizează pentru izolarea înfășurărilor mașinilor electrice.

● **Micalexul** este un produs de mică și sticlă, obținut din amestecul de praf de mică și sticlă ușor fuzibilă prin presare la cald.

Materialul are proprietăți mecanice, termice și electrice bune.

Este rezistent la arcul electric și nehigroscopic.

Se utilizează sub formă de plăci, bare și piese fasonate, electroizolante.

● **Hîrtia de mică** este obținută din deșuri de mică, prin procedee analoge cu cele folosite pentru obținerea hîrtiei din celuloză.

Hîrtia de mică este mai flexibilă decît foițele de mică, dar are caracteristici mecanice și electrice mai slabe decît cele ale foițelor de mică.

Din hîrtie de mică se realizează aceleași produse ca și din foițe de mică (micanite, micabenzi etc.), dar cu rezistență la umiditate mai mică și rezistență la rupere mai redusă.

● **Termomicanita** este un produs pe bază de hîrtie de mică, cu liant siliconic. Plăcile de termomicanită au grosimi între 0,2 și 2 mm.

Se utilizează ca suport de reostate și în aparatura electrocalorică.

### 3. MICA SINTETICĂ

Mica sintetică este un amestec de oxizi de aluminiu, de siliciu, fluorură de potasiu și siliciu, feldspat.

Mica sintetică are proprietăți asemănătoare cu mica naturală, pe care o poate înlocui.

Are coeficientul de dilatare liniară apropiat de cel al metalelor celor mai utilizate.

### 4. AZBESTUL

Azbestul este material natural, *serpentinul* fiind cel mai răspîdit minereu de azbest.

Minereuri de azbest se găsesc în Canada, Africa și în cantități reduse în U.R.S.S., S.U.A. și Turcia.

Firele de azbest sînt flexibile, au lungimi pînă la 25 mm și sînt mult mai subțiri decît cele de bumbac și lînă (pot avea pînă la 1/1 000 din diametrul firului de păr).

Azbestul este foarte higroscopic, are pierderi dielectrice mari și pentru a putea fi utilizat ca material electroizolant se impregnează.

El se utilizează și ca izolant termic, avînd temperatura maximă de utilizare 315°C.



## Produse din azbest

Produsele din azbest sînt realizate din fire de azbest, de obicei în amestec cu fire organice, din cauza lungimii reduse a firelor de azbest.

● **Semitortul (rovînj)** este alcătuit din fire de azbest cu fire organice, sub formă de sfoară răscucită, folosit la izolarea conductoarelor din aparatele de încălzire electrică.

● **Tesăturile din azbest** sînt utilizate la fabricarea unor stratificate.

● **Benzile din azbest** impregnate sau lăcuite sînt folosite în construcția mașinilor electrice și transformatoarelor.

● **Azbocimentul** este realizat prin presarea unui amestec din fibre de azbest, ciment și apă.

Are rezistență termică mare și la acțiunea arcului electric și caracteristici mecanice bune.

Fiind higroscopic el se impregnează cu bitum sau ulei de in, după prelucrare sub formă de plăci, tuburi sau piese fasonate.

Se utilizează pentru realizarea camerelor de stingere ale aparatelor electrice, tablourilor de distribuție etc.

● **Hirtia de azbest** se realizează din fire de azbest sau din fire de azbest și bumbac, împreună cu lianți (lacuri bituminoase sau siliconice).

Are rezistență mecanică slabă, din care cauză se fabrică și cu adaosuri de fibre de sticlă sau fibre sintetice.

Hirtia de azbest cu folii sintetice este utilizată ca izolație de creștătură.

## 5. CERAMICA ELECTROTEHNICĂ

Elementele componente ale ceramicelor electrotehnice sînt amestecuri de silicați și oxizi.

Pentru obținerea pieselor din ceramică, elementele componente se amestecă cu apă formînd o pastă, iar din pastă, prin diverse procedee de modelare se obțin piese, care se usucă și se ard în cuptoare tunel la anumite temperaturi.

Piesele ceramice se glazurează, adică se acoperă cu un strat subțire sticlos. Prin glazurare se acoperă porii, piesa devenind ne higroscopică. Stratul de glazură realizează și o creștere a rezistenței mecanice a pieselor, precum și o protecție împotriva murdăririi.

Ceramicile electrotehnice sînt: *porțelanul electrotehnic, steatita, ultraporțelanul, ceramica de oxid de aluminiu, ceramica cu compuși de titan, ceramica poroasă* etc.

● **Porțelanul electrotehnic** conține argilă, cuarț, feldspat. El are o rezistență bună față de agenți chimici, se comportă bine la tempera-

tură ridicată și în atmosferă umedă. Este însă fragil și are o rezistență slabă la șocuri termice.

*Caracteristicile porțelanului electrotehnic* sînt:

- permitivitatea relativă,  $\epsilon_r = 5,5 \dots 7$  ;
- rezistivitatea de volum,  $\rho_v = 10^{10} \dots 10^{14} \Omega\text{cm}$  ;
- rigiditatea dielectrică,  $E_{str} = 10 \dots 25 \text{ kV/cm}$ .

Porțelanul prezintă contracție mare la răcire, neputîndu-se obține piese de dimensiuni exacte.

Se utilizează pentru izolatoare de joasă și de înaltă tensiune și diverse piese pentru aparate electrice.

● **Steatita** are componenta predominantă silicatul de magneziu (talc), apoi argila și magnezita.

Caracteristicile electrice sînt superioare celor ale porțelanului, avînd pierderi în dielectric mici și la frecvențe înalte.

Caracteristicile mecanice ale steatitei sînt foarte bune și de asemenea, are o comportare deosebit de bună la arcul electric, motiv pentru care steatita este preferată pentru fabricarea izolatoarelor de înaltă tensiune.

Dacă granulația de talc este foarte fină și se adaugă și carbonat de bariu se obține *steatita specială*. Ea prezintă stabilitate termică ridicată, pierderi în dielectric foarte mici, utilizîndu-se în instalații de foarte înaltă frecvență și pentru obținerea de piese cu dimensiuni foarte exacte.

● **Ultraporțelanul** conține oxizi de bariu, de aluminiu și argilă. Are pierderi în dielectric mici, rezistență mecanică mare și este utilizat în înaltă frecvență și înaltă tensiune, pentru condensatoare și izolatoare.

● **Ceramica cu oxid de aluminiu** conține ca element de bază oxidul de aluminiu (alumina) și corund. Are stabilitate chimică, rezistență mecanică mare și bune proprietăți electrice.

● **Ceramicile cu compuși de titan** reprezintă o clasă specială de ceramică cu permitivitate relativă ajungînd pînă la 10 000. Acesta este motivul pentru care astfel de ceramici sînt utilizate la condensatoare, modulatori, multiplicatoare de frecvență etc.

Condensatoarele cu astfel de ceramici trebuie protejate împotriva umidității, deoarece capacitatea condensatoarelor ceramice variază mult cu umiditatea, reducîndu-se durata de serviciu.



## I. MATERIALE ELECTROIZOLANTE REZISTENTE LA CONDIȚII TROPICALE

Pentru fabricarea de mașini, aparate și instalații electrice, care să poată fi exploatate în țări cu climă tropicală, este necesar să se utilizeze materiale electroizolante care să reziste acestor condiții, astfel încât proprietățile lor să asigure o bună funcționare a produselor exportate.

În aceste condiții materialele trebuie să reziste la temperatură și umiditate ridicată, radiații solare puternice, nisip, vânturi, acțiunea ciupercilor, bacteriilor și termitelor.

Dintre materialele electroizolante utilizate în mediu tropical se menționează :

— lacurile electroizolante pe bază de rășini fenolice, pe bază de rășini gliptalice și lacuri siliconice, cu adaos de substanțe fungicide care distrug termitele :

— hîrtia acetilată și țesăturile din fire de sticlă impregnate cu lac silionic sau bachelitic ;

— materialele plastice cu umplutură minerală ;

— policlorura de vinil, polietilena, politetrafluoretilena și rășinile epoxidice ;

— produsele pe bază de mică, acînd ca suport țesătura de sticlă și ca lac de lipire lacul silionic ;

— sticlele și ceramicele glazurate și bine șlefuite.

### VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Dacă conductivitatea materialelor electroizolante ar fi zero ( $\gamma = 0$ ), cit ar fi rezistivitatea lor ?
2. Care este deosebirea dintre un dielectric nepolar și un dielectric polar ?
3. La aplicarea unei tensiuni continue asupra unui dielectric, care curent dispare după un interval scurt de timp de la aplicarea tensiunii :
  - a. curentul de polarizare ?
  - b. curentul de conducție ?
4. Rezistivitatea de volum se măsoară în :
  - a.  $\Omega\text{cm}$  ?
  - b.  $\Omega$  ?
5. Rezistivitatea de suprafață se măsoară în :
  - a.  $\Omega\text{cm}$  ?
  - b.  $\Omega$  ?
6. Permittivitatea absolută a unui dielectric are unitatea de măsură :
  - a. farad/metru (F/m) ?
  - b. sau nu are unități de măsură ?

7. Permittivitatea relativă  $\epsilon_r$ , a unui dielectric are unitatea de măsură :
  - a. farad/metru (F/m) ?
  - b. sau nu are unitate de măsură ?
8. Care dielectrici își refac proprietățile izolante după străpungere :
  - a. dielectricii solizi ?
  - b. dielectricii lichizi ?
  - c. dielectricii gazoși ?
9. Un dielectric de calitate are tangenta unghiulară de pierderi ( $\text{tg } \delta$ ) :
  - a. cit mai mică ?
  - b. cit mai mare ?
10. Materialele electroizolante folosite ca dielectric în condensatoare trebuie să aibă permittivitatea dielectrică :
  - a. cit mai mare ?
  - b. cit mai mică ?

### REZUMAT

În materialele electroizolante (sau dielectrice) situate în cîmp electric apar două fenomene :

- de conducție ;
- de polarizare.

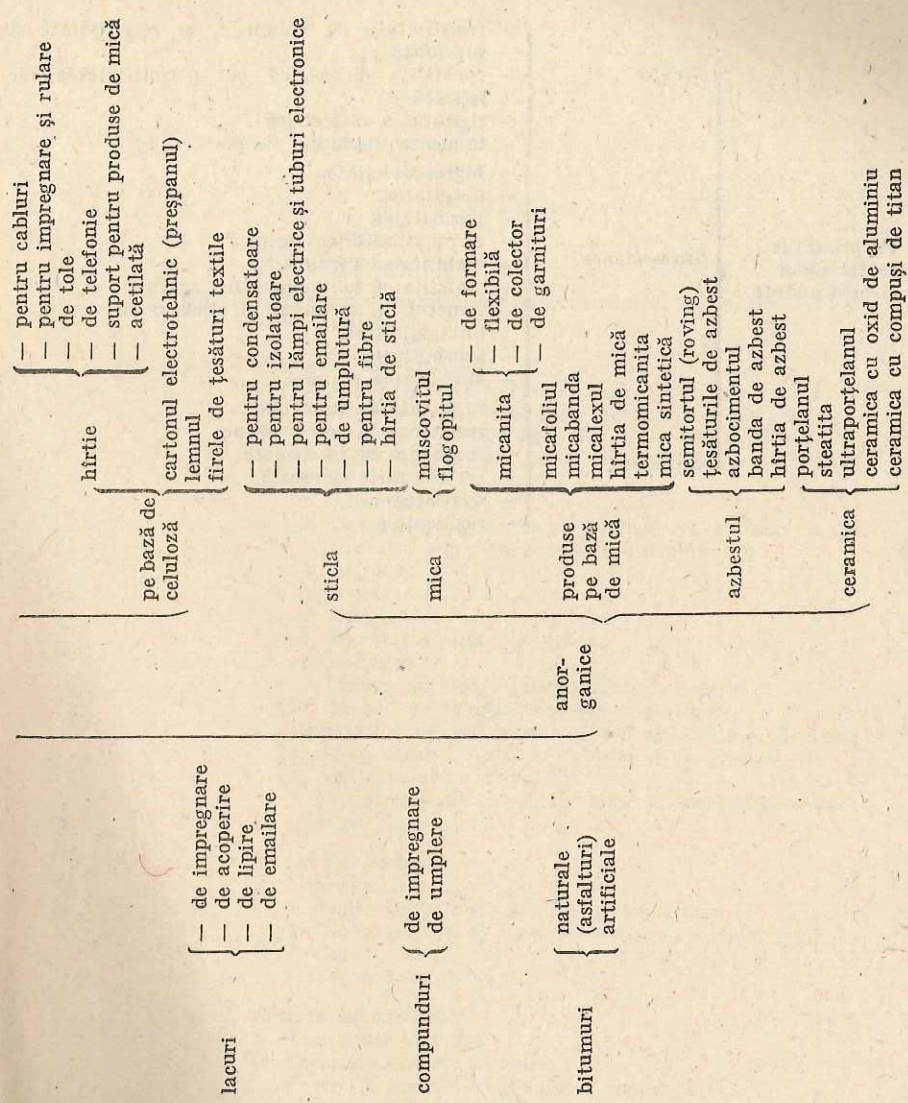
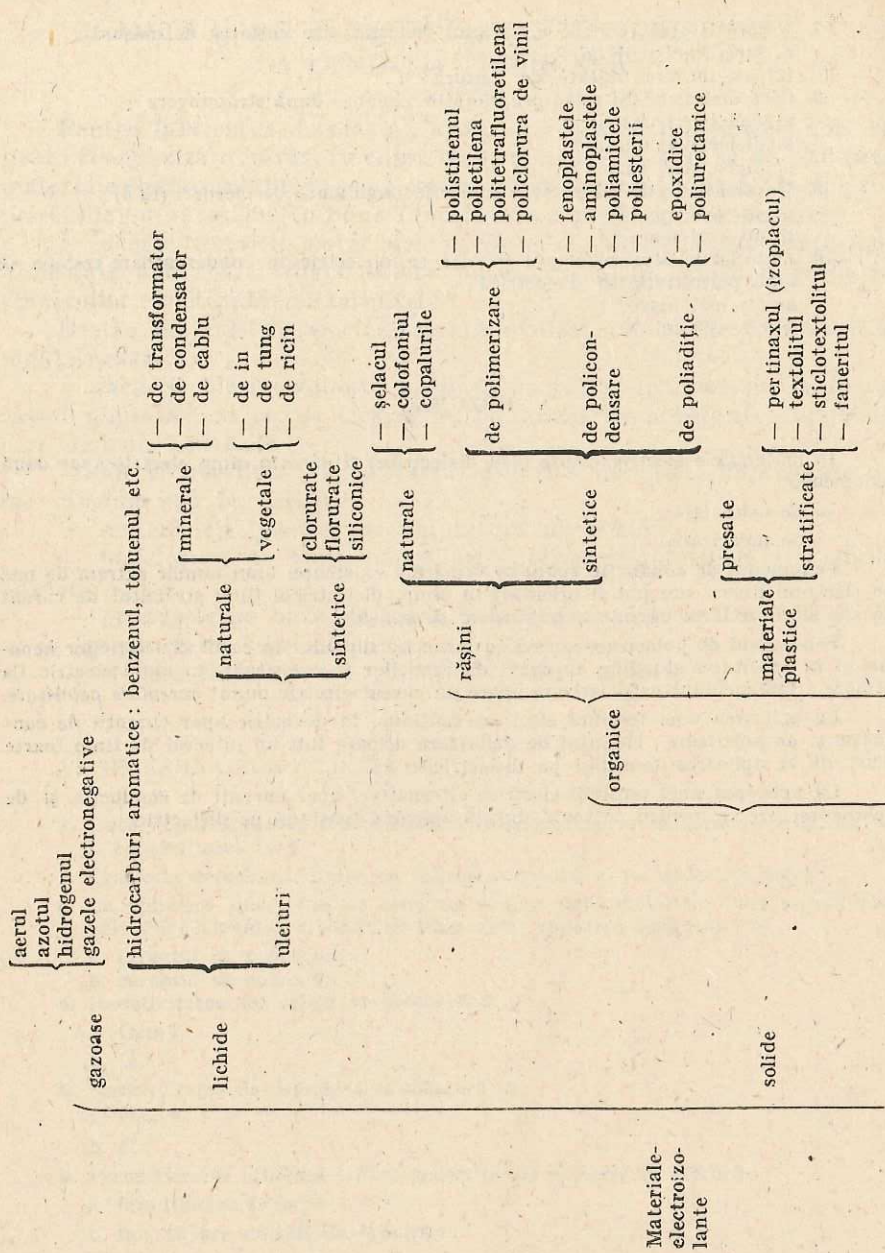
Fenomenul de conducție apare ca urmare a existenței unui număr extrem de mic de electroni liberi care pot fi orientați în cîmp, dielectricul fiind străbătut de curent de conducție extrem de mic numit *curent de scurgere*.

Fenomenul de polarizare constă în formarea dipolilor în cazul dielectricilor nepolari și în orientarea dipolilor în cazul dielectricilor polari situați în cîmp electric. Ca urmare a fenomenului de polarizare apare un curent electric numit *curent de polarizare*.

La aplicarea unei tensiuni electrice continue, în dielectric apar curenții de conducție și de polarizare ; curentul de polarizare dispare într-un interval de timp foarte scurt de la aplicarea tensiunii pe dielectric.

La aplicarea unei tensiuni electrice alternative, apar curenți de conducție și de polarizare care se mențin pe toată durata aplicării tensiunii pe dielectric.







Proprietățile  
materialelor  
electroizolante

electrice

- rezistivitate de volum  $\rho_v$  și rezistivitate de suprafață  $\rho_s$
- constanta dielectrică sau permitivitatea dielectrică  $\epsilon$
- rigiditatea dielectrică  $E_{str}$
- tangenta unghiului de pierderi  $\text{tg } \delta$

fizico-chimice

- higroscopicitatea
- densitatea
- porozitatea
- conductibilitatea termică
- stabilitatea termică
- stabilitatea la temperaturi scăzute
- punctul de aprindere și punctul de inflamabilitate
- solubilitatea
- stabilitatea chimică

mecanice

- rezistența la tracțiune
- rezistența la compresiune
- rezistența la încovoiere
- rezistența la oboseală
- duritatea
- reziliența

## Capitolul 7

### MATERIALE MAGNETICE

#### A. INTRODUCERE

De o seosebită importanță și strîns legată de înțelegerea proprietăților magnetice ale materialelor este noțiunea de *cîmp magnetic*.

Cîmpul magnetic este produs de magneți permanenți și de conductoare parcurse de curent electric.

Cîmpul magnetic posedă energie și exercită forțe asupra altor magneți sau conductoare parcurse de curent electric.

Pentru determinarea stării de magnetizare a corpurilor sînt necesare două mărimi :

- intensitatea cîmpului magnetic  $H$ , măsurată în A/m ;

- inducția magnetică  $B$  produsă de cîmpul magnetic, măsurată în tesla (T) = weber/metru pătrat ( $\text{Wb/m}^2$ ).

Raportul dintre inducția magnetică  $B$  și intensitatea cîmpului magnetic  $H$  se numește *permeabilitate magnetică absolută* și se notează cu  $\mu$ . Ea are valori diferite pentru diferite materiale, la același cîmp magnetic :

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ sau } B = \mu H. \quad (7.1)$$

Permeabilitatea magnetică absolută se exprimă în weber/ampermetru ( $\text{Wb/A}\cdot\text{m}$ ) sau henry/metru (H/m).

Pentru aceeași intensitate a cîmpului magnetic, raportul dintre permeabilitatea absolută  $\mu$  a unui mediu material oarecare și permeabilitatea absolută a vidului  $\mu_0$  (practic egală cu a aerului) se numește *permeabilitate magnetică relativă* a materialului și se notează cu  $\mu_r$  :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}, \quad (7.2)$$

Permeabilitatea absolută  $\mu_0$  a vidului este o mărime constantă egală cu  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb/A}\cdot\text{m}$ .

Permeabilitatea magnetică relativă  $\mu_r$  este o constantă de material, fără unitate de măsură.



## B. CLASIFICAREA MATERIALELOR ELECTROTEHNICE DIN PUNCT DE VEDERE MAGNETIC

În funcție de valoarea permeabilității magnetice relative  $\mu_r$ , materialele electrotehnice se clasifică în materiale:

- diamagnetice;
- paramagnetice;
- feromagnetice.

**Materiale diamagnetice** sînt: hidrogenul, carbonul, argintul, aurul, cuprul, plumbul, zincul, germaniul, seleniul, siliciul etc. Ele au permeabilitatea magnetică relativă subunitară, foarte apropiată de unitate.

**Materiale paramagnetice** sînt: oxigenul, aluminiul, cromul, platină, manganul, radiul, potasiul etc. Ele au permeabilitatea magnetică relativă supraunitară, foarte apropiată de unitate.

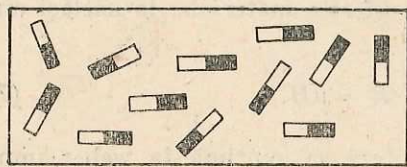
**Materiale feromagnetice** sînt: fierul, cobaltul, nichelul, gadoliniul (metal din grupa pământurilor rare) și aliaje. Ele au permeabilitatea magnetică relativă mult mai mare decît unitatea, ajungînd la valori peste 100 000.

Materialele feromagnetice sînt cunoscute sub denumirea de *materiale magnetice*.

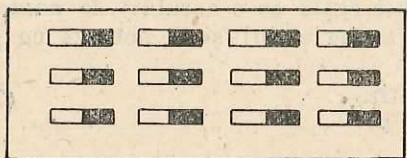
Aceste materiale își pierd complet proprietățile magnetice la temperatura Curie, care este de 769°C pentru fier, 1 075°C pentru cobalt, 360°C pentru nichel și între 60 și 380°C pentru aliaje, în funcție de compoziție.

Conform teoriei magnetismului molecular, materialele magnetice se compun dintr-un număr foarte mare de magneți extrem de mici — magneți moleculari.

Într-un material nemagnetizat, magneții moleculari sînt așezați în dezordine (fig. 7.1, a). Prin magnetizare, magneții moleculari se orientează succesiv după direcția cîmpului de magnetizare (fig. 7.1, b). În consecință, efectele magnetice ale materialului se manifestă și în exterior — materialul s-a magnetizat.



a



b

Fig. 7.1. Magneți moleculari:

- a — în material feromagnetic nemagnetizat;
- b — în material feromagnetic magnetizat.

După modul în care materialele feromagnetice (magnetice) se comportă în cîmpul magnetic, se deosebesc:

- materiale magnetice moi, care se pot magnetiza cu ușurință, dar se și demagnetizează ușor;
- materiale magnetice dure (tari), care se magnetizează greu, dar își mențin proprietățile magnetice timp îndelungat.

**Materiale magnetice moi** au utilizarea cea mai răspîdită în construcția de mașini și aparate electrice. Din ele se construiesc miezurile, respective circuitele magnetice ale mașinilor electrice, transformatoarelor electrice, electromagneților, releelor etc.

**Materiale magnetice dure** se folosesc la fabricarea magneților permanenți, utilizați cu precădere în construcția micromașinilor electrice și în aparatura electrică specială.

## C. CARACTERISTICILE MAGNETICE

Încercările fundamentale care se fac asupra materialelor magnetice servesc la:

- trasarea curbei de magnetizare;
- trasarea ciclului de histerezis;
- determinarea pierderilor magnetice (înglobînd pierderile prin histerezis și curenți turbionari).

● **Curba de magnetizare** a materialelor magnetice reprezintă variația inducției  $B$ , în funcție de intensitatea cîmpului magnetic  $H$ .

Dacă se reprezintă grafic inducția  $B = f(H)$  se obține o curbă de forma celei din figura 7.2. Această curbă are trei porțiuni distincte și anume: prima parte a curbei, pornind de la origine, este o dreaptă  $Oa$  avînd pantă foarte mare (încalinare mare față de abscisă); a doua porțiune  $ab$ , cotul curbei de magnetizare; ultima porțiune dincolo de  $b$  este tot o dreaptă, dar cu pantă mică (aproape paralelă cu abscisa).

Din curba de magnetizare se observă că, pe ultima porțiune, pentru creșteri importante ale cîmpului magnetic inducția magnetică crește foarte puțin. Aceasta se explică prin faptul că toți mag-

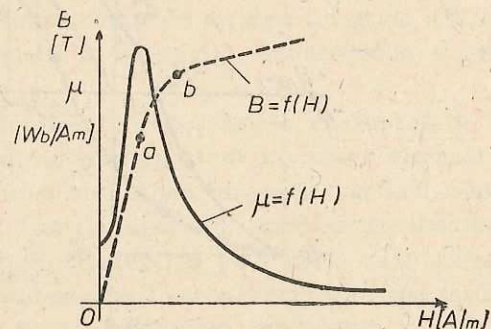


Fig. 7.2. Curba de magnetizare  $B=f(H)$  și curba  $\mu=f(H)$ .



neții moleculari sînt orientați în cîmp, magnetizarea în continuare devine imposibilă, materialul este „saturat“ magnetic.

Permeabilitatea magnetică, corespunzătoare fiecărui material magnetic, depinde de intensitatea cîmpului magnetic. Curba  $\mu = f(H)$ , reprezentată tot în figura 7.2, este obținută din curba de magnetizare prin raportarea lui  $B$  la  $H$  pentru fiecare valoare a cîmpului.

● **Ciclul de histerezis** se tratează ridicîndu-se mai întii curba de primă magnetizare pînă la saturație, curba  $OB_s$  (fig. 7.3). După ce s-a ajuns cu indicația în punctul  $+B$ , se reduce intensitatea  $H$  a cîmpului și se constată că și inducția  $B$  scade, dar are valori mai mari decît le-a avut la prima magnetizare, pentru același cîmp. Astfel pentru valoarea  $H'$  a intensității cîmpului, inducția este  $MN$  pe curba de primă magnetizare, și devine  $MP > MN$  pe curba de demagnetizare. Inducția  $MN$  pe curba de demagnetizare se obține pentru intensitatea cîmpului magnetic  $H'' < H'$ , ceea ce arată că variația inducției rămîne în urma variației cîmpului magnetic. Fenomenul se numește *histerezis*, după cuvîntul grecesc care înseamnă „rămînere în urmă“.

Pentru  $H = 0$ , inducția nu este nulă, ci are o anumită valoare, numită *inducție remanentă*  $B_r$ . Inducția remanentă se explică prin

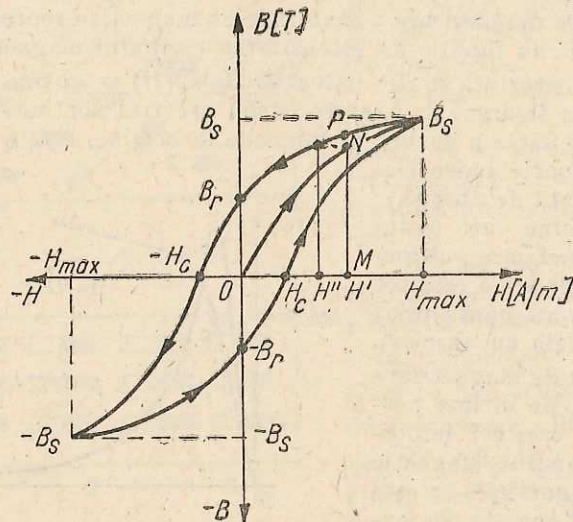


Fig. 7.3. Ciclul de histerezis magnetic.

aceea că o parte din magnetii moleculari rămîn orientați și nu revin la starea de dezordine existentă înainte de magnetizare.

Schimbîndu-se sensul lui  $H$  (prin inversarea sensului curentului în circuitul de magnetizare), adică dîndu-se intensității cîmpului magnetic valori negative, inducția  $B$  continuă să scadă pînă cînd ajunge la valoarea zero, pentru un cîmp magnetic  $-H_c$  numit *cîmp coercitiv*. Considerîndu-se procesul de magnetizare pînă în punctul  $-B_s$  și apoi micșorîndu-se intensitatea cîmpului magnetic din nou pînă la zero, se obține inducția  $-B_r$ . Schimbîndu-se sensul cîmpului (prin schimbarea sensului curentului în circuitul de magnetizare) se continuă procesul de magnetizare pînă în punctul  $+B_s$ .

Se obține astfel o curbă închisă numită *ciclu de histerezis*.

Suprafața închisă de această curbă este proporțională cu energia consumată pentru modificarea stării de magnetizare a materialului (energia necesară învingerii frecărilor care se produc în timpul orientării magnetilor moleculari), energie care apare sub formă de pierderi, determinînd încălzirea materialului.

Determinarea experimentală a curbei de magnetizare și a ciclului de histerezis se poate realiza prin două metode: *metoda inelului (sau torului) magnetic* și *metoda barelor drepte*, de secțiune circulară sau dreptunghiulară (*metoda permeometrului*).

Ambele metode constau în esență în magnetizarea materialului, adică în supunerea lui unui cîmp magnetic  $H$ , cu ajutorul unei înfășurări de magnetizare (prin care trece curent continuu și care permite calculul cîmpului  $H$ ) și din măsurarea inducției  $B$  cu ajutorul unei înfășurări de măsurare, legată la un galvanometru balistic.

● **Pierderile magnetice** înglobează *pierderile prin histerezis* și *pierderile prin curenți turbionari*. Ele sînt date în wați pe kilogram (W/kg) și se determină cu apratul Epstein, la o anumită inducție și la o anumită frecvență.

*Pierderile prin histerezis*, care sînt proporționale cu suprafața închisă a ciclului de histerezis, au un rol important în curent alternativ.

În materialul magnetic supus unui cîmp magnetic variabil, datorită fenomenului de inducție electromagnetică, apar și *pierderi prin curenți turbionari (curent Foucault)*. Reducerea pierderilor prin curenți Foucault se realizează micșorîndu-se acești curenți prin sporirea rezistivității materialului magnetic și prin realizarea miezurilor magnetice din tole, izolate electric între ele.



Caracteristicile magnetice obținute prin încercările indicate mai sus sînt absolut necesare constructorilor de mașini electrice și transformatoare, care își bazează pe ele întregul calcul de dimensionare a circuitului magnetic, de încălzire și de randament, calcul care condiționează funcționarea optimă a acestor mașini și transformatoare.

## D. MATERIALE MAGNETICE MOI

Corespunzător destinației lor, la elaborarea materialelor magnetice moi se urmărește să se obțină :

- inducție remanentă mică ;
- cîmp coercitiv mic ;
- inducție la saturație cît mai ridicată ;
- suprafața mică a ciclului de histerezis ;
- pierderi mici prin histerezis și curenți turbionari.

Caracteristicile magnetice ale materialelor magnetice moi sînt influențate de : compoziția chimică, incluziuni, mărimea particulelor, metode de elaborare, tratamente termice, solicitări mecanice etc. Prelucrările mecanice (tăiere, ștanțare, găurire, presare etc.) înrăutățesc proprietățile magnetice, iar pentru eliminarea efectelor dăunătoare ale acestor prelucrări, materiale magnetice moi se supun unor tratamente termice.

Cele mai utilizate materiale magnetice moi sînt : fierul, fonta, oțelul, aliaje fier-siliciu, aliaje fier-siliciu-aluminiu (alsifer), aliaje fier-nichel, aliaje fier-cobalt, ferite moi, pelicule feromagnetice, aliaje termocompensatoare, aliaje magnetostriptive și materiale magnetice speciale.

### 1. FIERUL

Fierul constituie baza celor mai multe materiale magnetice.

Se disting mai multe sorturi de fier și anume : fierul tehnic pur, fierul electrolitic, fierul carbonil.

● **Fierul tehnic pur** are puritatea 99,50—99,90% și este cunoscut sub denumirea de : *fier armco*, „*fier suedez*“, *fier magnetic*, *fier moale*. Între 815 și 1 050°C, precum și între 200 și 430°C, materialul este fragil și în aceste domenii critice solicitările trebuie evitate.

După prelucrări mecanice se recomandă un tratament special în atmosferă de hidrogen, avînd ca rezultat o sporire a permeabilității și o mișcare a cîmpului coercitiv.

Fierul tehnic pur se folosește la realizarea miezurilor masive ale circuitelor magnetice care funcționează în curent continuu.

● **Fierul electrolitic** este obținut prin electroliză și are un grad ridicat de puritate (conține mai puțin de 0,05% impurități).

El se folosește la fabricarea aliajelor alni și alnico sinterizate.

● **Fierul carbonil** este produs după metoda de rafinare Carbonil, care necesită instalații speciale, fiind un procedeu de rafinare destul de complicat.

Acest material are puritate mare și prezintă avantajul, față de fierul electrolitic, de a avea particule sferice, ceea ce îl face utilizabil la fabricarea miezurilor sau torurilor folosite la frecvențe înalte, cu pierderi magnetice mici. Se utilizează, de asemenea, la fabricarea magneto-dielectricilor (materiale compuse dintr-un material izolant — de exemplu o rășină — în care este înglobată pulbere feromagnetică), folosiți pentru aparatura de înaltă frecvență.

Magneto-dielectricii au rezistivitate electrică ridicată, datorită prezenței dielectricului în compoziția lor, și ca urmare, pierderile, prin curenți turbionari, sînt reduse.

Fierul electrolitic și fierul carbonil au proprietăți magnetice superioare fierului tehnic pur, datorită purității lor ridicate.

### 2. FONTA

Fonta este un aliaj de fier cu carbon, avînd procentul cel mai ridicat de carbon (între 2,06 și 4%).

Caracteristicile mecanice și magnetice ale fontei sînt net inferioare celor ale oțelului.

Fontele se utilizează la inducții pînă la 1 T, în circuite magnetice de curent continuu (de exemplu, carcase de mașini electrice de curent continuu).

### 3. OȚELUL

Oțelul se elaborează din fontă prin reducerea procentului de carbon (între 0,04 și 2,06%).

Oțelurile se folosesc în circuitele magnetice supuse la solicitări mecanice pronunțate, în special unde se cere elasticitate mare.

Avînd proprietăți magnetice net superioare față de fontă, oțelul se utilizează cu precădere chiar și la piesele străbătute de flux magnetic, dar care nu sînt solicitate mecanic în mod deosebit, deoarece astfel se realizează piese de dimensiuni mult mai mici, deci construcții mai economice.



#### 4. ALIAJE FIER-SILICIU

Aliajele fier-siliciu sînt materialele magnetice cele mai utilizate în domeniul electrotehnic, deoarece au proprietăți magnetice bune și cost redus.

Siliciul contribuie la mărirea rezistivității aliajului și implicit la reducerea pierderilor prin curenți turbionari. Cu un procent de 6–7% siliciu s-ar obține un aliaj magnetic ideal, dar fragilitatea aliajului nu permite o prelucrare la cald decât pentru un conținut de cel mult 4,5% siliciu și pentru prelucrarea la rece de cel mult 3,3% siliciu.

Un dezavantaj al siliciului în aliaj constă în reducerea inducției la saturație cu 0,057–0,058 T pentru fiecare procent de siliciu.

Pentru realizarea circuitelor magnetice care funcționează în curent alternativ, la frecvență industrială, se utilizează table (tole) subțiri realizate din tablă silicioasă laminată la cald sau la rece.

**Tabla silicioasă laminată la cald** are grosimi de 0,3 ; 0,35 ; 0,5 mm. Tolele se izolează între ele prin oxidare, prin lăcuire sau printr-un strat de hîrtie.

**Tabla silicioasă laminată la rece**, cunoscută sub denumirea de *tablă texturată* are în direcția laminării caracteristici magnetice superioare tablei laminate la cald și o suprafață mai netedă.

*Tabla texturată prezintă proprietăți magnetice superioare (permeabilitate magnetică mare și pierderi în fier mici) numai în cazul în care direcția fluxului magnetic în material coincide cu direcția laminării.*

Grosimile acestor table sînt de 0,35 ; 0,30 ; 0,20 ; 0,10 ; 0,05 mm.

Izolația acestor table este de tip ceramic (oxid de calciu numit *carlit*) sau pe bază de fosfați.

#### 5. ALIAJE FIER-SILICIU-ALUMINIU

Acest aliaj cunoscut sub denumirea de *alsifer*, se obține prin sinterizarea pulberilor și conține 9,5% siliciu, 5,5% aluminiu și restul fier.

Are caracteristici magnetice foarte bune și este utilizat la fabricarea de ecrane magnetice, de carcase pentru mașini și aparate electrice.

#### 6. ALIAJE FIER-NICHEL

Aceste aliaje sînt cunoscute sub denumirea de *permalloy* și se caracterizează prin permeabilitate magnetică foarte mare, cîmp coercitiv și pierderi magnetice mici.

Caracteristicile magnetice ale acestor aliaje depind de compoziție, puritatea elementelor componente, tehnologia de elaborare, precum și de tratamentele termice la care au fost supuse.

Aceste aliaje conțin nichel între 35 și 80% și, în funcție de procentul de nichel și de tratamentul termic aplicat, se deosebesc :

— *aliaje fier-nichel cu permeabilitate mare* (cu denumiri comerciale ca *supermalloy*, *79-permalloy*, *permalloy C*) a căror permeabilitate maximă  $\mu_{max}$  atinge valori de 800 000–1 200 000 ;

— *aliaje cu ciclul de histerezis dreptunghiular*, avînd 50% nichel și la care prin laminări la rece și tratamente termice se obține raportul  $B_r/B_s$  egal cu 0,80–0,95 (sînt cunoscute sub denumirile comerciale *deltamax*, *permalloy G*, *permenorm 5000 Z* etc) ;

— *aliaje cu permeabilitate constantă* (cunoscute sub denumirea de *perminvar* — permeabilitate invariabilă) au în general permeabilitate mică, dar care rămîne constantă în domeniul cîmpurilor magnetice slabe.

La aliajele *perminvar* cîmpurile magnetice maxime prescrise nu trebuie depășite, altfel materialul se degradează din punct de vedere magnetic.

#### 7. ALIAJE FIER-COBALT

Aceste aliaje cu inducție de saturație mare, datorită procentului ridicat de cobalt (între 35 și 50%).

Aliajul fiind foarte cîasant se prelucrează greu ; de aceea, i se adaugă 2% vanadiu, care facilitează prelucrările mecanice.

Aliajele fier-cobalt sînt cunoscute sub denumirile comerciale de : *permendur*, *hyperco*, *hyperperm*, *vacodur* etc.

#### 8. FERITE MOI

Aceste aliaje sînt folosite cu precădere la frecvențe înalte, deoarece au rezistivitate mare ajungînd pînă la  $10^8 \Omega \text{cm}$ .

Feritele au avantajul că pot fi folosite la realizarea pieselor compacte, cu pierderi prin curenți turbionari acceptabile.

Feritele se compun din oxizi de fier cu oxizi ai altor metale ca mangan, nichel, zinc, magneziu, cobalt, litiu etc.

În comparație cu materialele magnetice metalice, feritele au permeabilitatea și inducția reduse.



## 9. PELICULE FEROMAGNETICE

Peliculele feromagnetice se obțin printr-o tehnologie asemănătoare circuitelor imprimate sau prin diferite tehnologii, ca: evaporare în vid, pulverizare catodică, depunere electrolică etc.

După realizarea peliculelor cu grosimi extrem de mici, având ca rezultat micșorarea substanțială a curenților turbionari, sînt magnetizate.

Se utilizează la frecvențe înalte.

## 10. ALIAJE TERMOCOMPENSATOARE

Aliajele termocompensatoare sînt caracterizate prin permeabilitate puternic variabilă cu temperatura; permeabilitatea crește cu scăderea temperaturii.

Aceste aliaje sînt folosite la compensarea erorilor de temperatură a magneților permanenți, la care fluxul crește cu scăderea temperaturii. Prin șuntarea magnetului (aplicarea pe magnet de benzi termocompensatoare de diferite grosimi) cu o bandă termocompensatoare se reglează fluxul, pentru a fi menținut constant, în anumite zone ale circuitului magnetic, pentru un anumit domeniu de temperatură.

Aliajele termocompensatoare sînt pe bază de nichel-fier (cele mai des folosite), nichel-crom-fier, nichel-cupru, nichel-siliciu-fier.

## 11. ALIAJE MAGNETOSTRICTIVE

Prin magnetostricțiune se înțelege variația dimensiunilor fizice ale unui material feromagnetic sub influența unui cîmp magnetic exterior.

Cobaltul și nichelul, precum și o serie de aliaje ale acestora, sînt materiale cu o magnetostricțiune pronunțată.

Aceste aliaje se utilizează la generatoare sonore și ultrasonore cu aplicații la controlul nedistructiv, curățirea apei, accelerarea reacțiilor chimice, prepararea de emulsii, distrugerea de bacterii, degresare de piese etc.

## E. MATERIALELE MAGNETICE DURE

Materialele magnetice dure, folosite la realizarea magneților permanenți, se caracterizează prin menținerea stării de magnetizare și după dispariția cîmpului exterior magnetizat. Ele au inducție remanentă și cîmp coercitiv mari.

Cele mai utilizate materiale magnetice dure sînt: oțelurile cu carbon, oțelurile aliate, aliajele din metale prețioase, aliajele alni și alnico, feritele dure, compușii cu pămînturi rare.

## 1. OȚELURI CU CARBON

Oțelurile cu carbon au fost primele materiale utilizate la realizarea magneților permanenți.

Aceste oțeluri conțin 1—1,5% carbon.

Ele au proprietăți magnetice instabile, adică se modifică la șocuri mecanice și la variații de temperatură. În plus, energia magnetică produsă pe unitatea de volum este mică, iar magneții construiți sînt mari și grei.

## 2. OȚELURI ALIATE

Oțelurile cu wolfram, oțelul cu crom și oțelul cu cobalt au proprietăți magnetice superioare oțelului cu carbon, dar fiind scumpe, în special cel cu cobalt, s-au căutat materiale înlocuitoare mai ieftine.

## 3. ALIAJE ALNI ȘI ALNICO

Aceste aliaje reprezintă aproximativ 40% din producția mondială de magneți permanenți.

Aceasta se datorește caracteristicilor magnetice net superioare altor aliaje magnetice.

Ele prezintă stabilitatea proprietăților magnetice la variația temperaturii și la șocuri mecanice.

Aliajele alni conțin 22—30% nichel, 10—15% aluminiu, restul fier.

Aliajele alni care conțin și cupru se numesc *cunife*, iar cele care conțin cobalt se numesc *alnico*.

Cifrele care se adaugă după denumirea aliajului indică conținutul de nichel la aliajele alni și conținutul de cobalt la aliajele alnico (de exemplu: alni 22 conține 22% nichel; alnico 32 conține 32% cobalt).

Aliajele alni și alnico se obțin prin turnare sau prin metalurgia pulberilor (sinterizare).

Aceste aliaje au dezavantajul că sînt foarte casante și nu pot fi prelucrate decît prin șlefuire.

Pentru a se obține aliaje alnico cu cîmp coercitiv mare se introduce în aliaj un adaos de titan (între 0,5 și 10%), de niobiu sau titan și nio-



biu. S-au obținut aliaje alnico, bogat aliate cu titan, cu cîmp coercitiv de 1 600 A/cm.

Magneții alni și alnico turnați prezintă următoarele dezavantaje :

- pori, sufluri și chiar fisuri ;
- risipă mare de material la turnarea magneților mici ;
- dificultăți la obținerea magneților mici și de forme complicate.

Magneții sinterizați prezintă următoarele avantaje :

- structură omogenă ;
- rezistență mai bună la șocuri și vibrații.

Dezavantajul magneților sinterizați constă în aceea că inducția remanentă este mai mică cu 5—10% decît cea a magneților turnați.

Se recomandă realizarea de magneți prin metalurgia pulberilor numai pentru magneți mici și în serii mari.

#### 4. ALIAJE DIN METALE PREȚIOASE

Dintre aliajele din metale prețioase, aliajul care conține 77% platină și 22% cobalt, cunoscut sub denumirea de *platinax*, are proprietăți magnetice foarte bune, dar fiind deosebit de scump, el este înlocuit cu compuși ai pămînturilor rare.

#### 5. FERITE DURE

Feritele sînt astăzi mai utilizate la fabricarea magneților decît aliajele alni și alnico, datorită următoarelor avantaje :

- nu conțin materii prime deficitare ;
- au rezistivitate foarte mare, ceea ce le face utilizabile la frecvențe înalte, cu pierderi mici prin curenți turbionari ;
- au cîmp coercitiv foarte mare.

Au însă și cîteva dezavantaje în comparație cu aliajele alni și alnico :

- stabilitate redusă la variații de temperatură ;
- inducție remanentă mai mică.

Din ferite, cu ajutorul unor lianți plastici, s-au putut realiza magneți flexibili, folosiți ca magneți de prindere (de exemplu, la ușa frigiderului, utilizați frecvent în producția noastră de frigidere — Găești).

#### 6. COMPUȘI CU PĂMÎNTURI RARE

Pămînturile rare sînt elemente aparținînd grupei lantanidelor (au numărul atomic  $Z = 57 \dots 71$ ).

Pămînturile rare ca samariu și cesiu pot forma împreună cu cobaltul compuși feromagnetici cu proprietăți magnetice foarte bune.

Magneții din acești compuși se pot realiza prin turnare, presare la rece sau sinterizare.

*Energîile magnetice obținute cu magneți realizați din compuși cu pămînturi rare sînt cele mai mari cunoscute pînă în prezent.*

#### REZUMAT

În funcție de valoarea permeabilității magnetice relative  $\mu_r$ , materialele electrotehnice se clasifică în :

- *diamagnetice* :  $\mu_r < 1$ , aproape de 1 (exemplu : cuprul are  $\mu_r = 0,99999$ ) ;
  - *paramagnetice* :  $\mu_r > 1$ , aproape de 1 (exemplu : aluminiul are  $\mu_r = 1,000022$ ) ;
  - *feromagnetice* :  $\mu_r \gg 1$ , mult mai mare decît 1 (exemplu : fierul are  $\mu_r = 5\,000$ ).
- Materialele feromagnetice sînt cunoscute sub denumirea de materiale magnetice.

Încercările materialelor magnetice

{  
trasarea curbei de magnetizare  
trasarea ciclului de histerezis  
determinarea pierderilor magnetice (pierderi prin histerezis și pierderi prin curenți turbionari)

Curba de magnetizare și ciclul de histerezis se determină experimental cu permeometrul, iar pierderile magnetice cu aparatul Epstein.

Materiale feromagnetice (magnetice)

{  
moi

{  
fierul {  
— tehnic pur  
— electrolitic  
— carbonil  
fonta  
oțelul  
aliaje fier-siliciu  
aliaje fier-siliciu-aluminiu (alsifer)  
aliaje fier-nichel (permalloy)  
aliaje fier-cobalt  
ferite moi  
pelicule feromagnetice  
aliaje termocompensatoare  
aliaje magnetostrictive

{  
dure

{  
oțeluri cu carbon  
oțeluri aliate  
aliaje alni și alnico  
aliaje din metale prețioase (platinax)  
ferite dure  
compuși ai pămînturilor rare

#### VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Permeabilitatea magnetică absolută reprezintă :
  - a. raportul dintre  $B$  și  $H$  ?
  - b. raportul dintre  $H$  și  $B$  ?



2. Permeabilitatea magnetică relativă are unitatea de măsură :
  - a. henry/metru (H/m) ?
  - b. sau nu are unitate de măsură ?
3. Permeabilitatea magnetică absolută a materialelor diamagnetice, față de permeabilitatea vidului ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m) este :
  - a. mai mică ?
  - b. egală ?
  - c. mai mare ?
4. Permeabilitatea magnetică absolută a materialelor feromagnetice :
  - a. variază cu intensitatea cîmpului magnetic ?
  - b. nu depinde de intensitatea cîmpului magnetic ?
5. Cum se explică fenomenul saturației la materialele feromagnetice ?
6. Ce este inducția remanentă și cum se explică ?
7. Ce este cîmpul coercitiv ?
8. Pierderile prin histerezis și pierderile prin curenți turbionari în materialele feromagnetice apar :
  - a. în cîmp magnetic constant ?
  - b. în cîmp magnetic variabil ?
9. Cum pot fi diminuate pierderile prin histerezis și pierderile prin curenți turbionari ?
10. Care sînt deosebiri între materialele magnetice moi și materialele magnetice dure ?

## CUPRINS

Introducere	3
Cap. 1. Clasificarea materialelor electrotehnice din punct de vedere electric	5
Cap. 2. Materiale conductoare	12
A. Proprietățile fizice ale metalelor și aliajelor	12
B. Caracteristicile mecanice ale metalelor și aliajelor	14
C. Caracteristicile tehnologice ale metalelor și aliajelor	17
D. Materiale conductoare cu înaltă conductivitate electrică	18
1. Cuprul	18
2. Alumiuniu	22
3. Comparație între două conductoare electrice realizate din cupru și respectiv din alumiuniu	24
4. Argintul	25
5. Aurul	26
6. Platina	27
7. Fierul material conductor	27
8. Nichelul	28
9. Metale cu temperatură înaltă de topire	29
10. Metale cu temperatură joasă de topire	30
E. Materiale conductoare cu înaltă rezistivitate electrică	32
1. Aliaje pentru rezistoare etalon și de precizie	33
2. Aliaje pentru rezistoare	33
3. Materiale și aliaje pentru elemente de încălzire electrică	34
Cap. 3. Aliaje fier-carbon	38
A. Fonte	38
1. Fonte brute sau fonte de primă topire	38
2. Fonte turnate în piese sau fonte de a doua topire	39
B. Oțeluri	40
Clasificarea oțelurilor	40
Cap. 4. Coroziunea metalelor	43
A. Coroziunea chimică	43
B. Coroziunea electrochimică	44
C. Protecția metalelor împotriva coroziunii	45
Cap. 5. Materialele semiconductoare	49
A. Introducere	49
B. Semiconductoare cu conductivitate intrinsecă	50
C. Semiconductoare cu conductivitate extrinsecă	51
1. Semiconductoare de tip $n$	51
2. Semiconductoare de tip $p$	52
D. Recombinarea purtătorilor de sarcină	53



E. Joncțiunea pn . . . . .	53
1. Joncțiunea pn polarizată direct . . . . .	54
2. Joncțiunea pn polarizată invers . . . . .	55
F. Elemente semiconductoare . . . . .	55
G. Compuși semiconductori . . . . .	57
Cap. 6. Materiale electroizolante . . . . .	60
A. Dielectricul în câmpul electric . . . . .	60
B. Proprietățile electrice ale materialelor electroizolante . . . . .	62
C. Proprietățile fizico-chimice ale materialelor electroizolante . . . . .	68
D. Caracteristicile mecanice . . . . .	69
E. Materiale electroizolante gazoase . . . . .	69
1. Aerul . . . . .	70
2. Azotul . . . . .	70
3. Hidrogenul . . . . .	70
4. Gazele electronegative . . . . .	70
F. Materiale electroizolante lichide . . . . .	71
1. Uleiuri minerale . . . . .	71
2. Uleiuri vegetale . . . . .	72
3. Uleiuri sintetice clorurate . . . . .	73
G. Materiale electroizolante solide, organice . . . . .	73
1. Rășini . . . . .	73
2. Materiale plastice presate . . . . .	80
3. Materiale plastice stratificate . . . . .	81
4. Materiale pe bază de celuloză . . . . .	82
5. Lacuri electroizolante . . . . .	84
6. Compundurile (mase electroizolante) . . . . .	85
7. Bitumuri . . . . .	86
H. Materiale electroizolante solide, anorganice . . . . .	87
1. Sticla . . . . .	87
2. Mica . . . . .	89
3. Mica sintetică . . . . .	91
4. Azbestul . . . . .	91
5. Ceramica electrotehnică . . . . .	92
I. Materiale electroizolante rezistente la condiții tropicale . . . . .	94
Cap. 7. Materiale magnetice . . . . .	99
A. Introducere . . . . .	99
B. Clasificarea materialelor electrotehnice din punct de vedere magnetic . . . . .	100
C. Caracteristicile magnetice . . . . .	101
D. Materiale magnetice moi . . . . .	104
1. Fierul . . . . .	104
2. Fonta . . . . .	105
3. Oțelul . . . . .	105

4. Aliaje fier-siliciu . . . . .	106
5. Aliaje fier-siliciu-aluminiu . . . . .	106
6. Aliaje fier-nichel . . . . .	106
7. Aliaje fier-cobalt . . . . .	107
8. Ferite moi . . . . .	107
9. Pelicule feromagnetice . . . . .	108
10. Aliaje termocompensatoare . . . . .	108
11. Aliaje magnetostrictive . . . . .	108
E. Materiale magnetice dure . . . . .	108
1. Oțeluri cu carbon . . . . .	109
2. Oțeluri aliate . . . . .	109
3. Aliaje alni și alnico . . . . .	109
4. Aliaje din metale prețioase . . . . .	110
5. Ferite dure . . . . .	110
6. Compuși cu pământuri rare . . . . .	110



Coli de tipar 7,250. B.T. 401.198  
Format 16/61×86. Apărut 1988.

I. P. „Oltenia” Craiova  
Str. M. Viteazul, nr. 4

Republica Socialistă România  
Plan 19034/311/1988

