

Prof.univ.dr.ing. **Ioan-Lucian BOLUNDUȚ**

MATERIALE ȘI TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE

Moto:

*Conștiința este ceva care nu te
împiedică niciodată să comiți un păcat,
dar te împiedică să te bucuri de el în pace.*

Theodore Dreiser (1871-1945) - scriitor american

EDITURA TEHNICA-INFO
CHIȘINĂU, 2012

620.22+621.7(075.8)

B 91

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. **Sorin DIMITRIU**

Universitatea „Politehnica” din București

Prof.univ.dr.ing. **Ioan VIDA-SIMITI**

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Conf.univ.dr.ing. **Alexei TOCA**

Universitatea Tehnică a Moldovei din Chișinău

Coordonatori serie:

Prof.univ.dr.ing. **Alexandru MARIN**

Prof.univ.dr.ing. **Dragoș PARASCHIV**

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Materiale și tehnologii neconvenționale/: / *Ioan-Lucian Bolunduț*

- Ch.: „Tehnica – Info” SRL, 2012 – 228 p.

ISBN: 978-9975-63-334-5

CZU: 620.22+621.7(075.8)

B 91

250 ex.

Redactor: Conf.univ.dr.ing. **Sorin Mihăilescu**

Tehnoredactare computerizată: **Alina-Ana Csiki**

Coperta: ing. **Cornel Chirilă**

MATERIALS AND UNCONVENTIONAL TEHNOLOGIES

The materials were the basis for all industrial conquests: steel for rails, copper for electricity, aluminium for aircraft, plastics for consumer goods after World War II and silicon for computers. Separation of traditional materials (metals and alloys, ceramics and polymers) of the advanced is increasingly harder to do, because now considered advanced material; it may be that tomorrow into the traditional category.

Using new materials is a classic screen play: their price drops as they pass from the top industries in the ordinary. Thus, materials used initial in armament or aerospace industries, are taken by car manufacturers and end up being consumer goods. For example, composite materials have conquered aerospace industries, at the expense of aluminium alloys, that replace the steel in automobile construction. At the same time, some of these materials are very fragile, or superhard, or very thin and can not be processed only through unconventional processes.

So, subject of this book is advanced materials and unconventional technologies. The book is addressed to students of technical profiles who have in curriculum this discipline, but it is also useful to engineers, technicians, designers and researchers in metallurgy and machine building.

CONTENTS

1. Introduction to materials science	9
2. Traditional materials	12
3. Advanced materials	35
3.1. Advanced metallic materials	36
3.2. Advanced polymers	52
3.3. Advanced ceramics	65
3.4. Composite materials	85
3.5. Other advanced materials	111
3.5.1. Magnetic materials	111
3.5.2. Optical fibers	119
3.5.3. Advanced concretes	126
3.5.4. Superconducting materials	134
3.5.5. Smart materials	148
4. Unconventional technologies	168
4.1. Electroerosion machining	170
4.2. Electrochemical machining	180
4.3. Chemical erosion machining	185
4.4. Plasma erosion machining	189
4.5. Laser machining	198
4.6. Ultrasonic machining	201

PREFAȚĂ

Materialele au stat la baza tuturor cuceririlor industriale: oțelul pentru calea ferată, cuprul pentru electricitate, aluminiul pentru aviație, materialele plastice pentru bunurile de consum de după război, iar siliciul pentru informatică. Separarea materialelor tradiționale (metale și aliaje, ceramice și polimeri) de cele avansate este din ce în ce mai greu de făcut, pentru că un material considerat astăzi avansat, s-ar putea ca mâine să intre în categoria celor tradiționale. Folosirea materialelor noi se realizează după un scenariu clasic: pe măsură ce prețul lor scade, ele trec din industriile de vârf, în cele obișnuite. Astfel, materialele folosite inițial în industriile de armament sau aerospațială, sunt preluate de constructorii de automobile și sfârșesc prin a fi bunuri de consum. De exemplu, materialele compozite au cucerit industria aerospațială, în detrimentul aliajelor de aluminiu, care înlocuiesc oțelul în construcția de automobile. În același timp, unele din aceste materiale sunt fie foarte fragile, fie extradure, fie foarte subțiri și nu se pot prelucra decât prin procedee neconvenționale. Obiectul prezentei cărți îl constituie deci materialele avansate și tehnologiile neconvenționale.

Materialele tradiționale sunt tratate foarte succint, fiind amintite materialele metalice (feroase și neferoase), plasticele și ceramicele. Ele se folosesc pe scară largă în toate domeniile de activitate, la prețuri accesibile, în funcție de proprietățile fizico-mecanice sau chimice pe care le au.

Materialele avansate sunt tratate pe larg, cuprinzând toate cele patru tipuri de materiale utilizate în tehnică (metalice, plastice, ceramice și compozite), precum și unele tipuri care nu pot fi încadrate în nici una din aceste categorii.

Catalogul mondial al materialelor metalice cuprinde circa 18.000 de produse, din care multe sunt considerate avansate. Dintre acestea, se pot aminti oțelurile avansate de înaltă rezistență, superaliajele, spumele metalice, aliajele amorfe și aliajele ușoare. În industriile moderne sunt indispensabile metalele de înaltă tehnicitate, multe din ele scumpe și rare: tantal (telefoane mobile), paladiu și ceriu (tobe catalitice de eșapament), indiu (ecrane plate LCD), reniu (turbine), germaniu (internet mobil wi-fi), galiu (electronică), titan (aeronautică militară și civilă). Producția mondială a acestor metale nu depășește 50 t/an, datorită răspândirii foarte reduse în scoarța terestră, dar impactul lor în prețul final al produselor este semnificativ. Astfel, reniul care intră în construcția unui turboreactor pentru avioane reprezintă doar 6% din masa acestuia, dar are un preț de 80% din costul total al materialelor turboreactorului.

Polimerii avansați se pot folosi la temperaturi de până la 300 °C, față de 70...120 °C la cât se pot utiliza cei obișnuiți. Mai există polimeri conductori, folosiți în electronică și la panourile solare, polimeri fotonici (displayuri LCD și LEP), polimeri biodegradabili și biocompatibili și dendrimeri (utilizați în medicină). Toți aceștia îmbină proprietățile specifice materialelor plastice cu anumite proprietăți induse, specifice metalelor și aliajelor.

Ceramica avansată are proprietăți indispensabile dezvoltării tehnologiilor

de vârf: rezistențe la uzură, la temperatură și la acțiunea agenților chimici, duritate, stabilitate dimensională și posibilități de prelucrare rapidă în piese, precum și proprietăți electrice, magnetice, optice, supraconductoare, termice, termomecanice sau biomedicale.

Materialele compozite sunt alcătuite dintr-o osatură numită ranfort încorporată în masa unei matrice. Materialele de ranforsare pot fi sub formă de particule, fibre sau plăci, iar matricele sunt de natură plastică, metalică sau ceramică. Primul compozit utilizat a fost lemnul, un compozit natural, iar mai târziu, betonul și betonul armat. Astăzi materialele compozite fac parte din viața noastră, întâlnindu-se de la carcasele de telefoane mobile și televizoare, până la articole sportive performante și construcțiile aerospațiale.

Din categoria altor tipuri de materiale avansate fac parte materialele magnetice (moi și dure), fibrele optice (multimodale și unimodale), betoanele avansate (autonivelante, decorative, amprentate, fotocatalitice, conductoare și translucide), supraconductoarele și materialele inteligente (dure și moi). Fiecare din aceste materiale au proprietăți specifice, se fabrică prin procedee aparte și se aplică în domenii noi de activitate, începând cu avioanele sau luptătorii invizibili, până la cele mai sofisticate metode de investigație medicală. Majoritatea Premiilor Nobel pentru fizică și chimie din ultimii ani au fost acordate pentru descoperirea unor astfel de materiale în marile laboratoare de cercetare din lume.

Tehnologiile neconvenționale se bazează pe fenomenul de eroziune, adică pe acțiunea de îndepărtare a materialului de la suprafața unei piese de către un agent eroziv. Agentul eroziv este un sistem fizico-chimic sau fizico-mecanic complex care cedează piesei energie de natură electrică, electromagnetică, electrochimică, termică, de radiație, chimică sau mecanică. Energia agentului eroziv distruge stratul superficial al piesei de prelucrat prin topire, vaporizare și ruperi de material sub formă de microparticule sau prin coroziune. Se tratează succint electroeroziunea, eroziunile chimică, electrochimică, cu plasmă, cu radiații și cu ultrasunete.

Materialele avansate și tehnologiile neconvenționale se înscriu într-un context în care competiția globală și dezindustrializarea rapidă vor permite țărilor dezvoltate să-și prezerve avantajul tehnologic. Omenirea va avea nevoie pentru multă vreme de metale și alte materiale tradiționale, desigur, în cantități mai mici, dar sub forme mult mai elaborate. Oare , dezindustrializarea nu înseamnă dislocarea industriilor tradiționale din țările dezvoltate în economiile emergente, unde materiile prime și, mai ales, manopera sunt mult mai ieftine?

Cartea se adresează studenților profilurilor tehnice care au în programa de învățământ această disciplină, dar este utilă și inginerilor, tehnicienilor, proiectanților și cercetătorilor din metalurgie și construcții de mașini.

CUPRINS

PREFAȚĂ	4
CUPRINS	6
PARTEA ÎNTÂI – MATERIALE	9
1. INTRODUCERE ÎN ȘTIINȚA MATERIALELOR	9
1.1. Generalități	9
1.2. Tipuri de materiale	11
2. MATERIALE TRADIȚIONALE	12
2.1. Materiale metalice	12
2.1.1. Materiale feroase	12
2.1.2. Materiale neferoase	16
2.2. Materiale plastice	19
2.2.1. Generalități	19
2.2.2. Structura și constituenții materialelor plastice	21
2.2.3. Clasificarea materialelor plastice	21
2.3. Materiale ceramice	25
2.3.1. Structura și proprietățile materialelor ceramice	25
2.3.2. Tipuri de materiale ceramice	28
3. MATERIALE AVANSATE	35
3.1. Generalități	35
3.2. Materiale metalice avansate	36
3.2.1. Generalități	36
3.2.2. Oțeluri avansate de înaltă rezistență (AHSS)	36
3.2.3. Aliaje ușoare	38
3.2.4. Superaliaje	44
3.2.5. Spume metalice	45
3.2.6. Aliaje amorfe	49
3.3. Polimeri avansați	52
3.3.1. Generalități	52
3.3.2. Polimeri pentru temperaturi ridicate	54
3.3.3. Polimeri conductori	55
3.3.4. Polimeri fotonici	56
3.3.5. Polimeri biodegradabili	58

3.3.6. Polimeri biocompatibili	60
3.3.7. Dendrimeri	61
3.3.8. Alte tipuri de polimeri avansați	63
3.4. Ceramice avansate	65
3.4.1. Generalități	65
3.4.2. Materiale ceramice funcționale	70
3.4.3. Materiale ceramice structurale	71
3.4.4. Acoperiri cu materiale ceramice	77
3.4.5. Prelucrarea materialelor ceramice	81
3.5. Materiale compozite	85
3.5.1. Generalități	85
3.5.2. Tipuri de materiale compozite	86
3.5.3. Prelucrarea materialelor compozite	102
3.6. Alte tipuri de materiale avansate	111
3.6.1. Materiale magnetice	111
3.6.2. Fibre optice	119
3.6.3. Betoane avansate	126
3.6.4. Materiale supraconductoare	134
3.6.5. Materiale inteligente	148
PARTEA A DOUA – TEHNOLGII NECONVENȚIONALE	168
4. TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE	168
4.1. Domenii de utilizare a tehnologiilor neconvenționale	168
4.2. Prelucrarea prin electroeroziune	170
4.2.1. Generalități	170
4.2.2. Fenomene fizico-mecanice și chimice la prelucrarea prin electroeroziune	171
4.2.3. Dielectrics utilizați la prelucrarea prin electroeroziune	173
4.2.4. Scule utilizate la prelucrarea prin electroeroziune.....	174
4.2.5. Generatoare de impulsuri folosite la prelucrarea prin electroeroziune	174
4.2.6. Mașini de prelucrat prin electroeroziune	177
4.3. Prelucrarea prin eroziune electrochimică	180
4.3.1. Generalități	180
4.3.2. Eroziunea electrochimică naturală	182
4.3.3. Eroziunea electrochimică hidrodinamică	183
4.3.4. Eroziunea electrochimică abrazivă	185
4.4. Prelucrarea prin eroziune chimică	185
4.5. Prelucrarea prin eroziune electrică și electrochimică	186
4.5.1. Generalități	186

4.5.2. Operații de prelucrare prin eroziune electrică și electrochimică	187
4.5.3. Mașini de prelucrat prin eroziune electrică și electrochimică	187
4.6. Prelucrarea prin eroziune cu plasmă	189
4.6.1. Generalități	189
4.6.2. Aplicații tehnologice ale prelucrării cu plasmă.....	190
4.7. Prelucrarea prin eroziune cu radiații	193
4.7.1. Prelucrarea cu fascicul de electroni	193
4.7.2. Prelucrarea cu fascicul de ioni	195
4.7.3. Prelucrarea cu fascicul de fotoni (cu laser)	198
4.8. Prelucrarea prin eroziune cu ultrasunete	201
4.8.1. Generalități	201
4.8.2. Mașini de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete.....	202
4.8.3. Aplicații tehnologice ale prelucrării cu ultrasunete.....	203
DICȚIONAR ROMÂN-ENGLEZ-FRANCEZ DE CUVINTE-CHEIE	205
BIBLIOGRAFIE	216

PARTEA ÎNTÂI

MATERIALE

1

INTRODUCERE ÎN ȘTIINȚA MATERIALELOR

1.1. Generalități

Știința materialelor tratează probleme interdisciplinare, implicând proprietățile materiei și aplicațiile ei în diverse domenii ale tehnicii și tehnologiei și folosind cunoștințe de fizică aplicată, chimie, inginerie mecanică și electrică. După apariția, în ultimii ani, a nanoștiințelor și nanotehnologiilor, știința materialelor a fost propulsată în avangarda multor universități de prestigiu din lume.

Cunoștințele oamenilor despre materiale încep odată cu olăritul, dezvoltându-se din epoca pietrei în cea a bronzului și apoi a oțelului. Știința materialelor moderne s-a dezvoltat din metalurgie, iar metalurgia din minerit. Dacă la începutul secolului XX ea se ocupa doar de metale, pe la jumătatea acestui secol ea a inclus și materialele plastice și ceramice, iar mai recent și pe cele compozite.

Principalele materiale utilizate în industrie sunt cele *metalice*. Dintre acestea, aliajele feroase (fontele și oțelurile) reprezintă circa 90%, restul de 10% fiind metale și aliaje neferoase. Fonta se elaborează în furnal și din cauza conținutului mare de carbon este dură și fragilă și nu se poate utiliza în această stare. Proprietățile sale mecanice se pot îmbunătăți prin adăugarea unor elemente care transformă grafitul lamelar în grafit nodular (Mg, Si, Ca, Ba), precum și prin aplicarea unor recoaceri de maleabilizare sau prin aliere cu diverse elemente (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Al, Cu). Oțelul conține mai puțin carbon și are proprietăți mecanice bune. Creșterea conținutului de carbon conduce la creșterea durității și a rezistenței la rupere, dar și la scăderea ductilității și a tenacității. Prin aliere cu peste 10% crom, nichel și molibden, devine inoxidabil.

Metalele și aliajele neferoase sunt mai scumpe și mai rare și se utilizează în domenii care reclamă proprietăți fizico-mecanice sau chimice speciale. Unele dintre ele sunt foarte vechi și au avut o importanță mare în dezvoltarea societății umane. Astfel, bronzul a fost descoperit în jurul anului 3500 î.Hr. în Mesopotamia și Sumer și a avut o asemenea importanță încât mileniul al doilea î.Hr. se mai numește în istorie și *epoca bronzului*. Mai aproape de vremurile noastre s-au descoperit aliajele aluminiului, titanului și magneziului, apreciate pentru greutatea redusă și rezistența ridicată și folosite pe scară largă în construcțiile aerospațiale și în industria automobilelor.

Materialele plastice au fost descoperite în secolul trecut și astăzi au ajuns să le depășească, în volum, pe cele metalice datorită unor proprietăți favorabile: sunt ieftine și ușoare, rezistente la oxidare și coroziune și permit modificarea

proprietăților prin folosirea unor aditivi. Unele se pot recicla prin solubilizare sau topire, iar aplicațiile lor acoperă aproape toate domeniile activității umane, de la banalele pungi pentru cumpărături și jucării, până la conductele subterane de apă și gaze care le înlocuiesc treptat pe cele metalice. Reciclarea materialelor plastice este foarte importantă, având în vedere faptul că peste 90% din acestea provin din petrol și gaze naturale – materii prime valoroase și din ce în ce mai deficitare. Ca urmare, prin reciclare nu se urmărește doar prelucrarea deșeurilor (reciclare mecanică), ci și utilizarea unor tehnologii avansate, bazate pe depolimerizare, care sparg lanțurile de hidrocarburi ce alcătuiesc materialele plastice și cauciucul sintetic, obținându-se monomeri (reciclare chimică).

Principalele materiale plastice sunt polietilena, polipropilena, policlorura de vinil, polistirenul, poliamida, poliesterul, poliuretanul și policarbonatul. Ele se prelucreează prin diverse procedee tehnologice (presare, injecție, extrudare, expandare, calandrare, sudare, lipire, ștanțare, așchiere), dar nu se pot utiliza la temperaturi mai mari de circa 200 °C.

A treia categorie de materiale utilizate în tehnică o constituie grupa *materialelor ceramice*. Ceramica utilitară a apărut odată cu omenirea, vasele și cărămizile fiind primele produse obținute de om, prin arderea argilei. Din aceasta s-a dezvoltat apoi ceramica de artă care s-a îndepărtat de funcția utilitară și s-a centrat pe valoarea decorativă și estetică. Pe la mijlocul secolului trecut a apărut ceramica industrială, ca urmare a dezvoltării industriilor de vârf care utilizează materiale pe bază de oxizi, carburi, nitruri, boruri și diverse forme de carbon.

Materialele ceramice sunt dure și rezistente la uzură și la temperaturi ridicate, iar sursele de materii prime din care provin sunt practic nelimitate. Folosirea lor este limitată de fragilitate și de rezistența scăzută la tracțiune. Ele se utilizează la fabricarea unor materiale de construcții (cărămidă, țiglă, teracotă, faianță, gresie) sau de artă (porțelan, mozaic), precum și în domeniul industrial (scule așchietoare, electrotehnică și electronică, izolații termice, aplicații tribologice și medicale). Prin dozarea corespunzătoare a constituenților, îndeosebi a pământurilor rare, ceramicele pot fi izolatoare electrice, semiconductoare, conductoare sau chiar supraconductoare. De altfel, pentru cercetări în domeniul supraconductibilității materialelor ceramice s-au acordat câteva Premii Nobel. Printre aplicațiile de vârf ale ceramicii industriale se menționează rulmenții ceramici care funcționează fără ungere și implanturile ceramice care înlocuiesc oase ale scheletului uman.

Materialele compozite sunt alcătuite dintr-o osatură încorporată în masa unei matrice. Primul compozit utilizat a fost lemnul, un compozit natural, iar mai târziu, betonul și betonul armat. Carcasele de televizor și telefoane mobile sunt și ele confecționate din materiale compozite, având o matrice termoplastică armată cu particule de cretă și talc și cu fibre tocate de sticlă sau de carbon.

Materialele de ranforsare pot fi sub formă de particule, fibre sau plăci, iar matricele sunt de natură plastică, metalică sau ceramică. Procedeele de prelucrare sunt foarte variate (formare manuală, turnare, laminare, presare, înfășurare), ținând cont de natura materialului matricei și de configurația armăturii.

Știința și ingineria materialelor este deci o disciplină complexă care studiază proprietățile, structura și domeniile de aplicare ale celor patru mari categorii de materiale. Din această disciplină s-au desprins recent alte ramuri științifice: nanotehnologia, microtehnica, biomaterialele, tribologia și ceramografia.

1.2. Tipuri de materiale

În funcție de legăturile existente între atomi și de microstructură, materialele se pot clasifica după schema prezentată în fig. 1.1.

Legătura metalică se datorează atracției dintre scheletul ionic pozitiv și fluxul electronilor liberi și este caracteristică materialelor metalice. Legăturile ionică și covalentă sunt specifice materialelor ceramice și se caracterizează printr-o așezare alternativă a ionilor pozitivi și negativi în rețelele cristaline sau pe punerea în comun a câte unui electron de valență, între doi atomi vecini de aceeași natură. Legătura de adsorbție caracterizează materialele plastice, adsorbția fiind fenomenul de penetrare superficială a unui gaz sau a unui lichid într-un solid.

După perioada apariției lor și mai ales după proprietățile pe care le posedă, materialele pot fi tradiționale sau clasice și neconvenționale sau avansate. Se poate spune că materialele tradiționale și-au atins limitele constructive. În prezent, prin dezvoltarea vertiginoasă a tehnicii și tehnologiei sunt necesare materiale care să lucreze în condiții extreme de forțe, presiuni, temperaturi, radiații, precum și în medii agresive sau în vid. Acestea sunt materiale avansate.

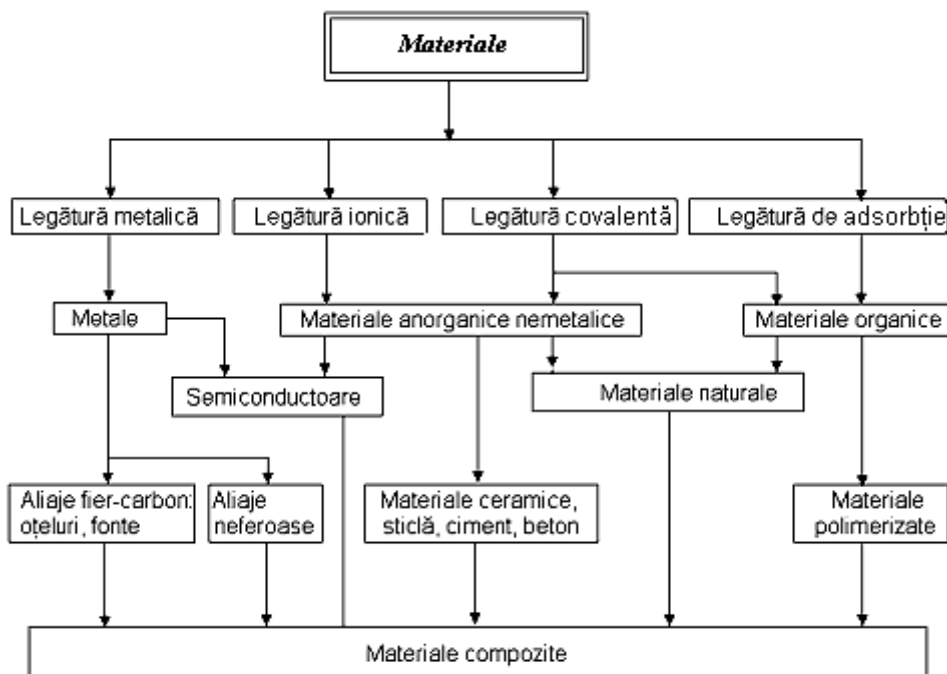


Fig.1.1. Clasificarea materialelor în funcție de legăturile interatomice și de microstructură.

MATERIALE TRADIȚIONALE

2.1. Materiale metalice

În tehnica actuală, pentru executarea pieselor și a diverselor produse, se utilizează în mare măsură materiale metalice, adică metale și aliaje. *Metalele* sunt elemente chimice cu luciu caracteristic, bune conducătoare de căldură și electricitate, maleabile și ductile, dar se folosesc mai rar din cauza proprietăților defavorabile și a prețului ridicat. *Aliajele* sunt materiale metalice obținute prin topirea împreună a două sau mai multor metale sau a unor metale și metaloizi, având proprietăți și însușiri adecvate domeniilor de utilizare dorite și preț mai redus.

După natura lor, materialele metalice se împart în două categorii:

- *materiale feroase* (fier, fonte și oțeluri) care reprezintă circa 90% din consumul mondial de materiale metalice;
- *materiale neferoase* (cupru, aluminiu, magneziu, zinc, plumb, staniu, nichel, wolfram etc. și aliajele lor), acestea reprezentând restul de 10% din consumul mondial.

2.1.1. Materiale feroase

Aliajele fier-carbon numite *fonte* și *oțeluri* sunt cele mai cunoscute materiale metalice utilizate în tehnică datorită răspândirii largi în scoarța pământului a materiilor prime din care provin, metalurgiei relativ simple, proprietăților fizico-mecanice bune și care pot fi modificate în limite largi prin aliere și tratamente termice, prețului de cost relativ scăzut, posibilităților de prelucrare prin toate procedeele tehnologice existente și reciclării prin retopire.

Fierul este un metal de culoare cenușie-albăstruie, cu proprietățile fizico-mecanice prezentate în tabelul 2.1. Fierul se prelucrează bine prin deformare plastică la cald și la rece, se sudează, se lipește și are o așchiabilitate bună.

Elementul principal de aliere a fierului este carbonul care, chiar în cantități mici, îi schimbă proprietățile, conținutul de carbon constituind de fapt criteriul principal de clasificare a fontelor și oțelurilor. Aliajele fier-carbon mai conțin mangan, siliciu, fosfor, sulf etc. *Manganul* se introduce voit în aliaj, mărindu-i duritatea și rezistența la uzură, *siliciul* provine din sterilul minereurilor, mărindu-i elasticitatea și rezistența la oboseală, iar *fosforul* și *sulful* sunt elemente dăunătoare care nu se pot înlătura complet și provin din cocs, iar în cocs, din cărbuni. Fosforul produce fragilitate la rece, iar sulful, fragilitate la cald.

Desigur, fierul se poate alia cu orice cantitate de carbon, dar din punct de vedere tehnic interesează doar aliajele fier-carbon care conțin 0,006...6,67 % C. Practic, se utilizează oțeluri cu până la 1,5 % C și fonte cu până la 4,5 % C.

Tabelul 2.1. Proprietățile fizico-mecanice ale fierului

Proprietăți fizice							Proprietăți mecanice						
ρ [kg/m ³]	θ_t [°C]	c_p [J/kg·K]	λ [W/m·K]	α [K ⁻¹] (la 100°C)	ρ [$\mu\Omega\cdot m$]	σ [MS/m]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	Z [%]	KCU [kJ/m ²]	HB [MPa]	E [GPa]
$7,87 \cdot 10^3$	1538	454	74	11,9	0,0037	270,2	289,5	174,3	47	90	2350	750...1150	210 ... 235

2.1.1.1. Fonta este un aliaj fier-carbon care conține 2,11...6,67 % C și în cantități mici, mangan, siliciu, fosfor, sulf etc. Ea se obține într-o instalație complexă numită *furnal*, din minereuri de fier și mangan, fondanți pentru formarea zgurei, combustibili prin arderea cărora se dezvoltă căldura necesară topirii materiilor prime solide și comburant (aer îmbogățit în oxigen) pentru întreținerea arderii. În urma unor reacții fizico-chimice complexe, din furnal rezultă fontă, zgură și gaz de furnal.

Proprietățile fontelor variază în limite largi, în funcție de structura acestora, astfel: masa volumică $\rho = 7...7,7$ kg/dm³, rezistența la rupere $R_m = 10...150$ daN/mm², alungirea relativă $A = 0,2...25$ %, reziliența $KCU = 0...17$ daJ/cm², duritatea Brinell $HB = 120...700$ daN/mm².

Fontele au proprietăți slabe de forjabilitate și sudabilitate, dar se toarnă ușor și au o capacitate bună de amortizare a vibrațiilor, fapt pentru care se utilizează la construcția batiurilor mașinilor-unelte. De asemenea, se utilizează cu precădere la fabricarea unor piese turnate care au proprietăți mecanice bune și prețuri de cost mai scăzute decât ale celor deformate plastic sau sudate. În cea mai mare parte însă fontele sunt destinate elaborării oțelurilor, prin reducere indirectă.

Clasificarea fontelor se face după mai multe criterii, acestea fiind prezentate în fig. 2.1.

a) – Fontele brute (primare) sunt cele obținute în furnal, conținând 2,3 ... 5 % C și cantități acceptabile de Mn, Si, P, S etc. În funcție de compoziția chimică, felul în care sunt produse și modul de utilizare, pot fi fonte de afinare, de turnătorie și aliate.

- *fontele de afinare* sunt destinate elaborării oțelului în convertizoare sau cuptoare cu vatră, precum și turnării unor piese rezistente la uzură și la acțiunea erozivă prin cavitație;

- *fontele brute de turnătorie* sunt destinate elaborării fontei de a doua fuziune, din care se obțin piesele turnate;

- *fontele brute aliate* se utilizează la elaborarea oțelurilor, ca dezoxidant sau ca adaos de aliere.

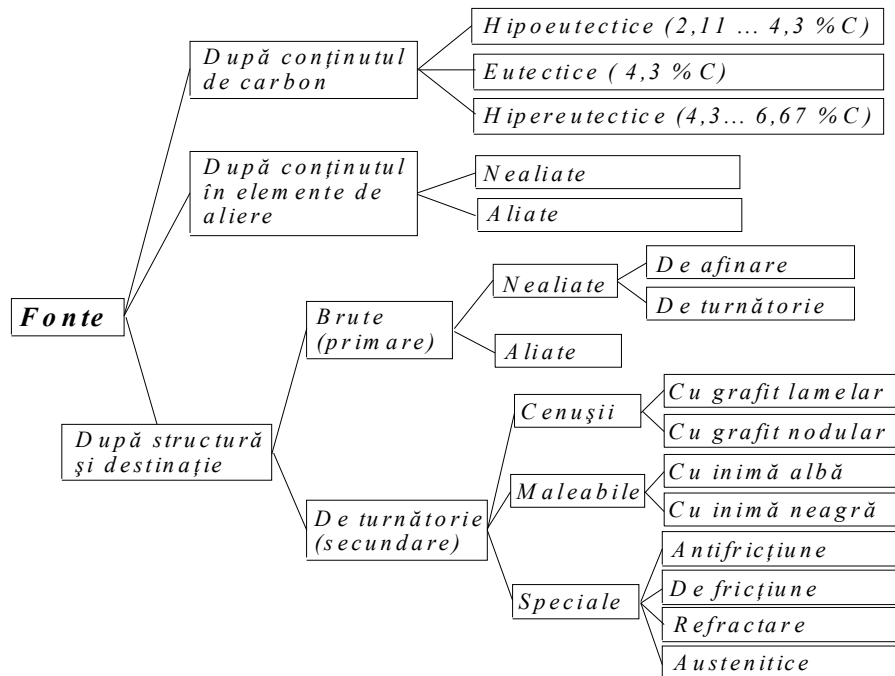


Fig. 2.1. Clasificarea generală a fontelor.

b) – Fontele de turnătorie (secundare) sunt fonte de a doua fuziune, elaborate în cuptoare electrice și destinate turnării pieselor în construcția de mașini.

După structură și destinație pot fi: cenușii, maleabile și speciale.

- *fontele cenușii* au carbonul, în cea mai mare parte sau în totalitate, sub formă de grafită lamelar sau nodular, iar în ruptură prezintă un aspect cenușiu;

- *fontele maleabile* sunt fonte cu grafită în formă de ciuburi, obținute din fontele albe printr-o recoacere de maleabilizare, prin care cementita (Fe_3C) se descompune în fier și grafită;

- *fontele speciale* provin din fontele cenușii, albe sau maleabile și prin aliere cu Ni, Cr, Mo, Mn, W, Ti, Zr, V etc. și aplicarea unor tratamente termice corespunzătoare dobândesc proprietăți mecanice și fizico-chimice speciale (antifricțiune, de fricțiune, refractare, criogenice).

2.1.1.2. Oțelul este un aliaj fier-carbon care conține 0,006...2,11%C, precum și elemente însoțitoare ($\text{Mn} \leq 0,9\%$, $\text{Si} \leq 0,45\%$, $\text{P} \leq 0,04\%$, $\text{S} \leq 0,04\%$) și uneori elemente de aliere. Elaborarea oțelului este un proces fizico-chimic complex care utilizează ca materie primă fie minereul de fier (reducere directă), fie fonta topită (reducere indirectă). Astăzi, peste 95% din producția mondială de oțel se obține prin reducere indirectă, realizându-se în convertizoare (60%), cuptoare cu vatră (20%) și cuptoare electrice (20%).

Clasificarea oțelurilor se face după schema și criteriile prezentate în fig.2.2.

a) – Oțelurile de uz general cuprind o serie de oțeluri obișnuite sau aliate, utilizate în construcția de mașini, prin turnare sau deformare plastică.

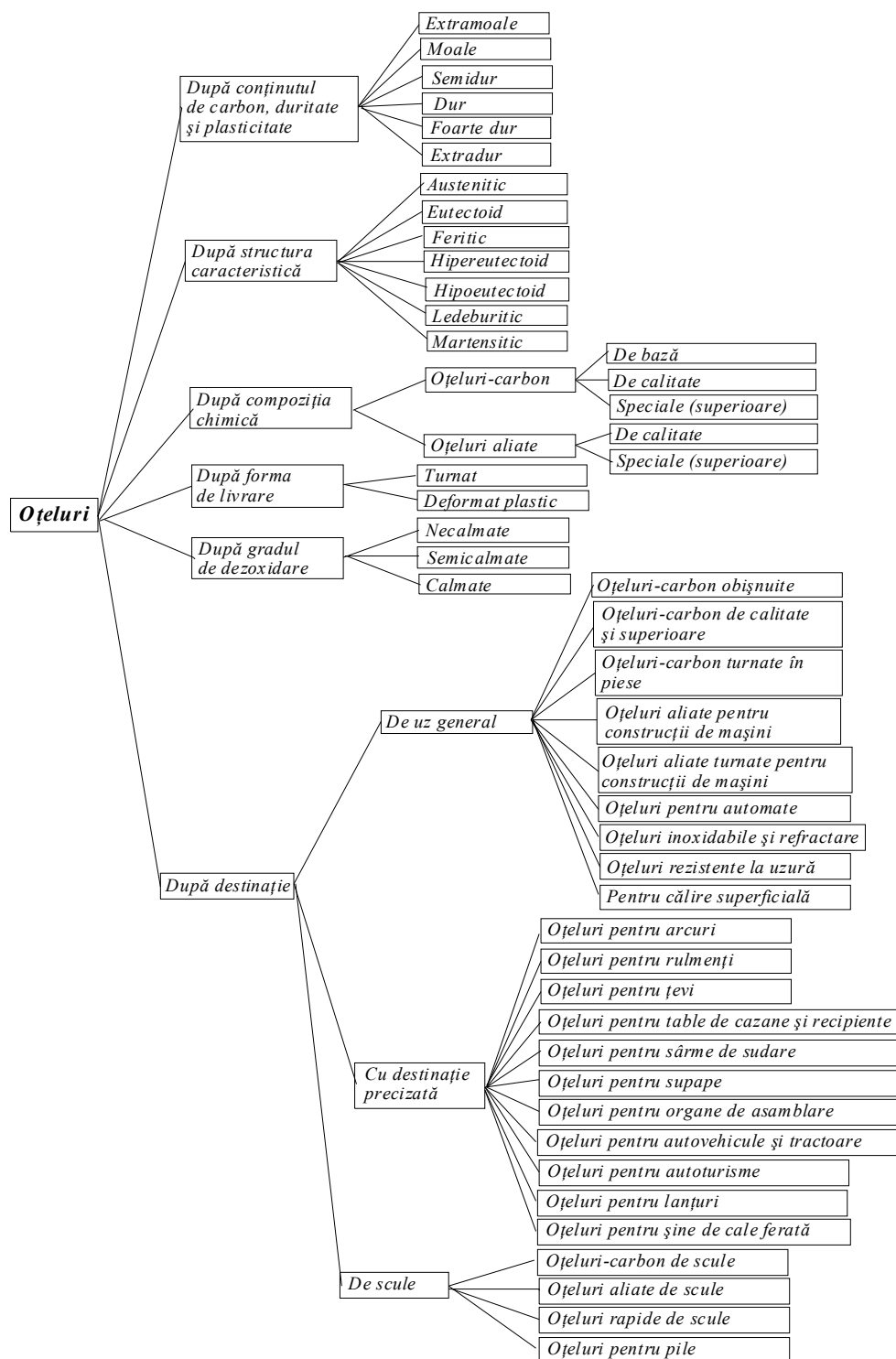


Fig. 2.2. Clasificarea oțelurilor.

b) – Oțelurile cu destinație precizată sunt utilizate în domenii limitate: arcuri, rulmenți, țevi, table pentru cazane și recipiente, sârme de sudare, supape, organe de asamblare, autovehicule și tractoare, lanțuri, șine de cale ferată.

c) – Oțelurile de scule sunt oțeluri-carbon sau aliate, destinate fabricării sculelor așchietoare și pentru deformare plastică la cald sau la rece, precum și a aparatelor de măsură și control (șublere, micrometre, calibre, rigle, cale, șabloane etc.).

2.1.2. Materiale neferoase

Metalele și aliajele neferoase au o importanță mare în tehnică, datorită unor proprietăți care lipsesc fontelor și oțelurilor: masă volumică redusă (Al, Mg, Ti), conductibilități termică și electrică ridicate, maleabilitate, ductilitate, rezistențe ridicate la oxidare și coroziune, calități bune de antifricțiune etc. Ele se utilizează la elaborarea oțelurilor aliate (Cr, Ni, Mo, W, V, Co etc.), în construcția de autovehicule, vapoare, avioane și nave cosmice (Al, Mn, Ti, Zr, Mo, W), în tehnica nucleară (V, Th, Be), în medicină (Hg, Si, Pt, Ag, Au), în industriile chimică, alimentară, poligrafică și de armament etc., reprezentând circa 10% din consumul mondial de metal.

Întrebuințarea mai largă a lor este limitată de faptul că sunt deficitare și, în general, au prețuri foarte ridicate. Din aceste motive se impune folosirea lor în mod cât mai rațional și înlocuirea, acolo unde este posibil, cu aliaje feroase sau cu materiale plastice.

Clasificarea metalelor și aliajelor neferoase se poate face după mai multe criterii, în fig. 2.3. fiind prezentată o astfel de clasificare.

2.1.2.1. Cuprul și aliajele lui. Cuprul este un metal de culoare arămie (de unde numele de *aramă*), maleabil, ductil și tenace, bun conducător de căldură și electricitate, care se topește la 1.083 °C. Este rezistent la coroziunea atmosferică, a apei de mare și a vaporilor supraîncălziți și se prelucrează prin deformare plastică, sudare, lipire și așchiere.

Cuprul se utilizează la fabricarea conductoarelor pentru transportul energiei electrice și tracțiune electrică, la bobinarea mașinilor electrice, la fabricarea schimbătoarelor de căldură, precum și în industriile chimică, alimentară și de armament. Principalele sale aliaje sunt bronzul și alama.

a) – Bronzul este un aliaj al cuprului cu staniu (*bronz obișnuit*) sau cu alte elemente (Al, Be, Cr, Mn, Pb, Si, Sn), caz în care se numesc *bronzuri speciale*. Se prelucrează prin turnare sau prin deformare plastică și se utilizează la fabricarea lagărelor cu alunecare, a armăturilor care lucrează în apă de mare și vaporii supraîncălziți, precum și a sculelor utilizate în medii grizutoase.

b) – Alama este un aliaj cupru-zinc, putând conține și alte elemente (Al, Mn, Fe, Si, Ni, Pb, Sn). Are proprietăți mecanice și tehnologice bune și este foarte rezistentă la coroziune, folosindu-se la fabricarea unor piese care lucrează în mediul marin, precum și la obținerea lagărelor turnate și a unor bunuri de consum.

2.1.2.2. Alumiul și aliajele lui. Alumiul este cel mai răspândit metal din natură și al treilea element chimic, după oxigen și siliciu. Este ușor, are o culoare-

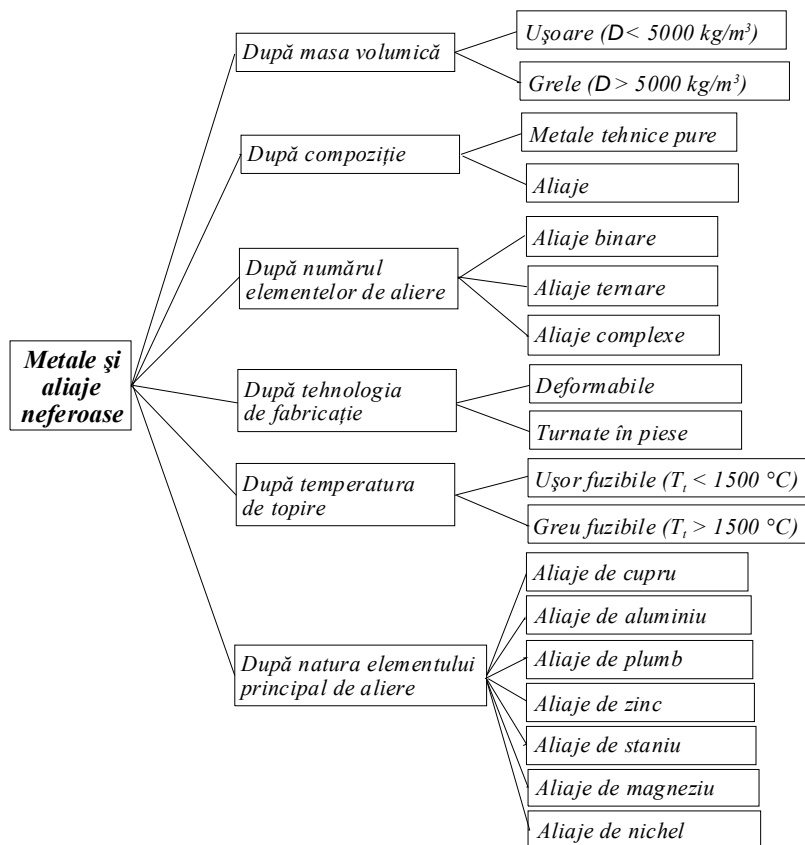


Fig. 2.3. Clasificarea metalelor și aliajelor neferoase.

re albă-argintie, se topește la 658 °C, este maleabil și ductil, bun conducător de căldură și electricitate. Se combină ușor cu oxigenul, acoperindu-se cu o peliculă protectoare de Al_2O_3 . Se prelucrează ușor prin turnare și deformare plastică, se sudează și se lipește, dar are o așchiabilitate redusă.

Aluminiul se utilizează la fabricarea conductoarelor electrice, în industria aeronautică, la fabricarea foliilor subțiri pentru ambalarea și conservarea alimentelor, precum și a unor articole casnice. Se mai folosește la obținerea tâmplăriei metalice, ca dezoxidant și la elaborarea unor aliaje.

a) – Aliajele de aluminiu turnate au fluiditate mare și contracție mică, conținând Si, Mg, Cu și Zn. Cel mai important este *siluminul*, folosit la turnarea blocurilor motoare și chiulaselor.

b) – Aliajele de aluminiu deformabile conțin Cu, Mn, Si, Mg, Zn, Fe și Li și se prelucrează în semifabricate prin deformare plastică. Unele se durifică prin tratament termic, altele nu. Din prima categorie face parte *duraluminiul*, folosit la fabricarea pieselor rezistente și ușoare (motoare, industria aeronautică).

c) – Aliajele antifricțiune de aluminiu au structura constituită dintr-o

matrice semidură (soluții solide de Al cu Cu, Si, Zn, Ni) și incluziuni moi (Sn), fiind mai dure și suportând sarcini mai mari decât cele pe bază de Pb și Sn, pe care le înlocuiesc cu succes fiind și mai ieftine.

2.1.2.3. Plumbul și aliajele lui. Plumbul este un metal greu, de culoare cenușie-albăstruie, se topește la 327 °C, este rău conducător de căldură și electricitate și rezistent la coroziune. Are proprietăți mecanice slabe și se prelucrează prin turnare, laminare, extrudare și presare, putându-se și suda și lipi.

El se utilizează, în principal, la fabricarea acumulatorilor pentru automobile (75% din producția mondială), precum și la protejarea cablurilor electrice și telefonice subterane și submarine, în construcții, în industria vopselelor (miniu de plumb), în industria de armament (alice și gloanțe), ca protector contra radiațiilor și la elaborarea unor aliaje (antifricțiune, de lipit și ușor fuzibile).

a) – Aliajele antifricțiune conțin, pe lângă plumb, până la 18% Sb, până la 12% Sn, precum și Cu, As și Cd și se utilizează la fabricarea cuzineților lagărelor cu alunecare.

b) – Aliajele pentru lipire moale sunt aliaje ale plumbului cu Sn, Sb, Bi și Ag, folosite la lipirea unor piese care nu sunt supuse la solicitări mari (contacte electrice, instalații sanitare, aparatură medicală, articole casnice și cutii de conserve).

c) – Aliajele ușor fuzibile se folosesc la aparatura automată de stins incendii și la protecția cazanelor cu aburi și a oalelor sub presiune, fiind aliaje ale plumbului cu Bi, Sn și Cd, cu temperaturi mici de topire.

2.1.2.4. Zincul și aliajele lui. Zincul este un metal relativ greu, de culoare albă-albăstruie, al cărui luciu dispare repede, prin acoperire cu un strat protector de ZnO. Se topește la 419 °C și reacționează ușor cu o serie de acizi. Are proprietăți mecanice slabe și, ca urmare, nu se poate utiliza în construcția de mașini, dar pentru că are o mare rezistență la coroziune, se folosește la acoperirea anticorozivă a tablelor, sârmelor și țevelor din oțel (50% din producția mondială). Se mai utilizează în industria vopselelor (alb de zinc), în electrotehnică și la elaborarea unor aliaje.

Alierea zincului urmărește în principal îmbunătățirea proprietăților sale mecanice. Ca elemente de aliere se utilizează Al, Cu, Mg, Cr și Ti. După domeniul lor de utilizare, aceste aliaje pot fi pentru turnare în lingouri, pentru turnare sub presiune și pentru turnare în piese. Unele din aceste aliaje sunt cunoscute sub denumirile comerciale de *zamak*, *zimal*, *zillo* și *zikson*.

2.1.2.5. Staniul și aliajele lui. Staniul este un metal relativ greu, de culoare albă-argintie, cu temperatura de topire de 232 °C, maleabil și ductil. Proprietățile sale mecanice sunt slabe, dar este foarte rezistent la coroziunea mediului ambiant, acoperindu-se cu o peliculă protectoare de oxid. Se prelucrează ușor prin laminare, extrudare, forjare și sudare, satisfăcător prin așchiere și greoi prin trefilare și ambutisare.

Nefiind atacat de acizii organici, se folosește la cositorirea cutiilor de conserve și la fabricarea staniolului (50% din producția mondială), precum și la elaborarea unor aliaje (pentru lipire moale și antifricțiune).

a) – *Aliajele pentru lipirea moale* se topesc la 200...400 °C și conțin, în afară de staniu, Pb, Sb, Bi, Cu, In și Ag și sunt destinate lipirii unor piese care nu sunt supuse unor solicitări mari.

b) – *Aliajele pentru lipirea moale care intră în contact cu produse alimentare* sunt aliaje ale staniului cu Sb, Cu și Ag, având conținutul maxim de Pb de 0,25%, iar cel de Cd de 0,05%, ambele fiind metale toxice.

c) – *Aliajele antifricțiune* sunt mai scumpe decât cele pe bază de plumb, dar mai bune. Ele sunt aliaje ternare (Sn-Sb-Cu) sau complexe (Sn-Sb-Cu-Pb) și se utilizează la confecționarea lagărelor cu alunecare care lucrează la presiuni mici și turații mari.

2.1.2.6. Magneziul și aliajele lui. Magneziul este un metal foarte ușor, de culoare albă-argintie, maleabil și ductil care se topește la 651 °C. Proprietățile sale mecanice sunt slabe, dar din punct de vedere chimic este foarte activ, reducând cu ușurință oxizii, drept pentru care se folosește ca dezoxidant în metalurgie, ca reducător în chimia organică și ca modificator al fontei cenușii prin nodulizarea grafitului. Se mai utilizează în pirotehnie (focuri de artificii, gloanțe trasoare), la fabricarea redresoarelor de curent și, mai ales, la elaborarea unor aliaje.

Magneziul se poate alia cu Al, Zn, Mn, Si, Cu și Ag, obținându-se cele mai ușoare aliaje utilizate în tehnică. Acestea se utilizează în construcțiile de avioane, vagoane și automobile, la fabricarea pistoanelor motoarelor cu turații mari, precum și a corpurilor de pompe, a carcaselor și rezervoarelor. După tehnologia de fabricație, aceste aliaje pot fi turnate sau deformabile.

2.2. Materiale plastice

2.2.1. Generalități

Materialele plastice sunt produse sintetice macromoleculare, utilizate în industrie datorită plasticității ridicate și proprietăților favorabile pe care le au piesele prelucrate. Apărute în perioada 1920 – 1950, astăzi depășesc consumul de metale datorită următoarelor avantaje: masă volumică redusă; sunt bune izolatoare electrice și termice; sunt rezistente la acțiunea agenților chimici; se prelucrează ușor prin multiple procedee tehnologice; au un preț scăzut.

În același timp, utilizarea lor este limitată de următoarele dezavantaje: proprietățile mecanice sunt relativ reduse; nu sunt degradabile, ceea ce creează serioase probleme de poluare; nu își păstrează proprietățile la temperaturi înalte; au coeficienți de dilatare relativ mari; prin ardere degajă produse toxice.

Istoria materialelor plastice începe în 1869, în SUA, când frații Hyatt au inventat celuloidul, un produs de origine vegetală, pentru a înlocui fildeșul natural, utilizat până atunci la fabricarea bilelor de biliard. Astfel, timp de 40 de ani, celuloidul a fost singurul material plastic cunoscut, până în 1909, când chimistul belgian Baekeland a inventat, tot în SUA, bachelita. Era materialelor plastice începe, practic, odată cu secolul XX, luând un deosebit avânt în perioada 1920 – 1940.

În 1937, în America apare prima poliamidă – nailonul – care a înlocuit

fibrelor textile naturale și, în particular, mătasea. După război, policlorura de vinil dură, rezistentă la acțiunea chimică a acizilor și bazelor, a contribuit la renașterea industriei chimice, concurând cu succes oțelul inoxidabil în construcția rezervoarelor pentru industria chimică sau a conductelor pentru transportul produselor corosive.

Începând cu 1950 asistăm la dezvoltarea în ritm alert a petrochimiei, ca urmare a creșterii cererii de combustibili în transporturile rutiere. Petrochimia asigură apariția unor noi materiale plastice ca urmare a cracării petrolului brut. Circa 10% din țiței este utilizat în rafinării pentru obținerea materialelor plastice.

Astăzi, consumul mondial de materiale plastice a ajuns să-l egaleze pe cel de oțel, în volum, și tinde să-l depășească. Având în vedere că peste 90% din producția de materiale plastice provine din petrol și gaze naturale, o problemă de maximă importanță o constituie reciclarea acestora, pentru limitarea consumului de materii prime valoroase și din ce în ce mai deficitare. Prin reciclare nu se urmărește doar prelucrarea deșeurilor în vederea refolosirii lor, ci și transformarea lor, prin procedee speciale, în produse petroliere de origine. Aceste tehnologii se bazează pe depolimerizare, realizându-se în final o spargere a lungilor catene de hidrocarburi ce alcătuiesc materialele plastice și cauciucul industrial și obținându-se gaz metan și țiței brut (reciclare chimică).

Materialele plastice se pot obține din produse animale, vegetale sau naturale, conform schemei din fig.2.4.

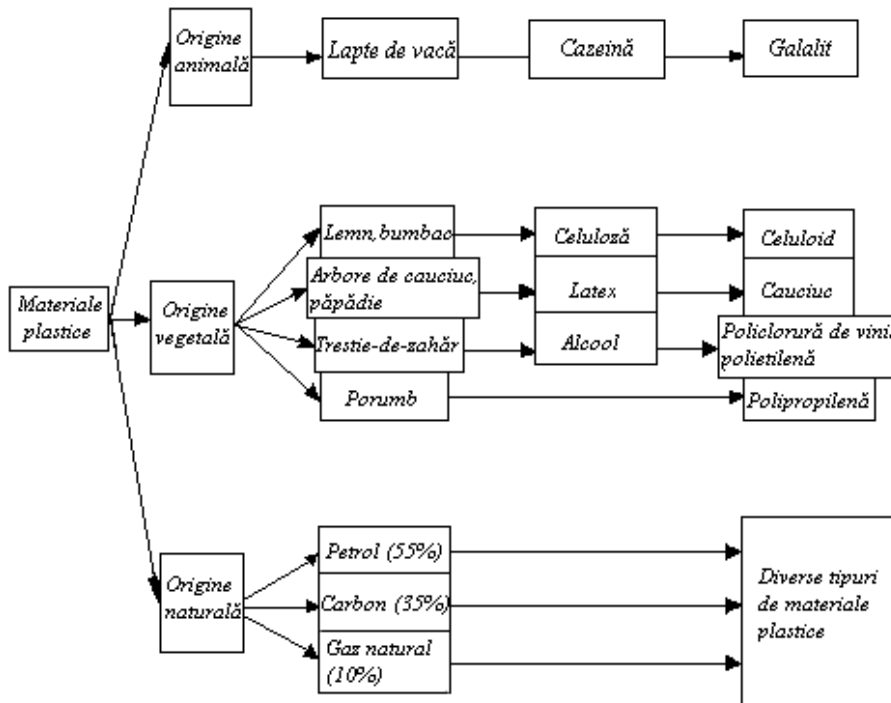


Fig.2.4. Clasificarea materialelor plastice după natura lor.

2.2.2. Structura și componenții materialelor plastice

Materialele plastice sunt de fapt amestecuri de substanțe macromoleculare numite *polimeri* cu materiale auxiliare care modifică în mod avantajos caracteristicile polimerilor. Moleculele polimerilor conțin $10^3 \dots 10^6$ atomi și ei se formează prin unirea în lanț a două sau mai multor molecule de monomeri, monomerii fiind de aceeași natură sau diferiți. Polimerii au rol de liant și determină proprietățile materialului plastic.

Ca materiale auxiliare se utilizează:

- *plastifiantii* sunt substanțe lichide și mai rar solide care au rolul de a mări plasticitatea, fluiditatea și rezistența la șoc a materialului plastic. Ei trebuie să fie compatibili cu polimerul, să nu fie toxici și volatili și să aibă stabilitate la lumină și căldură;

- *stabilizatorii* sunt substanțe care asigură menținerea proprietăților materialelor plastice la valorile inițiale atât în timpul prelucrării, cât și în timpul exploatării lor, împiedicând acțiunea factorilor biologici (bacterii, ciuperci), fizici (influența luminii, oxigenului și radiațiilor) și chimici (polimerizare sau depolimerizare);

- *materialele de umplutură* sunt particule solide organice sau anorganice care nu se topesc la temperatura de prelucrare și se adaugă pentru creșterea rigidității, durtății și rezistenței la uzură, precum și pentru reducerea costului (rumeguș, deșeuri de fibre și țesături de bumbac și in, hârtie, talc, nisip);

- *lubrifianții* au rolul de a evita lipirea materialelor plastice de scule și mașinile de prelucrat, precum și de a asigura prelucrarea lor la temperaturi mai joase prin îmbunătățirea curgerii (grafit, ceară, parafină, săpun mineral);

- *coloranții* sunt pigmenți anorganici sau organici care asigură materialului plastic culoarea dorită. Ei trebuie să fie rezistenți la lumină, căldură și intemperii;

- *antistaticele* sunt substanțe care împiedică electrizarea materialelor plastice sub formă de folii sau foi care se încarcă electrostatic la frecarea cu suprafețele metalice și atrag praful;

- *agenții de ignifugare* au rolul de a mări rezistența la foc a materialului (compuși ai stibiului, fosforului și clorului);

- *agenții fungistatici* opresc dezvoltarea ciupercilor, în special în condițiile climatului tropical, cald și umed. Ciupercile atacă îndeosebi materialele de umplutură și plastifiantii, înrăutățind caracteristicile mecanice și aspectul exterior al materialului plastic.

2.2.3. Clasificarea materialelor plastice

Materialele plastice se pot clasifica după mai multe criterii, cel mai important fiind acela care are în vedere modificările suferite prin prelucrarea lor la cald (fig.2.5). Din acest punct de vedere, materialele plastice pot fi grupate în două categorii: materiale plastice termoreactive și termoplaste.

Materialele termoreactive (termorigide) se caracterizează prin aceea că în timpul prelucrării, sub acțiunea căldurii și presiunii, suferă transformări chimice

ireversibile, devenind nefuzibile și insolubile în solvenți. Ca urmare, aceste materiale nu se pot recicla.

Materialele termoplaste devin vâscoase prin încălzire și după prelucrarea în piese se pot recicla, aceste operații putându-se repeta de mai multe ori fără ca materialul să sufere vreo transformare chimică.

După modul de obținere, materialele plastice se produc prin reacții de policondensare, polimerizare și poliadiție.

Policondensarea este o reacție chimică în care are loc unirea alternantă a mai multor molecule mici de monomeri de naturi diferite, într-o macromoleculă, sub acțiunea căldurii, presiunii și catalizatorilor, cu eliminarea concomitentă a unor substanțe secundare (apă, amoniac, HCl). Eliminarea apei conferă materialului porozitate și higroscopicitate mai mari și deci proprietăți dielectrice mai reduse.

Polimerizarea este o reacție chimică prin care substanțe cu masă moleculară mică de aceeași natură, având caracter nesaturat (monomeri), se transformă în substanțe cu masă moleculară mai mare (polimeri), păstrând aceeași compoziție procentuală și aceeași aranjare a atomilor în moleculă, fără eliminare de produse secundare.

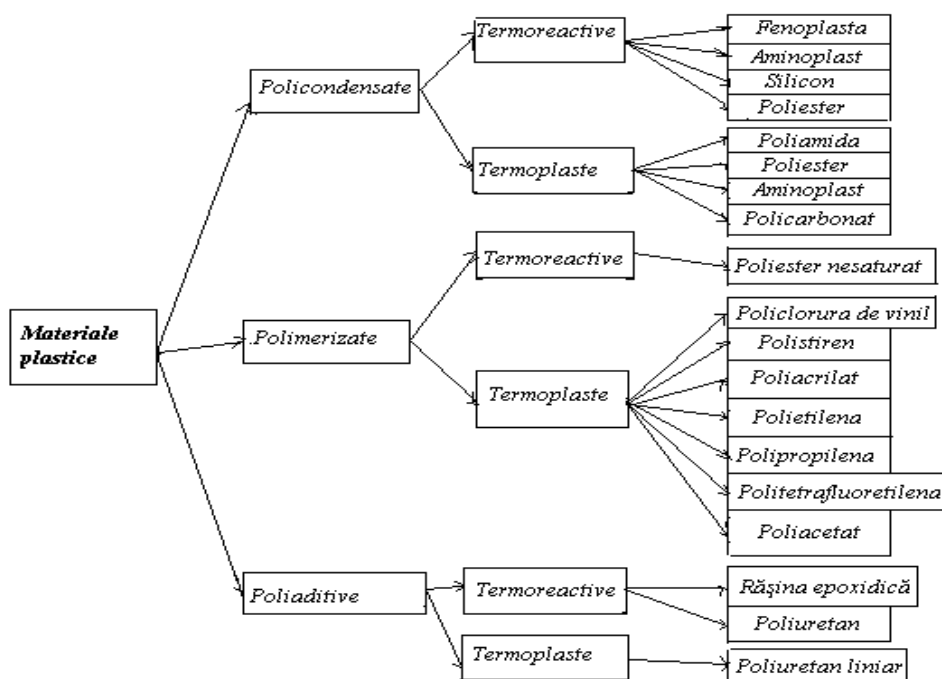


Fig.2.5. Clasificarea materialelor plastice după modul de obținere.

Poliadiția este o reacție chimică prin care se introduc atomi sau molecule într-o altă moleculă cu caracter nesaturat și de altă natură chimică, fără separare de produse secundare.

a) – *Fenoplasta (PF)* se obține prin policondensarea fenolului cu

formaldehida, în prezența unor catalizatori acizi sau bazici. Prin condensare în mediu acid se obține *novolac*, folosit la fabricarea lacurilor, iar prin condensare în mediu bazic se obțin *rezol* (lac de impregnare), *rezitol* (masă de formare) și *rezită* (piese electroizolante prelucrabile prin așchiere). Aceste rășini se folosesc și pentru impregnarea materialelor textile (*textolit*), hârtiei (*pertinax*) și lemnului (*fanerit*).

b) – Aminoplastul (UF) se obține prin policondensarea formaldehidei cu uree, melamină sau anilină, rezultând *rășini carbamilice* (siguranțe pentru curenți de înaltă tensiune și uleiuri pentru impregnarea materialelor plastice stratificate), *rășini melaminice* (lacuri și emailuri electroizolante) și *rășini anilinice* (proprietăți dielectrice foarte bune și rezistență ridicată la acțiunea apei și a substanțelor alcaline).

c) – Siliconul (SI) este un compus macromolecular cu structura analoagă corpurilor organice, alcătuit din lanțuri de atomi de siliciu care alternează regulat cu atomi de oxigen. Lanțurile astfel formate mai au valențe libere care pot fi completate cu hidrogen sau radicali organici, astfel că siliconii îmbină caracteristicile dielectrice ale materialelor organice cu stabilitatea chimică și termică a materialelor anorganice.

În funcție de structura moleculară, siliconii se prezintă sub formă de *uleiuri* și *unsori siliconice* (ungerea mecanismelor din mase plastice și a matrițelor pentru injectarea acestora), *cauciuc siliconic* (izolarea cablurilor electrice, huse pentru telefoane mobile, uși de avioane) și *rășini siliconice* (lacuri pentru izolarea mașinilor electrice de puteri mari). Fiind compatibili cu țesutul uman, siliconii se utilizează pe scară largă în chirurgia plastică (implanturi mamare) și la fabricarea unor articole erotice.

d) – Poliesterul (PET) se obține prin policondensarea unui acid organic cu un alcool (acid tereftalic cu alcool metilic), în prezența unui catalizator, punând în libertate apă. Produsul obținut este granular și prin presare la cald se prelucrează în piese folosite în construcția de mașini, în folii și fibre electroizolante sau în alte diverse produse (ambarcațiuni, căzi de baie, rezervoare, panouri protectoare).

e) – Poliamida (PA) se obține prin policondensarea acizilor organici (adipic, sebacic) cu diamine (derivate ale amoniacului). Cele mai cunoscute poliamide sunt *nailonul*, obținut prin policondensarea acidului adipic cu clorohexan și *caprolactama*, obținută prin policondensarea acidului aminocapronic cu ciclohexan. Nailonul se folosește la confecționarea fibrelor sintetice din care se fac articole de îmbrăcăminte, rachete de tenis, perii și plase de pescuit, iar caprolactama, la fabricarea țesăturilor și tricotajelor.

Fibrele de poliamide se pot trata cu materiale lubrifiante (grafit, bisulfură de molibden), căpătând proprietăți de antifricțiune. Din astfel de fibre se pot confecționa lagăre, roți de transmisie și inele de uzură a căror temperatură de lucru nu depășește 80 °C.

f) – Policarbonatul (PC) se obține prin policondensarea dianului într-o soluție de hidrat de sodiu și clorură de metilen, peste care se insuflă gaz fosgen la 20 °C. Se utilizează la fabricarea țevelor care le înlocuiesc pe cele din cupru sau alamă, precum și a unor componente din domeniul electric (cutii de siguranță,

capace de duze, tuburi pentru conductoare, abajururi), a scuturilor, căștilor de protecție și indicatoarelor reflectorizante.

g) – Policlorura de vinil (PVC) se obține prin polimerizarea clorurii de vinil și se prezintă sub formă *dură* (fără plastifianți) și *moale* (cu plastifianți). Cea dură are rezistență mecanică și rigiditate foarte bune și se utilizează la fabricarea rezervoarelor și buteliilor pentru industriile chimică și fotografică, la placări rezistente la acizi și la realizarea panourilor acustice. Policlorura de vinil moale are un grad mare de flexibilitate și se utilizează la fabricarea păpușilor și animalelor gonflabile, a încălțămintelor și impermeabilelor de ploaie, precum și a covoarelor pentru pardoseli.

h) – Polistirenul (PS) se obține prin polimerizarea stirenului și se folosește la confecționarea carcaselor unor aparate casnice (roboți de bucătărie, storcătoare de fructe, râșnițe de cafea, aparate de radio, televizoare, aspiratoare, frigidere). Prin introducerea unor substanțe spumogene se obțin *polistirenul expandat* și *polistirenul extrudat* (ultimul fiind mai dens) care se utilizează la izolarea termică a clădirilor, sub formă de plăci de diverse grosimi.

i) – Poliacrilatul (PMMA) se obține prin polimerizarea metacrilatului de metil, produsul realizat fiind cunoscut sub denumirea de *plexiglas*. Acesta este asemănător cu sticla, dar nu se sparge, utilizându-se în diverse domenii: acoperișuri transparente, machete pentru instrucția școlară, lentile, lupe, ochelari de protecție, geamuri incasabile, vitrine și vizoare.

j) – Polietilena (PE) se obține prin polimerizarea etilenei. Dacă polimerizarea se face la presiuni mari (1000...2000 bar) se obține *polietilenă de joasă densitate*, iar dacă se face la presiuni obișnuite (1 bar), se obține *polietilenă de înaltă densitate*. Prima este mai puțin rigidă și se folosește la fabricarea pungilor și sacilor menajeri, precum și a conductelor flexibile și jucăriilor, iar a doua este mai dură și se utilizează la fabricarea canistrelor și rezervoarelor de apă și ulei, a fittingurilor și conductelor de gaz metan, precum și la placarea schiurilor.

k) – Polipropilena (PP) este asemănătoare cu polietilena și se obține prin polimerizarea propilenei. Se folosește la fabricarea conductelor și fittingurilor de gaz metan, a cutiilor, rezervoarelor și cofrajelor, a carcaselor pentru mașini de spălat, frigidere, ventilatoare și uscătoare de păr, a mobilierului de grădină și la acoperiri de protecție.

l) – Politetrafluoretilena (PTFE) se obține prin polimerizarea tetrafluoretilenei, rezistă până la 260 °C și este cunoscută sub denumirea comercială de *teflon*. Are numeroase utilizări: aparatură industrială și de laborator, segmenti de piston, cuzineți pentru lagăre, vase de bucătărie, izolatoare electrice și țesături rezistente la foc și acizi.

m) – Poliacetatul (POM) se obține prin polimerizarea formaldehidei și se folosește la confecționarea unor piese cu precizie dimensională ridicată: bușe pentru lagăre, discuri, garnituri pentru închideri rapide, roți dințate, balamale, taste pentru calculatoare, televizoare și aparate de radio.

n) – Rășina epoxidică (EP) se obține prin reacția de poliadiție dintre bisfenolul de tip A și epiclorhidrină, urmată de o durificare cu un agent de întărire,

putând fi lichidă (cu masă moleculară mică) sau solidă (cu masă moleculară mare). Se folosește în electrotehnică, în industria lacurilor și vopselelor, precum și la obținerea unor laminate pentru componente de rezistență și rigiditate în construcțiile aerospațiale (aripi, pale de rotor pentru elicoptere). Se mai utilizează la confecționarea modelelor de turnătorie și a matrițelor de presare și injecție, precum și la fabricarea unor adezivi extrem de puternici.

o) – Poliuretanul (PU) se obține prin reacția de poliadiție dintre un cianat și un alcool și se folosește la fabricarea cabinelor de camioane, carcaselor de calculatoare și aparate de filmat, iar rășinile poliuretane, la obținerea lacurilor și uleiurilor pentru placaje.

În tabelul 2.2. sunt prezentate principalele tipuri de materiale plastice, cu proprietățile lor fizice, mecanice și tehnologice.

2.3. Materiale ceramice

2.3.1. Structura și proprietățile materialelor ceramice

Materialele ceramice constituie a treia grupă de materiale utilizate în tehnică, după cele metalice și plastice. Ele sunt materiale anorganice cu legături atomice și ionice, a căror structură complexă cristalină se obține prin sinterizare.

Cuvântul *ceramică* vine din limba greacă (*keramikos* = argilă arsă), iar activitatea omului legată de olărit și producerea cărămidilor își are originea în preistorie. De-a lungul timpului, se disting trei etape ale dezvoltării ceramicii:

- *ceramica utilitară* este legată de olărit și a apărut înainte de folosirea metalelor, vasele și cărămidile fiind primele produse obținute de om prin arderea argilei;

- *ceramica de artă* a derivat din precedenta, îndepărtându-se de funcția utilitară și concentrându-se pe valoarea decorativă și estetică;

- *ceramică industrială* s-a dezvoltat după anul 1950, ca urmare a apariției industriilor de vârf, care utilizează materiale pe bază de oxizi, carburi, nitruri, boruri și diverse forme de carbon.

Se consideră ca fiind materiale ceramice și sticla, betonul și grafitul, deoarece folosesc procedee specifice ceramicii, precum și materialele refractare care se obțin la temperaturi înalte și se utilizează la căptușirea furnalelor și cuptoarelor metalurgice.

În componența materialelor ceramice intră:

- *materialele plastice* (argilă, caolin, bentonită, lut, loess) constituie partea principală din care se fabrică produsele ceramice tradiționale și au rol de liant, legând alte componente neplastice;

- *degresanții* (nisip, șamotă) reduc contracția la uscare și la ardere și contribuie la creșterea porozității produselor;

- *fondanții* (feldspat, calcar, marmură, cretă) contribuie la coborârea temperaturii de vitrifiere a materiilor prime solide, atunci când ceramica se obține prin topire;

Tabelul 2.2. Caracteristicile principalelor

Tipul	Cod ISO 1043	Caracteristici fizice						
		Densitatea [g/cm ³]	Stabilitatea termică [°C]	Conductibilitatea termică [J/m·K]	Coeficientul de dilatare liniară [10 ⁻⁵ /K]	Contrația la prelucrare [%]	Rezistivitatea electrică [Ω·cm]	Higroscopicitatea [%]
Fenoplastă	PF	1,4-1,9	150	0,3-0,7	1-5	0,2-0,8	10 ¹¹ -10 ¹²	0,1-0,2
Aminoplast	UF	1,5-2,0	140-160	0,35-0,7	2-6	0,2-1,2	10 ¹² -10 ¹³	0,01-0,7
Silicon	SI	1,2- 1,25	200	0,21-0,28	25-30		10 ¹⁰ -10 ¹⁵	0,1-0,2
Poliester	PET	1,31-1,37	130-175	0,24-0,29	7	1,3-2,0	10 ¹⁴ -10 ¹⁶	0,02-0,1
Poliamidă	PA	1,12-1,14	105	0,27-0,30	7-11	0,8-2,0	10 ¹² -10 ¹⁵	0,3-10
Policarbonat	PC	1,2-1,23	125	0,21-0,23	6-7	0,7-0,8	10 ¹⁶	0,15
Policlorură de vinil (dură)	PVC	1,32-1,45	60-70	0,14-0,17	7-8	0,5-1,0	10 ¹¹ -10 ¹⁸	0,1-0,6
Polistiren	PS	1,05	70-85	0,15-0,17	7-8	0,4-0,7	10 ¹⁴ -10 ¹⁷	0,02-0,1
Poliacrilat	PMMA	1,17-1,2	70	0,18-0,19	7-9	0,3-0,8	10 ¹⁵	0,3-0,4
Polietilenă	PE	0,94-0,96	70-120	0,51	13-20	2,0-5,0	10 ¹⁷ -10 ¹⁹	0,015
Polipropilenă	PP	0,90	110	0,20-0,22	10-18	1,0-2,5	10 ¹⁷	0,01-0,03
Politetrafluoretlenă	PTFE	2,1-2,2	250	0,25	8-10	3,0-4,0	10 ¹⁶ -10 ¹⁸	0,005
Poliacetat	POM	1,4-1,45	120	0,29-0,36	11-13	1,6-2,8	10 ¹⁵	0,25
Rășină epoxidică	EP	1,5-1,9	130-150	0,40-0,80	2-6	0,0-0,5	10 ¹⁶ -10 ¹⁷	0,1-0,35
Poliuretan	PU	1,20	127-135	0,26-0,28	5-6	0,7-0,8	10 ¹¹ -10 ¹⁵	0,35-0,40

materiale plastice

Caracteristici mecanice							Caracteristici tehnologice						
Rezistența la tracțiune [N/mm ²]	Modulul de elasticitate [N/mm ²]	Alungirea la rupere [%]	Rezistența la șoc [kJ/m ²]	Rezistența la încovoiere [N/mm ²]	Fluajul [N/mm ²]	Duritatea Shore [°Shore]	Presare	Injectare	Extrudare	Calandrare	Expandare	Sudare	Lipire
15-40	6000-10.000	1	1-15	50-60		90-110	X	X		X	X		X
15-30	5000-9000	1	4-20	55-80		116-120	X	X		X			X
5,5-7,0	6200	100				40-45	X	X		X	X		X
50-75	2500-3200	3-4	3-4	110	26	85	X	X	X				X
60-90	1500-3200	6-12	3-20	11-12	6	104	X	X	X			X	X
55-70	2000-2500	5-7	20-36	70	18	70	X	X	X			X	X
50-80	2900-3600	3-7	4-8	70-100	20-25	52-98	X	X	X	X		X	
45-65	3000-3600	2-4	2-3	60-90	18-20	75	X	X	X		X	X	X
60-90	2400-4500	2-10	2-3	80-100	15-20	80-100		X	X	X		X	X
20-35	400-1500	12-20	3-20	13-30	2-5	55	X	X	X		X	X	X
18-38	650-1400	10-20	4-14	45	5-6	95	X	X	X	X	X	X	X
9-12	450-750	250-500	13-16	15	1-2	50-65	X	X	X				X
60-80	2500-3500	8-15	4-10	98	12-18	94	X	X	X			X	X
60-200	5000-20000	2-5	5-20	120	100-150	110-120	X	X		X	X		
40	2100-2500	5-6	2-4	60	18	40-45	X	X	X	X	X	X	X

- *materialele refractare* (alumină, magnezit, dolomită, cromit, carburi, nitruri, boruri) rezistă la temperaturi ridicate, fără a se topi și fără a se înmuia;

- *lubrifianții* (motorină, petrol, uleiuri vegetale, parafină, lignină) se adaugă în cantități reduse produselor ce urmează a se fasona prin presare, facilitând prelucrarea și extragerea semifabricatelor din matrițe;

- *materialele porifere* (rumeguș, praf de cărbune, mangal, turbă) se descompun în timpul arderii și contribuie, prin golurile formate, la creșterea porozității produselor.

În tabelul 2.3. sunt prezentate proprietățile fizice și mecanice ale principalelor materii prime ceramice.

2.3.2. Tipuri de materiale ceramice

Până prin anii 1950, materialele ceramice erau reprezentate de ceramica utilitară și de cea de artă, principalele produse fiind cărămizile, țiglele, faianța, porțelanul, precum și cimentul, betonul și sticla. Începând cu anii 1950, apar noi materiale ceramice, numite *industriale*, cu aplicații diverse în noile domenii. Astfel, în 1953, miezurile de ferită se utilizează în construcția calculatoarelor, iar din 1965, bioceramicele se folosesc ca implanturi osoase. În anii 1980 se descoperă ceramicele pe bază de nitrură de siliciu, precum și cele pentru fabricarea semiconductoarelor și supraconductoarelor, iar la sfârșitul anilor 1980, ceramicele compozite.

Clasificarea materialelor ceramice se face conform schemei din fig.2.6.

2.3.2.1. Ceramica utilitară este reprezentată de unele materiale de construcție (*cărămidă* și *țiglă*), de *teracotă*, precum și de materialele pentru finisaje (*faianță* și *gresie*).

2.3.2.2. Ceramica de artă a apărut acum două milenii în China, Egipt și Mesopotamia și cuprinde *porțelanul* și *mozaicul*.

2.3.2.3. Ceramica industrială a apărut în secolul trecut ca urmare a dezvoltării unor tehnologii de vârf care au reclamat materiale cu proprietăți și performanțe speciale (calculatoare, construcții aerospațiale, industria nucleară, bioingineria, industria de armament). Dintre *avantajele* acestor materiale se menționează: duritate și rezistență mare la uzură; rezistență ridicată la coroziunea atmosferică și a gazelor fierbinți; păstrarea proprietăților de rezistență la temperaturi ridicate; rezistență bună la compresiune; masă volumică mică; sursele de materii prime din care provin sunt practic nelimitate.

În același timp, folosirea lor este limitată de următoarele *dezavantaje*: fragilitate ridicată, îndeosebi la rece; variații relativ mari ale materialului; rezistență scăzută la tracțiune; cheltuieli suplimentare la producerea pulberilor și operațiilor de reprocessare.

a) – Ceramica pentru sculele așchietoare se utilizează atât la fabricarea unor scule abrazive (corpuri, pânze, hârtii, lichide și paste abrazive), cât și a plăcuțelor dure cu care se armează unele scule așchietoare (cuțite, freze, burghie). Aceste materiale trebuie să fie dure și să aibă stabilitate termică, adică să nu-și piardă proprietățile de așchiere după încălziri și răciri repetate.

Tabelul 2.3. Proprietățile fizice și mecanice ale unor materiale ceramice

Natură ceramică	Denumirea Puritatea [%]	Formula chimică	Proprietăți fizice								Proprietăți mecanice				
			Culoarea	Densitatea [g/cm ³]	Temperatura de topire [°C]	Temperatura maximă de utilizare [°C]	Coefficientul de dilatare liniară [10 ⁻⁶ /K]	Conducti- bilitate termică la 20°C [W/m.K]	Capacitate termică masică la 100°C [J/kg.K]	Structura cristalină	Duritatea [GPa]	Modulul lui Young [GPa]	Tenacitate [MPa·m ^{1/2}]	Rezistența la tracțiune [MPa]	Rezistența la compresiune [MPa]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Alumină / 92%	Al ₂ O ₃	Albă	3,6	2000	1400	7,5	17	950	Hexagonală	14	270	3,7	120	1500
	Alumină / 96%	Al ₂ O ₃	Albă	3,7	2000	1450	7,4	18	950	Hexagonală	17	250	3,9	160	1500
Oxizi	Alumină / 99,7%	Al ₂ O ₃	Albă	3,9	2050	1600	7,6	25	950	Hexagonală	18	310	4,1	180	1800
	Alumină / 99,8%	Al ₂ O ₃	Albă	3,96	2050	1600	7,5	25	950	Hexagonală	20	320	4,2	190	1800
	Oxid de zirconiu / 95%	ZrO ₂	Gri închis	6,04	2760	900	9,5	3,0	720	Cubică	12	205	11	700	4000
	Oxid de zirconiu / 96%	ZrO ₂	Galbenă	5,6	2760	900	9,0	1,9	680	Cubică	11	200	8,5	360	3500
	Oxid de zirconiu / 97%	ZrO ₂	Crem	6,0	2700	800	9,5	2,9	720	Cubică	12	205	9,0	540	6000
Carburi	Carbură de siliciu / 98,5%	SiC	Neagră	3,15	2700	1450	4,4	110	900	Hexagonală	24	420	3,5	250	2100
	Carbură de siliciu / 99%	SiC	Neagră	3,21	2700	1450	4,5	145	900	Hexagonală	30	450	4,4	450	1700
	Carbură de siliciu / 99,9%	SiC	Neagră	3,05	2700	1400	4,8	200	800	Hexagonală	16	390	3,0	180	2500
Nitruri	Nitrură de siliciu / 85%	Si ₃ N ₄	Gri	3,15	1875	1200	3,1	20	720	Hexagonală	18	280	5,4	430	1900
	Nitrură de siliciu / 95%	Si ₃ N ₄	Gri	3,15	1875	1200	3,1	19	830	Hexagonală	16	290	5,2	270	1500
	Nitrură de siliciu / 97%	Si ₃ N ₄	Gri	3,18	1875	1200	3,0	25	830	Hexagonală	16	320	5,6	450	2500
	Nitrură de siliciu / 99%	Si ₃ N ₄	Gri	2,5	1875	1200	2,8	18	700	Hexagonală	5,2	160	2,5	120	600

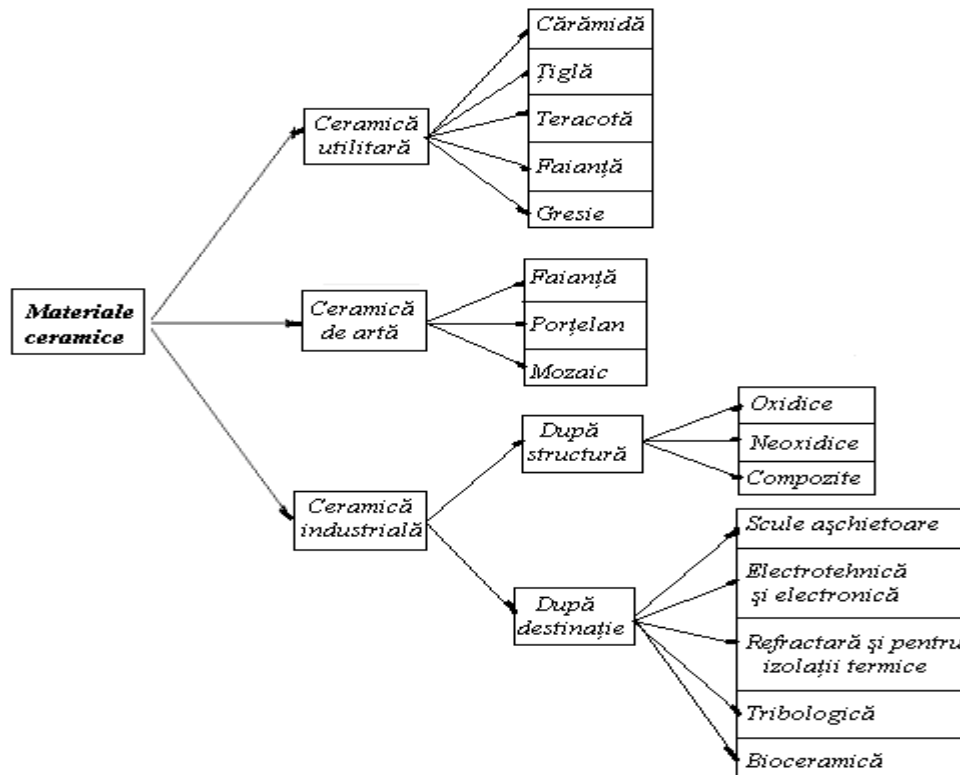


Fig.2.6. Clasificarea materialelor ceramice.

Plăcuţele dure cu care se armează unele scule aşchietoare se obţin prin sinterizare din *carburi metalice, materiale mineralo-ceramice, nitrură cubică de bor sau diamant*.

b) – Ceramica pentru electrotehnică şi electronică este, în general, rea conducătoare de electricitate. În cazul existenţei unor impurităţi, anumiţi ioni se pot deplasa sub influenţa câmpurilor electrice, astfel că aceste materiale devin semiconductoare. Alte materiale ceramice au proprietăţi piezoelectrice, feromagnetice sau chiar supraconductoare. Ca urmare, din această categorie fac parte:

- *izolatoarele ceramice* nu conţin electroni liberi care să permită circulaţia curentului electric şi se utilizează în construcţia bujiilor motoarelor cu aprindere prin scânteie şi, mai ales, la liniile pentru transportul energiei, de la joasă până la înaltă tensiune. Se mai folosesc la construcţia antenelor de emisie radio care sunt alimentate cu tensiuni înalte şi trebuie izolate faţă de pământ. Acestea se confecţionează din steatit, o varietate de talc de culoare albă, cu rezistenţă la rupere mare şi pierderi dielectrice foarte scăzute (Mg_2SiO_4);

- *condensatoarele ceramice* sunt construite din straturi alternative de metal şi ceramică, ultima constituind materialul dielectric. Acesta trebuie să aibă permitivitate electrică mare pentru a putea înmagazina cât mai multă energie într-

un volum mic, un factor de disipare foarte mic și o rigiditate electrică ridicată. În acest sens se folosesc *perovskitele*: titanat de bariu (BaTiO_3), titanat de calciu (CaTiO_3), titanat de stronțiu (SrTiO_3), titanat dublu de plumb și stronțiu [$(\text{PbSr})\text{TiO}_3$] și titanat zirconat de plumb [$\text{Pb}(\text{Zr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5})\text{O}_3$];

- *ceramica piezoelectrică* se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acțiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acțiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers). Ca materiale ceramice piezoelectrice se utilizează: berlinita (AlPO_4), titanatul de bariu (BaTiO_3), titanatul de plumb (PbTiO_3), titanatul zirconat de plumb [$\text{Pb}(\text{Zr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5})\text{O}_3$], niobatul de potasiu (KNbO_3), niobatul de litiu (LiNbO_3), topazul și, bineînțeles, cuarțul;

- *ceramica feromagnetică* este reprezentată de *ferite* care sunt compuși ai unor metale bivalente cu oxizi de fier, având proprietăți magnetice superioare și o conductibilitate electrică redusă. Feritele sunt, ca majoritatea materialelor ceramice, dure și fragile. Ele au o masă volumică de circa trei ori mai mică decât a magneților metalici tradiționali, ceea ce constituie un avantaj major la fabricarea echipamentelor portabile sau aerospațiale. Ținând cont de proprietățile magnetice, feritele pot fi moi sau dure. *Feritele moi* au pierderi foarte mici prin histerezis magnetic și prin curenți Foucault. Ca urmare, se utilizează în construcția antenelor de recepție, a transformatoarelor de impuls sau de putere, la fabricarea capetelor de înregistrare magnetică și a memoriilor calculatoarelor, precum și a radarelor. *Feritele dure* au o permeabilitate magnetică ridicată și se utilizează la fabricarea magneților permanenți și la construcția minimoatoarelor electrice, a aparatelor de radio și a incintelor acustice. Ele se obțin din carbonați de bariu și de stronțiu (BaCO_3 , SrCO_3). Din categoria ceramicii feromagnetice, pe lângă ferite, mai fac parte unele lantanide (pământuri rare), din care se confecționează magneți. Câmpul magnetic al acestora depășește 1200 militesla față de 50...100 militesla, în cazul magneților confecționați din ferită. În același timp, magneții fabricați din pământuri rare sunt foarte fragili, astfel că trebuie să fie protejați cu un strat de nichel. Pentru confecționarea magneților se utilizează aliaje de neodim (Nd) și samariu (Sm): $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ și SmCo_5 ;

- *ceramica semiconductoare* prezintă o conductibilitate electrică intermediară între metale și izolatoare și se utilizează la fabricarea termistorilor și varistoarelor. *Termistorul* este un dispozitiv semiconductor a cărui rezistență variază proporțional cu temperatura. Există termistoare pentru temperaturi pozitive, a căror rezistență crește cu temperatura și termistoare pentru temperaturi negative, a căror rezistență scade cu temperatura. Ele acoperă o gamă largă de temperaturi ($-273,14 \dots +1700$ °C). Termistorii ceramici sunt indicați în cazul temperaturilor ridicate, de peste 1000 °C, ei fiind de fapt singura soluție pentru astfel de situații și se confecționează din nitrură de bor (BN), nitrură de galiu (GaN), arseniură de galiu (GaAs), fosfoarseniură de galiu (GaAsP) sau fosfură de indiu (InP). *Varistorul* este un dispozitiv semiconductor a cărui rezistență electrică scade rapid cu creșterea curentului electric, această proprietate fiind aplicată la protecția stațiilor electrice contra descărcărilor atmosferice (fulgere și trăsnete). Varistoarele

s-au construit inițial din carbură de siliciu (SiC), pentru ca astăzi să fie fabricate din oxid de zinc (ZnO), în amestec cu cantități mai mici de oxizi ai altor metale (Bi, Co, Mn). Grăunții de oxizi sunt fixați între două plăci metalice și doi găuri vecini formează o diodă care permite circulația curentului într-un singur sens;

- *ceramica supraconductoare* se caracterizează prin proprietatea de a-și pierde rezistența electrică la o anumită temperatură critică și de a conduce curentul electric fără nici o pierdere. Ea a fost descoperită în 1986 de doi cercetători elvețieni care au realizat un material ceramic cu formula chimică $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, ce devenea supraconductor la -233°C . Recordul mondial al temperaturii critice este de -135°C , fiind dat de un material ceramic cu formula chimică $\text{Hg}_{0.8}\text{Tl}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.33}$. Supraconductibilitatea are numeroase aplicații practice: rezonanța magnetică nucleară (RMN) pentru investigarea corpului uman; obținerea magneților supraconductori; generatoare de curent electric de mare putere care livrează în rețea curent electric la tensiuni înalte, înlăturând transformatoarele; aplicații în domeniul fuziunii termonucleare controlate; stocarea pe timp îndelungat a energiei electrice în bobine supraconductoare; trenurile cu suspensie magnetică; aplicații în magnetohidrodinamică și în industria de armament (americani și ruși testează bomba electromagnetică, o armă mai sofisticată decât toate armele realizate până acum);

- *ceramica pentru substraturi de circuite integrate* se folosește pentru fabricarea unor plăci subțiri pe care se montează microcircuitele electronice. Aceste plăci se confecționează deosebi dintr-un amestec de 90% alumină (Al_2O_3) și 10% rășini sintetice, cu rol de liant precum și din oxid de beriliu (BeO) sau nitrură de aluminiu (AlN), prin presare în forme. După proiectarea și imprimarea desenelor circuitelor, urmează arderea formei și depunerea elementelor de circuit cu grosimi de ordinul micronilor, prin evaporare și condensare în vid sau pulverizare catodică sau cu plasmă. Pachetele de circuite integrate se obțin prin suprapunerea mai multor foi, cu legături între ele, iar suprafețele exterioare ale pachetelor se plachează cu nichel. Pachetele pot conține și diode sau tranzistoare, în acest caz având dimensiuni mai mari, dar și performanțe electrice superioare (circuite integrate hibride).

c) – *Ceramica refractară și pentru izolații termice* se folosește la căptușirea agregatelor care funcționează la temperaturi mari sau ca scut termic pentru vehiculele spațiale.

- *ceramica refractară* se utilizează la căptușirea furnalelor, cuptoarelor, focarelor și aparatelor care funcționează la temperaturi de peste 1000°C . Spre deosebire de celelalte materiale de construcție, ceramica refractară trebuie să îndeplinească anumite condiții speciale: să nu se topească sub acțiunea temperaturilor înalte; să nu-și piardă rezistența mecanică la aceste temperaturi; să aibă un volum constant la temperaturile de exploatare; să aibă stabilitate termică, adică să nu își modifice proprietățile în urma încălzirilor și răcirilor repetate; să reziste la acțiunea corosivă a materialelor topite cu care vine în contact. Ca materiale ceramice refractare se utilizează silice, argilă, alumină, magnezie, oxizi de crom și de carbon;

- *ceramica pentru izolații termice* se folosește ca scut termic pentru vehiculele spațiale (navete spațiale și capsule de aterizare). La intrarea în atmosfera terestră, aceste vehicule ating temperaturi foarte mari, datorită frecării cu aerul și dacă nu ar fi protejate termic, s-ar topi. Plăcuțele ceramice care le protejează trebuie să fie compatibile din punct de vedere chimic cu materialul-suport, să fie inerte la acțiunea gazelor din atmosferă, să aibă un coeficient de dilatare apropiat de cel al materialului-suport, să aibă o conductibilitate termică foarte scăzută și, evident, să aibă o refractaritate foarte mare. Aceste plăcuțe au, de fapt, o structură compozită, fiind confecționate din fibre de silice sau din fibre de carbon. Ceramica pentru izolații termice se mai utilizează la confecționarea unor piese ale turbinelor cu gaze și turbomotoarelor de aviație care sunt supuse la solicitări termice și mecanice foarte mari. Astfel, camerele de ardere ale turbinelor care au temperaturi de peste 1500 °C se confecționează din carbură de siliciu (SiC), iar rotoarele turbinelor, din nitrură de siliciu (Si₃N₄).

d) – Ceramica tribologică are un coeficient de frecare mic, rezistență la acțiunea agenților chimici, refractaritate ridicată și se utilizează la fabricarea lagărelor cu alunecare care lucrează la temperaturi ridicate, în vid sau în medii expuse la radiații (reactoare nucleare și navete spațiale). O aplicație mai largă se întâlnește la fabricarea rulmenților. Utilizarea ceramicii triplează durata de exploatare a unui rulment atât datorită micșorării frecării, cât și reducerii forțelor centrifuge care la turații mari pot depăși încărcarea nominală a rulmentului, materialele ceramice având o densitate mai mică decât oțelul. De asemenea, rolele sau bilele ceramice se deformează mai puțin sub sarcină, ceea ce asigură o mai bună rostogolire a lor pe căile de rulare și o creștere a turației nominale. Căldura produsă în cazul rulmenților metalici poate duce la supraîncălzirea sau chiar griparea acestora, pe când în cazul rulmenților cu corpuri de rostogolire ceramici, acest pericol este înlăturat. De asemenea, ceramica este foarte rezistentă la acțiunea agenților chimici și se poate utiliza și în medii umede, unde rulmenții de oțel nu pot funcționa. Inconvenientul principal al rulmenților ceramici este costul ridicat.

Materialul cel mai indicat pentru fabricarea rulmenților este nitrura de siliciu (Si₃N₄) care se topește la 1875 °C, este rezistentă la acțiunea agenților chimici și are o structură fină și o tenacitate bună, precum și un coeficient de frecare mic.

e) – Bioceramica devine din ce în ce mai utilă în medicină. Ortopezii folosesc bioceramica pentru înlocuirea șoldurilor, genunchilor, umerilor, coatelor, degetelor și încheieturilor mâinilor corpului uman. Ea este folosită și în stomatologie și chiar la fabricarea valvelor de inimă. Implanturile ceramice tind să le înlocuiască pe cele metalice, datorită faptului că ele sunt compatibile cu corpul uman, stimulând reformarea oaselor și a țesuturilor și nu sunt atacate de sistemul imunitar al organismului.

Materialul ceramic cel mai apropiat de compoziția și structura osoasă a corpului uman este hidroxiapatitul fosfocalcic, cu formula chimică Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂. El se obține din reacția fosfaților de calciu acizi și bazici într-o soluție apoasă, obținându-se o pastă care se poate modela ușor. Produsul ceramic

are o rețea cristalină foarte apropiată de cea a osului și o rezistență la compresiune de circa 20 MPa. Nu conține materii organice umane sau animale, așa că nu prezintă nici un risc de contaminare. De asemenea, nu există pericol de respingere sau de toxicitate. Recunoscut de celulele osoase, este perfect compatibil cu țesuturile vecine, se resoarbe și dispare, lăsând locul unui os proaspăt format.

Întrucât rezistența mecanică a hidroxiapatitului fosfocalcic este destul de mică, acesta se folosește adesea pentru a îmbrăca implanturile ortopedice metalice în scopul evitării respingerii lor de către țesuturile vecine. Oricum, acest material ceramic sintetic este speranța de viitor în domeniul implanturilor osoase.

MATERIALE AVANSATE

3.1. Generalități

La baza tuturor revoluțiilor industriale au stat diverse materiale: oțelul pentru calea ferată, cuprul pentru electricitate, aluminiul pentru avioane, materialele plastice pentru bunurile de consum de după al doilea război mondial, siliciul pentru semiconductoare și materialele compozite pentru articolele sportive și construcțiile aerospațiale. Multe materiale au fost inițial utilizate în industria de război, pentru ca ulterior să-și găsească aplicații în diferite domenii ale vieții de zi cu zi. Dezvoltarea impetuoasă a chimiei și a științelor înrudite și cunoașterea legăturilor existente între structura chimică și proprietățile materialelor au făcut posibilă obținerea unor materiale destinate unor scopuri precise de utilizare. Industriile moderne reclamă, în continuare, materiale care să funcționeze în condiții din ce în ce mai severe, inovațiile tehnice fiind adesea condiționate de apariția unor noi materiale. Inginerii care lucrează în diversele ramuri ale tehnicii trebuie să știe să aleagă materialul potrivit la locul potrivit.

Separarea între materialele tradiționale și cele avansate este greu de făcut, pentru că materialul avansat de azi, mâine va fi considerat tradițional. Folosirea materialelor noi se realizează după un scenariu clasic: pe măsură ce prețul lor scade, ele trec din industria aerospațială în cea a automobilelor și sfârșesc prin a fi bunuri de larg consum.

Astfel, compozitele au cucerit industria aerospațială în detrimentul aliajelor de aluminiu, care înlocuiesc oțelul în construcția de automobile. Aceste tendințe sunt prezentate schematic în fig.3.1.

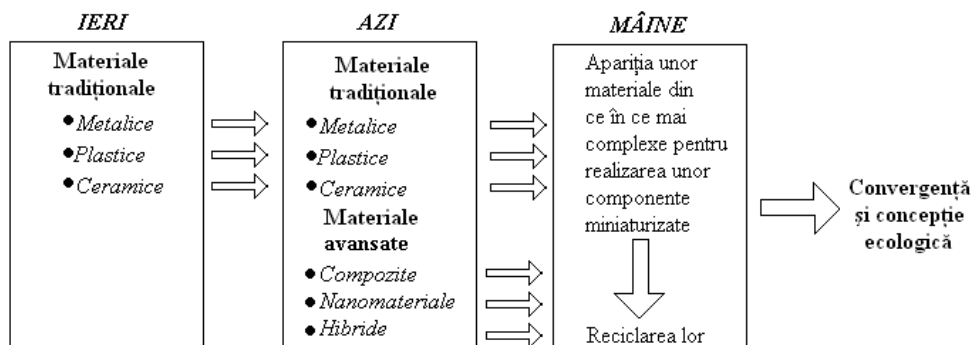


Fig.3.1. Evoluția materialelor în timp.

În concluzie, materialele avansate se folosesc la fabricarea produselor noi

sau îmbunătățite, de înaltă tehnicitate și au proprietăți fizico-mecanice sau funcționale diferite de ale materialelor tradiționale. După natura lor și domeniul de utilizare, ele pot fi: metalice, plastice, ceramice, compozite, biomedicale și inteligente.

3.2. Materiale metalice avansate

3.2.1 Generalități

Ghidul mondial al materialelor metalice cuprinde peste 18.000 tipuri de metale și aliaje. În fig.3.2. este prezentată tendința evoluției acestora în perioada următoare. Astfel, metalele grele (curba 1) vor suferi o descreștere destul de accentuată, datorită reglementărilor drastice privitoare la sănătatea populației și protecția mediului înconjurător. În ceea ce privește aliajele fier-carbon (fonte și oțeluri), acestea vor crește liniar cu 1...3% pe an, o lungă perioadă de timp (curba 2). Metalele ușoare (aluminiiu, magneziu, titan) și aliajele acestora vor marca o creștere mai accentuată, de 2...6% pe an (curba 3), în timp ce metalele de înaltă tehnicitate (tandal, galiu, germaniu, indiu, platină, seleniu, paladiu, reniu) vor avea

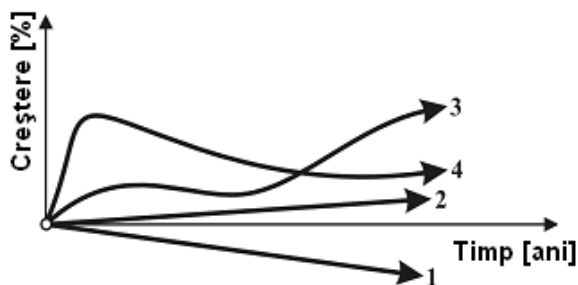


Fig. 3.2. Perspectiva materialelor metalice.

inițial o creștere explozivă, de peste 20% pe an, care se va estompa apoi asimptotic, datorită secăturii minereurilor din care provin (curba 4).

Din categoria materialelor metalice avansate fac parte: oțelurile avansate de înaltă rezistență, aliajele de aluminiiu, magneziu și titan, superaliajele, spumele metalice și aliajele amorfe.

3.2.2. Oțeluri avansate de înaltă rezistență (AHSS)

Aceste oțeluri (fig.3.3.) au fost create după principiul compozitelor: prin tratamente termomecanice se ajunge la îmbunătățirea proprietăților unor elemente componente din masa oțelului de bază, obținându-se astfel un amestec de faze dure și faze maleabile. Datorită acestui fapt, ele se mai numesc *oțeluri multifaze* și au proprietăți excepționale de rezistență.

În fig. 3.3. sunt reprezentate mai multe tipuri de oțeluri, într-un sistem de coordonate grad de deformare [%] – rezistență minimă la rupere [MPa]: oțeluri cu rezistență mică la rupere ($R_m < 210$ MPa), oțeluri cu rezistență mare la rupere ($R_m = 210...550$ MPa) și oțeluri cu rezistență foarte mare la rupere ($R_m > 550$ MPa). În diagramă mai sunt reprezentate oțelurile rapide (*High Speed Steels* – HSS) și oțelurile avansate de înaltă rezistență (*Advanced High Strength Steels* –

AHSS).

Din categoria oțelurilor avansate de înaltă rezistență fac parte oțelurile bifazic și multifazic, oțelul cu modificarea forțată a plasticității, oțelul martensitic îmbătrânit și oțelurile duplex și damaschinat.

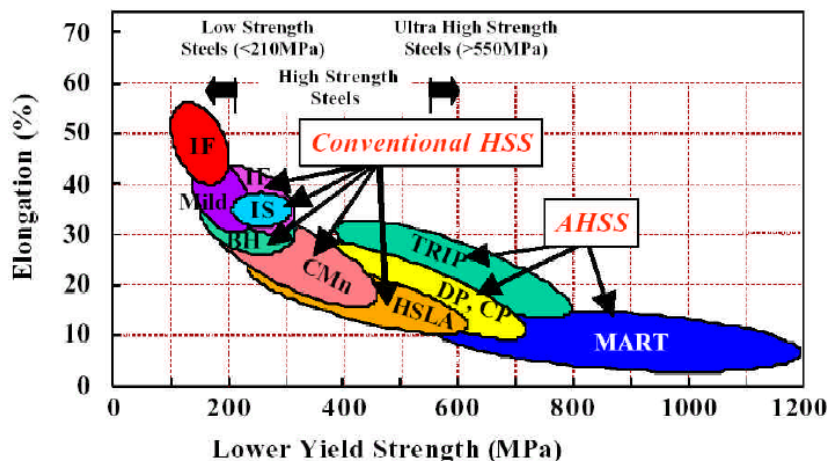


Fig. 3.3. Deformabilitatea oțelurilor în funcție de rezistența la rupere.
[Sursa: ULSAB – AVC Overview Report]

a) – **Oțelul bifazic (Dual Phase – DP)** este constituit dintr-o matrice feritică moale care încorporează insule de martensită dură. Ferita conferă oțelului o ductilitate foarte bună, iar martensita, proprietăți sporite de rezistență mecanică. Aceste proprietăți se obțin printr-un tratament termomecanic cu deformarea la cald a austenitei și prin aliere cu Cr, Mo, V și Ni. Austenita se transformă în cea mai mare parte în ferită, în timpul deformării plastice la cald, iar austenita rămasă se transformă în martensită, prin răcire bruscă în apă sau ulei.

Oțelul bifazic se prelucrează ușor prin deformare plastică și se utilizează îndeosebi în industria automobilelor.

b) – **Oțelul multifazic (Complex Phase – CP)** este constituit dintr-o matrice de ferită care încorporează mici insule de martensită, austenită reziduală și perlită. Structura sa este foarte fină, datorită recristalizării întârziate sau precipitării unor elemente de aliere, cum ar fi titanul. În cazul oțelurilor multifazice, mai ușor deformabile, care se prelucrează prin laminare la rece sau tragere, o parte a martensitei este înlocuită cu beinită, mai puțin dură, care se obține printr-o călire izotermă.

Oțelul multifazic este mai bun decât cel bifazic, dar mai scump.

c) – **Oțelul cu modificarea forțată a plasticității (Transformation Induced Plasticity – TRIP)** face parte dintr-o generație nouă de oțeluri slab aliate care îmbină rezistența înaltă la tracțiune ($R_m = 500 \dots 800$ MPa) cu o plasticitate ameliorată, răspunzând exigențelor industriei de automobile. Se obține de asemenea printr-un tratament termomecanic cu deformarea la cald a austenitei și

conține insule de martensită și beinită, încorporate într-o matrice de ferită, comportându-se ca un material compozit. Se prelucrează bine prin deformare plastică și are o foarte bună rezistență la oboseală.

d) – Oțelul martensitic îmbătrânit (Martensitic Ageing sau Maraging Steel – MART) are o rezistență mecanică superioară ($R_m = 600...1200$ MPa), o tenacitate foarte bună și o maleabilitate bună. Este aliat cu 17...19% nichel, 8...12% cobalt, 3...5% molibden și 0,2...1,6% titan (X2NiCoMo18-9-5), iar pentru a deveni inoxidabil, și cu crom (X2NiCrMoTi10-10-5). Elementele de aliere formează soluții suprasaturate care pot fi descompuse printr-un tratament termic, aplicat după călire, numit *îmbătrânire*. Îmbătrânirea artificială este de fapt o *durificare prin precipitare* care constă în încălzirea oțelului sub temperatura de austenitizare și menținerea îndelungată la această temperatură, pentru descompunerea soluțiilor solide suprasaturate și apariția fazelor secundare într-o dispersie controlată și apropierea de echilibru a soluției solide. Tipul, mărimea, distribuția și cantitatea de particule precipitate depind de temperatură, de durata de menținere la temperatură și de starea inițială a microstructurii.

Oțelurile martensitice îmbătrânite se pot utiliza până la temperaturi de 400°C și se folosesc în industria de autoturisme (arbori cotați, roți dințate), la fabricarea armelor automate și a armelor albe utilizate în scrimă (sabie, floretă, spadă), a unor instrumente chirurgicale, precum și în construcțiile aerospațiale.

e) – Oțelul duplex este un oțel inoxidabil cu structură bifazică alcătuită din cantități aproximativ egale de ferită și austenită. Fiind aliat cu crom, nichel și molibden, este rezistent la coroziunea intergranulară, dar prin sudare îi scade ductilitatea (reziliența). Pentru înlăturarea acestui neajuns, se mai aliază cu azot care îi crește și rezistența la coroziunea clorului.

Oțelurile duplex au fost elaborate inițial prin 1930, în Suedia, pentru creșterea rezistenței la coroziune a instalațiilor pentru fabricarea hârtiei sulfizate și au fost perfecționate prin anii 1970, când a început exploatarea offshore a zăcămintelor de petrol din Marea Nordului. În Uniunea Europeană sunt standardizate următoarele mărci: X2CrNi 23-4, X2CrNiMoN 27-5-2, X2CrNiMoN 22-5-3, X2CrNiMoCuN 25-6-3, X2CrNiMoN 25-7-4 și X2CrNiMoCuWN 25-7-4.

f) – Oțelul damaschinat este format din straturi albe și ductile, sărace în carbon, care absorb șocurile și straturi mai închise, bogate în carbon, care asigură rezistență și duritate. Denumirea lui vine de la celebrul *oțel de Damasc*, descoperit în Evul Mediu și dispărut în sec. 19, din care s-au fabricat săbii și lame de cuțit, pornind de la lingouri alcătuite din straturi succesive cu conținuturi diferite de carbon. Prin forjare, piesele prezentau motive ondulate pe toată suprafața, asemenea intarsiilor, iar săbiile erau vestite pentru că aveau tășuri foarte ascuțite care rezistau mult timp, datorită durității oțelului.

Oțelul damaschinat a fost îmbunătățit față de cel original și astăzi se utilizează îndeosebi la fabricarea cuțitelor de foarte bună calitate.

3.2.3. Aliaje ușoare

Metalele ușoare (aluminiul, magneziul și titanul) formează aliaje cu

densități mici și cu proprietăți mecanice foarte bune care se folosesc la fabricarea automobilelor, vapoarelor și avioanelor, precum și în alte ramuri industriale.

3.2.3.1. Aliaje de aluminiu. Există astăzi în lume circa 200 aliaje de aluminiu turnate și 400 aliaje de aluminiu deformabile. Ele se clasifică după criteriile prezentate în fig.3.4.

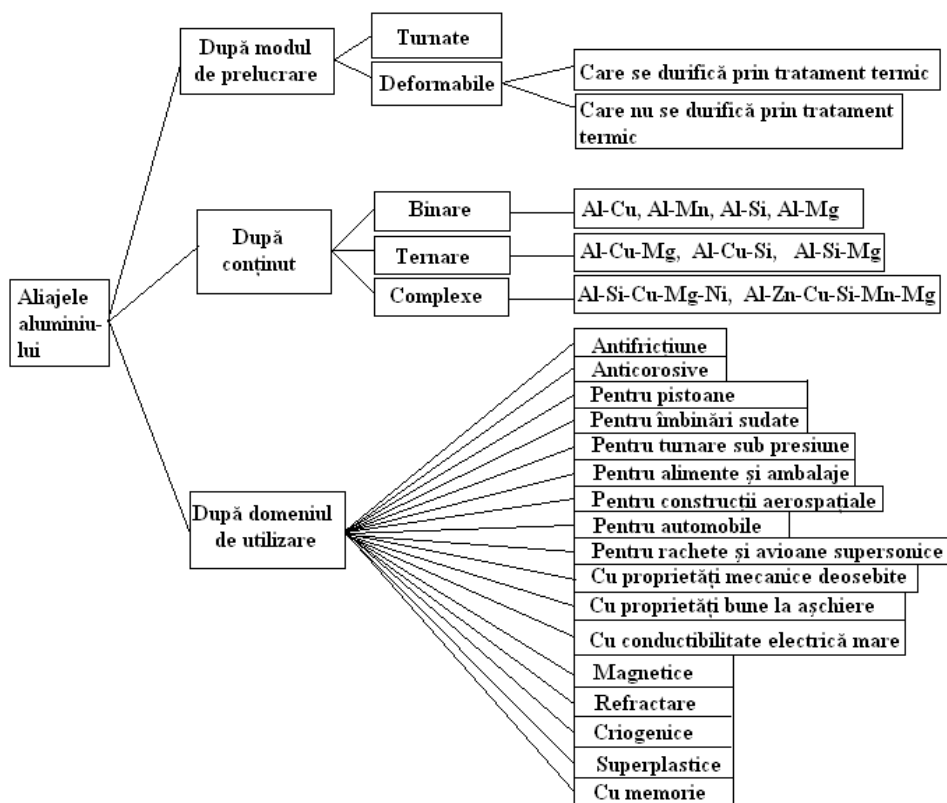


Fig. 3.4. Clasificarea aliajelor de aluminiu.

Aliajele de aluminiu prezintă următoarele avantaje: sunt ușoare (cam o treime din greutatea oțelului); sunt rezistente la coroziune; caracteristici mecanice bune; conductibilități termică și electrică bune; se pot durifica prin tratamente termice; se prelucrează ușor prin turnare, deformare plastică și prin metalurgia pulberilor. În același timp, au și următoarele dezavantaje: rezistență slabă la uzură și oboseală; contracție mare la solidificare (3,5...8,5%); coeficientul de dilatare și conductibilitatea termică impun precauții la sudare și așchiere.

Ca aliaje de aluminiu avansate se menționează:

a) – Aliajele de aluminiu pentru automobile se folosesc sub formă de piese turnate sau matrițate sau sub formă de table, bare sau profiluri și au la bază următoarele sisteme: Al-Si cu adaosuri de bor, beriliu, titan, mangan, cadmiu, zirconiu și pământuri rare; Al-Si-Mg și Al-Si-Cu cu adaosuri de mangan, beriliu,

cadmiu, molibden, titan, crom și zirconiu; Al-Cu-Mg cu adaosuri de litiu, cadmiu, nichel și titan; Al-Mg și Al-Mg-Zn cu adaosuri de mangan, crom și beriliu; Al-Si-Mg cu adaosuri de cupru, mangan și crom și cu limitarea conținutului de fier și siliciu. Dacă în anul 2000, la fabricarea unui automobil european se foloseau 90 kg de aluminiu, astăzi se folosesc 140 kg.

Tablele pentru caroseriile automobilelor se prelucurează prin ambutisare, putând suporta îndoiri de până la 180° , iar pentru îmbunătățirea unor proprietăți mecanice sunt supuse unui tratament termic de îmbătrânire artificială care, ca și în cazul oțelurilor martensitice, este o durificare prin precipitare. Ele mai trebuie să suporte șocurile, prin deformare, fără a se fisura.

b) – Aliajele de aluminiu pentru construcții aerospațiale au proprietăți mecanice superioare și o bună rezistență la coroziune: Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg și Al-Zn-Mg-Cu cu adaosuri de crom, cobalt, zirconiu, nichel, cadmiu, argint, litiu, beriliu, bor și lantanide. Pentru construcția avioanelor rusești Mig 21 și Mig 29 se folosește un aliaj al aluminiului cu 0,1...0,5% scandiu, iar firma americană Smith & Wesson folosește același aliaj la fabricarea patului revolverelor.

Rezervoarele de combustibil ale navetelor spațiale americane sunt confecționate dintr-un aliaj ultraușor Al-Li.

c) – Aliajele de aluminiu refractare fac parte din sistemele Al-Cu-Mg-Mn, Al-Cu-Si-Mn, Al-Cu-Si, Al-Si-Cu, Al-Cr-Zr, Al-Cr-Fe, Al-Be-Mg, Al-Zn – lantanide cu adaosuri de argint, aur, cadmiu și crom și se utilizează până la $350...400^{\circ}\text{C}$. Recent, a fost realizat un aliaj Al-Ti (50% Al și 50% Ti) care este foarte ușor și rezistă până la 1000°C . El este foarte greu de obținut, având în vedere diferența dintre temperatura de topire a aluminiului (658°C) și titanului (1.668°C). Acest lucru este posibil numai în cuptoare cu plasmă, prin topiri succesive, care asigură aliajului și o bună omogenitate.

d) – Aliajele de aluminiu criogenice se utilizează la temperaturi scăzute, astfel: Al-Ni cu adaosuri de vanadiu, molibden și mangan se pot folosi până la -196°C ; Al-Mg, Al-Mn și Al-Mg-Mn-Cr, cu limitarea conținutului de fier, siliciu, cupru și zinc sau Al-Zn-Mg-Cu și Al-Si-Mg, folosite la fabricarea cisternelor pentru transportul gazelor lichefiate (oxigen, azot, heliu, argon, hidrogen, etilenă), în instalațiile frigorifice și la construcția rachetelor care funcționează cu oxigen și hidrogen lichid; Al-Au pentru confecționarea conductoarelor din medii criogenice.

e) – Aliajele de aluminiu superplastice au proprietatea de a avea alungiri la rupere comparabile cu ale materialelor plastice, de câteva sute de procente sau chiar peste o mie de procente. Deformarea superplastică este determinată de existența unor grăunți cristalini fini, sub $10\text{ }\mu\text{m}$, ea fiind optimă dacă se face la o temperatură de $0,5 \cdot T_i$ (T_i este temperatura de topire a aliajului). Astfel, aliajul aluminiului cu 6% cupru și 0,5% zirconiu are o alungire la rupere de 2000%, dacă deformarea se face la temperatura de 475°C . Aceasta are mai multe avantaje: datorită deformabilității mari, produsele se pot obține dintr-o singură operație; forțele de prelucrare și consumul specific de energie sunt mai mici; deșeurile rezultate sunt puține; microstructura aliajelor este uniformă, ceea ce conduce la obținerea unor piese cu proprietăți mecanice uniforme; costul produselor este mai

mic. Există și un dezavantaj: fluajul este scăzut.

Ca aliaje de aluminiu superplastice se menționează: Al-Cu-Mg, Al-Cu-Ni, Al-Mg-Si, Al-Si-Ni, Al-Cu-Zr și Al-Zn-Mg-Zr. Aceste aliaje au $A = 200 \dots 2000\%$, în intervalul de temperatură $400 \dots 550^\circ\text{C}$.

3.2.3.2. Aliaje de magneziu. Aliajele de magneziu se utilizează îndeosebi în industria aeronautică și în construcția de autovehicule, fiind cele mai ușoare materiale metalice. Magneziul este cu 78% mai ușor decât oțelul și cu 55% mai ușor decât aluminiul, este foarte rezistent la șocuri, are stabilitate dimensională bună și un raport rezistență/greutate foarte bun, se poate prelucra prin turnare la cotele finale, este reciclabil, iar rezervele din care provine sunt abundente.

Aliajele de magneziu se clasifică după criteriile din fig.3.5.

a) – Aliajele de magneziu cu rezistență mecanică mare sunt soluții solide de interstiție sau substituție, tratate termic prin călire și îmbătrânire. Ele se obțin prin turnare (Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr) sau prin deformare plastică (Mg-Mn, Mg-Al-Zn-Mn, Mg-Zn-Zr) și se utilizează în construcțiile aerospațiale și aeronautice, precum și la fabricarea automobilelor.

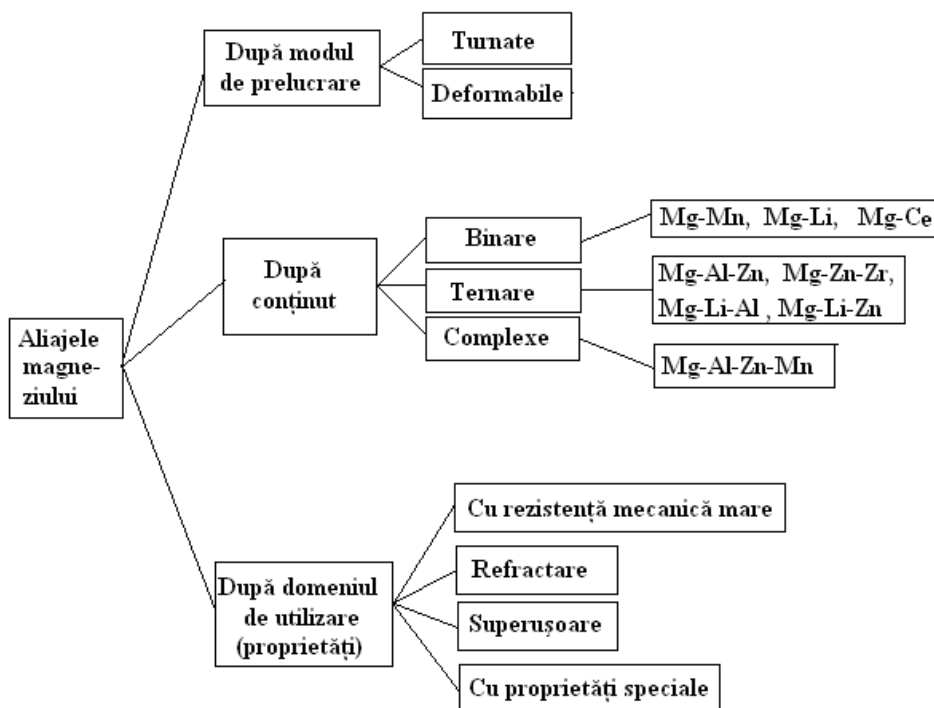


Fig. 3.5. Clasificarea aliajelor de magneziu.

b) – Aliajele de magneziu refractare se obțin atât prin turnare (Mg-Nd, Mg-Nd-Y-Zn), cât și prin deformare plastică (Mg-Nd-Mn, Mg-Nd-Zr, Mg-Th-Mn, Mg-Th-Zn-Zr) și se pot utiliza până la 400°C . Ele sunt supuse unor tratamente de călire și îmbătrânire artificială, pentru îmbunătățirea unor proprietăți mecanice și se utilizează în construcții aeronautice (avioane supersonice și rachete.)

c) – Aliajele de magneziu superușoare (Mg-Li, Mg-Li-Al, Mg-Li-Zn) se caracterizează prin plasticitate mare, modul de elasticitate ridicat, limită de curgere la compresiune mare, conductibilitate termică mare, rezistență mare la încovoiere, reziliență bună, sudabilitate bună și proprietăți mecanice bune la temperaturi scăzute. Ele se utilizează în construcția sateliților artificiali și a stațiilor extraterestre.

d) – Aliajele de magneziu cu proprietăți speciale se folosesc în construcțiile pentru amortizarea vibrațiilor mecanice și ultrasunetelor (Mg-Ce, Mg-Nd), precum și în energetica nucleară ca materiale-suport pentru elementele de combustie din reactoarele nucleare (Mg-Zr, Mg-Zr-Pb).

Tot la reactoarele nucleare se utilizează un aliaj al magneziului cu mici cantități de aluminiu și alte elemente, numit *magnox*, care are rolul de a reține produsele de fisiune nucleară. El nu se poate însă folosi la temperaturi mai mari de 360 °C.

3.2.3.3. Aliaje de titan. Titanul este un metal de culoare albă-argintie, cu densitatea de 4,51 kg/dm³ (cu 45% mai ușor decât oțelul și cu 60% mai greu decât aluminiul), care se topește la 1.668 °C. Deși a fost descoperit în anul 1794, nu a devenit metal industrial decât după 1950, întrucât unele impurități (oxigen, azot, hidrogen) îl făceau casant și inutilizabil. Astăzi este foarte căutat, având cel mai bun raport rezistență la rupere /densitate dintre toate metalele. Are o comportare bună la fluaj, o rezistență excepțională la coroziune și este compatibil cu organismul uman, fapt pentru care se utilizează la implanturi medicale. Deși este destul de răspândit în scoarța terestră – 0,57% – fiind al 9-lea element chimic ca importanță, este foarte scump, datorită metalurgiei energofage, producția mondială fiind de circa 60 mii tone/an. Titanul prezintă două forme alotropice: Ti α , stabil până la 883 °C, cu rețea hexagonală compactă și Ti β , sub 883 °C, cu rețea cubică cu fețe centrate.

Titanul se poate alia cu Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zr și Nb. Ca și la oțelurile aliate, elementele de aliere solubile în titan influențează punctul critic de transformare, ridicându-l (faza α) sau coborându-l (faza β). Clasificarea aliajelor de titan se face după criteriile prezentate în fig.3.6.

a) – Aliajele cu structură α (Ti-Al, Ti-Al-Sn, Ti-Al-Zr, Ti-Al-Sn-Cu, Ti-Cu-Zr) au ca principal element de aliere aluminiul. Nu se durifică prin tratament termic, dar se sudează prin procedeele WIG-MIG și se prelucerează satisfăcător prin așchiere. Au o tenacitate bună și o rezistență la coroziune foarte mare. Pentru îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și a refractarității se aliază cu staniu și zirconiu. Se utilizează la fabricarea unor piese pentru avioane, precum și la instalațiile criogenice, chimice și navale, fiind superioare titanului tehnic din punctul de vedere al proprietăților și mai ieftine.

b) – Aliajele cu structură $\alpha+\beta$ (Ti-Al-Mn, Ti-Al-V, Ti-Al-Mo, Ti-Al-Nb, Ti-Al-Mo-V, Ti-Al-Mo-Cr) se pot durifica termic, au proprietăți mecanice bune, se pot prelucra prin deformare plastică la rece, se sudează în atmosferă de gaze protectoare și se pot turna. Un exemplu reprezentativ de aliaj cu structură $\alpha+\beta$ este marca TiAl6V4, care reprezintă jumătate din totalitatea aliajelor de titan. Aluminiul

îi scade greutatea și realizează faza α , iar vanadiul îi crește ductilitatea la cald și realizează faza β . Aliajul are o rezistență la rupere de 1.100 MPa, este rezistent la fluaj până la 300 °C, este rezistent la oboseală și se toarnă ușor.

Aceste aliaje se folosesc în cantitate mare (până la 20...30%) în construcția unor aeronave civile (Boeing 747) sau militare (F14, F15), precum și în industria de automobile sau la fabricarea turbinelor și a altor instalații care lucrează în mediul marin. Dacă se aliază cu 0,25 paladiu, se pot utiliza la construcția aparatelor care lucrează în condiții de coroziune foarte mare și cărora li se solicită proprietăți mecanice superioare.

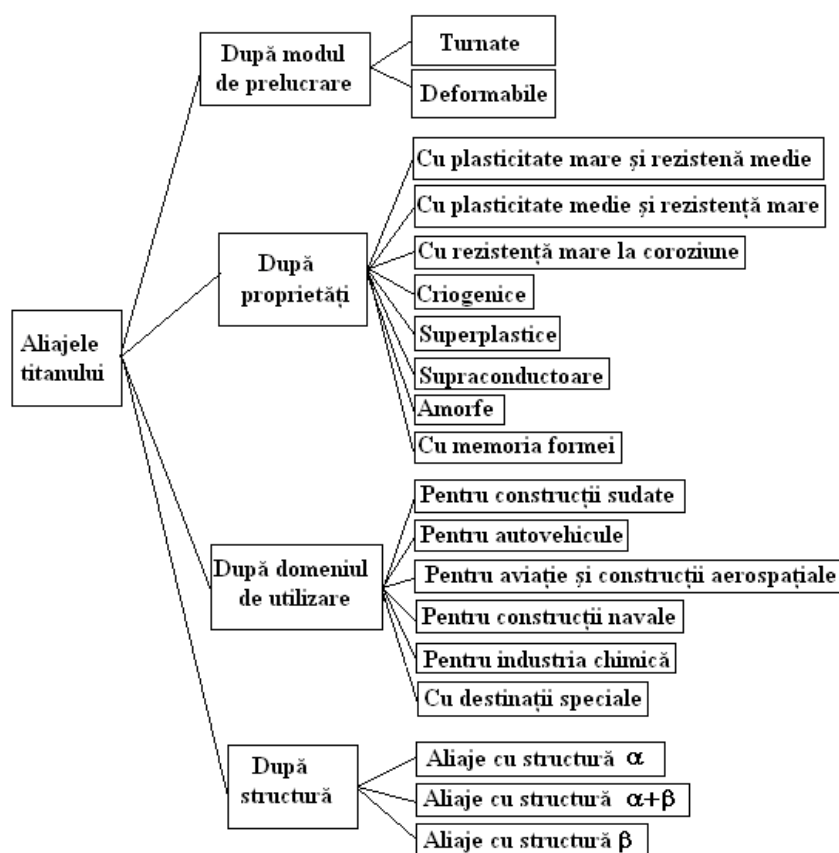


Fig. 3.6. Clasificarea aliajelor de titan.

c) – Aliajele cu structură β (Ti-Mo-V-Cr, Ti-W-Nb-Mo, Ti-Mo-Cr-Fe) sunt mai puțin răspândite, dar prezintă interes deoarece posedă simultan rezistență mecanică bună și plasticitate foarte bună, putându-se prelucra prin toate procedeele de deformare plastică. Proprietățile mecanice se îmbunătățesc substanțial prin călire și îmbătrânire artificială.

d) – Aliajele de titan rezistente la coroziune (Ti-Pd, Ti-Nb, Ti-Mo-Zr-V,

Ti-Ni-Cu, Ti-Ni-Zr, Ti-Mo-Nb-Zr, Ti-W-Zr-Nb) se utilizează în instalațiile chimice (acizi sulfuric, azotic, clorhidric și formic), în industria de medicamente și petrochimie, în construcția instalațiilor de vid și autoclavelor (vase închise ermetic care se folosesc la sterilizări sau la efectuarea unor reacții chimice la temperaturi și presiuni ridicate). Marca TiMo24Nb6Zr6 are cea mai mare rezistență la acțiunea acizilor clorhidric și sulfuric, iar marca TiNb18Al15Hf1,5Si se folosește pentru construcția turbinelor.

e) – Aliajele criogenice (Ti-V-Cr-Al, Ti-Mn, Ti-Al-Nb-Ta, Ti-Al-V, Ti-Al-Mo-V) se folosesc la temperaturi joase, fără pericolul apariției fragilității. Ele sunt supuse unui tratament termic de recoacere și se utilizează la fabricarea instalațiilor de păstrare și transport ale gazelor lichefiate (CO₂, C₂H₄, CH₄, O₂, N₂, He), pentru temperaturi de -20 °C...- 269 °C. Pentru a rezista la aceste temperaturi joase, aliajele criogenice de titan au conținuturile de impurități (Fe, Si, C, O₂, N₂, H₂) limitate drastic.

f) – Aliajele de titan cu proprietăți speciale au o largă utilizare în tehnologiile de vârf, urmând a fi tratate ulterior, la capitolele respective: aliaje amorfe, aliaje supraconductoare și aliaje cu memoria formei.

3.2.4. Superaliaje

Superaliajul este un aliaj metalic de înaltă performanță care are proprietăți mecanice excepționale și la temperaturi mai mari de 500 °C (îndeosebi rezistențe la rupere, la oboseală și la fluaj), precum și rezistență la oxidare și la coroziune. Elementele de bază ale unui superaliaj sunt nichelul, cobaltul și fierul, cu adaosuri de titan, aluminiu, crom, molibden, wolfram, zirconiu, reniu, niobiu, carbon, bor și hafniu.

Una din cele mai importante proprietăți ale superaliajelor este rezistența la fluaj. Fluajul determină deformarea lentă și continuă a materialelor metalice în timp, sub acțiunea unei sarcini constante de lungă durată, chiar dacă solicitarea materialului se află sub limita de elasticitate. Această proprietate numită și *curgere lentă* variază cu temperatura, manifestându-se brutal la temperaturi mai ridicate. Întrucât superaliajele funcționează la temperaturi ridicate, rezistența la fluaj este îmbunătățită considerabil prin obținerea unui cristal unic în timpul solidificării aliajului, eliminând formarea grăunților cristalini (structură dentritică unică). Alte proprietăți mecanice (duritatea, rezistența la rupere și la oboseală) se îmbunătățesc prin mai multe procedee de durificare: formarea soluțiilor solide, prin adaosuri de wolfram, molibden și tantal; precipitarea carburilor de crom, molibden, wolfram și titan; precipitarea unor oxizi insolubili; formarea *in situ* a unor fibre de carburi sau compuși intermetalici (eutectice orientate) printr-o răcire foarte lentă a aliajului.

Creșterea rezistenței la oxidare și la coroziune se realizează prin calorizare și cromizare (tratamente termochimice cu aluminiu și crom). Calorizarea se face prin încălzirea, timp îndelungat, a pieselor ce urmează a fi tratate, la 1080 °C, în clorură sau fluorură de aluminiu.

Elaborarea superaliajelor se face prin topire în vid, în cuptoare electrice cu inducție, după care materialul topit este turnat în lingouri sau direct în piese. O altă

metodă de obținere a pieselor direct la forma finală este prin metalurgia pulberilor. Prelucrarea prin agregare de pulberi constă în amestecarea acestora în proporțiile necesare, presarea sub forma dorită a amestecului și aplicarea unui tratament termic de sinterizare, pentru compactizare și obținerea unor proprietăți fizico-mecanice dorite.

Cea mai nouă metodă de obținere a superaliajelor este *aliajul mecanic* care constă în măcinarea îndelungată într-o moară cu bile a unor pulberi metalice, îndeosebi de nichel, împreună cu oxizi de toriu sau ytriu. Mulți oxizi sunt insolubili în metalele topite, dar tehnica aliajelor mecanice permite alierea, prin sudare la rece, a unor elemente care sunt dificil sau imposibil de combinat prin metode clasice de topire. În continuare, produsul rezultat din moară este supus unei presări izostatice la cald, la o temperatură de circa 0,6 din temperatura de topire a principalului component al amestecului, după care se aplică o recoacere de detensionare, pentru eliminarea tensiunilor interne.

Superaliajele se folosesc în domenii care reclamă menținerea caracteristicilor mecanice la temperaturi ridicate, precum și o bună rezistență la oxidare și coroziune: turbine cu gaz industriale și marine, motoare și turbine de aviație, vehicule spațiale, submarine, reactoare nucleare, schimbătoare de căldură, camere de combustie etc. Marile firme constructoare de avioane au în vedere o utilizare mai largă a superaliajelor la realizarea gamelor Boeing 787 și Airbus 350, iar constructorul motoarelor Pratt & Whitney mizează pe superaliajele de nichel și cobalt pentru funcționarea mai eficientă a acestor motoare la temperaturi mai ridicate și cu un consum mai scăzut de combustibil. Din păcate, superaliajele sunt foarte scumpe, iar metalele din care provin, tot mai rare, existând tendința ca, acolo unde este posibil, să fie înlocuite cu materiale compozite rezistente la temperaturi înalte.

În tabelul 3.1 sunt prezentate principalele mărci de superaliaje standardizate în lume, împreună cu principalele lor caracteristici.

3.2.5. Spume metalice

Spuma metalică are o structură metalică de bază care încorporează o mare cantitate de pori ce pot fi închiși sau deschiși, reprezentând 75...95% din volumul total al materialului. Ea păstrează unele caracteristici fizico-mecanice ale metalului din care provine, dar în același timp este mult mai ușoară (chiar mai ușoară decât lemnul) și slabă conducătoare de căldură. De asemenea, se poate recicla, ajungându-se ușor la metalul de proveniență. Metalele care se pretează obținerii structurii celulare sunt aluminiul, titanul, magneziul, nichelul și cuprul, cele mai bune rezultate obținându-se în cazul aluminiului, datorită procedelor mai accesibile de fabricare. Diametrul porilor este de 1...8 mm, dar există și pori alungiți sau chiar invizibili cu ochiul liber.

Deși procedeul este cunoscut de prin anii 1950, el a fost aplicat industrial de abia prin anii 1990 de firma Shinko Wire din Japonia, impunându-se apoi după o expoziție de automobile din 1998, de la Detroit, când societatea Karmann și Institutul Fraunhofer IFAM din Germania au folosit spumă de aluminiu (*Alumini-*

Tabelul 3.1.1. Principalele superaliaje existente în lume

Ele- men- tul	Denumirea	Marca	Standardul	Compoziția chimică	Caracteristici principale
0	1	2	3	4	5
Aliaje de nichel	Hastelloy B2	UNS N 10065	ASTM B 333	NiMo28	Rezistență bună la acizii clorhidric, sulfuric și fosforic. Rezistă în atmosferă oxidantă până la 760 °C.
	Hastelloy C 22	UNS N 06022	ASTM B 275	NiCr21Mo14W	Rezistă la coroziunea unui număr mare de agenți chimici industriali. Sudabilitate excelentă.
	Hastelloy C 276	UNS N 10276	ASTM B 575	NiMo16Cr15W	Rezistență bună la agenții oxidanți. Așchiabilitate bună. Aceleași proprietăți ca Hastelloy C 22.
	Hastelloy G 30	UNS N 06030	ASTM B 582	NiCr30FeMo	Rezistență excelentă la acțiunea acidului fosforic și a mediilor oxidante.
	Hastelloy X	UNS N 06002	ASTM B 435	NiCr22Fe18Mo	Rezistență excelentă în atmosfere oxidante până la 1200 °C.
	Haynes 230	UNS N 06230	AMS 5536	NiCr22W14Mo	Rezistență excepțională în atmosfere oxidante până la 1150 °C, pe durate lungi de timp.
	Inconel 600	UNS N 06600	ASTM B 168 AMS 5540	NiCr15Fe	Caracteristici mecanice și de așchiere bune. Rezistență la coroziune bună până la 1230 °C.
	Inconel 625	UNS N 06625	ASTM B 443 AMS 5599	NiCr22Mo9Nb	Rezistență excepțională la coroziune. Rezistență la oboseală. Rezistență excelentă de la temperaturi criogenice până la 1100°C.
	Inconel 718	UNS N 07718	ASTM B 670 AMS 5596, 5597	NiCr19FeNb	Aliaj de înaltă rezistență care se durifică prin precipitare. Rezistență la coroziune de la -250°C până la +700°C.

Tabelul 3.1. (continuare)

0	1	2	3	4	5
	Inconel X 750	UNS N 07750	ASTM B 637 AMS 5548, 5598	NiCr15Fe7Ti	Rezistență bună la oxidare și la coroziune. Rezistență bună la rupere până la 815 °C.
	Incoloy 800	UNS N 08800	ASTM B 409 AMS 5871	X8NiCr32.20	Rezistență la oxidare și coroziune la temperaturi înalte.
	Incoloy 825	UNS N 08825	ASTM B 424	NiCr23Fe	Rezistență mare în medii corosive sulfurice și fosforice și în apă de mare.
	Monel 400	UNS N 04400	ASTM B 127 AMS 4544	NiCu30Fe	Rezistență bună la oxidare și coroziune până la 535 °C și în apă de mare.
	Waspaloy	UNS N 07001	AMS 5544	NiCr20Co13Mo4Ti3	Aliaj durificabil prin precipitare pentru piese cu rezistență ridicată la coroziune până la 870 °C.
	Haynes 25	UNS R 30605	AMS 5537	CoCr20W/Ni	Caracteristici bune la temperaturi ridicate. Rezistență la oxidare până la 1035 °C.
	Haynes 188	UNS R 30188	AMS 5608	CoNi22CrW	Caracteristici excelente la temperaturi ridicate Rezistență la oxidare până la 1090 °C.
Aliaje de cobalt	Elgiloy Phynox	UNS R 30003	ISO 5832-7 ASTM F 1058 ASM 5875, 5876	CoCr20Ni16Mo7	Caracteristici mecanice ridicate, rezistență la oboseală bună, rezistență la coroziune excelentă, biocompatibilitate.
	M 64 BC	Alliage 21	ISO 5832 -12 ASTM F 799 ASTM F 1537	CoCr28Mo	Caracteristici mecanice ridicate, rezistență înaltă la coroziune, biocompatibilitate.
	XSH	Alloy 1	ISO 5832 -5 ASTM F 90	CoCr20W15Ni	Radioopacitate ridicată, biocompatibilitate.

Observații: 1)-ASTM – American Society for Testing and Materials; 2)-AMS – Advanced Materials and Structures (Colecție de standarde a SAE – Society of Automotive Engineers, Troy, Michigan); 3)-ISO – International Organization for Standardization

um *Foam Sandwich*) ca element de amortizare la tamponarea din față a unui autoturism Mercedes. Spuma de aluminiu este cunoscută printr-o combinație interesantă a proprietăților fizice și mecanice: rigiditate mare, densitate foarte mică (10...25% din densitatea metalului de bază, astfel că poate pluti pe apă), conductibilitate termică și electrică scăzută, capacitate extraordinară de amortizare a șocurilor, blindaj electromagnetic, capacitate de izolare acustică și reducere a vibrațiilor și rezistență la foc. În același timp, are o rezistență mecanică scăzută, este scumpă și după deformarea prin șoc nu se mai poate utiliza (dar se poate recicla).

În ceea ce privește procedeele de prelucrare a spumelor metalice, există trei căi principale:

a) – Prelucrarea pe cale gazoasă se aplică mai puțin și constă în condensarea vaporilor metalici pe o structură celulară confecționată din rășini sintetice. După solidificarea metalului depus, structura inițială polimerică este distrusă prin ardere sau topire.

b) – Prelucrarea pe cale solidă se aplică de asemenea mai rar și îndeosebi în cazul aluminiului. Metoda constă în amestecarea pulberii de aluminiu cu hidrura de titan (TiH_2), extrudarea amestecului și încălzirea produsului extrudat la 600°C . La această temperatură, hidrura de titan se descompune, punând în libertate hidrogen, care formează goluri în masa de aluminiu vâscos (aluminiul se topește la $658,6^\circ\text{C}$).

c) – Prelucrarea pe cale lichidă este procedeul preponderent de obținere a spumelor metalice și se realizează prin următoarele metode:

- *turnarea aluminiului topit într-o baie de săruri neutre* constă în topirea unui amestec de săruri neutre într-un creuzet, după care, în baia de săruri se toarnă o cantitate determinată de aluminiu topit. Aluminiul și sărurile trebuie să aibă densități apropiate, pentru evitarea segregării la solidificare. După solidificare, sărurile se înlătură printr-o simplă dizolvare în apă;

- *folosirea unui agent spumogen* este aplicată de firma japoneză Shinko Wire din Amagasaki și constă în introducerea în aluminiul topit, la temperatura de 680°C , a unei cantități de 1,6% TiH_2 . Pentru ca aluminiul topit să fie cât mai vâscos, în prealabil, în masa lui se introduce 1,5% calciu, formându-se compusul Al_2CaO_4 . Hidrura de titan se descompune, punând în libertate hidrogen care, la solidificare, formează goluri cu diametre de 2...10 mm în masa de aluminiu;

- *injectarea unui gaz în topitura de aluminiu* (fig.3.7) se aplică de firmele Hydro Aluminium din Norvegia și Cymat Aluminium Corporation din Canada. Pentru creșterea vâscozității aluminiului din rezervorul 1 și pentru întârzierea ridicării la suprafață a bulelor din camera de barbotare 2, în aluminiul topit se introduce carbură de siliciu și oxizi de aluminiu și magneziu. Prin conducta 3, la capătul căreia este montat un agitator cu elice, se însuflă un gaz (aer, azot, argon) care formează bule în masa de aluminiu topit. Particulele ceramice adăugate băii metalice asigură o flotabilitate lentă a bulelor către suprafață, precum și obținerea unei structuri omogene a spumei. La ieșirea din camera de barbotare 2, spuma 4 se solidifică și este preluată de transportorul 5. Densitatea produsului obținut este de $0,069...0,54\text{ g/cm}^3$, iar diametrele cavitațiilor de 3...25 mm. Aceasta este metoda

preponderentă pentru obținerea spumei de aluminiu.

În ceea ce privește oportunitățile de folosire a spumelor metalice, acestea vizează următoarele domenii:

➤ *transporturi*: automobile (protecție față la ciocniri frontale, protecția picioarelor și capului șoferului și pasagerului din față); construcții aerospațiale (suporturi pentru bateriile solare ale sateliților, panouri-sandviș);

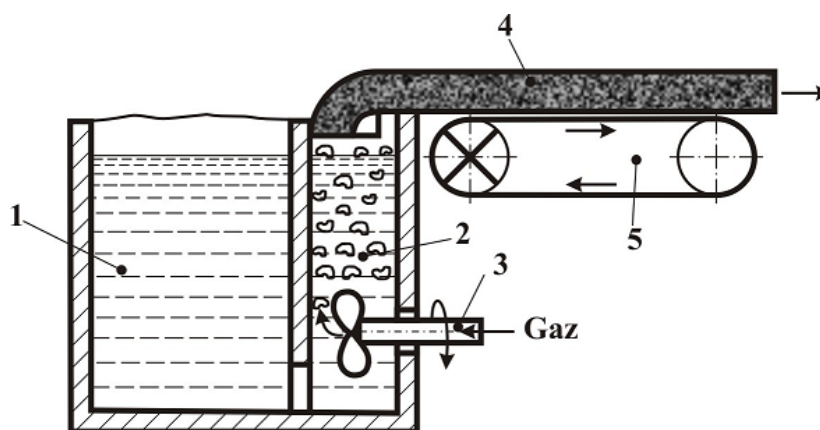


Fig.3.7. Obținerea spumei de aluminiu prin injectarea unui gaz.

➤ *construcții*: panouri-sandviș pentru construcții industriale și plafoane de stadioane; uși de protecție la incendii;

➤ *aplicații militare*: pontoane; absorbante de șocuri, zgomote și vibrații; deflectoare de ultrasunete și unde magnetice;

➤ *instalații de filtrare*: filtre de lichide sau gaze; filtre de sânge cu eliberarea lentă a unui medicament; atomizoare pentru pulverizarea fină a unor lichide; evaporatoare pentru instalații frigorifice;

➤ *ambalaje*: manșoane de protecție; învelișuri de protecție pentru rezervoare și cisterne care transportă substanțe periculoase; glastre de flori cu rezervă de apă;

➤ *implanturi osoase*: titanul microporos se implantează într-un os fracturat sau într-un dinte cariat, iar structura osoasă se va dezvolta apoi în metal, realizând o conexiune permanentă (procedeul a fost experimentat deocamdată doar pe animale).

Spumele metalice sunt încă puțin cunoscute, aflându-se pe o piață emergentă, interesată mai ales de industria de automobile, dar s-ar putea ca această piață să devină atractivă și pentru alți utilizatori.

3.2.6. Aliaje amorfe

Aliajele amorfe sunt materiale metalice cu structură amorfă, cu atomii așezați dezordonat, contrară structurii cristaline a majorității metalelor și aliajelor, caracterizate printr-o așezare foarte ordonată a atomilor. Structura amorfă este

caracteristică sticlei și de aceea aliajele amorfe se mai numesc *sticle metalice* sau *metale vitroase*. Ele se obțin printr-o răcire extrem de rapidă ($v_r = 10^3 \dots 10^9$ °C/s), astfel că atomii nu mai au timp să se ordoneze în mod regulat în rețele cristaline, solidificându-se în starea dezordonată în care se află în faza lichidă.

Primul aliaj amorf s-a obținut în 1960 ($\text{Au}_{75}\text{Si}_{25}$), sub forma unei benzi înguste cu grosimea de 0,1 mm, iar primele aplicații practice s-au realizat în anii 1980, prin folosirea unui aliaj de 80% fier și 20% bor în construcția miezurilor transformatoarelor electrice de putere. Cercetările ulterioare au arătat că obținerea aliajelor amorfe este facilitată de următoarele condiții: aliajul să conțină minimum 3 și preferabil 5 elemente; mărimea atomilor elementelor componente să nu difere cu mai mult de 12%; temperatura de început de vitrifiere să fie mai mare decât temperatura de început de cristalizare; să existe eutectice profunde între elementele componente ale aliajului. Cele mai bune aliaje amorfe sunt aliajele pe bază de fier, bor, nichel, fosfor, siliciu, crom, zirconiu, carbon, titan, cupru și alte elemente ($\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{29}\text{P}_{14}\text{B}_6\text{Al}_2$, $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$, $\text{Fe}_{60}\text{Cr}_{16}\text{Mo}_6\text{B}_{28}$, $\text{Fe}_{54}\text{Cr}_{16}\text{Mo}_{12}\text{C}_{18}$, $\text{Fe}_{83}\text{B}_{15}\text{Si}_2$, $\text{Ti}_{40}\text{Cu}_{36}\text{Pd}_{14}\text{Zr}_{10}$).

Elaborarea aliajelor amorfe se face printr-o răcire cu viteză ultrarapidă a topiturii din care provin, obținându-se piese, benzi, fire sau pulberi.

a) – Obținerea pieselor se face printr-o metodă asemănătoare cu turnarea centrifugală a metalelor (fig.3.8). Turnarea se poate face în forme metalice cu ax

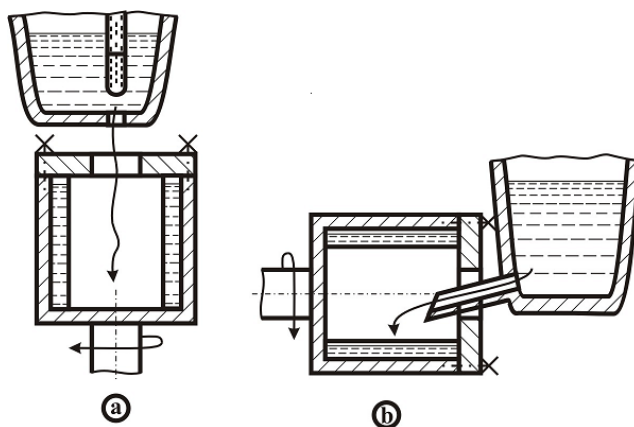


Fig. 3.8. Turnarea pieselor din aliaje amorfe.

vertical (fig.3.8.a) sau cu ax orizontal (fig. 3.8.b). Formele metalice sunt confecționate din aluminiu și au un circuit de răcire forțată cu apă. Piesele turnate sunt foarte dure și au o fragilitate ridicată, astfel că ele se obțin la forma finală, nemaiputând fi prelucrate prin procedee ulterioare.

b) – Obținerea benzilor se realizează prin turnarea metalului topit pe un cilindru răcit cu apă. (fig.3.9.a) sau prin trecerea acestuia printre doi cilindri care se rotesc în sensuri contrare, după principiul laminării (fig.3.9.b). În primul caz, pentru creșterea duratei de contact a metalului cu cilindrul, se utilizează un dispozitiv cu bandă de cupru sau beriliu. Aceasta este cea mai veche metodă pentru obținerea produselor din metale amorfe, utilizată și astăzi pentru obținerea benzilor lungi din care se fabrică miezuri de transformatoare. Viteza de răcire trebuie să fie de circa 10^6 °C/s.

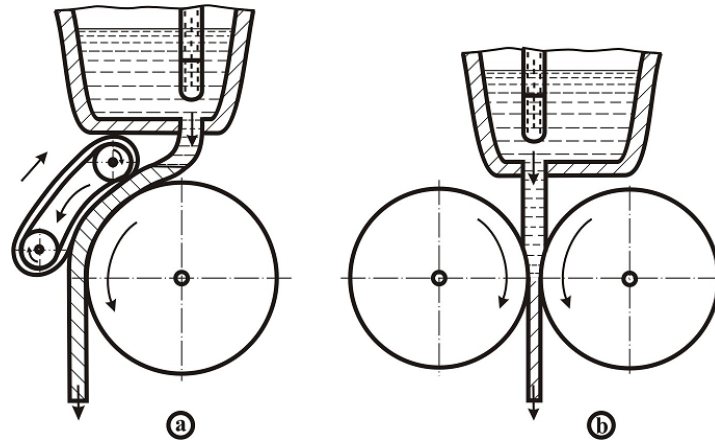


Fig. 3.9. Fabricarea benzilor din aliaje amorse.

c) – **Obținerea firelor** (fig.3.10) se face prin răcirea ultrarapidă a aliajului topit care curge din oala de turnare 1 în conducta 2, aflată în vasul 3 cu o soluție apoasă de NaOH. Firul 4 este înfășurat pe bobina 5.

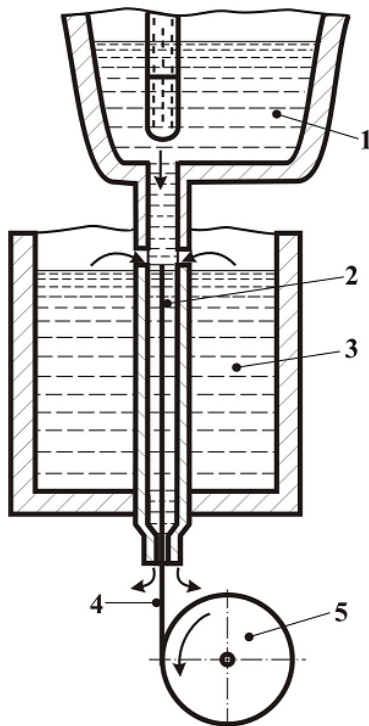


Fig.3.10. Fabricarea firelor din aliaje amorse.

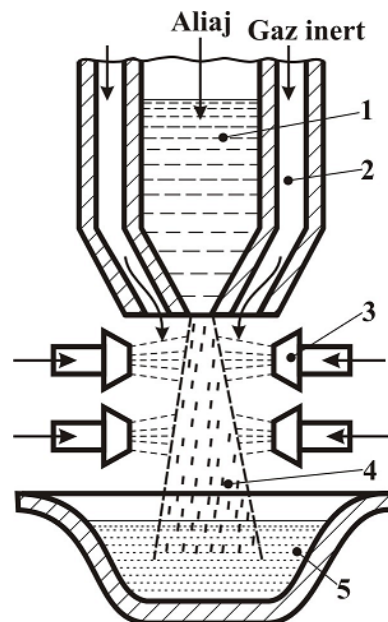


Fig.3.11. Fabricarea pulberilor din aliaje.

d) – Obținerea pulberilor (fig.3.11) se face prin curgerea aliajului din rezervorul 1, prin antrenare cu un gaz inert din ajutorul 2 și stropirea abundentă cu o soluție apoasă de săruri cu duzele 3. Pulberea 4 din aliaj amorf ajunge în vasul 5. Proprietățile aliajelor amorfe sunt total diferite de cele ale aliajelor cristaline corespunzătoare. Din punct de vedere fizic, aliajele amorfe sunt slabe conducătoare de căldură și electricitate, au densități cu 1...2% mai mici decât cele cristaline și un feromagnetism excepțional, magnetizându-se și demagnetizându-se rapid.

Din punct de vedere mecanic, aliajele amorfe au o rezistență de rupere la tracțiune ridicată (dublă față de cea a titanului), o limită de elasticitate ridicată, duritate și rezistență la uzură foarte ridicate, iar din punct de vedere chimic au o rezistență la coroziune excepțională. În ceea ce privește posibilitățile de prelucrare, acestea au fost prezentate mai sus, cu mențiunea că piesele sau semifabricatele se pot obține la cotele finale, fără prelucrări ulterioare. Toate aceste proprietăți determină o durată de exploatare dublă față de cea a aliajelor corespunzătoare cristaline, dar și un preț de livrare ridicat.

Aliajele amorfe se utilizează la fabricarea miezurilor transformatoarelor electrice de putere, reducând cu 70...80% pierderile de energie, precum și emisiile de CO₂ (aceste transformatoare sunt foarte răspândite în India și China). Fiind foarte bune izolatoare acustice și având proprietăți de blindare magnetică, se folosesc pentru protecția contra depistării submarinelor militare. Se mai utilizează la fabricarea comutatoarelor electrice cu frecvență mare de comutare, a seismografelor, membranelor pentru manometre, arcurilor de ceas, capetelor magnetice de înregistrare, traductoarelor de viteză, precum și la armarea țevelor care lucrează la presiuni înalte. Fiind materiale scumpe, ele vizează și articolele sportive de lux (rachete de tenis și crose de hochei, golf sau base-ball) sau sectorul medical. Astfel din aliaje amorfe se confecționează instrumente chirurgicale sau piese pentru implanturi ortopedice (agrafe, tije, șuruburi) care sunt biocompatibile și au proprietatea de a se resorbi cu 1 mm/lună, fiind înlocuite cu țesut osos.

Aliajele amorfe constituie și punctul de plecare pentru obținerea materialelor micro sau nanocristaline cu înalte caracteristici magnetice. Aplicațiile lor se vor extinde în electronică și telecomunicații, înlocuind magneziul, titanul și materialele plastice.

3.3. Polimeri avansați

3.3.1. Generalități

Polimerul (din cuvintele grecești *pollus* = multe și *meros* = părți) este o substanță macromoleculară obținută prin polimerizare, o reacție chimică prin care substanțe nesaturate cu masă moleculară mică de aceeași natură (monomeri) se transformă în substanțe cu masă moleculară mare. După natura lor, polimerii pot fi *naturali* (polizaharide, protide, acizi nucleici), *artificiali* – obținuți prin modificarea chimică a unui polimer natural (acetat de celuloză, metilceluloză, galalit) sau *sintetici* – obținuți prin polimerizarea sau policondensarea unor monomeri (polistiren, poliizopren sintetic), iar după structura moleculară, există polimeri

liniari, ramificați și tridimensionali. De asemenea, după proprietățile termomecanice, există polimeri *termoplastici* care, prin încălzire, se înmoaie și se pot prelucra, fiind și reciclabili, polimeri *termoreactivi* care, prin acțiunea căldurii și presiunii, se întăresc, nemaifiind reciclabili și *elastomeri* care suportă deformări reversibile. Polimerii termoplastici au o structură moleculară liniară și semicristalină (fig.3.12.a), alcătuită din lanțuri de atomi, în timp ce polimerii termoreactivi și elastomerii au structuri ramificate (fig.3.12.b), cu așezarea aleatorie a atomilor, fiind materiale amorfe.

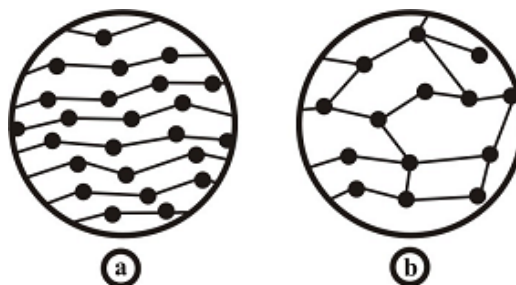


Fig. 3.12. Structura moleculară a polimerilor și elastomerilor.

Polimerii au apărut în perioada 1920...1940 și au cunoscut o dezvoltare semnificativă după război, în SUA. Americanii au fost privați de război de importul cauciucului din Asia de Sud-Est, lansând un ambițios program de cercetare, vizând înlocuirea cauciucului cu produse de sinteză. Astăzi, polimerii se utilizează în toate ramurile de activitate, 75% dintre aceștia fiind reprezentați de acronitril-butadienstiren (ABS), poliesteri (PET), policarbonați (PC) și poliamide (PA). După gradul de răspândire și performanțe, polimerii se pot clasifica conform structurii prezentate în fig. 3.13.

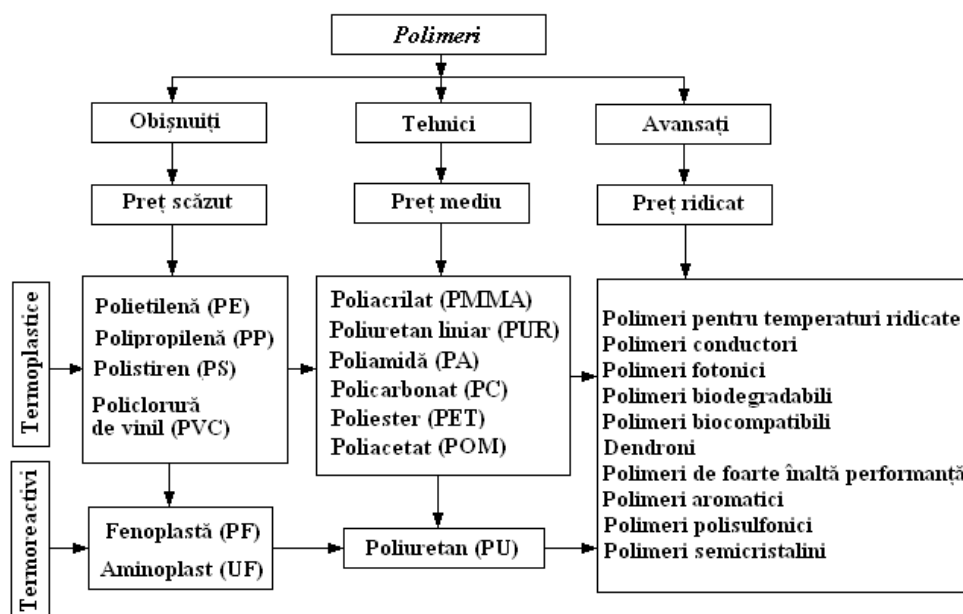


Fig. 3.13. Clasificarea polimerilor după răspândire și performanțe.

3.3.2. Polimeri pentru temperaturi ridicate

Temperatura de utilizare a materialelor plastice obișnuite și tehnice nu depășește 70...120 °C, acesta fiind dezavantajul major al lor. În a doua jumătate a secolului trecut, laboratoarele de materiale ale aviației americane au primit sarcina realizării unor polimeri cu care să se obțină materiale compozite ușoare și cu temperaturi de utilizare de până la 300 °C, care să înlocuiască piesele metalice grele din aviație și construcțiile aerospațiale. Același lucru l-au făcut și francezii, pentru fabricarea avionului Concorde, fiind urmați apoi de japonezi. Astăzi, 60% din polimerii pentru temperaturi ridicate se produc în SUA, 20% în Franța, 10% în Japonia și 10% în Rusia și China. În ceea ce privește temperatura de utilizare, aceasta a ajuns chiar la 400 °C, pentru durate scurte de folosire.

3.3.2.1. Politetrafluoretilena (PTFE) este cunoscută sub denumirea comercială de *teflon* și are formula chimică C_2F_4 . Are proprietăți remarcabile față de alți polimeri termoplastici: rezistență remarcabilă la acțiune agenților chimici, un coeficient de frecare extrem de scăzut (0,05–0,1) și se poate utiliza până la 260 °C, fără degradarea proprietăților (se topește la 327 °C). Aceste proprietăți îi conferă o mare valoare, într-o gamă largă de întrebuințări: substrat pentru microunde în electronică, izolator pentru cabluri de înaltă tensiune, placarea unor vase de bucătărie și a recipientelor pentru substanțe chimice, țesături rezistente la foc și la acizi, piese pentru automobile. În același timp, utilizarea teflonului este limitată de următoarele inconveniente: proprietăți mecanice slabe; la 400 °C se descompune în acid fluorhidric (corosiv) și monomeri gazoși; procedeele de prelucrare sunt dificile; preț ridicat (vezi și § 2.2.3.1).

3.3.2.2. Polifluorura de viniliden (PVDF) este comercializată sub denumirile de *dyflor*, *foraflon*, *kynar* sau *solef* și are formula chimică $(C_2H_2F_2)_n$. Se poate folosi în intervalul de temperatură –50...+150 °C (se topește între 170–180 °C), este foarte rezistentă la acțiunea razelor ultraviolete și a agenților chimici extrem de corosivi, are o alungire la rupere foarte mare (200...750%) și prezintă proprietăți piezo, piro și feroelectrice. Se folosește în următoarele domenii: baterii litiu-ion pentru telefoanele mobile, placarea țevelor și a rezervoarelor pentru medii agresive, izolarea firelor și elementelor piezoelectrice din electronică, membrane pentru electroforeze, fire de pescuit. Folosirea este însă limitată de costul ridicat.

3.3.2.3. Polisulfona (PSU) este un polimer termoplastic amorf cu formula chimică $[C_{18}H_{12}O_4S]_n$, care își păstrează proprietățile în intervalul –100 ...+800 °C, foarte rezistent la acțiunea agenților chimici, cu proprietăți mecanice bune și cu capacitate de absorbție a șocurilor. Are următoarele utilizări: conducte pentru transportul fluidelor corosive, viziere pentru căștile pompierilor, autoclave pentru sterilizarea instrumentelor medicale, membrane pentru hemodializă (cu pori de 0,04 microni), cartușe filtrante pentru gaze de eșapament și ape uzate, dielectrice pentru condensatoare.

3.3.2.4. Siliconul (SI) este un polimer termoreactiv cu formula chimică $[Si(CH_3)_2O]_n$, stabil termic în intervalul –100...+250 °C, bun izolator electric, rezistent la acțiunea oxigenului, ozonului și razelor ultraviolete și cu o bună permeabilitate la gaze. Aceste proprietăți îi conferă următoarele întrebuințări:

etanșarea acvariilor de dimensiuni mari, protecția unor componente electronice contra șocurilor mecanice și electrice, a radiațiilor și vibrațiilor, panouri contra incendiilor (din spumă de silicon), lubrifiant pentru lanțurile de bicicletă, fabricarea unor geluri pentru spălarea mâinilor fără apă sau a șampoanelor pentru păr, implanturi mamare și obiecte erotice (vezi și § 2.2.3.c).

3.3.2.5. Poliimida (PI) este un polimer care poate avea atât structură semicristalină (termoplastic), cât și structură amorfă (termoreactiv). Ultimul are proprietăți mecanice bune, este rezistent la abraziune și la acțiunea agenților chimici și a razelor ultraviolete, păstrându-și proprietățile până la o temperatură de 260 °C. Aplicații: izolarea firelor subțiri ale anexelor mobile ale calculatoarelor, lipirea și izolarea semiconductoarelor, pelicule fotosensibile, acoperiri de protecție, etanșizări, izolații.

3.3.3. Polimeri conductori

Polimerii sunt, în general, buni izolatori electrici. Există însă și polimeri care conduc curentul electric. Savanții Hideki Shirakawa (japonez), Alan G. MacDiarmid și Alan J. Heeger (americani) au fost răsplătiți pentru descoperirea acestora cu Premiul Nobel pentru chimie, în anul 2000. Pentru ca un polimer să poată conduce curentul electric, el trebuie să aibă, alternativ, legături simple și duble între atomii săi de carbon. Trebuie de asemenea să fie *dopat*, adică să-i fie luați electroni (dopaj *n* – prin oxidare) sau să-i fie dați (dopaj *p* – prin reducere). Dopajul polimerilor se deosebește deci de dopajul semiconductoarelor pe bază de siliciu, care constă în înlocuirea unor atomi de siliciu cu anioni de fosfor sau cationi de bor, obținându-se semiconductori de tip *n* sau *p*. Doparea polimerilor duce la modificarea structurii lor moleculare, precum și la apariția conductibilității electrice. Față de conductorii metalici, polimerii conductori sunt mai ușori, au o mare rezistență la coroziune, sunt transparenti și au un preț mai scăzut. Polimerii conductori combină deci rezistența la oxidare și coroziune, flexibilitatea, elasticitatea, posibilitățile ușoare de prelucrare și costul scăzut al materialelor plastice cu conductibilitatea electrică bună a metalelor. Ca urmare, domeniile lor de aplicare sunt numeroase: stocarea și conversia energiei, ecrane extraplate pentru televizoare, panouri solare, amplificatoare optice, ecrane de afișare pentru telefoane mobile. În viitor se vor produce tranzistoare și alte componente electronice dintr-o singură macromoleculă de polimer conductor, ceea ce va conduce la miniaturizarea și creșterea spectaculoasă a vitezei calculatoarelor.

Principalele tipuri de polimeri conductori sunt poliacetilena, polipirolul, politiofena, polianilina și polivinilul de parafenilenă.

3.3.3.1. Poliacetilena (PAC) este un polimer organic cu formula chimică $(C_2H_2)_n$, cu o conductibilitate electrică apropiată de cea a argintului. Ea este formată dintr-un lanț de atomi de carbon, cu o alternanță de legături simple și duble între ei, fiecare atom de carbon fiind legat și de un atom de hidrogen. Poliacetilena s-ar putea obține prin polimerizarea acetilenei, dar procedeul este riscant, datorită faptului că acetilena este un gaz ușor inflamabil. Ca urmare, poliacetilena se obține prin polimerizarea unui derivat al ciclooctanului numit *ciclooctatetraenă (COT)*,

cu formula moleculară C_8H_8 .

3.3.3.2. Polipirolul (PPy) este de fapt un derivat al poliacetilenei, cu o foarte bună conductibilitate electrică. El se poate obține fie prin dopare chimică (oxidare catalitică), fie prin dopare electrochimică. A doua metodă, care conduce la o conductibilitate electrică mai bună, constă în sinteza electrochimică a polipirolului într-o soluție apoasă de pirol, în condiții galvanostatice. În urma electrolizei, pe catodul din aur, platină sau carbon vitros se depune o peliculă de polipirol care se desprinde foarte ușor.

Studii recente recomandă folosirea polipirolului în medicină pentru stabilirea rapidă și exactă a conținutului de litiu din sânge, care se folosește pentru tratarea unei boli psihice numite tulburare bipolară.

3.3.3.3. Politiofena (PT) are atât o conductibilitate electrică foarte bună, cât și capacitatea de a-și modifica proprietățile optice (transparența și culoarea) sub influența curentului electric sau a unor factori de mediu. Ea se obține prin polimerizarea tiofenei și capătă proprietăți conductoare prin luarea (dopare p) sau adăugarea unor electroni (dopare n) și se sintetizează prin metodele electrochimică sau chimică.

Aplicațiile politiofenei au la bază îmbinarea proprietăților materialelor plastice cu cele menționate mai sus: tranzistoare cu efect de câmp, componente electroluminescente, celule fotovoltaice, materiale optice neliniare, pile electrice, diode, protecția antistatică a componentelor electronice. O viitoare aplicare a politiofenei ar putea fi geamurile electrocromatice care ar împiedica transmiterea căldurii în sau din spațiile închise, devenind reflectorizante sau opace la schimbarea condițiilor de mediu. Și aceasta la un preț scăzut.

3.3.3.4. Polianilina (PANI) este un polimer conductor care se obține prin polimerizarea anilinei în prezența persulfatului de amoniu, ca oxidant. Ea este mai ieftină decât ceilalți polimeri conductori și se utilizează în electronica industrială ca blindaj electromagnetic și protecție contra descărcărilor electrostatice. Recent a fost folosită la fabricarea cipurilor electronice (mici suprafețe de material semiconductor pe care se imprimă unul sau mai multe circuite integrate).

3.3.4. Polimeri fotonici

Polimerii fotonici, numiți și *polimeri electroluminescenți (LEP)* au fost

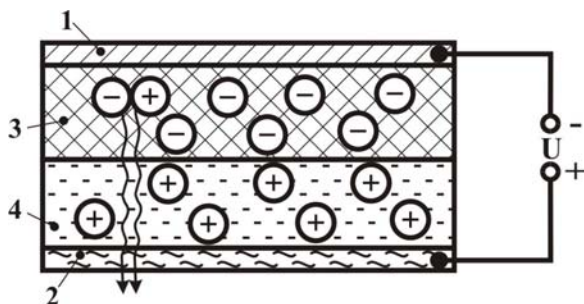


Fig. 3.14. Principiul electroluminescenței.

descoperiți prin anii 1960, dar și-au găsit aplicabilitatea de abia după anul 2000, odată cu polimerii conductori. Principiul electroluminescenței polimerilor este simplu (fig. 3.14.): catodul 1 din aluminiu sau calciu, emite electroni de conducție (n), iar anodul transparent 2,

din oxid de indiu și staniu, generează goluri sau vacanțe ale electronilor de valență (p). Electronii de conducție (n) pătrund în stratul emisiv 3, din polifenilen-vinilen sau din polifluoren, iar golurile (p) străbat stratul conducător 4 și având viteze mai mari ajung în stratul emisiv. Aici se recombina cu electronii de conducție, generând excitoni care emit raze luminoase. Acestea străbat anodul transparent 2, având culori în toate domeniile spectrului, inclusiv culoarea albă. Tensiunea sursei U are valori scăzute (2,5...20 V). Excitonii emit atât raze luminoase (fotoni), cât și căldură. Pentru ca emisia de raze luminoase să fie cât mai mare, polimerii semiconductori se dopează cu materiale fluorescente sau fosforescente. Grosimea totală a polimerului semiconductor dintre catod și anod este de circa 1000 Å (10^{-4} mm).

Pe acest principiu se bazează *dioda luminescentă organică* (*OLED* – acronimul denumirii în limba engleză, *Organic Light-Emitting Diode*), brevetată în 1987 de firma Kodak și introdusă în fabricație în anul 1997. Primele generații de diode electroluminescente (*LED* – acronimul denumirii în limba engleză, *Light-Emitting Diode*) aveau o structură cristalină și nu erau chiar ieftine. Cu timpul, s-a materializat ideea folosirii polimerilor semiconductori la fabricarea acestora. Diametrul unei astfel de diode nu depășește 1 mm. Fiecare pixel (*picture element* = element al imaginii) de pe un ecran *OLED* este constituit din trei diode alăturate (una roșie, una verde și alta albastră).

Diodele electroluminescente organice au un consum redus de energie, o redare foarte bună a culorilor, un contrast foarte bun (până la 1.000.000:1), o lumină mai difuză, un timp de răspuns foarte scurt (sub 0,1 ms) și un proces de fabricație relativ simplu. Ca dezavantaje se menționează durata scurtă de funcționare (14.000 ore pentru cele albastre), sensibilitatea la umezeală și monopolizarea dreptului de fabricație de către firmele care le-au brevetat (Eastman Kodak, DuPont, General Electric și Royal Philips Electronics).

Ca domenii de aplicare se menționează: ecrane pentru telefoane mobile, aparate foto numerice, ecrane plate de dimensiuni mari (*home-cinema*), afișaje *head up display* pentru comanda avioanelor și automobilelor, iluminare discretă ambientală sau diverse gadgeturi (veșminte, panglici, stilouri sau brelocuri luminoase). În ceea ce privește utilizarea lor pentru produse cu durată mai lungă de funcționare (monitoare de televizoare și calculatoare), aceasta rămâne o problemă de rezolvat pentru viitor.

O altă tehnologie ce pare inspirată din literatura science-fiction este tehnologia displayurilor polimerice (*LEP* – *Light-Emitting Polymers*) care este pe cale de a înlocui monitoarele cu cristale lichide (*LCD* – *Liquid Crystal Display*). Displayul polimeric (fig.3.15) este alcătuit din substratul transparent 1 pe care se află anodul transparent 2, din oxid de indiu și staniu și din catodul 3, din aluminiu sau calciu. Între cei doi electrozi se află stratul de polimer semiconductor 4 (polivinilcarbazol, politiofenă, polifluoren). Electronii de conducție n , cu sarcini negative, se recombina cu golurile p , încărcate cu sarcini pozitive, în stratul de polimer, generând raze luminoase, în toate domeniile spectrului. După cum am mai menționat, acest fenomen se numește *electroluminescență*.

Față de ecranele *LCD*, displayurile *LEP* au următoarele avantaje : luminozi-

tatea este de 10 ori mai mare ca a lămpilor fluorescente obișnuite (100.000 cd/m^2); contrast foarte bun și o definiție mai bună a scenelor întunecoase; calitatea imaginii este excepțională; greutate redusă; posibilitatea obținerii unor ecrane extraplate; consum redus de energie.

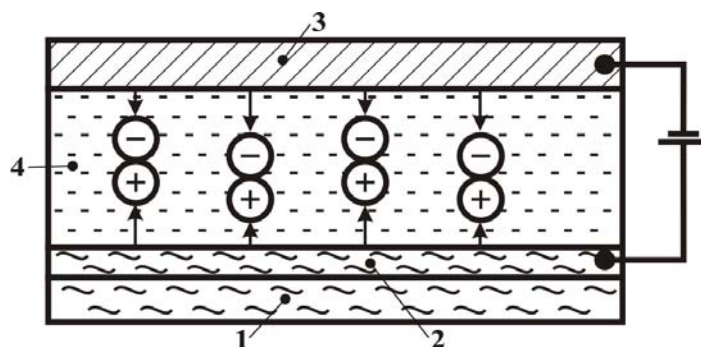


Fig. 3.15. Structura displayului LEP.

Displayurile polimerice pot fi rigide sau flexibile, iar domeniile de aplicare sunt foarte vaste, de la aparate mici (ceasuri sau telefoane mobile), până la monitoare obișnuite și panouri imense de afișaj. Ele ar putea înlocui aparatele de bord ale automobilelor sau avioanelor, montarea lor fiind posibilă pe orice tip de suprafață (monitoare, pereții casei, blatul mesei). Ca urmare, totul va fi posibil: laptopuri ce se pot împacheta, displayuri ce se pot rula, tapete sau draperii electroluminescente sau jurnale electronice.

În literatura de specialitate au apărut deja sintagmele de *cerneală electronică* (e-ink) și *hârtie electronică* (e-paper) care imită textul și imaginile clasice, acestea putând fi stocate oricât, fără procesări suplimentare și consum de energie electrică.

3.3.5. Polimeri biodegradabili

3.3.5.1. Generalități. Materialele plastice tradiționale prezintă un dezavantaj major din punctul de vedere al protecției mediului: o pungă de plastic abandonată în sol are nevoie de 200 de ani pentru a se degrada total. Înlăturarea prin ardere a acestor materiale, pentru a produce energie, produce poluare, datorită halogenilor și sulfurii care se degajă în atmosferă, iar reciclarea lor ridică probleme de triere și de neutralizare a deșeurilor rezultate. Ca urmare, utilizarea unor polimeri tradiționali începe să fie interzisă în unele țări dezvoltate. Astfel, în Olanda este interzisă folosirea policlorurii de vinil în serele legumicole sau horticole, iar în Franța, la îmbutelierea apelor minerale. Aceste cerințe au determinat cercetătorii să se orienteze spre crearea materialelor plastice biodegradabile.

Materialele biodegradabile sunt supuse unui proces de descompunere, rezultând bioxid de carbon, metan, apă și alte produse organice, sub acțiunea enzimatică a unor microorganisme. După natura lor, aceste materiale sunt de

origine petrochimică sau naturală.

3.3.5.2. Polimeri biodegradabili de origine petrochimică. Primele cercetări pentru realizarea lor au fost întreprinse prin anii 1970, constând în asocierea polietilenei cu amidon sau celuloză. Prin introducerea unei cantități de 10% amidon într-o matrice de polietilenă, la care se mai adaugă 1 % catalizatori care să provoace ruperea lanțurilor chimice și consumarea amidonului de către niște microorganisme, se realizează degradarea biologică a materialului plastic. Procedul s-a utilizat la fabricarea foliilor de polietilenă pentru protecția răsadurilor agricole sau pentru pungi și ambalaje, astăzi fiind abandonat.

Recent, s-a realizat o nouă familie de polimeri biodegradabili care conțin carbamați de fier, nichel și mangan sau stearat de nichel, ca agenți oxidanți. Ecologiștii sunt foarte circumspecți cu privire la acești oxidanți, întrucât ei realizează de fapt o fragmentare și nu o biodegradare a polimerilor, iar metalele care provin din sărurile menționate vor polua ele însele mediul înconjurător.

Ultimele cercetări vizează obținerea unor materiale biodegradabile, prin diverse procedee, pornind de la polimerii de origine petrochimică: polimeri alifatici (policaprolactama, politetrametilenul), poliesteri și polimeri vinilici. Materialele obținute corespund normelor de protecție a mediului, dar sunt scumpe.

3.3.5.3. Polimerii biodegradabili de origine naturală sunt substanțe sintetizate prin procese biologice sau pe cale chimică, plecând de la monomerii naturali. Din această categorie fac parte biopolimerii, polimerii de origine bacteriană și polimerii sintetici.

a) – Biopolimerii (polimerii naturali) sunt de origine vegetală și animală sau sunt produși de microorganisme. Cea mai importantă familie de polimeri naturali este cea a polizaharidelor, din care fac parte amidonul (provenit din cartofi, grâu și porumb), celuloza și lignina. O altă familie este alcătuită din proteinele provenite din plantele oleaginoase (rapită, floarea soarelui, soia, mazăre, bob), din tărate de cereale (gluten de grâu), din țesuturi de animale (colagen, gelatină) sau din lapte de vacă (cazeină). Tot din această categorie face parte cauciucul natural.

b) – Polimerii de origine bacteriană sunt produși de anumite bacterii care îi acumulează în citoplasmă, prin fermentare. Ca materii prime fermentabile se utilizează zaharurile și amidonul, iar ca polimeri de origine bacteriană se menționează polihidroxibutiratul (PHB), polihidroxivaleratul (PHV) și copolimerul de polihidroxibutirat și polihidroxivalerat (PHBV). Acești polimeri sunt considerați semibiosintetici. Ei se pot obține și din unele plante modificate genetic, caz în care sunt numiți biosintetici.

c) – Polimerii sintetici se obțin prin polimerizarea unor monomeri naturali, cel mai cunoscut fiind polilactida (PLA) care se obține prin fermentarea bacteriană a acidului lactic. Tot din această categorie fac parte polihidroxialcanoatii (PHA) care sunt poliesteri ai hidroxiacizilor alifatici, policaprolactona (PCL) și poliglicolida (PGA). Proprietățile mecanice se pot îmbunătăți prin combinarea acestor polimeri, obținându-se copolimeri.

Degradarea lor se face în prezența apei, printr-o reacție chimică de

hidroliză care rupe lanțurile de polimeri, punând în libertate hidroxiacizii componenți, aceștia ne reprezentând nici un pericol pentru mediul înconjurător. Ca o curiozitate, degradarea începe de la interior către exterior (degradare eterogenă) și se manifestă mai intens în cazul obiectelor masive.

3.3.5.4. Aplicații și perspective. Producția mondială de polimeri biodegradabili este de circa 1 milion t/an, estimându-se la 5 milioane t/an, în 2020. Ei sunt de 2...10 ori mai scumpi decât cei tradiționali și de aceea obligativitatea folosirii lor nu a fost încă legiferată niciunde în lume.

În ceea ce privește domeniile de aplicare, se menționează: saci pentru colectarea deșeurilor organice, pungi pentru cumpărături (obligatorii în țările Europei de Nord), ambalaje industriale, folii pentru protecția răsadurilor în agricultură, horticultură și pepiniere silvice, casete pentru comercializarea fructelor, legumelor și produselor de panificație și patiserie.

3.3.6. Polimeri biocompatibili

Polimerii biocompatibili (biopolimerii) sunt polimeri prezenți în organismele vii (animale, plante, alge) sau polimeri sintetici de origine naturală (PLA, PHA, PHB, PHV, PHBV, PCL, PGA). Ei nu sunt respinși de corpul uman și, în general, sunt biodegradabili. Mulți polimeri sintetici de origine naturală se obțin printr-un proces de fermentație bacteriană, utilizând substraturi regenerabile de carbon, glucide și lipide. Există câteva sute de tipuri de bacterii care acumulează în celule polimeri naturali din mediile de cultură, polimerii putând ajunge la 80% din masa celulară uscată. Ei sunt apoi extrași din celulele uscate prin soluție cu solvenți organici și apoi prin precipitare în metanol sau etanol. În funcție de tipul bacteriilor și de condițiile de dezvoltare a acestora în bioreactoare, se pot obține biopolimeri hidrofobi (care nu se combină cu apa), casați, elastici sau cleioși.

Aplicațiile polimerilor biocompatibili se regăsesc îndeosebi în medicină și în industria farmaceutică. Ei trebuie să aibă o rezistență chimică înaltă, să suporte sterilizări multiple (cu aburi, oxid de etilenă sau raze γ), fără a-și înrăutăți proprietățile mecanice și biocompatibilitatea și să permită explorările cu raze X sau prin rezonanță magnetică nucleară (RMN), fără a produce artefacte (imagini false în preparatele histologice). De asemenea, trebuie să aibă proprietăți mecanice foarte bune, îndeosebi rigiditate, rezistență la rupere și durabilitate.

Un domeniu de mare interes pentru folosirea polimerilor biocompatibili este eliberarea controlată a unor medicamente în corpul uman. Aceasta se poate realiza în trei moduri: medicamentul este înglobat într-un miez protejat de o membrană de polimer prin care este difuzat în corpul uman într-un interval mai lung de timp (fig. 3.16.a); medicamentul este înglobat într-o capsulă monolitică din polimer inert care se va degrada în timp, fără efecte nocive asupra organismului (fig. 3.16.b); medicamentul este înglobat într-un polimer biodegradabil care dispare odată cu distribuția principiului activ în organism (fig. 3.16.c).

Biopolimerii se mai utilizează în chirurgia reconstructivă: grefe vasculare de diametre mari (polietilenă tereftalată), placarea stenturilor metalice pentru lărgirea arterelor în scopul evitării respingerii lor de către organism, suturi,

dispozitive de fixare ortopedice, proteze, cimenturi ușoare (facilitează osificarea, combinându-se cu fosfatul de calciu).

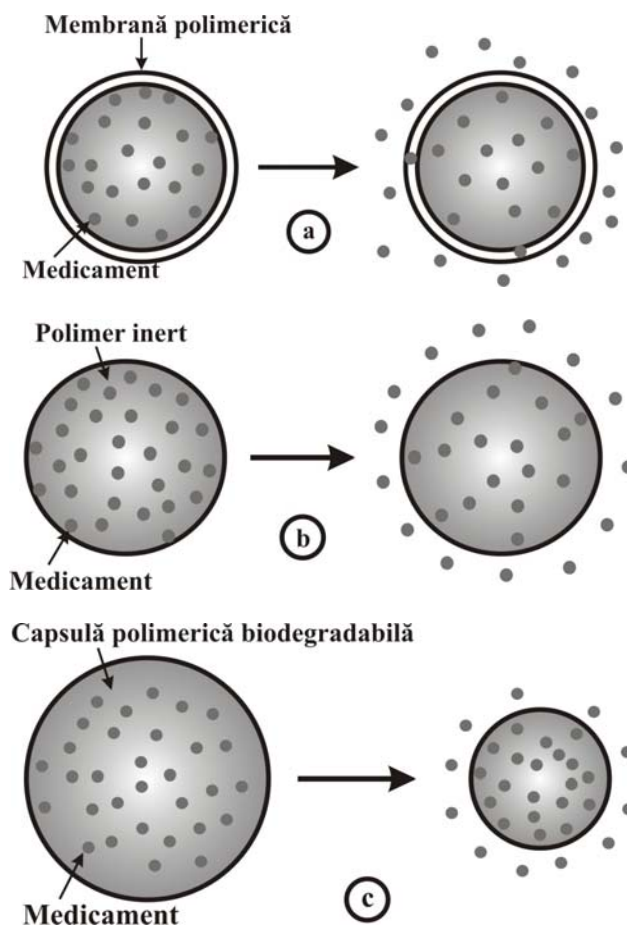


Fig. 3.16. Administrarea controlată a medicamentelor capsulate cu polimeri biodegradabili.

Odată implantat, un dispozitiv biodegradabil trebuie să-și mențină proprietățile mecanice până când el nu mai este necesar și apoi să fie absorbit de organism, fără a lăsa nici o urmă. Resorbția polimerului se face prin hidroliză, apa fragmentând lanțurile acestuia care sunt apoi metabolizate și înlăturate din organism.

3.3.7.Dendrimeri

Dendrimerii sunt macromolecule constituite din monomeri care se asociază sub formă arborescentă, în jurul unui nucleu central multifuncțional, denumirea lor provenind de la cuvântul grecesc *dendron* = arbore. Arhitectura dendritică este

foarte răspândită în natură, întâlnindu-se atât în sistemele nebiologice (cristale de zăpadă, eroziuni fractale), cât și în cele biologice (neuroni, sisteme vasculare, ramificațiile bronhiilor și bronhiolelor, arbori) și având dimensiuni mari (arbori), mici (ciuperci) și foarte mici (neuroni).

Dendrimerii au o structură tridimensională, în general de formă globulară (fig.3.17), fiind caracterizați de un nucleu central, de care se leagă mai mulți monomeri de același fel care formează generația zero (G_0). În mod similar se formează generațiile G_1 , G_2 etc., până la generația periferică (fig.3.18). Diametrul dendrimerului nu depășește câțiva nanometri ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$). Există două metode

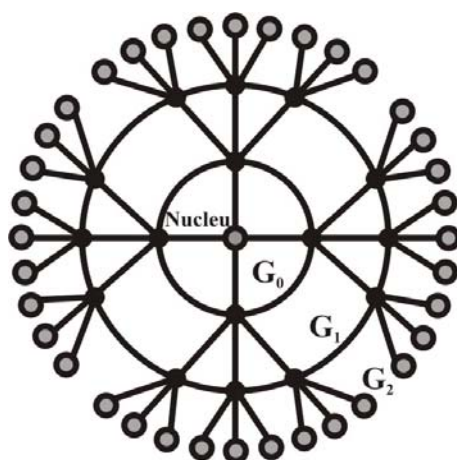


Fig. 3.17. Reprezentarea schematică a unui dendrimer.

pentru sinteza dendrimerilor: *metoda divergentă* care constă în asamblarea monomerilor de la nucleu către periferie și *metoda convergentă* care constă în sinteza dendrimerului de la periferie spre nucleu, cu ajutorul unor fragmente dendritice numite *dendroni*. Ambele metode sunt foarte dificile, astfel că există puține firme în lume care pot să producă dendrimeri.

Generația	G_0	G_1	G_2	G_3	G_4
Numărul monomerilor	3	6	12	24	48
Diametrul [nm]	1,4	1,9	2,6	3,6	4,4
Reprezentarea grafică					

Fig. 3.18. Schema formării unui dendrimer.

Dendrimerii sunt polimeri multifuncționali cu proprietăți particulare de solubilitate, vâscozitate și stabilitate termică. Un dendrimer poate avea stratul periferic hidrosolubil (care se dizolvă în apă) și nucleul hidrofob (care nu se combină cu apa), pe această proprietate bazându-se transportul unor medicamente, prin sânge, până la obiectivele-țintă din organism. De asemenea, există dendrimeri

polari/nepolari, având în componență atât monomeri organici, cât și atomi metalici care se comportă diferit în medii diferite. În interiorul dendrimerilor există cavități care pot transporta gene (elemente ale cromozomilor care determină transmiterea și manifestarea unor caractere ereditare) sau produse anticanceroase în interiorul corpului uman.

Prin grefarea unor metale (Rh, Ru, Pd, Pt, Au, Fe) la suprafața dendrimerului sau în cavitățile sale interioare se obțin *metalodendrimeri* care se folosesc drept catalizatori în reacțiile de cataliză (acțiune prin care se grăbește sau se încetinește o reacție chimică). După efectuarea reacției, metalele catalizatoare se recuperează printr-o filtrare fină.

Dendrimerii contribuie la dezvoltarea sistemelor moleculare organizate, prin joncțiunea biologiei moleculare cu fizica mediilor condensate și cu chimia supramoleculară. Fluidele complexe, cum sunt cristalele lichide și soluțiile micelare (grup sau agregat de molecule care se formează în substanțele coloidale) se bazează, în mare, pe dendrimeri. De asemenea, ei intră în componența substanțelor tensioactive (substanțe care pot modifica tensiunea superficială a unui lichid), datorită afinității lor pentru două medii diferite. O parte a macromoleculei este polară (cationică, anionică sau amfoterică), iar cealaltă, nepolară (lanț alifatic sau aromatic). Substanțele tensioactive se folosesc la fabricarea detergenților și cosmeticelor.

Ca domenii de aplicație ale dendrimerilor se menționează: diagnosticare și terapeutică în medicină (prevenirea infecțiilor cu viruși și bacterii, terapie anticancer, agenți de contrast în imaginerie, eliberarea lentă și controlată a medicamentelor în organism), electrocromatică, fotocromatică, piezoelectricitate, tribologie, holografie, membrane și filtre pentru separarea și purificarea gazelor.

Studiul dendrimerilor va cunoaște, în următorii ani, un avânt considerabil, având în vedere performanțele excepționale ale lor, legate de structură, flexibilitate, porozitate și obținerea altor proprietăți dorite. Ei constituie o grupă aparte de materiale avansate, aflată la zona de contact dintre chimie, industria medicamentelor, biologie, medicină și nanoștiințe.

3.3.8. Alte tipuri de polimeri avansați

3.3.8.1. Polimerii de foarte înaltă performanță pot fi prelucrați prin diverse procedee tehnologice (turnare, extrudare, aşchiere) și se folosesc în aeronautică, electronică, precum și la fabricarea unor instrumente medicale, combinând rezistența excepțională la uzură cu robustețea, stabilitatea termică și dimensională și rezistența la acțiunea agenților chimici. Acești polimeri sunt folosiți, în egală măsură, la fabricarea semiconductoarelor, carcaselor și soclurilor pentru verificarea circuitelor imprimate.

a) – Polieteretercetona (PEEK) este un polimer semicristalin, ușor de prelucrat, cu o rezistență excepțională la acțiunea agenților chimici și cu proprietăți mecanice foarte bune până la 300 °C. Se utilizează pentru confecționarea unor piese rezistente la uzură din domeniul medical sau al construcțiilor de mașini. Principalul ei dezavantaj este prețul ridicat, drept pentru care a fost obținută o

variantă modificată a acestui produs, cu proprietăți ceva mai slabe, dar și cu un preț acceptabil.

b) – Polifenilenul autoranforsat (SRP) este un polimer transparent și amorf, cu rezistență la compresiune, rigiditate și duritate excepționale, putând înlocui, în multe cazuri, materialele metalice și compozite. De asemenea, rezistă la acțiunea agenților chimici, la foc și la ablațiune (fenomen fizic prin care un corp care intră cu mare viteză în atmosferă pierde din substanță datorită încălzirii prin frecare cu aerul).

c) – Sulfona de înaltă temperatură (HTS) este un polimer transparent și amorf care nu își modifică rezistența, rigiditatea, fluajul și stabilitatea dimensională până la temperatura de 265 °C. Se utilizează pentru izolarea cablurilor și motoarelor electrice, precum și în electronică și în industriile de petrol și gaze.

d) – Poliamida-imidă (PAI) are cea mai bună rezistență la rupere și cea mai bună rigiditate până la 275 °C dintre toate termoplastele. La acestea se mai adaugă rezistența la uzură, fluajul și rezistența la majoritatea agenților chimici – toate, foarte bune.

3.3.8.2. Polimerii aromatici se prelucrează prin injecție, extrudare și sudare, având excelente proprietăți de rezistență, rigiditate și reziliență. Se utilizează la fabricarea unor piese din industriile aeronautică și de automobile și se folosesc ca matrice la realizarea unor compozite armate cu particule ceramice sau cu fibre de sticlă.

a) – Poliftalamida (PPA) este un polimer pentru temperaturi ridicate (280°C), cu proprietăți mecanice foarte bune (rezistență la rupere, rigiditate, rezistență la oboseală, fluaj), cu o excelentă rezistență chimică și cu o slabă absorbție a umidității. Se utilizează la confecționarea unor piese pentru automobile, a unor bunuri de consum, precum și a unor echipamente electrice și electronice (contactoare, comutatoare, disjunctoare, condensatoare).

b) – Poliilarlamida (PARA) îmbină rigiditatea excepțională cu aspectul impecabil al suprafeței, precum și higroscopicitatea redusă cu o fluiditate foarte bună. Rezistența de rupere la tracțiune și coeficientul de dilatare termică se apropie de cele ale materialelor metalice. Aceste proprietăți o recomandă în construcțiile de automobile și în fabricarea unor bunuri de consum și a unor echipamente pentru electrotehnică și electronică.

3.3.8.3. Polimerii polisulfonici sunt polimeri amorfi și transparenti care își păstrează proprietățile și în condiții dificile de mediu. Sunt rezistenți la acțiunea apei, a produselor chimice și căldurii (–100....+200 °C) și se prelucrează prin injecție, extrudare, presare și sudare cu ultrasunete. Se folosesc la fabricarea unor aparate și instrumente medicale, a unor piese de automobile, precum și a membranelor pentru hemodializă sau pentru purificarea apelor.

a) – Polisulfona (PSU) – vezi § 3.3.2.3.

b) – Polifenilsulfona (PPSU) este transparentă, are o rezistență bună, este rezistentă la acțiunea agenților chimici și a apei și se poate utiliza până la 207 °C. De asemenea, suportă numeroase cicluri de sterilizări în etuvă, fără a-și pierde proprietățile. Aceste caracteristici o recomandă pentru fabricarea unor aparate și

instrumente medicale (truse și cofrete pentru ortopedie și stomatologie), precum și pentru construcția cabinelor avioanelor civile.

c) – Polietersulfona (PES) este transparentă, are o rezistență chimică excepțională, se poate utiliza până la 204 °C și se folosește la fabricarea membranelor pentru purificarea apei și pentru hemodializă. Prin ignifugare, se poate utiliza la fabricarea unor componente electronice și a dispozitivelor de încercare a acestora.

d) – Polisulfona modificată (PSU) combină proprietățile polisulfonei cu un preț mai scăzut. Având caracteristici electrice favorabile și o bună turnabilitate, se folosește la turnarea unor piese pentru automobile (faruri de mers și de ceață, semnalizatoare) sau a carcaselor unor echipamente electronice.

e) – Polifenilsulfona modificată (PPSU) este o polifenilsulfonă opacă, având o bună rezistență chimică, stabilitate dimensională, higroscopicitate redusă și duranță ridicată, la un preț mai scăzut.

3.3.8.4. Polimerii semicristalini sunt foarte fluizi și se pot utiliza până la 300 °C, îndeosebi în construcția de automobile.

a) – Polisulfura de fenilen (PPS) este un material extrem de fluid și total ignifug, cu o bună stabilitate dimensională și cu higroscopicitate foarte scăzută. Are o rezistență ridicată la acțiunea agenților chimici și se folosește în construcția de automobile, în electronică, electrotehnică și industria chimică.

b) – Polimerii cu cristale lichide (LCP) sunt de asemenea foarte fluizi, total ignifugi și cu o rezistență mecanică foarte bună, putându-le folosi până la 300°C. Au o rezistență mare la acțiunea agenților chimici și se folosesc la confecționarea unor componente electrice și electronice pentru automobile.

În tabelul 3.2 se prezintă principalele domenii de utilizare a polimerilor avansați.

3.4. Ceramice avansate

3.4.1. Generalități

În ultima jumătate de secol s-a dezvoltat o nouă categorie de produse ceramice, și anume *ceramica industrială*, care ar putea fi inclusă aproape în întregime în clasa materialelor avansate. Materialele ceramice industriale au proprietăți indispensabile dezvoltării tehnologiilor de vârf: rezistențe la uzură, la temperatură și la acțiunea agenților chimici, duritate, stabilitate dimensională și posibilități de prelucrare rapidă în piese, precum și proprietăți electrice, magnetice, optice, supraconductoare, termice, termomecanice, biomedicale, nucleare sau militare (tabelul 3.3).

Ceramica industrială cuprinde mai multe familii de materiale: oxizi, carburi, nitruri, boruri, siliciuri, sulfuri, halogenuri, precum și ceramice complexe. Fiecare familie de materiale ceramice are proprietăți specifice care o recomandă domeniilor care reclamă aceste proprietăți. În funcție de domeniile de aplicare, materialele ceramice pot fi funcționale și structurale.

Tabelul 3.2. Domenii de utilizare a polimerilor avansați

Domeniul de aplicare	Denumirea polimerului													
	Polimeri de foarte înaltă performanță				Polimeri aromatici		Polimeri polisulfonici						Polimeri semicristalini	
	Politerețere-tonă (PEEK)	Politerețere-tonă modificată (PEEK)	Polifenilen autoranforșat (SRP)	Sulfonă de înaltă temperatură (HTS)	Poliamidă-imidă (PAI)	Polifitalamidă (PPA)	Poliariamidă (PARA)	Polisulfonă (PSU)	Polifenilsulfonă (PPSU)	Polietersulfonă (PES)	Polisulfonă modificată (PSU)	Polifenilsulfonă modif. (PPSU)	Polisulfură de fenilen (PPS)	Polimer cu cristale lichide (LCP)
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Aeronautică														
Cabine pentru avioane									•			•		
Echipamente și accesorii	•	•	•		•									
Componente mecanice	•	•	•		•									
Alimentație publică														
Pahare pentru băuturi calde								•	•			•		
Veselă de unică folosință								•	•			•		•
Automobile	•	•	•		•									
Admisia aerului						•	•			•	•		•	
Șasiu și structură					•	•	•						•	
Electrice și electronice	•	•		•		•	•	•		•	•		•	•
Sisteme de carbu-rație						•	•	•	•	•			•	
Încălzire și climatizare						•							•	
Sisteme de iluminat						•	•	•		•	•		•	•
Motor și transmisie	•				•	•	•						•	•

Tabelul 3.2 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bunuri de consum														
Accesorii de bucătărie						•		•	•	•				•
Mobilier							•							
Electrocasnice						•	•							
Obiecte de grădinarit și scule electrice						•	•							
Echipamente pentru petrol și gaze	•	•		•	•	•								
Electronice														
Diode electroluminescente						•								•
Circuite integrate						•								
Aparatură portabilă							•							•
Dispozitive pe bază de semiconductoare	•	•	•	•	•					•				
Electrotehnice														
Contactoare, comuta- toare și disjunctoare						•	•			•	•		•	
Componente pentru mo- toare electrice				•	•	•	•						•	•
Izolatoare pentru cabluri electrice	•	•		•					•	•				

Tabelul 3.2 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Materiale medicale														
Cofrete și ortoze ortopedice	•	•							•					
Instrumente medicale	•	•	•				•	•	•					
Aparate instrumente și cofrete de stomatologie	•	•	•				•	•	•					
Membrane														
Purificarea apei								•		•				
Reciclarea apelor uzate								•		•				
Hemodializă								•		•				
Piese rezistente la uzură														
Colivii de rulmenți	•	•			•	•								
Roți dințate	•	•			•									
Rulmenți axiali	•	•			•									
Garnituri	•	•			•									
Inele pentru rulmenți axiali	•	•			•									
Placări, compozite și adezivi	•		•	•	•	•			•	•		•	•	•
Rețele de apă și gaze														
Componente pentru robinete subterane						•	•	•						
Racorduri, distribuitoare								•	•			•		

Tabelul 3.3. Proprietățile și aplicațiile materialelor ceramice

Proprietăți	Aplicații	Compoziție
Electrice	Izolant(substraturi electronice)	Al_2O_3 , BeO, AlN
Electronice	Feroelectricitate (condensatoare)	BaTiO_3 , SrTiO_3
	Piezoelectricitate (filtre, traductoare)	$\text{PbZr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5}\text{O}_3$
	Semiconductoare (termistori, varistoare)	BaTiO_3 , SiC, ZnO
	Conductivitate ionică (sonde de oxigen)	ZrO_2
	Conductibilitate electrică	ReO_2 , ReO_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 , V_2O_5
	Supraconductibilitate	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, $\text{Hg}_{0.8}$, $\text{Tl}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.33}$
Magnetice	Ferite moi (capete de înregistrare magnetică și captoare)	$\text{MgZnFe}_2\text{O}_4$, $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$
	Ferite dure (magneți, unități de memorie)	$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, SmCo_5
	Benzi și discuri magnetice	CrO_2
Chimice	Detectoare de gaz	ZnO , Fe_2O_3 , SnO_2
	Catalizatoare	Cordierită, Zeolit
	Microfiltre și membrane	Al_2O_3 , ZrO_2
Termice	Refractaritate (radiatoare)	ZrO_2 , TiO_2 , ZrSiO_4
	Refractaritate (schimbătoare de căldură)	SiC
Mecanice	Rezistență mecanică (scule așchietoare, filiere)	Carburi metalice sinterizate; Materiale mineralo-ceramice
	Rezistență la uzură și la frecare (garnituri de etanșare, lagăre, rulmenți)	Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 , SiC, B_4C
	Rezistență la abraziune	SiO_2 , Al_2O_3 , SiC
Termomecanice	Rezistență la rupere la temperaturi ridicate (turbine, motoare, duze, supape, conducte)	Al_2O_3 , ZrO_2 , Si_3N_4 , SiC, compozite
Optice	Reflexie optică	TiO_2
	Iluminare și ferestre de transmisie pentru radiatoare	Mullit, Al_2O_3
	Deteție	SeZn, SZn
	Laser	$\text{Y}_2\text{O}_3/\text{ThO}_2$ (compozit)
	Luminescență	Oxizi ai pământurilor rare
Biomedicale	Biocompatibilitate (cimenturi, proteze dentare și articulare)	Al_2O_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, ZrO_2
	Biocompatibilitate (implanturi osoase)	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
Nucleare	Combustibili	UO_2 , PuO_2 , UO_3/PuO_3 (compozit)
	Protecție	Al_2O_3 , B_4C , SiC
	Dispozitive de control	B_4C , EuO_2 , Gd_2O_3 , BN
Militare	Rezistență la șoc (blindaje, ecrane termice)	Al_2O_3 , SiC

	detecție)	
--	-----------	--

3.4.2. Materiale ceramice funcționale

Materialele ceramice funcționale cuprind îndeosebi ceramicele utilizate în electronică și electrotehnică, reprezentând circa 70% din volumul total al materialelor ceramice. Ele pot fi izolatoare, semiconductoare, conductoare, supraconductoare, având și proprietăți piezoelectrice sau magnetice.

3.4.2.1. Ceramica dielectrică obișnuită cuprinde izolatorii electrici și condensatoarele ceramice. Acestea nu au electroni liberi care să permită circulația curentului electric și se obțin din feldspat, cuarț, caolin și hidrosilicați de aluminiu și magneziu.

Alegerea ceramicii destinate fabricării izolatorilor trebuie să țină seama de tensiunea aplicată și de frecvență. Izolatorii pentru curent continuu trebuie să aibă rezistivitate electrică ridicată, coeficient de dilatare scăzut și rezistență la șoc termic și se confecționează dintr-un amestec de Al_2O_3 - SiO_2 - MgO . Ei se folosesc în aparatele electrice sau la fabricarea bujiilor motoarelor cu benzină, precum și la liniile de contact în tracțiunea electrică (locomotive, tramvaie, troleibuze).

Izolatorii pentru frecvențe înalte trebuie să aibă o constantă dielectrică ridicată și un unghi de pierdere cât mai mic, fiind confecționați din argilă densă de înaltă puritate, din steatit (3MgO - 4SiO_2 - H_2O) și cordierită (2MgO - $2\text{Al}_2\text{O}_3$ - 5SiO_2). Ei se folosesc la construcția antenelor de emisie pentru radio și televiziune care sunt alimentate cu frecvențe foarte înalte și trebuie bine izolate față de pământ, precum și a laserelor de putere și cuptoarelor cu microunde.

Condensatorul este un aparat electric alcătuit din două conductoare (armături) separate de un strat izolator care înmagazinează sarcini electrice. Pentru a înmagazina cât mai multă energie într-un spațiu restrâns, materialele folosite la fabricarea condensatoarelor trebuie să aibă permitivitate electrică ridicată ($\epsilon_r > 15$), factor de disipare foarte scăzut ($\text{tg } \delta < 10^{-3}$) și rigiditate electrică mare ($E_d = 10 \dots 20 \text{ kV/mm}$). În acest sens se folosesc perovskitele (titanați de Ba, Ca, Sr, Pb și Zr).

3.4.2.2 Ceramicele cu constantă dielectrică ridicată se utilizează îndeosebi la fabricarea condensatoarelor pentru decuplarea circuitelor integrate ($U < 500 \text{ V}$, $f = 1 \dots 100 \text{ MHz}$) și au un factor de disipare ceva mai mare decât precedentele ($\text{tg } \delta < 4 \cdot 10^{-3}$). Aceste condensatoare sunt formate din straturi succesive de armături metalice și materiale ceramice (condensatoare ceramice multistrat), straturile ceramice fiind alcătuite din titanat de bariu (BaTiO_3), fiecare având grosimea de circa $30 \text{ }\mu\text{m}$.

3.4.2.3. Ceramica piezoelectrică are o constantă dielectrică foarte ridicată și se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acțiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acțiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers). Ca materiale piezoelectrice se utilizează cuarțul, BaTiO_3 , PbTiO_3 , $\text{PbTiO}_3 \cdot \text{PbZrO}_3$, $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 \cdot \text{PbTiO}_3 \cdot \text{PbZrO}_3$, $\text{Pb}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 \cdot \text{PbTiO}_3 \cdot \text{PbZrO}_3$, $\text{Na}_{0,5}\text{K}_{0,5}\text{NbO}_3$, $\text{Pb}_{0,6}\text{Ba}_{0,4}\text{Nb}_2\text{O}_6$.

Ceramica piezoelectrică se utilizează la fabricarea generatoarelor de ultra-

sunete, a motoarelor piezoelectrice, generatoarelor de sudare cu ultrasunete, microfoanelor și filtrelor trece-bandă dispersive sau nedispersive. Traductoarele ultrasunore pentru detectarea submarinelor sau aparatele pentru controlul nedistructiv al metalelor cu ultrasunete se bazează pe efectul piezoelectric invers și se construiesc dintr-un amestec de $\text{Pb-ZrO}_2\text{-TiO}_2$, iar banalele aprinzătoare de gaz produc scânteii atunci când sunt deformat, bazându-se pe efectul piezoelectric direct.

3.4.2.4. Ceramica semiconductoare este destinată fabricării termistorilor și varistoarelor (vezi § 2.3.2.3.b).

3.4.2.5. Ceramica feromagnetică este reprezentată de feritele moi și feritele dure (vezi § 2.3.2.3.b), existând cel puțin trei motive pentru folosirea ei: rezistivitatea electrică este de cel puțin o mie de ori mai mare ca la metale; masa volumică este de circa trei ori mai mică; prețul este mai scăzut.

În tabelul 3.4. sunt prezentate principalele proprietăți și domenii de aplicare ale materialelor ceramice funcționale.

3.4.3. Materiale ceramice structurale

Materialele ceramice structurale reprezintă circa 30% din totalitatea ceramicelor industriale și au cunoscut o dezvoltare mare, în ultimii ani, datorită unor proprietăți favorabile: refractaritate ridicată, rezistență la șocuri termice, rezistență mecanică, duritate, rezistență la uzură și biocompatibilitate.

3.4.3.1. Ceramica pentru temperaturi joase se poate utiliza până la 500 °C, având numeroase aplicații.

a) – Conductele de canalizare se folosesc pentru evacuarea apelor uzate, prin înlocuirea celor din beton. Ele se confecționează din gresie vitrificată care se obține din argilă de calitate superioară, amestecată cu 30...40% praf de șamotă. Amestecul este extrudat în vid, obținându-se țevi și manșoane de legătură care sunt uscate la 100 °C, timp de 7...9 zile. Urmează apoi o glazurare și o ardere într-un cuptor-tunel, la 1.120 °C, timp de trei zile.

Aceste conducte au rezistențe la uzură și la acțiunea agenților chimici excepționale. Datorită rugozității scăzute, nu se colmatează, iar poluarea mediului este exclusă, asigurând o etanșeitate foarte bună. Durata de exploatare este de cel puțin 100 de ani, dar prețul este mai ridicat.

b) – Rulmenții ceramici (vezi și § 2.3.2.3.d) pot fi executați parțial sau în întregime din materiale ceramice (SiC sau Si_3N_4). În primul caz, numai bilele sunt executate din ceramică (rulmenți hibridi), iar căile de rulare sunt metalice, putând funcționa până la 540 °C. În al doilea caz, pot funcționa până la 1100 °C. Rulmenții ceramici se utilizează în domenii în care ungerea este dificilă sau imposibilă: freze dentare care funcționează la turații mari și trebuie sterilizate des în etuvă, pompe care funcționează în vid sau în medii gazoase corosive, pompe de carburanți pentru avioane, motoare de turbine.

c) – Sculele pentru prelucrarea metalelor se bazează pe unele proprietăți specifice ale ceramicelor: duritate, rigiditate, rezistență mecanică, abrazivitate și refractaritate. În acest sens se utilizează materialele ceramice prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.4. Proprietățile și aplicațiile materialelor ceramice funcționale

Funcția	Compoziția	Adaosuri dopante sau faze distincte	Proprietăți electrice și magnetice	Domenii de aplicare
0	1	2	3	4
Capacitivă	SrTiO_3 MgTiO_3 CaTiO_3	Pământuri rare	Permitivitate Rezistivitate Coeficient de temperatură	Condensatoare cu coeficient de temperatură definit
	$\text{TiO}_2 + \text{BaTiO}_3$	Pământuri rare MgTiO_3	Rigiditate dielectrică Coeficient de temperatură al permitivității	Condensatoare cu coeficient de temperatură definit
	$\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$	$\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ Bi_2O_3 , B_2O_3	Permitivitate Rezistivitate sau rezistență de izolație	Condensatoare de foarte mare permitivitate
	$\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$	BaSnO_3 SrTiO_3	Semiconductibilitate Reoxidare superficială	Condensatoare cu straturi de oprire la suprafață
	$\text{Zr}_{1-x}\text{Sn}_x\text{TiO}_4$	NiO , Fe_2O_3 , La_2O_3	Frecvență de rezonanță $\epsilon_r = 30-40$	Rezonatoare dielectrice pentru frecvențe înalte
Dielectrică la frecvențe înalte	$\text{Zn}_{1-x}\text{Ni}_x\text{OFe}_2\text{O}_3$ $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{OFe}_2\text{O}_3$		Permeabilitate inițială Ciclu histerezis	Ferite moi pentru miezuri de transformator
Magnetică	$\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	SiO_2 SrO	Caracteristici magnetice Ciclu histerezis	Magneți permanenți
	Grenate pentru frecvențe înalte	$\text{Y}_{3-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{5-x}\text{Zr}_x\text{O}_{12}$ $\text{Y}_{2-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{5-x-y}\text{V}_x\text{Ln}_y\text{O}_{12}$ $\text{Y}_{3-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{5-x-y}\text{Ge}_x\text{Ln}_y\text{O}_{12}$ $\text{Y}_{3-x}\text{Gd}_x\text{Fe}_{5-y}\text{Al}_{5y}$	Magnetizare de saturație în funcție de frecvență Pierderi neglijabile	Pompe mici de căldură și izolatoare pentru frecvențe înalte

Tabelul 3.4. (continuare)

0	1	2	3	4
Electronică și ionică	SiC	BeO	Rezistivitate Conductibilitate termică	Substraturi pentru componente de putere
	Si ₃ N ₄	MgO	Caracteristici dielectrice Coeficient de dilatare termică	Dielectrici pentru frecvențe înalte și substraturi de interconectare
	Porțelan Mullit Cordierită		Caracteristici dielectrice Coeficient de dilatare termică	Substraturi de interconectare Izolatoare electrice
	MoSi ₂		Rezistivitate	Rezistențe de încălzire Electrozi pentru generatoare magnetohidrodinamice.
	LaCrO ₃		Semiconductibilitate	Rezistențe de încălzire Electrozi pentru generatoare magnetohidrodinamice
	ZrO ₂	Bi ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	Semiconductibilitate Structură cristalină	Rezistențe de încălzire Electrozi Captoare de oxigen
	Alumină β		Conductivitate ionică	Electrozi
	TiO ₂	Ta, Nb	Semiconductibilitate de supra- față	Captoare de gaz. Descompunere fotochimică a apei
	SnO ₂	Defecte de oxigen	Semiconductibilitate de supra- față	Deteția gazelor combustibile

Tabelul 3.4. (continuare)

0	1	2	3	4
Rezistență neliniară	BaTiO ₃	La, Nd, Sb, Nb, TiO ₂ , SiO ₂ , Al ₂ O ₃	Semiconductibilitate	Termistori cu coeficient de temperatură pozitiv
	M ²⁺ O · Mn ³⁺ O ₃	Mn ³⁺ înlocuit Cu, Ni, Co, Fe	Conductibilitate prin salturi de electroni	Termistori cu coeficient de temperatură negativ
	TiO ₂	Ta, Ba, Nb	Semiconductibilitate	Varistoare
	SiC	BeO	Rezistivitate	Varistoare
	Pb(Zr _x Ti _{1-x})O ₃	Donori: Nb ⁵⁺ , Le ³⁺ Acceptori: Fe ³⁺ , Ba ²⁺ , Sr ²⁺ , Sn ⁴⁺	Constante piezoelectrice, fero- electrice și piroelectrice	Transductoare Oscilatoare Aplicații electrooptice Detectoare în infraroșu
Piezoelectrică Feroelectrică Piroelectrică Electrooptică	(Pb _{1-x} La) (Zr _y Ti _{1-y}) _{1-x} O ₃		Constante piezoelectrice, fero- electrice și piroelectrice	Optoelectronică
	LiNbO ₃		Constantă piezoelectrică	Filtre pentru unde de suprafață
	LiTaO ₃			Optoelectronică

Tabelul 3.5. Materiale ceramice destinate fabricării sculelor pentru prelucrarea metalelor

Materialul	Compoziția	Duritatea Knoop ¹	Modulul de elasticitate [GPa]	Rezistența la compresiune [MPa]	Temperatura de topire [°C]
Alumină	Al ₂ O ₃	2100	350	3000	2050
Carbură de bor	B ₄ C	3500	450	2900	2425
Carbură de siliciu	SiC	3000	400	1000	2400
Carbură de titan	TiC	3100	350	2800	3100
Carbură de wolfram	WC	2700	600	5000	2780
Cuarț	SiO ₂	1000	54	1200	≈1700
Nitrură cubică de bor	BN	5000	860	7000	3500
Silice vitroasă	SiO ₂	550	72	700	≈1600

¹ Metoda Knoop (HK) constă în apăsarea asupra materialului de încercat a unui penetrator piramidal asimetric din diamant, cu unghiurile de 172°30' și 130° între fețele opuse, forța de apăsare fiind sub 1 daN. Metoda a fost brevetată în 1939 în SUA, de savantul american Frederick Knoop.

Sculele pentru prelucrarea metalelor cuprind sculele abrazive folosite la polizare, debitare, rectificare, honuire, lepuire și superfinisare, plăcuțele dure pentru armarea cuțitelor, frezelor și burghiilor, precum și matrițele și poansoanele folosite pentru deformări plastice la cald.

d) – Membranele și filtrele ceramice constituie o altă aplicație a ceramicelor avansate. Membranele ceramice sunt fabricate din argilă fină și oxid de zirconiu, prin *procedeul sol-gel*. Solul este o suspensie sau o dispersie de particule coloidale termodinamic instabile care tinde spontan către o stare numită gel. Gelul este o substanță coloidală cu consistență vâscoasă și însușiri specifice deopotrivă lichidelor și solidelor. Procedeul sol-gel permite depunerea de membrane foarte fine, cu o porozitate bine controlată, pe un suport cu porozitate grosieră.

Filtrele ceramice se confecționează din Al₂O₃, ZrO₂, SiC și cordierită și sunt inerte din punct de vedere chimic. Ele se folosesc pentru epurarea gazelor de eșapament, pentru separarea apei de ulei, precum și pentru osmoza inversă, filtrarea laptelui și sterilizarea vinului.

e) – Reactoarele chimice sunt instalații industriale în care se efectuează reacții chimice în prezența unui catalizator, încercându-se creșterea temperaturii de reacție și obținerea unor componenți agresivi. Ceramicile care rezistă acestor condiții sunt carbura de siliciu și zeolitul. Datorită inerției chimice, aceste materiale

se folosesc și pentru construcția rezervoarelor destinate păstrării și manipulării substanțelor chimice agresive.

f) – Piese pentru motoarele cu ardere internă încep să fie fabricate din ceramică, îndeosebi cele supuse la frecare: garnituri de etanșare pentru arborii pompelor de apă, patine de culbutoare, tacheți cu role pentru motoare diesel de mare putere și injectoare pentru pompe de motorină.

g) – Protezele osoase sunt un alt domeniu de aplicare a ceramicelor, datorită rezistenței la uzură, rezistenței mecanice și biocompatibilității. Până acum, protezele de șold, de umăr și de genunchi erau alcătuite dintr-un aliaj de Ti-Cr-Co, placat în articulații cu un strat de polietilenă, pentru micșorarea frecării. După un anumit timp, polietilena se uzează, făcând proteza impracticabilă. Ca urmare, articulațiile au început să fie placate cu alumină sau oxid de zirconiu care au un coeficient de frecare foarte redus și o durată de viață de câteva zeci de ani.

3.4.3.2. Ceramica pentru temperaturi medii se poate utiliza la temperaturi de 500...1000 °C. Ea se folosește în cataliză (proces fizico-chimic prin care se modifică viteza unei reacții chimice în prezența unui catalizator) sau în construcția tobelor de eșapament catalitice ale automobilelor. În primul caz, gazele nocive rezultate în urma reacțiilor (îndeosebi oxid de azot) trec printr-un filtru sub forma unui fagure de albine, din rutil sau oxizi de fier și crom, fiind neutralizate. În tobele de eșapament catalitice, cataliza se produce la circa 800 °C și pentru a menține această temperatură, tobele sunt izolate termic cu un strat de fibre ceramice. Acestea trebuie să aibă un coeficient de dilatare foarte scăzut ($\alpha < 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$). În mod obișnuit, se folosesc fibre de cordierită ($2Al_2O_3-2MgO-5SiO_2$).

Ceramica pentru temperaturi medii se mai folosește și pentru fabricarea unor piese pentru motoarele cu piston: supapele din nitrură de siliciu conduc la scăderea cu 3-7% a consumului de benzină și motorină și la o reducere cu 10...15 dB a zgomotului; țevi de eșapament din Al_2O_3 și ZrO_2 pentru motoarele diesel; placarea capetelor pistoanelor și a cuzineților. De asemenea, se poate utiliza la fabricarea reactoarelor chimice, a unor utilaje petrochimice (unde carbura de siliciu poate înlocui unele aliaje metalice scumpe), a creuzetelor care trebuie să fie inerte chimic și să poată fi exploatate timp îndelungat (siliciu monocristalin) și a unor obiecte casnice: cratițe sau oale de gătit din silicat de aluminiu și litium, cu o foarte bună conductibilitate termică și un coeficient de dilatare aproape nul.

3.4.3.3. Ceramica pentru temperaturi înalte se folosește la temperaturi mai mari de 1000 °C.

a) – Ceramica refractară și pentru izolații termice se utilizează la captușirea agregatelor metalurgice sau pentru producerea sticlei, care funcționează la peste 1000 °C. Convertizoarele pentru elaborarea oțelului, oalele de turnare și cuptoarele de încălzire pentru tratamente termice sunt căptușite cu cărămizi refractare bazice din magnezie și oxid de crom, iar cuptoarele pentru elaborarea sticlei sunt căptușite cu cărămizi de silice. Cuptoarele pentru sticlă mai au niște recuperatoare de căldură, pentru creșterea randamentului energetic, construite din cărămizi de $Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$ care au o rezistență mare la coroziune și la variațiile termice.

b) – Turbomotoarele constituie o aplicație importantă a ceramicii refrac-

tare. Ele se utilizează în aeronautică sau la turbinele industriale, pentru creșterea forței de propulsie și sporirea puterii specifice. Astfel, paletele statoarelor și rotoarelor acestora sunt confecționate din nitrură de siliciu, iar inelele camerelor de combustie, din carbură de siliciu.

c) – Vehiculele electrice hibride reprezintă o altă aplicație. Acumulatorii acestora sunt reîncărcate de un alternator acționat de o turbină. Camera de combustie catalitică și recuperatorul de căldură sunt confecționate din nitrură de siliciu care își menține proprietățile mecanice până la 1.350 °C. Astfel, în zonele populate, vehiculul electric hibrid este acționat de acumulatori, ceea ce garantează un grad minim de poluare, iar în afara zonelor locuite, de un motor cu ardere internă.

O altă utilizare a ceramicii la temperaturi ridicate o reprezintă schimbătoarele de căldură, confecționate din carbură de siliciu, care are o foarte bună conductibilitate termică ($\lambda = 125 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Ele se mai pot confecționa din alumina sau cordierită și se utilizează la fabricarea incineratoarelor, în industria chimică și în aeronautică. În aeronautică se încearcă îmbunătățirea randamentului turbinelor prin creșterea temperaturii de intrare, principalele atuuri ale schimbătoarelor de căldură ceramice fiind randamentul ridicat, greutatea redusă și refractaritatea foarte bună. Acestea se confecționează din nitrură de siliciu care posedă o rezistență mecanică superioară celei a carburii de siliciu.

3.4.4. Acoperiri cu materiale ceramice

Acoperirea este un procedeu de îmbrăcare parțială sau totală a unei piese metalice cu un strat de material ceramic, pentru a-i modifica proprietățile. Acoperirea se realizează prin pulverizare cu materiale ceramice sub formă de pulbere care se topește prin mai multe procedee.

3.4.4.1. Pulverizarea cu flacără de gaze și pulbere ceramică (fig.3.19) este o metodă simplă și ieftină care folosește un arzător cu flacără oxiacetilenică. Prin canalul central al arzătorului se introduce pulberea ceramică, aceasta căzând liber, sub efectul gravitației, sau fiind antrenată de un curent de aer comprimat. Temperatura flăcării depășește 3.000 °C și topește pulberea, care este proiectată cu viteză mare asupra piesei metalice. Distanța dintre arzător și piesă este de 100...150 mm, pentru ca particulele ceramice să aibă timp să se topească. Pentru o bună aderență, piesa metalică se preîncălzește la circa 250 °C, iar stratul depus are grosimi de 0,1...1,5 mm.

3.4.4.2. Pulverizarea cu flacără de gaze și electrod ceramic este asemănătoare cu precedenta, cu deosebirea că în locul pulberii se folosește un electrod sau un fir din materiale ceramice (fig.3.20). Electrocul este topit de căldura degajată de flacăra oxiacetilenică, iar stropii sunt proiectați cu viteză mare (150 m/s) asupra piesei metalice. Avansul electrodului se realizează automat, ținându-se cont de temperatura lui de topire și de diametrul său, iar distanța dintre arzător și piesă este de 100...200 mm.

Procedeul se folosește pentru acoperiri de protecție contra uzurii abrazive, coroziunii sau pentru izolații electrice și termice.

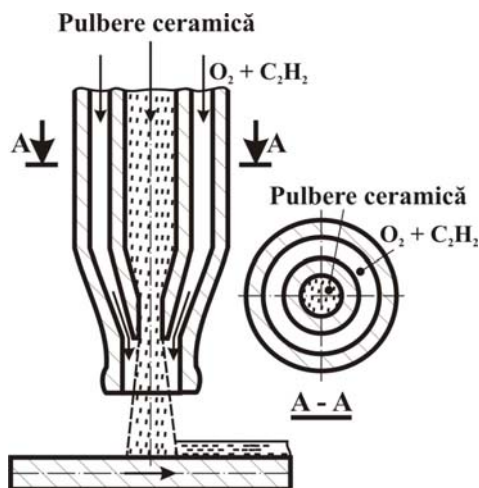


Fig.3.19. Pulverizarea cu flacără de gaze și pulbere ceramică.

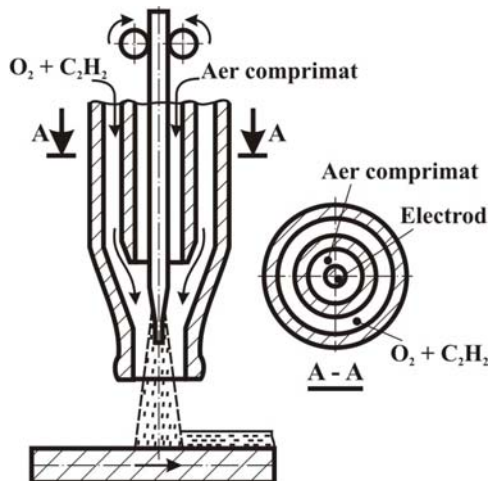


Fig.3.20. Pulverizarea cu flacără de gaze și electrod ceramic.

3.4.4.3. Pulverizarea cu plasmă este metoda cea mai răspândită pentru acoperirile cu materiale ceramice. Plasmatronul (fig.3.21) este alimentat cu energie electrică de la generatorul G ($I = 800A$, $U = 100 V$), prin catodul din wolfram 1 și anodul tubular din cupru 2 , între care se produce un arc electric de înaltă frecvență. În arc electric se introduce un gaz monoatomic (Ar, He) sau biatomic (N_2 , H_2) care, sub influența temperaturii arcului electric, disociază în particule elementare, formând plasma. Străbătând anodul tubular, gazul plasmagen se destinde, mărindu-și volumul de circa 100 de ori și realizând constricția arcului electric, astfel că temperatura plasmăi ajunge la $10.000...15.000^{\circ}C$. Plasmatronul are pereți dubli, pentru răcire cu apă.

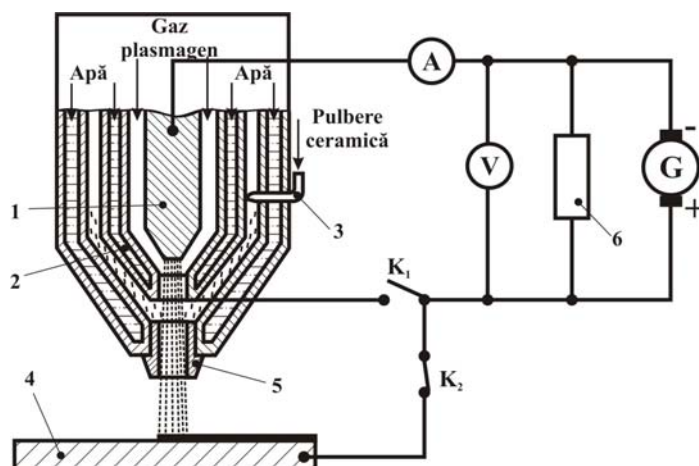


Fig.3.21. Pulverizarea cu plasmă.

Pulberea ceramică este introdusă prin conducta 3, fiind topită și proiectată cu viteză foarte mare asupra piesei de metalizat 4, prin duza specială 5. Distanța dintre duză și piesă (10...80 mm) trebuie să fie constantă, ceea ce implică automatizarea procesului.

Plasmatronul poate funcționa cu *jet de plasmă* (K_1 – închis, K_2 – deschis), în cazul placării pieselor nemetalice sau cu *arc de plasmă* (K_1 – deschis, K_2 – închis), în cazul pieselor metalice, bune conducătoare de electricitate. Pentru amorsarea arcului electric se folosește oscilatorul de ionizare 6.

Metoda se utilizează la placarea pieselor cu materiale ceramice cu temperaturi mari de topire, pentru protecții la uzură, coroziune și termică, în construcții aeronautice și aerospațiale, în energetică (pile de combustie nucleară), industria sticlei, sectorul medical și industria automobilelor.

3.4.4.4. Pulverizarea prin procedeul HVOF (Hight Velocity Oxygen Fuel) a fost pusă la punct prin anii 1980, cu ocazia perfecționării construcției motoarelor de rachetă. Metoda constă în arderea unui combustibil gazos (hidrogen, propilenă, propan, acetilenă, metan) sau lichid (kerosen) într-un curent de oxigen, la o presiune de 0,5...0,7 MPa (fig.3.22). Se obține o temperatură de 2.500...3.200 °C și o scurgere a gazelor arse cu o viteză supersonică (de câteva ori mai mare decât viteza sunetului). Pulberea ceramică este introdusă cu ajutorul unui gaz neutru (hidrogen), topindu-se în flacăra oxigaz și fiind proiectată asupra piesei cu o viteză de 300...600 m/s. Se obține o acoperire densă, fără pori, cu o aderență foarte bună și rezistentă la uzură și la coroziune.

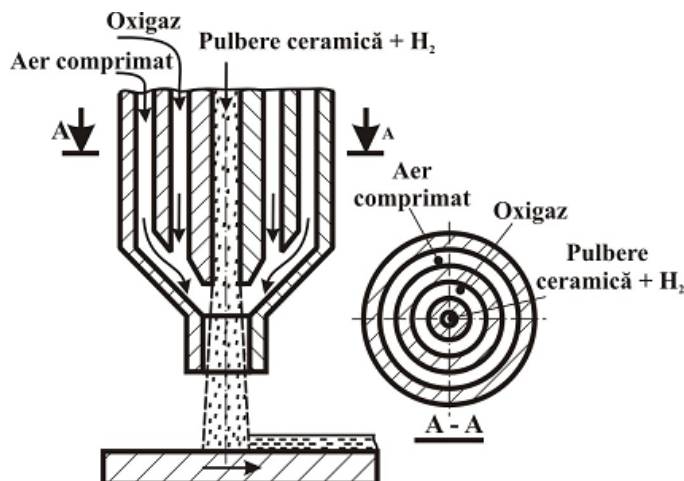


Fig.3.22. Pulverizarea prin procedeul HVOF.

3.4.4.5. Pulverizarea prin explozie (cunoscută sub denumirea de **D-Gun** – de la **Detonation Gun**) se folosește îndeosebi pentru acoperiri cu carburi de crom și wolfram, precum și cu oxizi de crom și de aluminiu și cu cermeturi.

Instalația (fig.3.23) este alcătuită dintr-un tub cu diametrul de 25 mm și lungimea de 1 m, alimentat cu un amestec de oxigen și acetilenă. Amestecul este

aprins cu o bujie, iar pulberea ceramică se topește și este pulverizată asupra piesei. Frecvența exploziilor este mare (4...10 explozii/secundă) și după fiecare detonare tubul este spălat cu azot, regimul de funcționare fiind asigurat de trei electrovalve.

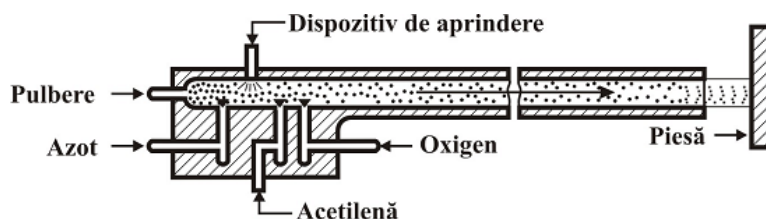


Fig. 3.23. Pulverizarea prin explozie.

Procedeeul asigură depunerea unui strat foarte dens, cu o aderență ridicată și cu o rugozitate foarte scăzută ($R_a \leq 3 \mu\text{m}$) folosindu-se în cazul acoperirilor de calitate și cu depuneri optime de material.

3.4.4.6. Comparație între procedeele de pulverizare. Proprietățile stratului de protecție depind de microstructura particulelor ceramice și de caracteristicile piesei supuse acoperirii. Parametrii particulelor de impact sunt viteza, temperatura, mărimea și compoziția chimică, iar cei ai substratului pe care se aplică, rugozitatea, natura chimică și temperatura înainte de acoperire. În tabelul 3.6 se prezintă caracteristicile procedeele de pulverizare descrise mai sus.

Tabelul 3.6. Comparație între procedeele de pulverizare

Caracteristica	Procedeele				
	Cu flacără și pulbere	Cu flacără și electrod	Cu plasmă	HVOF	Prin explozie
Sursa de căldură	Flacără	Flacără	Plasmă	Flacără	Flacără
Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	3.000	3.000	12.000	3.000	3.000
Viteza gazelor [m/s]	80-100	100-300	300-1200	400-2000	900-2000
Transportul particulelor	Gaze	Aer comprimat	Gaze	Gaze	Gaze
Viteza particulelor [m/s]	40	150	200	700	950
Forma materialului de acoperire	Pulbere	Electrod	Pulbere	Pulbere	Pulbere
Productivitatea acoperirii [kg/h]	1-3	1-20	1-4	3-5	3-5
Randamentul acoperirii ¹ [%]	50	70	70	70	70
Rezistența de aderență [MPa]	20-40	20-40	30-70	50-80	50-80
Porozitatea [%]	10-20	10-20	1-10	0,5-2	0,5-2
Grosimea stratului [mm]	0,1-1,5	0,1-1,5	0,05-1,5	0,05-1	0,05-1

Observație: ¹ Procentul de material pulverizat care aderă la substrat.

3.4.4.7. Materiale ceramice folosite la acoperiri.

a) – Oxidul de zirconiu (ZrO_2) se topește la $2.715\ ^\circ C$, are un coeficient de dilatare apropiat de cel al metalelor, este rezistent la coroziune și un bun izolator termic și electric. Prin adăugarea unor oxizi (CaO , MgO , Y_2O_3) capătă rezistențe la șocuri termice și la oxidare la temperaturi înalte. Se folosește la acoperirea unor piese din metalurgie (canale de curgere a metalelor topite, forme permanente de turnare, hote de captare a gazelor la convertizoare), automobile și avioane (camere de ardere, palete de turbine, țevi de eșapament), industria nucleară (elemente ale reactoarelor, duze) și electrotehnică.

b) – Oxidul de crom (Cr_2O_3) asigură acoperiri dense și dure, cu coeficient de frecare foarte mic și cu o bună rezistență la coroziune și la oxidarea la temperaturi ridicate. Se utilizează în chimie și petrochimie (garnituri, arbori, rotoare și corpuri de pompe), metalurgie (filieri pentru trefilarea sârmelor) și în tipografii (cilindri de tipărire).

c) – Alte materiale folosite la acoperirile ceramice sunt *alumina* (Al_2O_3) care este rezistentă la abraziune și la temperaturi ridicate (rotoare de compresoare pentru aviație, inductoare pentru cuptoare electrice, elice pentru malaxoare), *mullitul* ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) care are o mare rezistență la șocuri termice (jgheaburi pentru cuptoarele de zinc și aluminiu), *silicatul de zirconiu* (rezistență la temperaturi înalte), *zirconatul de magneziu* (rezistență la coroziune la temperaturi mari) și *carbura de siliciu* (ecrane termice și blindaje în industria de armament, palete de turbine, garnituri de etanșare, reactoare chimice și petrochimice).

3.4.5. Prelucrarea materialelor ceramice

Proprietățile fizico-mecanice ale materialelor ceramice (fragilitate, duritate și temperatură înaltă de topire) nu permit prelucrarea acestora prin procedee clasice, asemenea metalelor. Schema prelucrării materialelor ceramice este prezentată în figura 3.24.

În componența materialelor ceramice intră:

- *materialele plastice* (argilă, caolin, bentonită, lut, loess) constituie partea principală din care se fabrică produsele ceramice tradiționale și au rol de liant, legând alte componente neplastice;

- *degresanții* (nisip, șamotă) reduc contracția la uscare și la ardere și contribuie la creșterea porozității produselor;

- *fondanții* (feldspat, calcar, marmură, cretă) contribuie la coborârea temperaturii de vitrifiere a materiilor prime solide, atunci când ceramica se obține prin topire;

- *materialele refractare* (alumină, magnezit, dolomită, cromit, carburi, nitruri, boruri) rezistă la temperaturi ridicate, fără a se topi și fără a se înmuia;

- *lubrifianții* (motorină, petrol, uleiuri vegetale, parafină, lignină) se adaugă în cantități reduse produselor ce urmează a se fasona prin presare, facilitând prelucrarea și extragerea semifabricatelor din matrițe;

- *materialele porifere* (rumeguș, praf de cărbune, mangal, turbă) se descompun în timpul arderii și contribuie, prin golurile formate, la creșterea

porozității produselor.

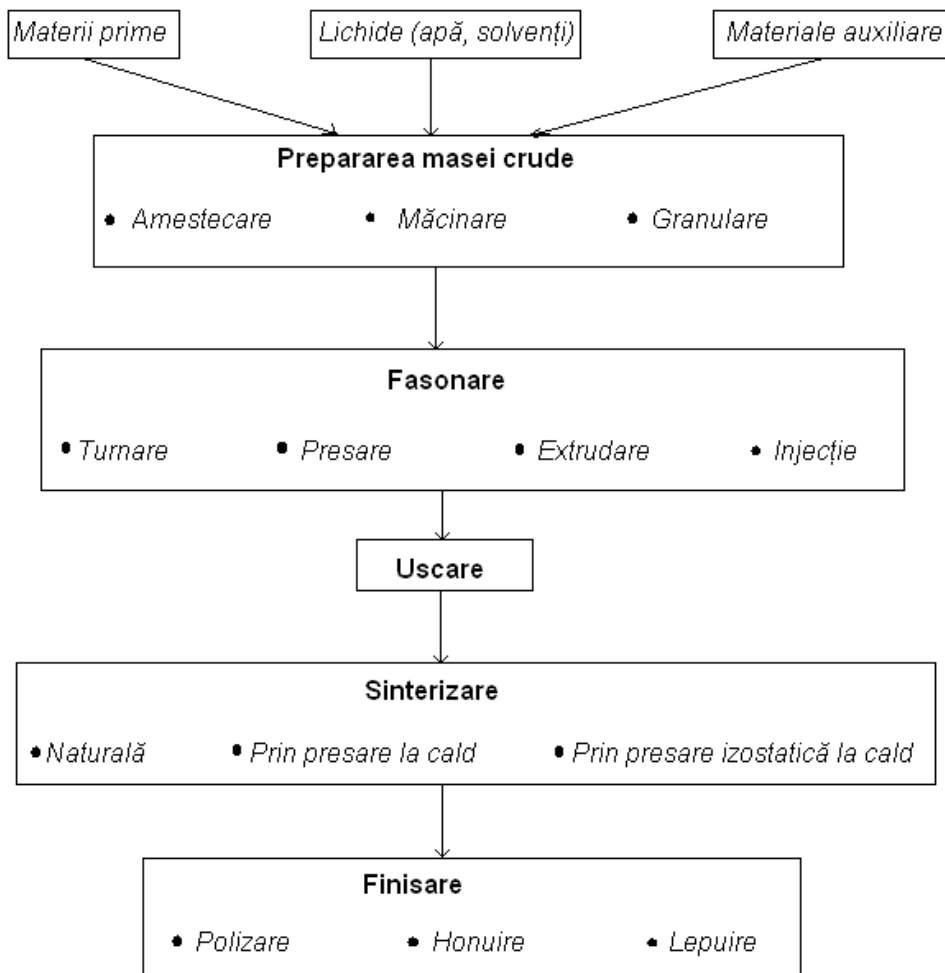


Fig. 3.24. Schema fabricării produselor ceramice.

a) – Prepararea masei crude se face prin *amestecare*, *măcinare* și *granulare*.

Ameștecarea se realizează cu amestecătoare sau malaxoare, pentru transformarea materialelor într-o masă omogenă.

Măcinarea este o operație de sfărâmare și mărunțire a materialelor friabile care se realizează cu ajutorul morilor. Există *mori cu bile* la care măcinarea se produce prin căderea și rostogolirea unor bile metalice, *mori cu ciocane* care acționează prin lovire, *mori cu bare* la care măcinarea se realizează cu bare cilindrice cu lungimea egală cu a morii și *mori cu cilindri* care funcționează prin presare. Măcinarea poate fi uscată sau umedă.

Granularea este operația de transformare în granule de ordinul micronilor a masei ceramice fluide numite *barbotină*, cu ajutorul unei mașini numite *granulator*, cu următoarea funcționare (fig. 3.25): barbotina fluidă este introdusă și împrăștiată prin centrifugare în turnul de uscare 1 cu discul 2. În turn se insuflă aer încălzit în camera 3 pentru uscarea granulelor de barbotină. Acestea cad, prin gravitație, ajungând pe transportorul 4, iar cele care au dimensiuni prea mici sunt aspirate de ventilatorul 5, prin ciclonul 6. Particulele mai grele coboară prin ciclon pe transportor, iar cele foarte fine sunt aspirate de ventilator și urmează a fi reciclate. Transportorul duce granulele care au dimensiuni corespunzătoare într-un siloz.

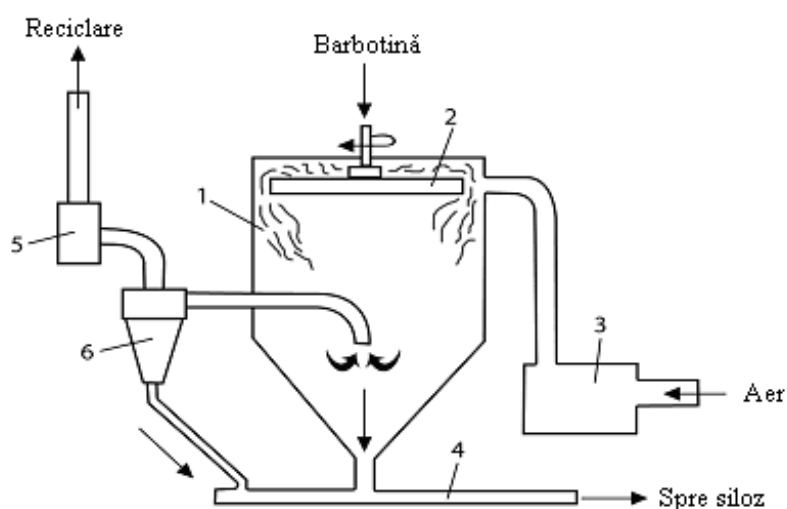


Fig. 3.25. Instalație de granulare.

b) – Fasonarea este operația cea mai importantă prin care se dă produselor forma dorită. Ea se poate realiza prin turnare, presare, extrudare și injecție.

Turnarea se face în forme hidrofile din ipsos (fig. 3.26). Barbotina din vasul 1 se varsă în forma hidrofilă din ipsos 2 și după uscare rezultă piesa 3. Procedeele se folosesc la fabricarea produselor de porțelan și de faianță. Barbotina trebuie să fie fluidă, să aibă un conținut de apă cât mai mic și să fie stabilă.

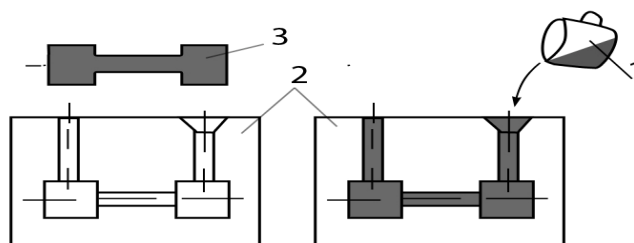


Fig. 3.26. Turnarea.

Presarea poate fi uscată sau umedă și se poate face dintr-o singură parte (fig. 3.27.a), prin apăsarea cu poansonul 1 în matrița 2 a materialului 3 sau din două părți (fig.3.27.b), când presarea se face mai uniform. Mai există și presare izostatică (fig.3.27.c): materialul 1 este introdus în mantaua de cauciuc 2, amplasată în camera de presare 3, în care se trimite lichidul sub presiune 4 (până la 20.000...60.000 daN/cm²). Camera este închisă cu capacul 5, iar presiunea se controlează cu manometrul 6.

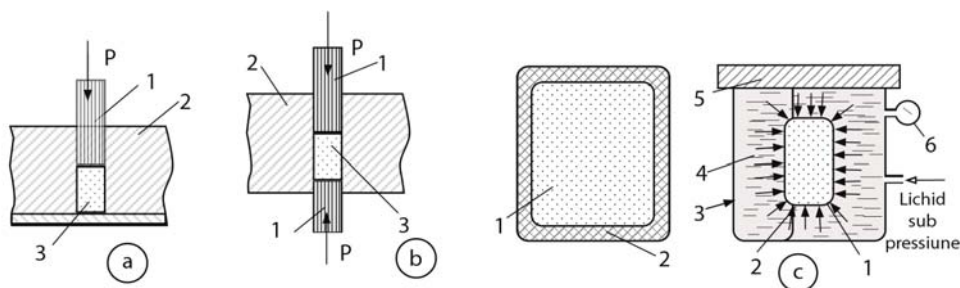


Fig. 3.27. Presarea.

Extrudarea constă în trecerea forțată a materialului prin deschizătura profilată a unei matrițe, prin împingere. Astfel materialul 1 (fig. 3.28) este împins cu poansonul 2 în camera de presare 3, fiind trecut prin matrița 4, profilată corespunzător.

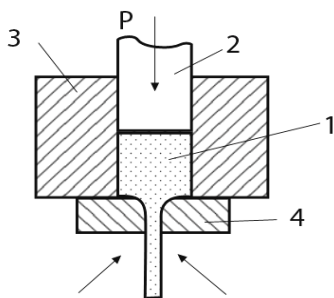


Fig. 3.28. Extrudarea.

Injectia se realizează cu instalații asemănătoare celor utilizate la turnarea sub presiune a materialelor plastice.

c) – Uscarea se face pentru înlăturarea apei din produsele fasonate și se realizează natural sau artificial, în instalații numite uscătorii. Produsele bine uscate rezistă la o creștere rapidă a temperaturii în perioada ulterioară de ardere și, prin aceasta, crește productivitatea cuptoarelor și se reduce consumul de combustibil pentru ardere.

d) – Sinterizarea constă în încălzirea pieselor fasonate și uscate la o temperatură cuprinsă între 0,7 și 0,8 din temperatura de topire a componentului principal al amestecului și are ca scopuri creșterea rezistenței la tracțiune și a durității pieselor, ca și modificarea unor proprietăți fizice și chimice.

În timpul procesului de sinterizare (fig. 3.29) are loc difuziunea atomilor care formează grăunții cristalini ai granulelor 1 (fig. 3.29.a), formându-se legăturile punctiforme 2 (fig. 3.29.b) între granule. Datorită creșterii mobilității atomilor și tendinței de deplasare spre echilibru a sistemului, are loc o recrystalizare, prin creșterea noilor grăunți cristalini 3 (fig. 3.29.c). Prin recrystalizare se reduce cantitatea de pori, iar materialul se contractă și se compactizează.

Factorii care influențează calitatea procesului de sinterizare sunt:

temperatura, durata și mediul de lucru. Temperatura de sinterizare depinde de natura componentilor amestecului, practic fiind cuprinsă între 0,7 și 0,8 din valoarea temperaturii de topire a componentului principal al amestecului. Durata sinterizării depinde de scopul final al tratamentului și se stabilește în funcție de proprietățile pe care trebuie să le aibă piesa tratată.

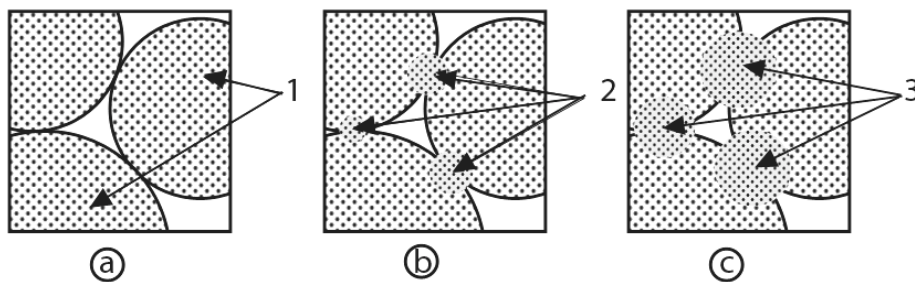


Fig. 3.29. Mecanismul sinterizării.

În ceea ce privește modul de lucru, sinterizarea poate fi :

- *naturală*, atunci când nu se aplică forțe exterioare; metoda este simplă, dar necesită temperaturi ridicate, ceea ce conduce la creșterea noilor grăunți cristalini și eliminarea totală a porozității;
- *prin presare la cald* (fig. 3.27.a,b), când se pot obține densități mari la temperaturi mai scăzute, fără înlăturarea completă a porozității;
- *prin presare izostatică la cald* (fig. 3.27.c), atunci când se urmărește scopul metodei anterioare, dar la temperaturi și mai scăzute.

Sinterizarea sau arderea se realizează, în funcție de natura și destinația pieselor, în diverse tipuri de cuptoare.

e) – Finisarea se aplică atunci când cerințele tehnologice o impun și conduce la o precizie dimensională a pieselor și o calitate a suprafețelor prelucrate foarte bune. Ea se execută cu scule abrazive, deseori diamantate, prin *polizare*, *honnire* sau *lepuire*.

3.5. Materiale compozite

3.5.1. Generalități

Materialul compozit este o îmbinare a două sau mai multor materiale imiscibile, dar care au o capacitate mare de adeziune și care are proprietăți superioare materialelor din care provine. Un astfel de material este constituit dintr-o osatură numită *ranfort* care asigură rezistența mecanică și un material de legătură numit *matrice* care asigură coeziunea structurii și transmiterea solicitărilor la care sunt supuse piesele. Ele mai conțin *materiale de umplură* care modifică sensibil proprietățile mecanice, electrice și termice, ameliorează aspectul superficial și reduc prețul de cost. Materialele astfel obținute sunt eterogene (au proprietăți diferite în puncte diferite) și anizotrope (nu au aceleași proprietăți în toate

direcțiile).

Primul material compozit utilizat de om a fost lemnul (compozit natural), iar mai târziu chirpiciul (material de construcție sub formă de cărămidă, făcut dintr-un amestec de lut, paie și băligar uscat la soare), betonul și betonul armat. În 1823, Charles Macintosh¹ a inventat impermeabilul, prin cauciucarea unei țesături de bumbac, iar în 1892, François Hennebique² a realizat betonul armat.

Materialele compozite prezintă următoarele avantaje: greutate redusă; rezistență bună la tracțiune; coeficient de dilatare mic; rezistență la oboseală ridicată; reziliență ridicată; capacitate bună de amortizare a vibrațiilor; rezistență la umiditate, căldură, coroziune, precum și la acțiunea unor produse chimice (uleiuri, solvenți, petrol); ciclu de fabricație scurt și preț de cost acceptabil; siguranță mare în funcționare.

În același timp, ele nu pot înlocui materialele metalice sau ceramice în domenii care reclamă proprietăți fizico-mecanice sau chimice specifice. Clasificarea materialelor compozite se face după criteriile prezentate în fig. 3.30.

3.5.2. Tipuri de materiale compozite

Materialele de armare constituie osatura compozitelor, conferindu-le rezistență la tracțiune, rigiditate și un modul de elasticitate bun. După natura lor, ele pot fi organice sau anorganice, iar după modul de prezentare, sub formă granulară, de fibre sau plăci.

Matricea leagă compozitul într-un monolit, transmite eforturile materialelor de ranforsare și împiedică deplasarea acestora. De asemenea, asigură protecția chimică a osaturii împotriva agenților exteriori și dă forma dorită produsului finit. Ca matrice, se folosesc materiale plastice (până la 200 °C), metalice (până la 600 °C) sau ceramice (până la 2.000 °C).

Materialul compozit obținut îmbină proprietățile favorabile ale componentelor și înlătură proprietățile nefavorabile ale acestora. Astăzi există un număr însemnat de materiale compozite, în cele ce urmează prezentându-se câteva dintre acestea.

3.5.2.1. Materiale compozite armate cu particule. Materialul compozit este alcătuit din particulele dure și fragile 1 dispersate aleatoriu în matricea moale și ductilă 2 (fig. 3.31.). Cu cât aceste particule sunt mai fine și distanța dintre ele este mai mică, cu atât compozitul este mai dur și mai rezistent. În practică, se utilizează îndeosebi compozite armate cu particule mai mari care au proprietăți specifice interesante.

¹ Charles MACINTOSH (1766-1843) – inventator și chimist scoțian care a obținut mai mulți coloranți și a patentat o metodă de elaborare a oțelului la temperatură ridicată. Este cunoscut mai ales prin inventarea impermeabilului, o manta cauciucată de ploaie care, în Marea Britanie, se numește *mackintosh*.

² François HENNEBIQUE (1842-1921) – constructor francez care și-a început activitatea ca simplu zidar. În 1892 a construit primul imobil din beton armat, iar în 1899, primul pod din beton armat, la Châtellerault, în Franța. Au urmat apoi docurile din Manchester, tunelul din Newcastle și stadionul din Lyon.

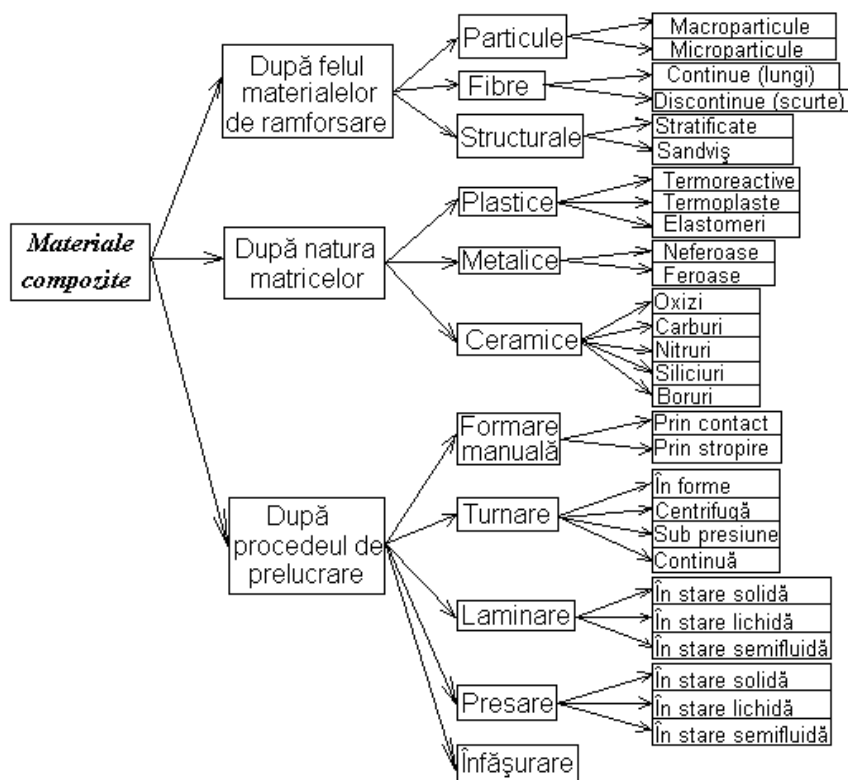


Fig.3.30. Clasificarea materialelor compozite.

a) – Carburile metalice conțin particule ceramice dure (carburi de wolfram, titan și tantal), cu concentrații volumice de până la 94%, încorporate într-o matrice de cobalt. După presarea amestecului de pulberi, acesta se încălzește peste temperatura de topire a cobaltului. Cobaltul lichid va încorpora particulele dure, rezultând astfel plăcuțele dure cu care se armează sculele așchietoare.

b) – Sculele abrazive sunt produse fasonate sub formă de discuri sau prisme, alcătuite din particule abrazive, încorporate în masa unui liant. Materialele abrazive sunt materiale cristaline dure sub formă de granule, pulberi sau micropulberi care, datorită muchiilor și vârfurilor aleatoare pe care le au, detașează numeroase așchii mărunte de pe suprafața de prelucrat. Ele pot fi naturale sau artificiale.

Ca materiale abrazive naturale se utilizează: șmirghelul (40...65% Al_2O_3 cristalin, cu adaosuri de magnetită, cuarț și silicați), cuarțul, corindonul și diamantul natural, iar ca materiale abrazive sintetice, electrocorindonul, carbura de

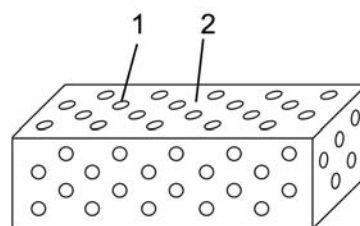


Fig.3.31. Material compozit armat cu particule.

siliciu, carbura de bor, azotura cubică de bor și diamantul artificial.

Lianții au rolul de îngloba particulele abrazive. Ei trebuie să reziste la solicitări termice mari, la solicitări mecanice și la acțiunea lichidelor de răcire. Din punct de vedere chimic pot fi anorganici (argilă, feldspat, caolin, silicați fluizi, oxiclurură de magneziu, oxid de magneziu) sau organici (lacuri, bachelită, cauciuc natural sau sintetic).

c) – Contactele electrice se obțin din pulberi de wolfram și argint care se presează și se încălzesc până la topirea argintului. Particulele dure de wolfram sunt încorporate într-o matrice de argint. Contactele electrice vor avea astfel o rezistență la uzură ridicată și o conductibilitate electrică foarte bună.

d) – Aliajele antifricțiune sunt alcătuite din compuși intermetalici duri încorporați într-o matrice moale și cu temperatura de topire scăzută. Cristalele dure (Sb, SnSb, Cu₃Sn) au un coeficient de frecare redus și asigură rezistența mecanică a cuzinetelor lagărelor cu alunecare, iar matricea moale (Pb, Sn) conferă un coeficient de frecare și mai mic, precum și acomodarea la fusul arborelui, pe măsura uzării.

e) – Cermeturile (ceramică + metal) sunt amestecuri de pulberi ceramice dure (Al₂O₃, ZrO₂, mullit³) până la o concentrație volumică de 80%, cuprinse într-o matrice metalică (Fe, Cr, Ni, Co, Mo). Ele se obțin prin tehnologii de metalurgia pulberilor (presare și sinterizare) și se folosesc ca materiale rezistente la temperaturi înalte sau la uzură (căptușirea camerelor de combustie ale reactoarelor).

f) – Masele plastice cu materiale de umplutură constau dintr-un material plastic termoreactiv (rășini fenolice sau epoxidice) sau termoplast (polimetacrilat de metil, polipropilenă, poliamidă, teflon), în care sunt înglobate materiale de umplutură de naturi diferite (rumeguș de lemn, praf de cuarț, pulberi metalice) cu concentrații volumice de până la 70%. Aceste materiale se remarcă prin prețuri avantajoase și proprietăți fizico-mecanice îmbunătățite.

Polietilena cu pulberi de plumb se folosește la reactoarele nucleare pentru absorbția radiațiilor, iar cauciucul vulcanizat (încălzit cu sulf pentru mărirea elasticității și a rezistenței la acțiunea solvenților) în amestec cu negru de fum își mărește rezistențele la rupere, la uzură și la căldură, precum și duritatea.

3.5.2.2. Materiale compozite armate cu fibre. Compozitele armate cu fibre au caracteristici mecanice foarte bune și densități mici, fiind utilizate îndeosebi în industria aerospațială. De asemenea, ele sunt singurele materiale care se pot folosi la temperaturi mai mari de 900 °C, în condiții de solicitări mecanice mari și în medii oxidante (reactoare nucleare, industriile aerospațială și de armament).

3.5.2.2.1. Fibre de armare. Dispunerea fibrelor în materialul compozit se poate realiza în mai multe moduri (fig.3.32): uniaxial (fig.3.32.a), biaxial (fig. 3.32.b), triaxial (fig. 3.32.c), sub formă de țesătură (fig. 3.32.d) sau sub formă toroidală (fig. 3.32.e).

³ Mullit – silicat de aluminiu foarte refractar, incolor sau roz, cu luciu sticlos, conținut în materiale aluminosae și argiloase.

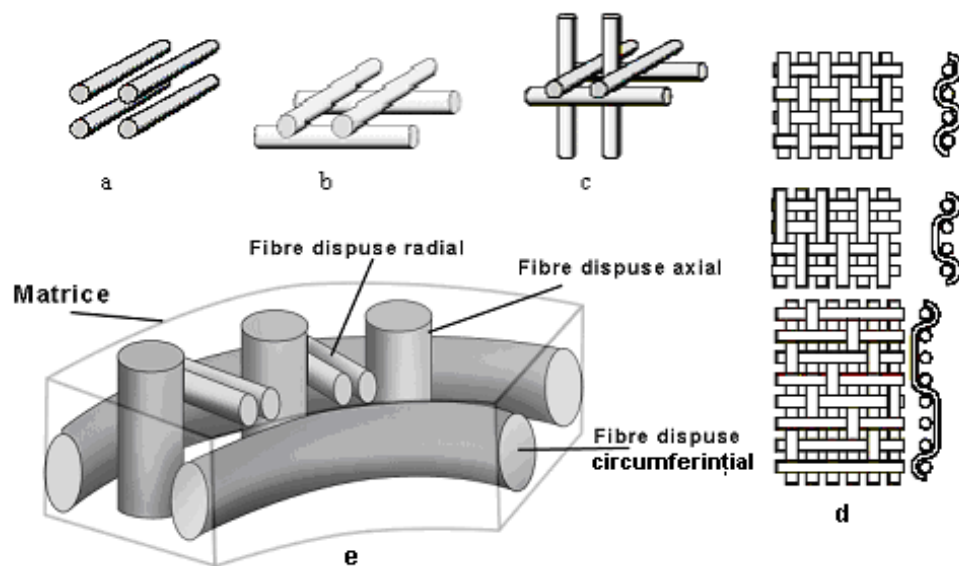


Fig. 3.32. Materiale compozite armate cu fibre.

După natura lor, fibrele de ranforsare se clasifică după schema din fig.3.33.

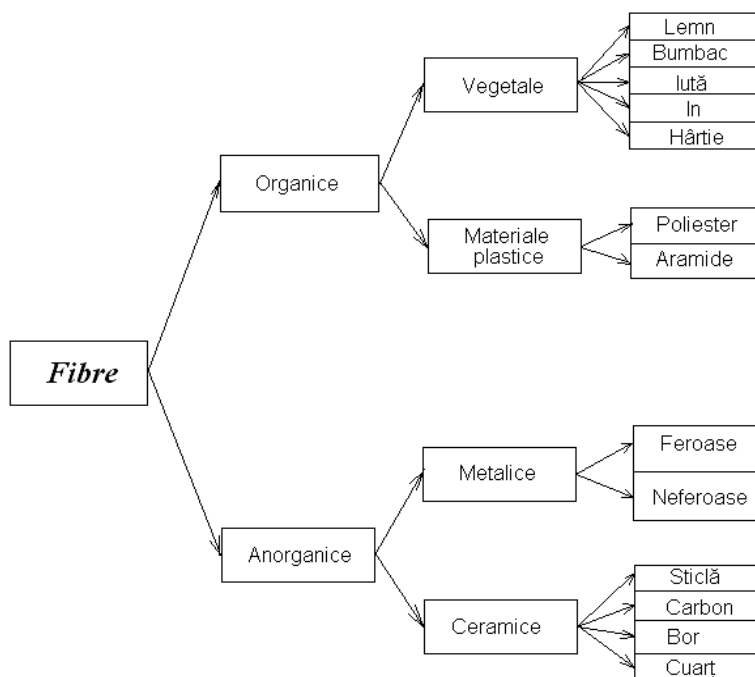


Fig. 3.33. Clasificarea fibrelor de ranforsare.

a) – *Fibrele de sticlă* au fost primele fibre utilizate la armarea compozitelor

și se obțin prin tragere. Sticla este un material nemetalic termoplast, cu structură amorfă care se obține prin topirea în comun a mai multor materiale componente: vitrifianti pentru producerea materiei sticloase (SiO_2), fondanți pentru coborârea temperaturii de topire (Na_2O , K_2O) și stabilizatori pentru creșterea durității, rezistenței mecanice și stabilității chimice (MgO , PbO , Al_2O_3 , BaO). Aceste componente se amestecă în stare solidă și se topesc în creuzete, la 1300...1500 °C, timp de 12...15 ore, încărcătura fiind supusă unor transformări fizico-chimice complexe.

Fibrele de sticlă nu trebuie să prezinte zgârieturi care ar constitui zone de concentrare a tensiunilor și ar conduce la scăderea rezistenței mecanice. Pentru înlăturarea posibilității deteriorării superficiale a fibrelor, acestea se protejează cu un strat de grund care facilitează și adeziunea lor la matrice.

b) – Fibrele de carbon conțin 80...95% C, sunt ușoare, rezistente la acțiunea agenților chimici și a mediului înconjurător, stabile la temperaturi înalte, bune conducătoare de căldură și electricitate și rezistente la tracțiune și compresie.

Se obțin din materii prime solide (cărbune amorf, asfalt de petrol, fibre organice), lichide (gudron, petrol, uleiuri aromatice) sau gazoase (acetilenă, hidrocarburi) care se supun unui proces de combustie incompletă (piroliză controlată). Dacă arderea are loc la 1000...1500 °C se obțin fibre de înaltă rezistență, iar la 1.800...2.000 °C se obțin fibre cu module de elasticitate foarte bune.

Fibrele de carbon se utilizează în construcția avioanelor militare și a vehiculelor de înaltă performanță (discuri de frână), a articolelor sportive (undițe de pescuit, croșe de golf, rachete de tenis, schiuri, arcuri de tir, cadre de biciclete), precum și a filtrelor de gaze pentru temperaturi înalte.

c) – Fibrele de aramide provin din poliamide aromatice și au fost introduse pe piață în 1973 de către firma DuPont, sub numele de *kevlar*. Sunt rezistente la tracțiune, la șoc și la abraziune. De asemenea, sunt rezistente la foc și la căldură (nu se topesc), precum și la acțiunea solvenților organici.

Se folosesc în construcții aeronautice cu aplicații militare, la fabricarea unor ambarcațiuni ușoare sau piese pentru vapoare (cârme, catarge, rezervoare și spărgătoare de valuri), la fabricarea vestelor antiglonț și a căștilor de protecție.

d) – Fibrele de bor au fost obținute în 1959 de firma Texaco din SUA și utilizate pentru armarea unor compozite folosite de aviația militară. Ele au un miez de wolfram pe care se depune, prin vaporizare, un strat subțire de bor și prezintă rezistențe la rupere și la compresie foarte bune, precum și un modul de elasticitate înalt și o rezistență la oboseală excepțională.

Utilizarea lor este limitată de costul ridicat, de fragilitatea și duritatea care au valori mari. Duritatea ridicată îngreunează prelucrările mecanice ulterioare care necesită scule armate cu diamant. Pentru înlăturarea acestor dezavantaje, fibrele de bor ce combină cu fibre de sticlă și de carbon și se utilizează în aviația militară (lonjeroane, voleți, panouri de fuselaj) sau la fabricarea unor articole sportive de performanță (rachete de tenis, undițe de pescuit).

e) – Fibrele de cuarț conțin 99,95...99,97 SiO_2 și se obțin prin tragere din material topit la 1.800 °C. Sunt foarte rezistente la acțiunea agenților chimici și a mediului înconjurător și stabile termic până la 1000 °C, dar proprietatea cea mai

importantă a lor este rezistența la ablațiune. *Ablațiunea* este un fenomen fizic în urma căruia un corp care străbate atmosfera cu mare viteză (meteorit, satelit, navetă spațială) pierde din substanță datorită încălzirii sale până la incandescență prin frecare cu aerul. Ca urmare, fibrele de cuarț se utilizează la armarea unor materiale din care se construiesc scuturile de ablațiune pentru protecția navelor cosmice.

În afară de fibrele de ranforsare prezentate mai sus, pentru armarea materialelor compozite se mai utilizează fibre de alumina, azbest, carbură de siliciu sau chiar vegetale (celuloză, bumbac, iută, in, hârtie).

Fibrele pentru armarea compozitelor sunt supuse înainte de încorporarea în matrice unei ungeri cu un amestec de substanțe cleioase și antistatice în următoarele scopuri: compatibilizarea fibrelor cu matricea; rigidizarea fibrelor în vederea manipulării ușoare; protecție contra deteriorării superficiale prin frecare reciprocă sau cu piese metalice; împiedicarea apariției sarcinilor electrostatice prin frecare.

În tabelul 3.7 sunt prezentate caracteristicile fizico-mecanice ale principalelor fibre de ranforsare a materialelor compozite.

3.5.2.2.2. Matricele. Matricea are două scopuri principale: să transmită solicitările mecanice fibrelor de ranforsare și să asigure protecția acestora la acțiunea mediului înconjurător. Pentru îndeplinirea acestor scopuri, matricea trebuie să adere la fibre, să fie ductilă și să aibă o bună rezistență la fluaj.

După natura lor, matricele se clasifică după schema din fig.3.34.

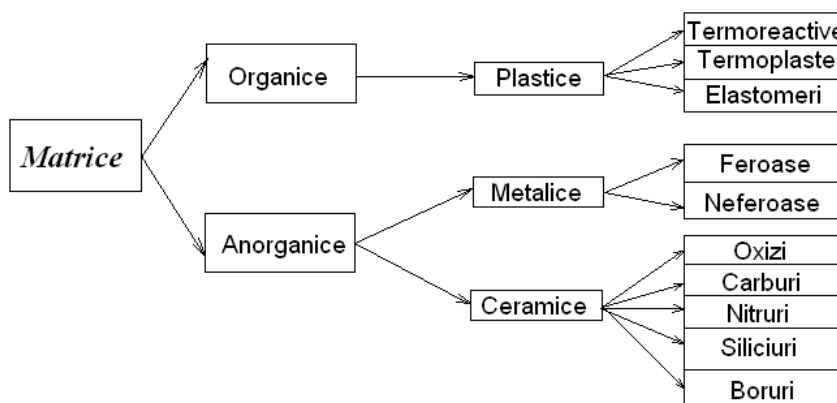


Fig.3.34. Clasificarea matricelor.

A) – Matricele plastice au proprietăți mecanice mai slabe decât cele metalice sau ceramice, dar se pot prelucra la temperaturi mai joase și astfel pericolul de distrugere a fibrelor de ranforsare dispăre. De asemenea, ele se obțin mai ușor și costă mai puțin decât metalele și ceramicele. Dezavantajul lor major este că nu se pot utiliza la temperaturi mai mari de 200 °C. Matricele organice sunt cele mai răspândite, reprezentând circa 75% din totalul matricelor folosite.

Tabelul 3.7. Proprietățile fizico-mecanice ale fibrelor de ranforsare

Proprietăți Materialul	Diametrul [μm]	Masa volumică [g/cm ³]	Rezistența la rupere [MPa]	Rezistența la compresiune [MPa]	Alungirea la rupere [%]	Modulul de elasticitate longitudinal [MPa]	Coefficientul de dilatare termică [°C ⁻¹]	Temperatura maximă de utilizare [°C]
Sticlă E ¹	16	2,54	3400	1200	4,8	73000	$0,5 \cdot 10^{-5}$	550
Sticlă R ²	10	2,48	4400	1300	5,4	86000	$0,3 \cdot 10^{-5}$	650
Carbon HM ³	6,5	1,80	2200	1300	0,6	390000	$0,08 \cdot 10^{-5}$	2000
Carbon HR ⁴	7	1,78	2800	1800	1,3	230000	$0,02 \cdot 10^{-5}$	2500
Aramidă (kevlar)	12	1,45	3100	500	2,3	130000	$0,2 \cdot 10^{-5}$	200
Bor	100	2,63	3500	3500	0,8	400000	$0,4 \cdot 10^{-5}$	700
Cuarț	8,9	2,19	3200	3200	5	77000	$0,54 \cdot 10^{-5}$	750

Observații: 1 MPa = 1 N/mm²; ¹Sticlă E – sticlă pentru compozite obișnuite; ²Sticlă R – sticlă pentru compozite cu performanțe ridicate; ³Carbon HM – carbon pentru fibre cu modul de elasticitate ridicat; ⁴Carbon HR – carbon pentru fibre cu rezistență mecanică mare.

a) – Materialele plastice termoreactive au o structură tridimensională și prin încălzire se înmoaie și se fac în forma dorită, dar nu se mai pot recicla, fiind infuzibile și insolubile, datorită încheierii polimerizării în timpul încălzirii și prelucrării. Aceste materiale se mai numesc *rășini*, cele mai importante fiind:

♦ *Rășinile poliesterice* sunt translucide, cu rezistență chimică bună, se prelucrează ușor, rezistă până la 150 °C și sunt ieftine.

Ca dezavantaje se menționează că sunt inflamabile, se contractă mult (6...15%) și emit stiren. Se armează cu fibre de sticlă, iar compozitele obținute se utilizează la temperaturi obișnuite.

♦ *Rășinile vinilesterice* sunt înrudite cu poliesterii, se armează cu fibre de sticlă, au o bună rezistență la oboseală și o excelentă rezistență la coroziune, dar sunt inflamabile. Compozitele din vinilester armat cu fibre de sticlă se folosesc la fabricarea țevelor de canalizare și a rezervoarelor pentru produse chimice.

♦ *Rășinile epoxidice* au proprietăți mecanice, termice și chimice bune, contracție scăzută, o excelentă aderență la fibre și se prelucrează ușor în produse.

În același timp, sunt sensibile la umiditate, la razele ultraviolete și la șocuri, îmbătrânesc sub acțiunea căldurii și au un preț ridicat.

Prin ranforsarea rășinilor epoxidice cu fibre de sticlă, de carbon sau de kevlar se obțin compozite utilizate la fabricarea palelor de elicopter, cisternelor și conductelor pentru produse corosive sau a unor materiale sportive.

♦ *Rășinile fenolice* sunt rezistente la căldură (până la 150 °C) și la foc și au stabilitate chimică, dar sunt fragile, sensibile la umiditate și dificil de colorat și de fasonat.

♦ *Rășinile poliuretanice* au stabilitate chimică bună, nu îmbătrânesc și sunt ușor de fasonat, însă au rezistență mecanică redusă, ard și se colorează dificil.

b) – Materialele termoplaste sunt polimeri cu structură liniară, foarte răspândite și ieftine care încep să fie utilizate ca matrice ale materialelor compozite datorită următoarelor avantaje: se pot recicla prin topire sau solubilizare; ciclul de fabricație este scurt iar fasonarea, ușoară; au o durată de folosire nelimitată și nu reclamă condiții speciale de stocare. Utilizarea lor este limitată de rezistența termică scăzută (sub 150 °C) și de aderența mai slabă la fibrele de ranforsare.

Principalele matrice termoplaste sunt:

- *polipropilena* (PP): destul de stabilă termic (110 °C), rezistentă chimic și ieftină, dar nu rezistă la șocuri și arde;

- *polisulfona* (PSU): stabilitate chimică foarte bună și rezistentă la hidroliză (reacție chimică cu apa, în prezența unui catalizator), la fluaj și la căldură (până la 180 °C) și caracteristici de izolare electrice bune, dar este higroscopică (absoarbe cu ușurință apa din atmosferă);

- *poliamida* (PA) este rezistentă la șoc, la oboseală și la acțiunea hidrocarburilor, dar și puternic higroscopică;

- *policarbonatul* (PC) are rezistență mecanică ridicată, rigiditate bună, rezistență la șoc, la unsori și uleiuri, fiind atacat de benzen și de soluțiile alcaline;

- *poliesterii liniari* numiți *politeraftalat etilenic* (PET) și *butilenic* (PBT) au proprietăți mecanice bune, nu absorb apa, nu se dilată termic și sunt buni izolatori

electrici, dar nu rezistă la apă fierbinte, abur, acetone, solvenți halogenici, alcalii tari sau soluții acide.

c) – Elastomerii sunt materiale polimerice cu elasticitate ridicată, suportând deformări de peste 100%, aproape total reversibile. Toți elastomerii sunt organici, cu excepția siliconului care este de natură minerală. Ei conțin 50...60% polimeri, restul fiind materiale de umplutură, agenți de vulcanizare, acceleratori, produse pentru întârzierea îmbătrânirii și alți aditivi care asigură obținerea scopului urmărit.

Elastomerii sunt incompresibili sau foarte puțin compresibili, având coeficientul lui Poisson⁴ în jur de 0,50, utilizându-se la fabricarea garniturilor de etanșare. Datorită elasticității ridicate, se mai utilizează la fabricarea tălpilor de încălțăminte pentru atleți sau a mingilor de pelotă (sport tradițional din Țara Bascilor).

În practică, se utilizează ca matrice următorii elastomeri:

♦ *Cauciucul natural* (NR) se obține din arborele de cauciuc (*Hevea brasiliensis*), sub forma unui suc lăptos de culoare albă-gălbui, numit latex care se coagulează și se usucă, obținându-se cauciucul brut. Acesta are proprietăți mecanice slabe, se dizolvă în solvenții organici și datorită acestor cauze nu se poate utiliza în industrie. Pentru obținerea unor proprietăți fizico-mecanice corespunzătoare, cauciucul brut se vulcanizează, prin amestecare cu 2...12% sulf și încălzire la 120...150 °C.

La prepararea cauciucului industrial se mai utilizează acceleratori de vulcanizare pentru reducerea duratei de fabricare și coborârea temperaturii de vulcanizare (ZnO, P₂O₅), ingrediente active pentru creșterea rezistențelor la rupere și uzură (negru de fum, MnCO₃), ingrediente pasive pentru reducerea costului (cretă, baritină, talc), plastifianți pentru îmbunătățirea capacității de prelucrare (acid stearic, parafină, acid oleic), antioxidanți pentru împiedicarea îmbătrânirii (amine și diamine aromatice), coloranți și cauciuc regenerat. Acesta are rezistență la oboseală ridicată, elasticitate și rezistență bună la abraziune, absoarbe puțină umiditate și se umflă în ulei mineral, unsori și gazolină. Se poate utiliza până la 80 °C.

♦ *Cauciucul sintetic* (IR) se obține prin polimerizarea unor monomeri nesaturați cu două duble legături (izopren, butadienă, cloropren, metilpropenă) cu sau fără adaosuri de alți derivați nesaturați. Acești monomeri sunt amestecați în diferite proporții și copolimerizați, în funcție de caracteristicile fizice, mecanice sau chimice pe care trebuie să le îndeplinească produsul obținut.

♦ *Cauciucul stiren-butadienă* (SBR) se obține prin copolimerizarea stirenului și butadieni și are rezistențele la abraziune și la îmbătrânire mai bune ca ale cauciucului natural, se utilizează până la 100 °C, dar este mai puțin elastic.

♦ *Cauciucul policloroprenic* (CR) se obține prin polimerizarea cloropre-

⁴ *Siméon-Denis POISSON* (1781-1840) – matematician și fizician francez și unul din creatorii fizicii matematice. Contribuții în domeniile mecanicii cerești, ecuațiilor fizicii matematice, hidromecanicii, electrostaticii, calculului probabilităților (*Teoria analitică a probabilităților*), mecanicii teoretice (*parantezele lui Poisson*) și teoriei elasticității (*ecuația lui Poisson*). *Coeficientul lui Poisson* (ν) caracterizează contracția unui material elastic asupra căruia acționează o forță axială, fiind egal cu raportul dintre contracția transversală unitară și alungirea axială unitară.

nului și rezistă mai bine la umezeală, la ulei, la unsori și la ozon decât cauciucul natural, dar este mai puțin elastic și este atacat de apa fierbinte și de combustibili.

♦ *Cauciucul acronitril-butadienă* (NBR) sau *cauciucul nitrilic* se obține prin copolimerizarea nitrilului acrilic și butadienei și este rezistent la abraziune și îmbătrânire, foarte rezistent la uleiuri și hidrocarburi alifatice, dar este mai puțin elastic și nu rezistă la temperaturi scăzute și la acțiunea lichidului de frână.

♦ *Cauciucul butilic* (IIR) se obține prin copolimerizarea izobutadienei și izoprenului, are o mică permeabilitate la gaze și caracteristici de izolare electrică foarte bune, rezistă la vapori fierbinți și la apă, rezistă la îmbătrânire, dar are elasticitate scăzută și nu rezistă la uleiuri, unsori și combustibili.

B) – Matricele metalice reprezintă circa 10% din matricele utilizate la fabricarea materialelor compozite și au apărut la începutul anilor 1960 în SUA și Franța, cu aplicații în industria aerospațială. În anii 1980, japonezii le-au aplicat la fabricarea automobilelor. Fabricarea compozitelor cu matrice metalice este destul de dificilă, având în vedere asigurarea coeziunii acestora cu fibrele de ranforsare.

Matricea trebuie adusă în stare lichidă sau semisolidă, astfel încât să aibă fluiditatea necesară infiltrării și, în același timp, să aibă o temperatură care să nu deterioreze fibrele de ranforsare și să nu reacționeze metalurgic cu ele.

Matricele metalice sunt ductile și tenace, rezistă la uzură și la temperaturi mari (până la 600 °C) și la acțiunea solvenților, având în general proprietățile fizico-mecanice și chimice specifice materialelor metalice. În același timp, ele sunt mai scumpe și mai grele și prezintă pericolul reacționării cu fibrele de ranforsare prin solubilizare, ceea ce conduce la apariția unor compuși intermetalici fragili care antrenează dezlipirea interfeței. Cele mai răspândite matrice metalice sunt aluminiul, magneziul, titanul și aliajele acestora.

a) – Aluminiul este materialul cel mai folosit ca matrice metalică datorită densității mici și prețului accesibil. El se folosește pentru fabricarea compozitelor armate cu fibre de bor și carbon, SiC, B₄C, ZrO₂ și kevlar, utilizate în industria aerospațială și la motoarele de automobile.

b) – Magneziul este cu 55% mai ușor decât aluminiul, are stabilitate chimică, precum și un coeficient de dilatare stabil într-un interval mare de temperaturi. Se utilizează la fabricarea compozitelor armate cu fibre de carbon, bor sau SiC.

c) – Titanul este un metal ușor, cu temperatură înaltă de topire (1668 °C), proprietăți mecanice foarte bune și stabilitate chimică, dar este scump. Se folosește la fabricarea compozitelor armate cu fibre de bor și SiC.

C) – Matricele ceramice reprezintă circa 15% din matricele folosite la fabricarea compozitelor și se utilizează datorită unor proprietăți specifice: rezistență la temperatură (până la 2.000 °C), rigiditate, duritate și stabilitate chimică. Fibrele de adaos au ca scopuri îmbunătățirea tenacității compozitelor, precum și a rezistenței lor la șocuri termice.

Dezavantajele matricelor ceramice sunt fragilitatea ridicată și prelucrarea dificilă. Ele sunt transformate în pulberi foarte fine, cu ajutorul plamei sau prin depunerea chimică din fază de vapori, iar din micropulberi se obțin paste. În acest

scop, se utilizează o gamă largă de oxizi simpli sau complecși, nitruri, carburi, siliciuri sau boruri (Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , BN , B_2O_3 , ThO_2 , ZrO_2 , TiC).

Materialele compozite cu matrice ceramice sunt scumpe și se utilizează în domenii de înaltă tehnicitate și la temperaturi ridicate (construcții aerospațiale și nucleare, aplicații militare, frâne ceramice).

În tabelul 3.8 sunt prezentate caracteristicile fizico-mecanice ale principalelor matrice care intră în componența materialelor compozite.

3.5.2.3. Materiale compozite structurale. Materialele compozite structurale cuprind compozitele stratificate și compozitele sandviș, utilizându-se îndeosebi în construcțiile aerospațiale care trebuie să fie rezistente și ușoare.

a) – Materialele compozite stratificate sunt formate din mai multe straturi de materiale cu proprietăți anizotrope care formează un tot unitar. Exemplul cel mai la îndemână îl constituie vasele emailate. Emailul este format dintr-un amestec de oxizi și silicați care, în prezența unor fondanți (sodă, borax), se topește și se toarnă într-un strat sau în mai multe straturi pe vasele din fontă sau tablă din oțel, la 900°C și se întărește vitros. Legătura email-metal necesită aderență bună și coeficienți de dilatare termică apropiați.

Pentru creșterea aderenței se adaugă oxizi de fixare (CoO și NiO), iar pentru evitarea apariției tensiunilor de întindere declanșatoare de fisuri, coeficientul de dilatare termică al emailului trebuie să fie puțin mai mic decât cel al metalului, ceea ce asigură formarea unor tensiuni de compresiune. Componentele materialului structural preiau funcțiuni diferite: metalul asigură rezistența mecanică, iar emailul, rezistența la coroziune și aspectul decorativ.

Materialul compozit stratificat (fig.3.35) este alcătuit din mai multe plăci orientate diferit, între care se introduc rășini termoreactive și prin încălzire și presare sau laminare se obține produsul dorit. Fibrele unei plăci pot fi orientate perpendicular față de cele ale plăcii anterioare sau sub alte unghiuri, astfel că materialul compozit prezintă o mare rezistență la acțiunea forțelor exterioare.

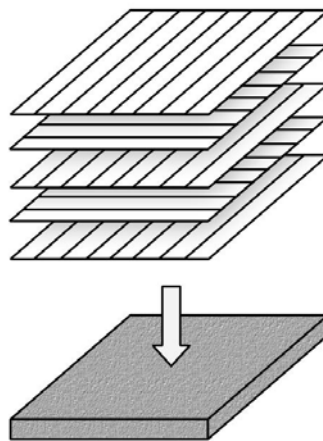


Fig. 3.35. Reprezentarea unui compozit stratificat.

b) – Materialele compozite de tip sandviș sunt alcătuite din două straturi de material foarte rezistent, între care este intercalată o inimă de material cu densitate, rezistență și rigiditate mici. Straturile sau fețele exterioare, fabricate din aliaje de aluminiu, rășini ranforsate cu fibre, oțel sau titan, preiau sarcinile exterioare, iar inima, din materiale polimerice celulare, cauciuc sintetic sau lemn de balsa (lemn foarte ușor provenit dintr-un arbore tropical), se opune deformațiilor și forțelor de forfecare perpendiculare pe cele două fețe. Rezultă astfel un material foarte ușor, cu densitatea de circa 100 kg/m^3 ,

Tabelul 3.8. Proprietăți fizico-mecanice ale matricelor

Materialul matricei	Simbol	Caracteristica						
		Masa volumică [kg/m ³]	Modulul de elasticitate longitudinal [MPa]	Modulul de forfecare [MPa]	Coefficientul lui Poisson	Rezistența de rupere la tracțiune [MPa]	Alungirea la rupere [%]	Coefficientul de dilatare termică [°C ⁻¹]
Materiale termoreactive	Rășină poliesterică	UP	3800	1400	0,4	88	2,5	8·10 ⁻⁵
	Rășină vinilesterică	VE	3300		0,35	75	4	5·10 ⁻⁵
	Rășină epoxidică	EP	4500	1600	0,4	130	2	11·10 ⁻⁵
	Silicon	SI	2200		0,5	35	100	
	Rășină fenolică	PF	3000	1100	0,36	70	2,5	1·10 ⁻⁵
	Rășină poliuretanică	PU	700-7000			30	100	
	Rășină poliimidică	PI	4000-19000	1100	0,35	70	1	8·10 ⁻⁵
	Polipropilenă	PP	1200		0,4	30	20-400	9·10 ⁻⁵
Materiale termoplastice	Polisulfonă	PSU	4000			65	100	5·10 ⁻⁵
	Poliamidă	PA	2000		0,35	70	60	8·10 ⁻⁵
	Polietersulfonă	PES	3000			85	60	6·10 ⁻⁵
	Polieterimidă	PEI	3300			105	60	6·10 ⁻⁵
	Polieteretercetona	PEEK	4000			90	50	5·10 ⁻⁵
	Aluminiu	Al	69000		0,33	358	23	
Metale	Magneziu	Mg	42000		0,30	280	25	
	Oțel	XC10	210000		0,29	1000	10	

flexibil și lejer care este și un foarte bun izolator termic și fonic.

S-au realizat, de asemenea, și materiale compozite de tip sandviș cu inimă alveolară (fig.3.36). Alveolele 1 sunt construite din hârtie impregnată cu rășini, polimeri ranforșați cu fibre de sticlă sau aliaje de aluminiu. Fețele 2 se lipesc de alveole cu straturile de adeziv 3. Alveolele sunt asemănătoare fagurilor din stufi, având forme hexagonale sau rombice. Se obține astfel produsul 4, utilizat în construcții navale și aeriene (pereți interiori, punți și planșee), pentru protecția contra razelor X și undelor radio, precum și în aplicații militare (avioane „invizibile” și dragoare de mine care nu pot fi detectate cu radarele).

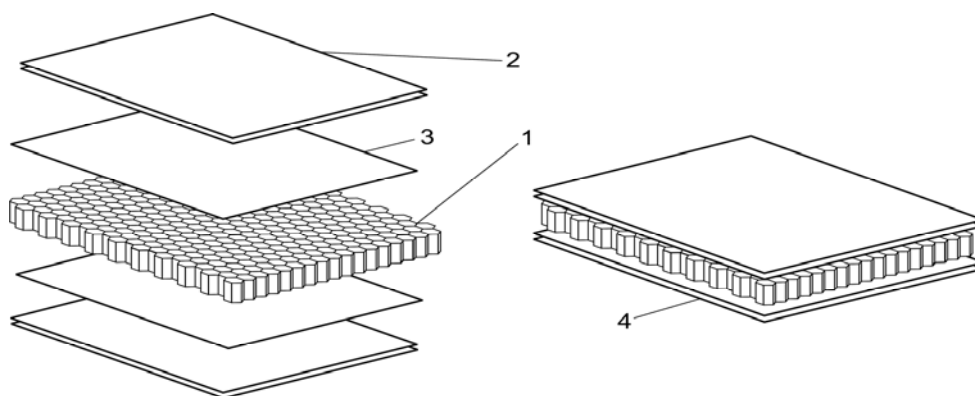


Fig.3.36. Compozit de tip sandviș cu inimă alveolară.

Aceste proprietăți se obțin printr-o alegere riguroasă a materialelor componente, precum și prin utilizarea elementelor de calcul finit în asocierea și îmbinarea acestora.

3.5.2.4. Alte tipuri de materiale compozite (lemnul și betonul).

3.5.2.4.1. Lemnul este un material compozit natural, cu structură complexă, alcătuită din 40...50% fibre de celuloză, 20...30% lignină, 15...25% hemiceluloză și din alte substanțe organice (polizaharide, rășini, tananți, coloranți, ceară, alcaloizi). Fibrele de celuloză constituie materialul de ranforsare, iar lignina este matricea care încorporează fibrele și vasele capilare, făcându-le impermeabile, inextensibile și rigide. Hemiceluloza este un amestec complex de polizaharide și gume vegetale care reacționează cu apa.

Proprietățile fizico-mecanice ale lemnului depind de esență, grad de uscare, vârstă și locul ocupat în tulpină. El are o reziliență bună, este rezistent la tracțiune și la compresiune, elastic, ușor, bun izolator termic și electric, se prelucrează ușor și are un aspect estetic. În același timp, are o structură neomogenă, este atacat de ciuperci și de insectele xilofage (cari și termite), are rezistențe mici la forfecare și la despicare și se aprinde ușor.

Lemnul se poate utiliza atât în stare naturală, cât și sub formă de produse obținute prin diverse procedee. Lemnul brut se utilizează pentru foc, în construcții, în minerit, pentru traverse de cale ferată, la fabricarea celulozei și pentru chimizare, sub formă de lemn rotund (bile, manele, stâlpi, lemn rotund de mină, piloți,

bulumaci), cherestea (scânduri, dulapi, șipci, rigle, grinzi) și material lemnos pentru pardoseli (dușumele, frize, parchet). Ca materiale prelucrate se utilizează furnirul, placajul, parchetul stratificat, panelul, plăcile aglomerate și plăcile fibrolemnoase.

a) – Furnirul este o foaie de lemn cu grosimea de 0,2...6 mm care se obține prin tăierea plană (fig. 3.37.a) sau prin rotirea unui butuc în fața unui cuțit care este paralel cu axa butucului (fig. 3.37.b). Pentru fabricarea furnirelor, buștenii sunt supuși unor operații de secționare cu ferăstraie, cojire și tratare termică prin încălzire cu aburi, pentru mărirea elasticității. De obicei, pentru fabricarea furnirului, se întrebuințează esențe nobile: lemn de trandafir, nuc, mahon, stejar, frasin, platan etc. El se utilizează la placarea mobilei confecționate din conifere sau plop, formând desene, imagini sau motive diverse. Pentru lipire se folosesc cleiuri de albumină sau cazeină, precum și rășini sintetice.

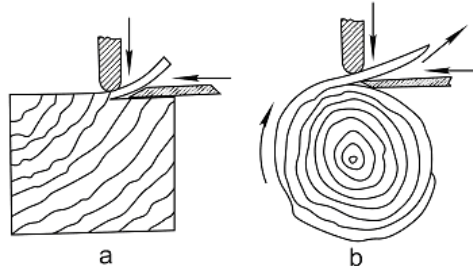


Fig. 3.37. Metode de fabricare a furnirului.

b) – Placajul este un semifabricat obținut prin îmbinarea unui număr impar de foi de furnir care se suprapun astfel încât direcția fibrelor unei plăci să fie perpendiculară pe direcția fibrelor plăcii următoare. Această așezare a plăcilor conferă placajului proprietăți deosebite: rezistențe foarte bune la întindere și la despicare, nu se umflă sub acțiunea umezelii și nu crapă sub acțiunea căldurii.

Plăcile de furnir din care se confecționează placajul au grosimi de 0,5...2 mm și se încheiază cu diverși adezivi (rășini fenolformaldehidice, melamină, resorcină), pe mașini de încălzit și presat. El se utilizează în construcții și pentru amenajări interioare. Pentru destinații speciale se fabrică placaj armat, prin intercalarea între foile de furnir a unor țesături textile sau metalice, sau placaj blindat, prin acoperirea acestuia cu plăci metalice. Placajul blindat se utilizează la fabricarea caroseriilor, ambarcațiunilor și planoarelor.

c) – Parchetul stratificat este alcătuit din trei plăci de lemn, cu grosimea totală de 15...20 mm, care se suprapun și se încheiază, astfel încât direcțiile fibrelor lemnoase să alterneze. Plăcile inferioare sunt din rășinoase, iar cea superioară, din esențe nobile (stejar, salcâm, nuc, cireș, mahon, tec). Parchetul se montează ușor, printr-o îmbinare nut și feder și este finisat cu lac poliacrilic, rezistent la umezeală și la uzură.

d) – Panelul este un semifabricat alcătuit dintr-un miez de șipci acoperite pe ambele fețe, prin încheiere, cu câte o placă de furnir, așezate cu fibrele perpendiculare pe direcția fibrelor miezului. Șipcile pot fi neîncheiate pe suprafețele lor de contact, încheiate parțial sau total. Se utilizează la confecționarea pereților interiori ai autovehiculelor, vagoanelor și navelor.

e) – Plăcile aglomerate din lemn (PAL) au fost obținute întâmplător, în 1966, în SUA, ca urmare a unui incident tehnic. Ele se obțin prin presarea la cald a

așchiilor de foioase sau rășinoase, cu dimensiuni de 5...40 mm, care provin din arbori ce nu se pot valorifica prin alte procedee. Așchiile se amestecă întim cu adezivi (uree-formol sau melamină-formol), precum și cu substanțe ignifuge, hidrofuge sau insecticide. Plăcile pot fi furniruite, emailate sau melaminate și se utilizează pentru amenajări sau decorațiuni interioare, precum și în industria mobilei. Ele sunt mai ieftine decât lemnul natural, au proprietăți izotrope (uniforme în toate direcțiile), au un aspect plăcut și se lucrează la diverse grosimi.

f) – Plăcile fibrolemnoase (PFL) sunt materiale obținute prin presarea unor fascicule de fibre vegetale, rezultate prin defibrilarea mecanică sau semichimică a lemnului de esență moale, împâslite și înleiate cu 5% adezivi. Plăcile au aspect omogen, bune proprietăți mecanice, de izolare termică și fonică și o sensibilitate mai redusă față de apă. Ele se pot înnobila prin emailare, lăcuire sau melaminare.

3.5.2.4.2. Betonul este un material de construcții compozit, obținut prin amestecarea unor agregate (nisip, pietriș, piatră spartă) cu liant (ciment, bitum) și cu apă și care, după întărire, capătă aspect de piatră artificială. Betonul are o densitate mare și este foarte compact, pentru că spațiile dintre particulele mai mari sunt ocupate de particule mai mici, iar cele rămase sunt ocupate de ciment. De obicei, agregatele reprezintă 80% din masa betonului, cimentul 20%, iar apa, 25% din greutatea cimentului. Apa este necesară reacției de hidratare a cimentului, iar în timpul întăririi betonului, ea se evaporă, lăsând pori și canale capilare. După 7 zile de priză, betonul are 75% din rezistența mecanică finală, iar după 28 de zile, 80%. Viteza de întărire poate fi accelerată prin încorporarea unor aditivi (1,5...3% clorură de calciu), prin folosirea unui ciment aluminos sau ridicând temperatura în timpul întăririi la 50...90 °C.

Betonul a fost cunoscut în antichitate, romanii fabricându-l din oxid de calciu, cenușă vulcanică și piatră ponce. Secretul fabricării acestuia s-a pierdut timp de 13 secole, până în 1756, când inginerul britanic John Smeaton⁵ l-a redescoperit și l-a utilizat la construcția unui far, folosind blocuri de granit. Pornind de la această realizare, constructorul englez Joseph Aspdin⁶ a inventat, în 1824, cimentul Portland care se folosește și astăzi la fabricarea betonului.

Principala proprietate mecanică a betonului este rezistența la compresie care variază între 25...50 MPa, în cazul betoanelor produse pe șantier, și 200...500 MPa, în cazul betoanelor cu înalte performanțe, fabricate în laborator. Rezistența la tracțiune este scăzută, reprezentând doar 10...15% din rezistența la compresie. Modul de elasticitate este bun (30...50 GPa), coeficientul de dilatare termică este mic, iar conductibilitatea termică, slabă. Din punct de vedere chimic, este atacat de apa de mare, de bioxidul de carbon și de unele bacterii anaerobe. Betonul este materialul cel mai folosit în lume, producția mondială fiind de circa 7,5 km³/an,

⁵ John SMEATON (1724-1792) – inginer mecanic și fizician englez, părintele ingineriei civile. A proiectat și construit poduri, canale, faruri și porturi și a efectuat cercetări în domeniul hidraulicii și al motoarelor cu aburi.

⁶ Joseph ASPDIN (1778-1855) – constructor britanic care a obținut brevetul pentru cimentul Portland la 21 octombrie 1824, fabricat prin calcinarea unui amestec de calcar și argilă, calcarul fiind extras dintr-o carieră aflată în peninsula Portland de la Marea Mânecii.

ceea ce înseamnă peste un metru cub pentru fiecare locuitor al Pământului.

Clasificarea betoanelor se face după criteriile prezentate în fig. 3.38.

a) – Betonul simplu se utilizează pentru realizarea elementelor de construcții supuse la compresiune, cum sunt fundațiile sau postamentele pentru mașini și instalații, caracterizându-se printr-o rezistență mică la întindere.

b) – Betonul armat este un material compozit care îmbină rezistența la compresiune a betonului cu rezistența la tracțiune a oțelului. Oțelul aderă bine la beton, aderența putând fi mărită prin profilarea suprafeței sale. El este protejat contra coroziunii printr-o încastrare adecvată în beton.

Betonul armat se utilizează în construcții (grinzi, stâlpi, planșee), la realizarea digurilor, barajelor și zidurilor de sprijin, precum și a stâlpilor de iluminat și stâlpilor pentru transportul energiei electrice. Se mai utilizează la construcția podurilor, silozurilor, rezervoarelor și a altor construcții industriale.

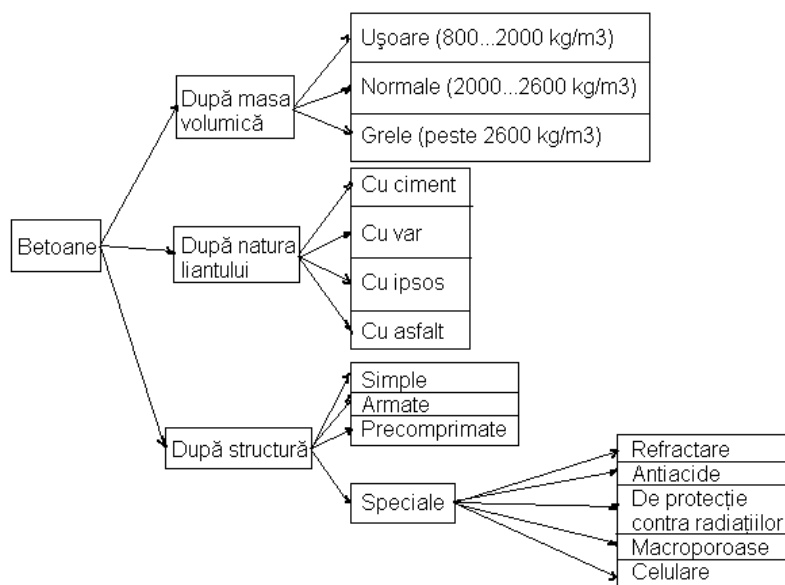


Fig. 3.38. Clasificarea betoanelor.

c) – Betonul precomprimat este un beton armat cu cabluri, vergele sau corzi, întinse și ancorate la capetele elementelor care creează o stare permanentă de compresiune a betonului, superioară solicitărilor ulterioare de întindere. În felul acesta, eforturile de întindere sunt anulate sau mult micșorate.

Ideea a fost pusă în practică în 1928 de inginerul francez Eugène Freyssinet⁷ și astăzi se aplică îndeosebi în construcția podurilor și grinzilor cu deschideri mari.

⁷ Eugène FREYSSINET (1879-1962) – inginer francez constructor de poduri, viaducte, baraje și biserici. În 1928 a patentat betonul precomprimat utilizat la construcția stâlpilor pentru transportul energiei electrice.

d) – Betonul bituminos este alcătuit din pietriș mărunț (mărgăritar), nisip și filer (praf de calcar și var stins), având ca liant bitumul. El se folosește ca strat de uzură pentru asfaltul șoselelor și se toarnă la 150 °C, efectul de priză manifestându-se când temperatura lui scade sub 90 °C. Atunci se realizează compactizarea cu ajutorul unui cilindru-compresor. Întrucât bitumul este atacat de hidrocarburile care constituie combustibilii autovehiculelor, locurile expuse acestora sunt asfaltate cu un beton în care bitumul este înlocuit cu gudron. Betonul cu gudron, numit și *tarmacadam*, se folosește și pe aeroporturi.

e) – Betoanele speciale se folosesc în construcții cu condiții speciale de funcționare (temperaturi ridicate, medii acide sau radioactive) sau ca izolatoare termice și fonice. Acestea sunt:

- *betonul refractar* este alcătuit din agregate refractare și ciment aluminos și își păstrează, în anumite limite, proprietățile fizico-mecanice și la temperaturi înalte (până la 1.800 °C), utilizându-se la construcția agregatelor termice, cazanelor, coșurilor de fum și a altor construcții care funcționează la temperaturi ridicate;

- *betonul antiacid* este rezistent la acțiunea acizilor anorganici, înlocuind materialele antiacide scumpe și deficitare (plumb, ceramică antiacidă, piatră naturală);

- *betonul de protecție contra radiațiilor* este un beton greu a cărui densitate poate ajunge la 6000 kg/m³ și care se utilizează contra razelor γ și neutronilor, folosindu-se la reactoarele nucleare și la adăposturile antiatomice;

- *betonul macroporos* este un beton cu agregate compacte sau poroase, fără nisip, iar cantitatea de ciment și apă se dozează astfel încât fiecare granulă să fie învelită cu o peliculă fină de ciment, fără ca golurile dintre granule să fie umplute, utilizându-se la realizarea straturilor termoizolatoare sau ca material de umplură;

- *betonul celular* este un beton ușor (400 kg/m³) care conține substanțe spumogene și generatoare de gaze, astfel încât să rezulte o structură cu o mare cantitate de pori (până la 80% din volum). Conductibilitatea termică a betoanelor celulare este scăzută, ca de altfel și rezistența la compresiune, astfel că ele nu se pot utiliza în structuri de rezistență, ci numai la zidării despărțitoare sau ca elemente termoizolatoare pentru placarea pereților camerelor frigorifice.

3.5.3. Prelucrarea materialelor compozite

Prelucrarea materialelor compozite în piese sau semifabricate se face prin mai multe procedee, ținând cont de proprietățile fizico-mecanice, chimice sau tehnologice ale acestora, precum și de natura matricelor și felul materialelor de ranforsare: formare manuală, turnare, laminare, presare și înfășurare.

3.5.3.1. Formarea manuală. Formarea manuală este cea mai veche tehnologie de prelucrare a materialelor compozite, aplicându-se și astăzi la piese de dimensiuni mari, precum și în producția de serie mică și de unicate, când nu se justifică investiții inițiale mari: subansambluri pentru avioane (aripi, ampenaje, mobilier), panouri și mobilier pentru vagoanele de călători, capote de automobile, învelișuri exterioare pentru ambarcațiuni.

a) – Formarea manuală prin contact (fig. 3.39) constă în realizarea unei

matrițe 1 din ipsos, lemn moale, material plastic sau aliaje metalice ușoare, cu suprafața foarte curată, care se acoperă cu un strat subțire de vaselină, pentru a permite decofrarea ușoară a piesei. Piesa 2 se formează prin aplicarea unor straturi suprapuse de materiale de ranforsare și rășini, cu ajutorul pensulei de impregnare 3 și al rolei 4. Operația se repetă până se obține grosimea dorită. Pentru accelerarea întăririi se pot folosi radiații infraroșii, fără însă a depăși 60...80 °C.

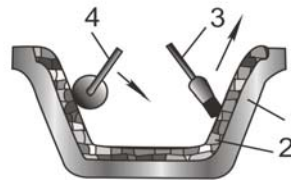


Fig. 3.39. Formarea manuală prin contact.

Procedeul este neproductiv și costisitor, dar singurul care se poate aplica în cazul unor piese de dimensiuni mari și cu forme complicate. Pentru înlăturarea prelucrărilor mecanice ulterioare, matrița deschisă 1 trebuie prevăzută cu toate elementele geometrie care să asigure forma finală a piesei: nervuri, cavități, orificii și raze de racordare.

b) – Formarea manuală prin stropire (fig. 3.40) înlătură consumul mare de muncă al formării prin contact și se realizează mai rapid. Materialul compozit (armătură, matrice, accelerator și stabilizator) este adus cu o pompă în pulverizatorul 1, în care intră și aerul comprimat necesar pulverizării. Matrița 2, așezată pe masa 3 poate executa șase mișcări ($S_x, S_y, S_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$), astfel încât stropirea să se realizeze în condiții cât mai bune. Matrița se acoperă inițial cu o peliculă decofrantă de vaselină, iar piesa 4 se obține din mai multe straturi de material compozit. Armătura este alcătuită din particule, fulgi sau fibre tocate, iar matricea este un polimer fluid. În amestec se mai introduc acceleratori, pentru stimularea reacțiilor de polimerizare, stabilizatori pentru protecție la oxidare, la lumină și pentru ignifugare, precum și materiale de umplură, pentru scăderea prețului materialului compozit.

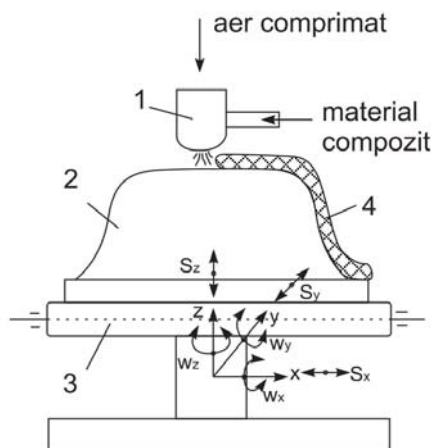


Fig. 3.40. Formarea manuală prin stropire.

Metoda este mai productivă decât precedenta, putând fi automatizată, dar are și ea dezavantajul că nu se poate obține o grosime uniformă a pereților piesei.

3.5.3.2. Turnarea. Turnarea este procedeul tehnologic de obținere a pieselor prin solidificarea materialului metalic compozit în cavitatea unei forme. În practică, se întâlnesc mai multe metode de turnare: în forme temporare din amestec de formare, în forme-coji, centrifugă, sub presiune și continuă.

a) – Turnarea în forme temporare din amestec de formare este metoda cea mai simplă de obținere a pieselor și constă în introducerea topiturii compozite

în cavitatea unei forme (fig. 3.41.a). Turnând aliajul topit prin canalul 1, cavitatea formei 2 se umple, aerul fiind evacuat prin canalul 3. Miezul 4 se folosește pentru obținerea golului în piesă. Semiforma inferioară 5 se assemblează cu semiforma superioară 6 cu ajutorul bolțurilor 7. Greutatea 8 are rolul de a anihila presiunea formată în timpul turnării, prevenind ridicarea semiformei superioare. După solidificarea topiturii compozite, forma se distruge și se recuperează piesa 9 (fig. 3.41.b). Amestecul de formare este alcătuit din 94...95% nisip cuarțos fin și 5...6% silicat de sodiu care constituie liantul ce se întărește prin insuflare de CO_2 . Cavitatea formei se acoperă cu o peliculă de rășină refractară pentru creșterea calității suprafeței piesei și a preciziei dimensionale a acesteia.

Metoda se utilizează pentru turnarea unicatei sau în producția de serie mică.

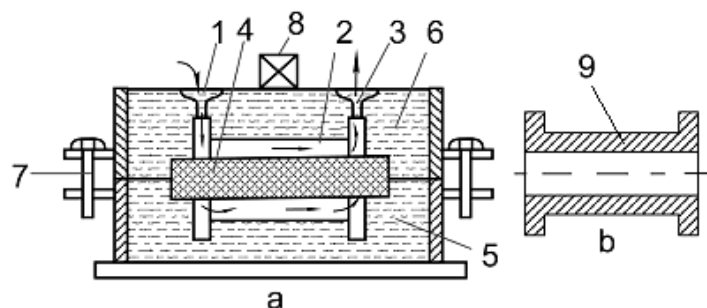


Fig.3.41. Turnarea în forme temporare din amestec de formare.

b) – Turnarea în forme-coji (fig. 3.42) conduce la o calitate a suprafețelor și o precizie dimensională apropiate de cele ale piesei finite. Forma-coajă are 4...8 mm grosime și este confecționată din nisip cuarțos fin, având ca liant bachelită sau novolac, conținând și un accelerador de întărire. Întăritorul are scopul de a accelera procesul de întărire a liantului, utilizându-se în acest sens urotropină, care reprezintă 10% din cantitatea de liant. Forma-coajă este alcătuită din semiformele superioară 1 și inferioară 2, lipite la planul de separație (fig. 3.42.a). Topitura compozită se toarnă prin pâlnia 3. Formele-coji asamblate se împachetează în cutii metalice care conțin nisip cuarțos cu granulație mare, pentru evitarea distrugerii lor în timpul turnării. După împachetare urmează turnarea, dezbaterea și curățarea pieselor. Dezbaterea se face ușor, deoarece liantul termoreactiv arde în timpul turnării metalului topit, astfel că granulele de nisip se îndepărtează de pe piesa 4 (fig. 3.42.b) prin simplă scuturare.

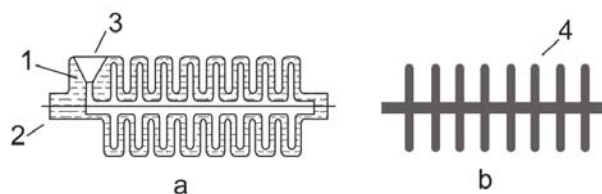


Fig. 3.42. Turnarea în forme-coji.

Metoda se utilizează în producție de serie mică, pentru piese de dimensiuni și greutate mici.

c) – Turnarea centrifugă (fig. 3.43) se aplică atât compozitelor cu matrice metalică (bucșe, pistoane, inele, discuri), cât și celor cu matrice plastică (recipiente, tuburi, conducte), rezultând piese cu o structură densă, fără pori și sufluri. Materialul compozit se toarnă din oala 1 în forma metalică 2 prin intermediul pâlniei 3. Forma este închisă cu flanșa demontabilă 4 care nu permite curgerea materialului în exterior. Piesa 5 poate fi ranforsată cu țesături sau împletituri din fibre de sticlă, carbon sau kevlar, în cazul în care matricea este o rășină. În acest caz, pâlnia 3 este înlocuită cu o conductă perforată prin care se trimite sub presiune rășina fluidizată, în amestec cu elemente de catalizare și acceleratori de reacție.

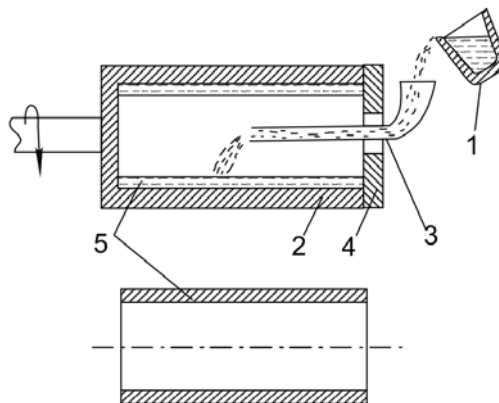


Fig. 3.43. Turnarea centrifugă.

Forma metalică este rotită ($n = 1500 \dots 2000$ rot/min), astfel că materialul topit ia forma matriței. Metoda se utilizează în producția de serie mare, dar nu este prea răspândită, din cauza proprietăților mecanice destul de slabe ale pieselor obținute.

d) – Turnarea sub presiune este un procedeu modern care permite obținerea unor piese complexe cu pereți subțiri, ce nu pot fi realizate prin alte procedee de turnare. Viteza mare de curgere, presiunea înaltă de formare și solidificarea rapidă a compozitului permit obținerea unor piese cu armătură dispersată uniform în masa matricei metalice, ceea ce face ca rezistența materialului compozit să crească cu 25...45%. De asemenea, calitatea suprafețelor și precizia dimensională a pieselor sunt foarte bune, astfel că de multe ori nu mai sunt necesare prelucrări mecanice ulterioare.

În fig. 3.44 este prezentată schema de principiu a turnării sub presiune. Compozitul din vasul 1 este menținut în stare topită cu ajutorul rezistențelor electrice 2. La cursa ascendentă a pistonului 4, supapa 5 se deschide și în cilindrul 3 este admis compozit topit. Acționarea pistonului 4 se face cu cilindrul hidraulic cu dublu efect 6. La cursa de lucru a pistonului 4, lichidul din camera 3 este trimis sub presiune ($p = 100 \dots 1500$ daN/cm²) prin canalele 7 în cochiliile 8, atașate instalației. Cochiliile sunt supuse la solicitări grele și de aceea se confecționează din oțel refractar și au suprafețele active cromizate sau nitrurate. Ele sunt prevăzute cu canale pentru circulația apei de răcire, deoarece ritmul ridicat al turnării (250...1000 piese/oră) necesită răcire forțată. Turnarea sub presiune se aplică în producția de serie mare și de masă, permițând obținerea unor piese cu proprietăți mecanice foarte bune, la un preț de cost scăzut.

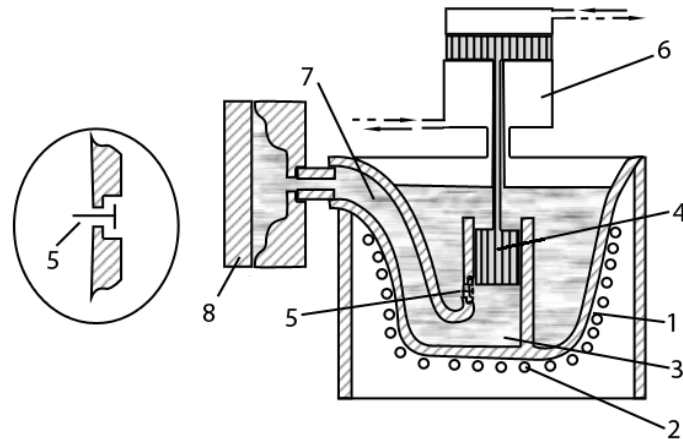


Fig.3.44. Turnarea sub presiune.

e) – Turnarea continuă este un procedeu modern care constă în obținerea unor profiluri apropiate de forma finală sau chiar în formă finală. Fluxul se desfășoară în plan vertical (fig. 3.45.a) sau poate fi deviat în plan orizontal (fig. 3.45.b), pentru ca instalația să nu aibă înălțime prea mare. În ambele cazuri, din oala de turnare 1, oțelul curge în rezervorul-tampon 2, iar de aici în cristalizatorul 3. În cristalizator, care este construit din cupru cromat și are pereții dubli, răciți intens cu apă și o conicitate de circa 1%, materialul compozit se solidifică la exterior, formând o coajă care îi permite să fie deplasat în jos, fiind extras cu rolele 4. Pentru accelerarea solidificării, se folosesc duzele de răcire cu apă 5. Pentru reducerea înălțimii instalației, rolele de curbare 6 deviază semifabricatul pe orizontală. Când semifabricatul a atins o anumită lungime este debitat, utilizându-se foarfeca mecanică 7.

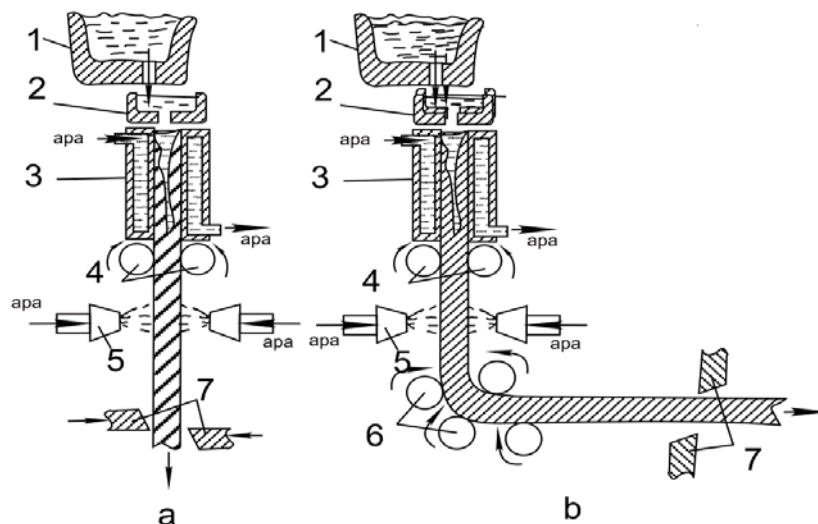


Fig. 3.45. Turnarea continuă.

Profilul exterior al semifabricatului depinde de forma geometrică a cristalizatorului. Pe lângă diverse forme de profiluri, se pot obține și țevi.

3.5.3.3. Laminarea. Laminarea este procedeul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică, la cald sau la rece, care constă în trecerea forțată a materialului printre doi cilindri care se rotesc în sensuri opuse. Materialele compozite prelucrate prin laminare au matrice metalice, plastice sau ceramice și sunt armate cu pulberi sau fibre de carbon, siliciu, bor sau oxid de aluminiu, putându-se prelucra prin mai multe metode.

a) – Laminarea compozitelor cu matrice metalică se folosește la obținerea unor materiale armate cu fibre lungi, plase sau împletituri, având ca lianți aliaje de cobalt, nichel sau aluminiu. Laminarea se face în stare solidă și conduce la difuzii interatomice între matrice și armături. Matricele metalice se desfășoară de pe tamburii 1 și 2 (fig. 3.46), iar materialul de ranforsare, de pe tamburul 3, trecând printre cilindrii de laminare 4, încălziți la o temperatură de 0,2...0,5 din temperatura de topire a materialului matricei. Se realizează astfel o difuziune interatomică a materialelor, dar și o durificare, astfel că este necesară o normalizare care se face în cuptorul 5. Semifabricatul este apoi calibrat cu cilindrii de laminare 6 și se înfășoară pe tamburul 7.

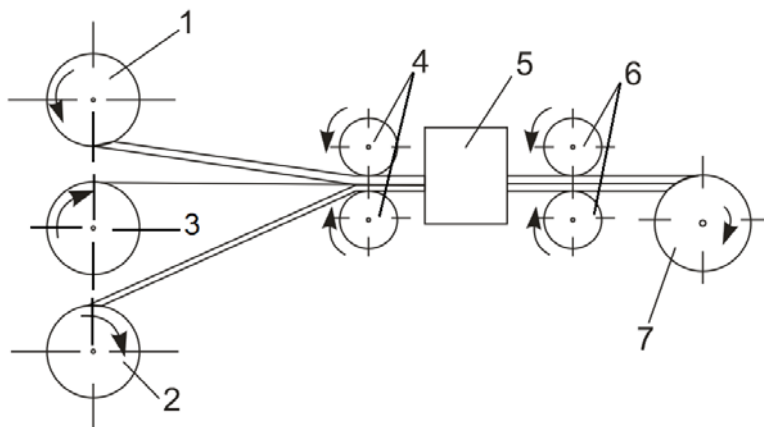


Fig.3.46. Laminarea compozitelor cu matrice metalică.

b) – Laminarea compozitelor cu matrice plastică se folosește pentru obținerea unor table, plăci sau benzi armate cu fibre tocate sau lungi și țesături de sticlă, carbon sau kevlar, având matrice termoplaste (polipropilenă, poliamidă, polietilenă). În fig. 3.47 se prezintă schema de principiu a unei instalații care folosește fibre tocate. Banda 1 este antrenată de rolele 2 și 3 și apoi tocată de rola cu cuțite 4, debitarea fibrelor de ranforsare făcându-se la lungimi de 6...12 mm. Tocătura ajunge în buncărul 5 în care se introduce și o rășină de impregnare. Amestecul impregnat este laminat cu cilindrii 6 între două folii termoplaste care se derulează de pe tamburii 7 și 8. Pentru ca instalația să nu aibă înălțime prea mare, fluxul poate fi deviat pe orizontală cu rolele 9. Semifabricatul 10 trece apoi prin

cuptorul 11 pentru polimerizare și este debitat, la lungimea dorită, cu foarfeca mecanică 12.

c) – **Laminarea compozitelor cu matrice ceramică** asigură obținerea benzilor sau tablelor armate cu fibre sau țesături și cu matrice ceramică. În fig. 3.48 se prezintă schema de principiu a laminării compozitelor cu matrice ceramică.

Fibrele sau împletiturile de ranforsare 1 se desfășoară de pe tamburii 2 și se impregnează cu rășină epoxidică, folosind duzele de stropire 3. Impregnarea este necesară pentru aderarea pulberii ceramice din buncărul 4. Urmează o laminare cu cilindrii 5, cu viteză mică și presiune mare, astfel încât pulberea ceramică să se plastificeze și să realizeze legături mecanice cu materialele de ranforsare. Semifabricatul trece apoi prin cuptorul electric 6, unde are loc o presinterizare la 700...800 °C și, în final, este debitat la lungimea dorită cu foarfeca mecanică 7. După debitare, produsele sunt preluate de o masă rabatabilă și depuse pe transportorul cu bandă 8. Acesta le aduce într-un sector prevăzut cu cuptoare speciale în care are loc sinterizarea, adică o încălzire la 1.700...1.850 °C, timp de mai multe ore, pentru creșterea durității și a rezistenței la tracțiune, precum și pentru modificarea unor proprietăți fizico-mecanice sau chimice.

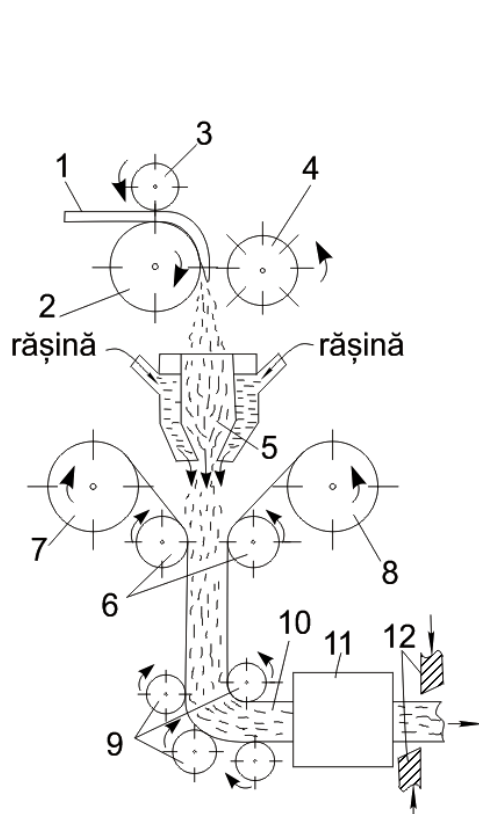


Fig. 3.47. Laminarea compozitelor cu matrice plastică.

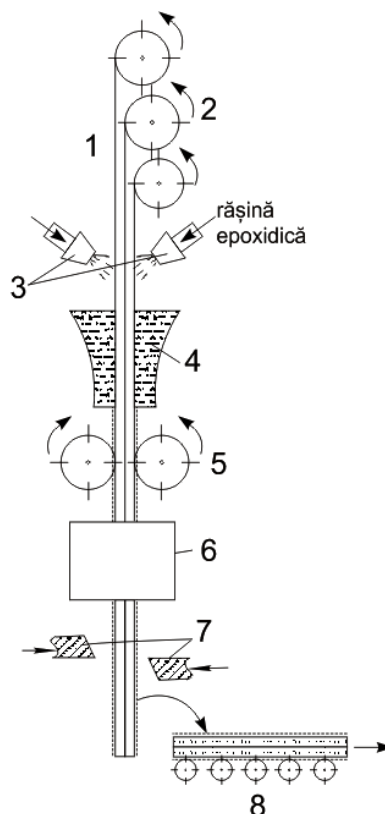


Fig. 3.48. Laminarea compozitelor cu matrice ceramică.

Metodele de laminare a compozitelor prezentate mai sus utilizează matrice aflate în stare solidă. Matricele pot fi și lichide sau semifluide. În continuare, se prezintă și aceste metode de laminare.

d) – Laminarea compozitelor cu matrice lichidă se folosește la obținerea benzilor și tablelor armate cu fibre sau țesături de sticlă, grafit, kevlar, bor, carburi metalice și alumina și cu matrice metalică sau plastică.

Instalația de laminare cu matrice lichidă (fig. 3.49) este alcătuită din tamburul 1 de pe care se desfășoară materialul de ranforsare 2, baia 3 cu material de impregnare, cilindrii 4 pentru conducerea materialului de ranforsare, creuzetul 5 cu matrice lichidă și benzile de laminare 6 și 7. Matricea lichidă poate fi metalică (cobalt, nichel, aluminiu) sau plastică (policarbonat, poliamidă, poliester, poliacetat, polietilenă, rășină epoxidică). Cilindrii benzilor de laminare sunt încălziți, temperatura fiind mai ridicată în cazul folosirii matricelor metalice și mai scăzută pentru cele plastice. Presiunea de laminare este mare ($5 \dots 15 \text{ daN/cm}^2$), astfel că matricea lichidă formează o interfață de legătură cu materialele de ranforsare. Pentru debitarea semifabricatului compozit 8 la lungimea dorită, se utilizează ghilotina 9.

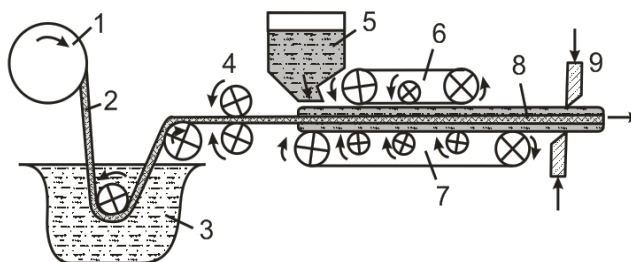


Fig. 3.49. Laminarea compozitelor cu matrice lichidă.

e) – Laminarea compozitelor cu matrice semifluidă are aceeași aplicabilitate ca metoda precedentă, instalația fiind alcătuită din rezervorul 1 (fig. 3.50) cu mixtură semifluidă, încălzit cu rezistența electrică 2, din care mixtura semifluidă ajunge pe banda de laminare 3 ai cărei cilindri sunt încălziți la temperaturile prescrise pentru fiecare fel de matrice. Produsul laminat este debitat cu ghilotina 4.

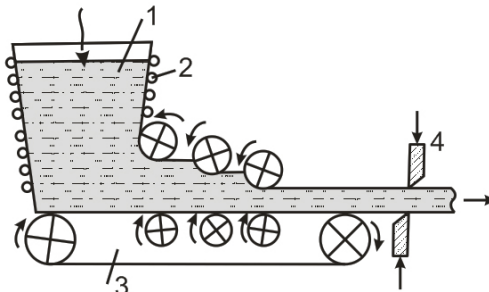


Fig. 3.50. Laminarea compozitelor cu matrice semifluidă.

Mixtura compozită este formată din pulberi sau fibre tocate de SiC și Al_2O_3 , iar matricea este metalică sau plastică.

3.5.3.4. Presarea. Presarea este procedeul tehnologic de prelucrare care constă în aplicarea unei presiuni de valoare determinată asupra unui material compozit introdus într-o matriță, la cald sau la rece. Ea se aplică atât materialelor solide, cât și celor lichide sau cu matrice semifluidă.

a) – Presarea materialelor în stare solidă se realizează printr-un procedeu asemănător celui utilizat la presarea materialelor plastice la cald. Materialul compozit se obține prin presarea la cald a unor straturi suprapuse, de tip sandviș, de armături și matrice care se îmbină prin difuziune atomică. De obicei, presarea se realizează în vid sau în atmosferă controlată. Matricea poate fi metalică sau plastică, iar temperatura de încălzire a matriței este 0,5...0,9 din temperatura de topire a matricei.

b) – Presarea materialelor în stare lichidă îmbină avantajul turnării (topirea mixturii compozite) cu cel al matrițării la cald (folosirea matrițelor și a presiunii ridicate). Instalația (fig. 3.51) este alcătuită din oala de turnare 1, încălzită cu rezistența electrică 2, în care se pregătește lichidul compozit format din pulberi sau fibre tocate de ranforsare și o matrice metalică sau plastică. Lichidul compozit este omogenizat cu ajutorul agitatorului rotativ 3. Prin jgheabul 4, lichidul compozit este turnat în matrița metalică 5 și presat cu poansonul 6. După solidificarea piesei 7, aceasta este extrasă din matriță cu împingătorul 8.

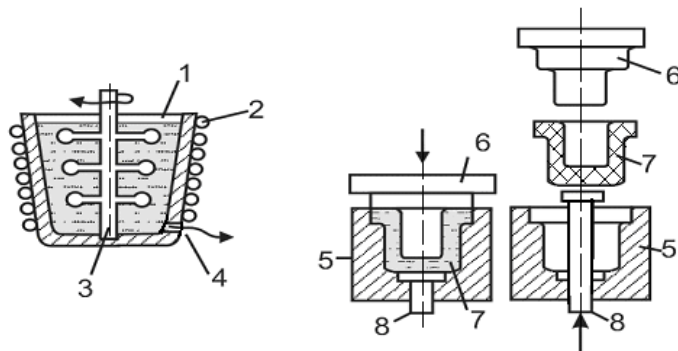


Fig. 3.51. Presarea compozitelor lichide.

c) – Presarea materialelor cu matrice semifluidă este un procedeu nou, utilizat pentru obținerea unor piese de dimensiuni mici în aeronautică, sectorul feroviar (mobilier pentru vagoane), construcția de automobile (spoilere, rezervoare de combustibil), precum și pentru realizarea panourilor solare. Instalația de presare (fig. 3.52) este formată din semimatrițele 1 și 2 fixate între plăcile 3 și 4 și din cilindrul 5 și pistonul de presare 6. Între semimatrițe se introduce de la început materialul de ranforsare, sub formă de țesătură, iar rășina semifluidă (poliester) este injectată la o presiune de 5 daN/cm² cu pistonul 6.

Procedeul nu este poluant, întrucât în timpul lucrului nu se degajă vapori nocivi, matrița fiind închisă și este productiv, putând fi automatizat.

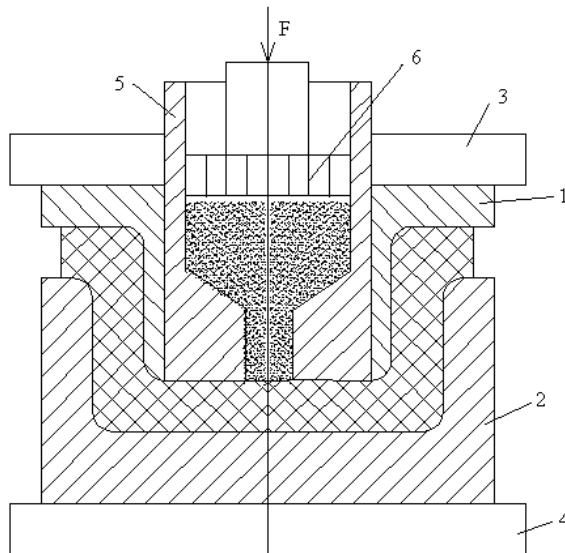


Fig.3.52. Presarea compozitelor cu matrice semifluidă.

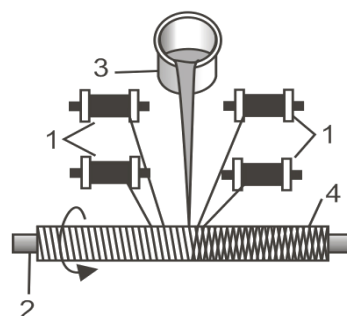


Fig. 3.53. Înfășurarea.

3.5.3.5. Înfășurarea. Înfășurarea este un procedeu tehnologic de obținere a pieselor sau semifabricatelor compozite care constă în rularea materialului de ranforsare (fibre sau țesături de sticlă, grafit, kevlar sau bor) care se desfășoară de pe bobinele 1 (fig. 3.53), pe cilindrul 2, confectionat dintr-un material fuzibil care se elimină la sfârșitul lucrului sau din segmenti demontabili din cauciuc, lemn sau metal. Există trei scheme de înfășurarea: circulară, polară sau elicoidală, iar pentru maximizarea performanțelor produselor se utilizează mai multe bobine cu material de ranforsare. Țesătura de ranforsare este impregnată cu rășina 3, obținându-se piesa 4, cu greutate mică și rezistență mare.

Procedeeul se aplică la fabricarea unor piese de dimensiuni mari: cisterne, conducte, rezervoare sub presiune, pale de elicopter și turbine eoliene, silozuri.

3.6. Alte tipuri de materiale avansate

3.6.1. Materiale magnetice

3.6.1.1. Generalități. Magnetismul a fost descoperit cu 3.500 de ani î.Hr. în China, Egipt și Sumer, fiind consemnat pentru prima dată de Thales din Milet (640-547 î.Hr.). El și-a găsit aplicații practice în prima jumătate a sec. XX (1900: Fe-Si la mașini electrice; 1920: Fe-Ni în telefonie; 1950: ferite în televiziune). Astăzi, magnetismul este indispensabil funcționării unor dispozitive folosite în electrotehnică, automatică, informatică și comunicații.

Materialele magnetice sunt materiale care se pot magnetiza sau pot fi atrase de magneti. Din punctul de vedere al stării de magnetizare, materialele magnetice se împart în: diamagnetice, paramagnetice, feromagnetice, antiferomagnetice și

ferimagnetice.

a) – Materialele diamagnetice au permeabilitate magnetică subunitară și prezintă o magnetizare de sens contrar intensității câmpului magnetic exterior (Cu, Ag, Au, Be, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Pb). În absența câmpului exterior se demagnetizează.

b) – Materialele paramagnetice au o permeabilitate magnetică ușor supraunitară și la introducerea într-un câmp magnetic, prezintă o magnetizare slabă, de același sens cu intensitatea câmpului, fiind atrase către regiunile în care câmpul este mai intens (Al, Pt, Cr, Mn). La fel ca la cele diamagnetice, starea de magnetizare dispare odată cu dispariția câmpului extern.

c) – Materialele feromagnetice au permeabilitate magnetică mare, iar la temperaturi mai mici decât punctul Curie prezintă o magnetizare permanentă. La introducerea într-un câmp magnetic exterior, capătă o magnetizare intensă și de același sens cu a câmpului exterior, iar la depășirea temperaturii Curie se transformă în paramagnetice (Fe, Ni, Co, Gd și aliajele lor).

d) – Materialele antiferomagnetice au atomi sau ioni care prezintă momente magnetice egale și orientate în sensuri opuse, dar nu au o importanță practică deosebită (MnO, FeO, NiO).

e) – Materialele ferimagnetice au subrețele magnetice cu momente opuse (ca cele antiferomagnetice), dar neegale, astfel că rezultanta acestor momente nu este nulă. Sub influența unui câmp magnetic exterior, sunt afectate de o magnetizare spontană, prezentând și avantajul unor pierderi reduse prin curenți turbionari, datorită rezistivității ridicate (ferite cu cobalt și nichel).

3.6.1.2. Clasificarea materialelor magnetice. După modul de comportare în câmpul magnetic există *materiale magnetice moi*, care se magnetizează cu ușurință, dar se și demagnetizează ușor, *materiale magnetice dure*, care se magnetizează greu, dar își mențin proprietățile magnetice timp îndelungat și *materiale magnetice semidure*, care se folosesc pentru înregistrarea magnetică a informațiilor

3.6.1.2.1. Materialele magnetice moi trebuie să aibă inducție remanentă mică, permeabilitate foarte mare, câmp coercitiv mic, inducție la saturație cât mai ridicată, suprafață mică a ciclului histerezis, pierderi mici prin histerezis și curenți turbionari și conductibilitate electrică scăzută. Aceste proprietăți sunt influențate de compoziția chimică, incluziuni, mărimea grăunților, metodele de elaborare, tratamentele termice aplicate și solicitările mecanice la care sunt supuse. Ca urmare, materialele magnetice moi trebuie să aibă o structură omogenă, să nu conțină impurități sau incluziuni, să aibă o granulație mare și să nu prezinte tensiuni interne.

Ca materiale magnetice moi se utilizează:

a) – Fierul. În practică se folosesc mai multe tipuri de fier, cele mai răspândite fiind fierul tehnic pur, fierul electrolitic și fierul carbonil.

Fierul tehnic pur (99,50...99,90) se mai numește fier *Armco* (*American Rolling Mill Co*), fier suedez, fier magnetic sau fier moale și are un conținut redus de impurități. După prelucrări mecanice se recomandă un tratament de recoacere în atmosferă de hidrogen, pentru creșterea permeabilității și micșorarea câmpului

coercitiv. Se folosește la fabricarea miezurilor masive ale circuitelor magnetice care funcționează în curent continuu.

Fierul electrolitic se obține prin electroliză, are o puritate înaintată (99,95%) și se folosește la elaborarea aliajelor aluminiu-nichel (AlNi) sau aluminiu-nichel-cobalt (Alnico) sinterizate, utilizate, la rândul lor, la fabricarea magneților permanenți și a magnetoranelor.

Fierul carbonil are o puritate și mai avansată și este constituit din particule sferice care nu deteriorează izolația tolelor supuse unor presiuni mari, folosindu-se la fabricarea materialelor magnetoizolante. Acestea sunt formate din pulberi de fier carbonil presate cu lianți izolanti și se utilizează, sub formă de bastonașe, ca miezuri în bobinele de înaltă frecvență sau sub formă lichidă, la realizarea ambreiajelor electromagnetice.

b) – Aliajele fier-siliciu sunt utilizate îndeosebi în electrotehnică, având proprietăți magnetice bune și un cost redus. Siliciul contribuie la creșterea rezistivității și reducerea pierderilor prin curenți turbionari. Cu un procent de 6..7% Si s-ar obține un aliaj magnetic ideal, dar conținutul de siliciu nu poate depăși 4,5% în cazul laminării la cald și 3,3 % în cazul laminării la rece, deoarece fragilitatea crește atât de mult încât materialul devine neprelucrabil. În același timp, siliciul determină scăderea conductibilității termice și a inducției la saturație a aliajului.

Aliajele fier-siliciu se utilizează îndeosebi sub formă de table subțiri (pentru reducerea pierderilor prin curenți turbionari), laminate la cald sau la rece. Izolarea tablelor se realizează cu lacuri sintetice, cu hârtie sau cu oxizi ceramici. Ele se folosesc la fabricarea motoarelor, generatoarelor și transformatoarelor electrice.

c) – Aliajele nichel-fier (permeable alloy – permalloy = aliaj permeabil) au o permeabilitate magnetică foarte mare, pierderi magnetice specifice mici și câmp coercitiv mic, fiind cele mai cunoscute materiale magnetice moi. Ele conțin 35...80% Ni și în funcție de conținutul de siliciu și de tratamentul termic aplicat pot fi:

Aliajele cu permeabilitate magnetică mare conțin 76...79% Ni, sunt maleabile și ductile și au o permeabilitate de 10 ori mai mare decât cea a fierului pur. Ele se obțin prin retopire în vid, laminare în foi foarte subțiri și recoaceri în vid sau în atmosferă de hidrogen. Se utilizează în construcția transformatoarelor de măsură, a aparatelor feromagnetice cu repulsie și a ecranelor magnetice.

Aliajele cu ciclu histerezis dreptunghiular conțin 50...65% Ni, se elaborează prin retopire în vid și se prelucrează prin laminare la rece, urmată de o recoacere de recristalizare. Se folosesc în construcția amplificatoarelor magnetice, a dispozitivelor de comutare și calculatoarelor.

Aliajele cu permeabilitate magnetică constantă conțin mai puțin nichel și au permeabilitate scăzută care rămâne constantă în câmpuri magnetice slabe. Au pierderi reduse și se folosesc în construcția aparatelor acustice și a transformatoarelor de măsură.

d) – Aliajele fier-cobalt conțin 35...50% Co și au o inducție mare la saturație. Fiind dure și casante, nu se pot prelucra prin deformare plastică decât

printr-un adaos de 2% vanadiu. Se folosesc la fabricarea membranelor telefonice și a miezurilor pentru electromagneți.

e) – Feritele moi au pierderi foarte mici prin histerezis magnetic și prin curenți Foucault. Ca urmare, se utilizează în construcția antenelor de recepție, a transformatoarelor de impuls sau de putere, la fabricarea capetelor de înregistrare magnetică și a memoriilor calculatoarelor, precum și a radarelor.

După structură, există două tipuri de ferite moi:

- *spinelii* au formula generală AB_2O_4 , unde A este un metal din grupa II A, iar B , un metal din grupa III A. Ei se obțin din magnetit (Fe_3O_4) prin înlocuirea atomilor de fier cu atomii altor elemente (Ni, Mn, Zn, Mg, Li): $MgZnFe_2O_4$, $MnZnFeO_4$, $NiZnFe_2O_4$, $Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$;

- *grenatele* au formula generală $R_3Fe_5O_{12}$, unde R este un lantanid (pământ rar): grenatul de fier și ytriu ($Y_3Fe_5O_{12}$), grenatul de galiu și gadolinu [$Gd_3Ga_2(GaO_4)_3$].

f) – Aliajele termomagnetice sunt soluții solide (Ni-Fe, Ni-Cu, Ni-Fe-Cr, Ni-Si-Fe) cu punctul Curie foarte scăzut (sub 100 °C), a căror permeabilitate crește puternic cu scăderea temperaturii. Ele se folosesc la șuntarea magneților permanenți, ale căror fluxuri cresc odată cu scăderea temperaturii; pentru păstrarea unui flux constant, într-un anumit interval de temperaturi, pe magneți se fixează benzi termomagnetice care compensează erorile de temperatură din aparatele de măsură și control.

g) – Aliajele magnetostrictive (piezoelectrice) se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acțiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acțiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers). Principalele materiale magnetostrictive sunt nichelul, aliajele Ni-Fe, Ni-Co, Co-Fe, Fe-Pt, Fe-Tb, Fe-Eb. Ele se utilizează în construcția generatoarelor de ultrasunete.

În tabelul 3.9 se prezintă caracteristicile unor materiale magnetice moi.

3.6.1.2.2. Materialele magnetice dure își păstrează starea de magnetizare și după dispariția câmpului magnetizant exterior și au cicluri histerezis cu suprafețe mari, câmp coercitiv și inducție remanentă mari și se folosesc la fabricarea magneților permanenți.

Materialele pentru magneți permanenți trebuie să aibă un indice de calitate (produsul dintre inducția B și câmpul magnetic H) cât mai mare, adică histerezisul lor să se apropie cât mai mult de un dreptunghi. Principalele materiale din care se fabrică magneții permanenți sunt oțelurile hipereutectoide, aliajele Alni și Alnico, feritele magnetice dure și pământurile rare.

a) – Oțelurile hipereutectoide martensitice conțin cantități mici de Cr, W, Mo și Co, sunt ieftine, dar au un indice de calitate scăzut și nu sunt rezistente la șocuri, vibrații și variații de temperatură. Fiind fragile, nu se pot prelucra decât prin turnare.

b) – Aliajele Alni și Alnico sunt aliaje cu 6...12% aluminiu, 13...28% nichel, 0...36% cobalt și restul fier. Caracteristicile lor magnetice depind de compoziția chimică, de conținutul de impurități și de tratamentele termice aplicate.

Tabelul 3.9. Caracteristicile materialelor magnetice moi

Nr. crt.	Materialul	Compoziția chimică [%]	Permeabilitatea relativă μ_r	Inducția la saturație B_s [T]	Câmpul magnetic coercitiv H_c [A/m]	Rezistivitatea ρ [$\Omega \cdot m$]	Domenii de utilizare
1	Fier pur	100% Fe	5.000	2,15	80	$10 \cdot 10^{-4}$	Piese polare, relee electromagnetice, membrane telefonice, miezuri de bobine
2	Fe-Si (cu grăunți neorientați)	96% Fe 4% Si	7.000	1,97	40	$60 \cdot 10^{-4}$	Miezuri magnetice pentru transformatoare
3	Fe-Si (cu grăunți orientați)	97% Fe 3% Si	40.000	2,00	8		Miezuri magnetice pentru mașini rotative
4	Permalloy 78	78% Ni 22% Fe	100.000	1,08	4	$16 \cdot 10^{-4}$	Miezuri pentru transformatoare și bobine de șoc
5	Supermalloy	79% Ni; 16% Fe; 5% Mo	1.000.000	0,79	0,16	$65 \cdot 10^{-4}$	Amplificatoare magnetice, transformatoare de impulsuri, traductoare, ecrane magnetice
6	Mu-Metal	77% Ni; 16% Fe; 5% Cu; 2% Cr	100.000	0,65	4	$58 \cdot 10^{-4}$	
7	Mo-Permalloy	78,5 % Ni; 17,7 % Fe; 3,8 % Mo	120.000	0,87	3,2	$60 \cdot 10^{-4}$	
8	Permendur	50% Fe 50% Co	5.000	2,45	160	$28 \cdot 10^{-4}$	Miezuri de electromagneți, difuzoare dinamice, membrane telefonice
9	Perminvar	45% Ni; 25% Co; 23% Fe; 7% Mo	3.800	1,03	200		Miezuri de transformator și bobine de înaltă stabilitate în radiocomunicații
10	Permenorm K ₁	64% Fe 36% Ni	2000	1,30	55	$75 \cdot 10^{-4}$	Transductoare magnetostrictive
11	Alsiifer	85% Fe 9% Si 6% Al	30.000	1,00	4,00	$80 \cdot 10^{-4}$	Ecrane magnetice, carcase pentru mașini și aparate electrice

Astfel, cobaltul mărește inducția la saturație B_s și temperatura Curie, iar nichelul și aluminiul măresc câmpul magnetic coercitiv H_c și scad inducția remanentă B_r .

Tratamentele termice aplicate urmăresc durificarea prin dispersie de fază. Printr-o răcire rapidă de la 1100...1300 °C se împiedică separarea fazelor secundare, obținându-se o soluție solidă suprasaturată de Fe_2NiAl în fier. Se efectuează apoi o recoacere de îmbătrânire, în timpul căreia compusul Fe_2NiAl se precipită sub formă de particule foarte fine, uniform dispersate în masa materialului, ceea ce produce mărirea câmpului magnetic coercitiv H_c prin deformarea rețelei cristaline de bază. Caracteristicile magnetice se pot îmbunătăți și prin aplicarea unor tratamente termomagnetice (răciri în câmpuri magnetice), care conduc la anizotropii pronunțate, datorită formei alungite a particulelor Fe-Co.

Aliajele AlNi (Fe-Ni-Al) sau Alnico (Fe-Ni-Al-Co) se prelucrează prin turnare sau prin metalurgia pulberilor și se utilizează la fabricarea instrumentelor de măsură cu stabilitate termică mare și a captoarelor (dispozitive care transformă semnalele acustice sau optice în semnale electrice: microfoane, celule fotoelectrice).

c) – Feritele dure conțin oxizi de fier (Fe_2O_3) asociați cu bariu și stronțiu, au câmp coercitiv mare, o rezistivitate foarte mare (ceea ce le face utilizabile la frecvențe înalte, cu pierderi mici prin curenți turbionari) și un preț redus. În același timp, au inducție remanentă redusă și nu sunt stabile la variații de temperatură. Tehnologia de fabricație constă în măcinarea constituenților și încălzirea amestecului la 1.200 °C pentru obținerea feritei, măcinarea feritei în prezența apei pentru obținerea unei pulberi foarte fine, de 0,5 μm și compresia pulberii amestecate cu un liant într-un câmp magnetic. În continuare, are loc o sinterizare, la 1200 °C, urmată de o răcire controlată. Magneții astfel obținuți au cel mai bun raport calitate/preț și se folosesc la fabricarea micromotoarelor electrice și a transductoarelor electromecanice (care funcționează pe principiul invers al microfonului, producând sunete din semnale electrice).

d) – Pământurile rare (lantanidele) asigură magneților un indice de calitate superior (fig. 3.54). În mod obișnuit se utilizează: SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ și aliaje Sm-Co-Cu-Fe-Zr. Magneții se obțin fie prin tehnologia menționată la feritele dure, fie printr-un procedeu mai simplu care permite realizarea rapidă a unor magneți cu forme complexe: pulberea de lantanide se mixează cu un polimer și se prelucrează prin injecție, extrudare sau compresiune, obținându-se un produs poros, cu greutate redusă. Magneții ceramici se folosesc în microelectronică și informatică sau la fabricarea servomotoarelor și cuplajelor electromagnetice.

Evoluția istorică a magneților permanenți, în funcție de indicele de calitate maxim $(B \cdot H)_{\text{max}}$ este prezentată în fig. 3.54, iar în tabelul 3.10 se prezintă caracteristicile câtorva materiale magnetice dure.

3.6.1.2.3. Materialele magnetice semidure sunt destinate înregistrării magnetice a informațiilor, fiind materiale la care dependența dintre câmpul magnetic exterior și inducția remanentă este cvasiliniară într-un anumit domeniu. Ele trebuie să aibă un câmp coercitiv și o inducție remanentă cât mai mari, pentru a

împiedica efectul de ștergere a informației prin demagnetizare. Dezvoltarea acestor materiale a luat o amploare deosebită, astfel că astăzi ponderea lor este de circa 80% din totalul materialelor magnetice. Piața lor este în continuă ascensiune, fiind egalată doar de cea a materialelor semiconductoare.

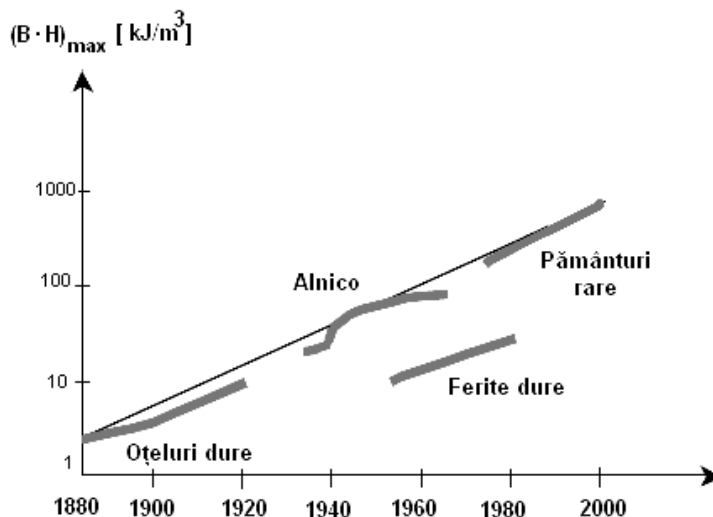


Fig. 3.54. Evoluția istorică a magnetilor.

Înregistrarea și stocarea magnetică a informațiilor se realizează prin depunerea pe un suport din material plastic sau metalic a unor materiale magnetice sub formă de particule fine, amestecate cu rășini epoxidice, realizându-se un strat magnetic de circa 20 μm grosime. Calitatea înregistrării informației depinde de natura materialului magnetic, forma și dimensiunile particulelor și uniformitatea distribuției lor în strat.

Suportii stratului magnetic sunt confecționați din materiale plastice (poli-carbonați) sau metalice (aluminiiu) și se prezintă sub formă de benzi sau discuri. Ca materiale magnetice, se utilizează pulberi de SiFe_2O_3 și CrO_2 , precum și aliaje simple sau complexe: Co-Cr, Ti-Cr, Co-Pt, Co-Pt-Cr, Co-Cr-Ta, Co-Cr-Pt-Ta.

Înregistrarea informației se realizează cu un electromagnet constituit dintr-un miez cu întrefier, pe care se înfășoară o bobină (fig. 3.55).

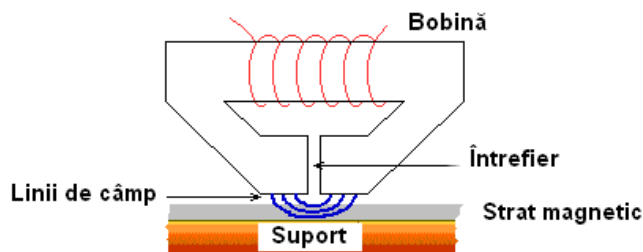


Fig. 3.55. Înregistrarea magnetică a informației.

Tabelul 3.10. Caracteristicile materialelor magnetice dure

Nr. crt	Materialul	Compoziția chimică %	Inducția remanentă B_r [T]	Câmpul magnetic coercitiv H_c [A/m]	Energia magnetică maximă $(B \cdot H)_{max}$ [kJ/m ³]	Domenii de utilizare
1	Oțel carbon călit	1% C; 0,5 % Mn	0,90	4,00	1,60	Inductoare pentru generatoare, elemente de excitație pentru micromașini electrice, macarale electromagnetice, echipamente electronice, aparate de măsură și control
2	Oțel aliat cu Wolfram	0,7% C; 5,7% W; 0,5% Cr; 0,3% Si	1,03	5,60	4,60	
3	Oțel aliat cu cobalt	0,9% C; 35% Co; 5...6%W; 3...6% Cr	0,90	20,00	7,40	
4	Almi 6/2	21,5%Ni; 11%Al; 4%Cu	0,63	20,00	5,57	Mașini electrice rotative, aparate de măsură, captoare, radare, chitare electrice, magnetouri, telefoane, sonerii
5	Almi 8/4	28%Ni; 10%Al; 5%Cu	0,50	35,00	7,96	
6	Alnico 10/5	21%Ni; 15%Co 11%Al; 4%Cu	0,60	50,00	10,00	
7	Alnico 30/4	24% Co; 14% Ni 8,5%Al; 4%Cu	1,15	40,00	31,00	Magneți pentru uși de mobilier, aparate de măsură și control, vitezoetre
8	Alnico 50/6	24% Co; 14% Ni 8%Al; 3%Cu; 0,5% Nb	1,26	56,00	50,00	
9	Koerflex 200	52% Co; 38% Fe, 10%V	1,60	6,00	4,80	
10	Cunife 1	60%Cu; 20%Ni; 20%Fe	0,57	48,00	15,00	Aparate de măsură, relee, amplificatoare magnetice
11	Ferită dură 6/20	BaO 6Fe ₂ O ₃	0,20	116,00	5,60	Micromotoare electrice, transductoare electromecanice
12	Ferită dură 24/23	SrO 6Fe ₂ O ₃	0,36	223,0	23,90	
13	Pământuri rare	SmCo ₅	1,00	750,0	190,00	
14		Nd ₂ Fe ₁₄ B	1,30	950,00	360,00	Microelectronică și informatică, cuplaje magnetice.

Când prin bobină circulă un curent electric, acesta creează un câmp magnetic care, în zona întrefierului, produce magnetizarea stratului aflat pe suport, ceea ce corespunde cu stocarea unei informații audio sau video. Capul de înregistrare inductiv poate fi utilizat și pentru citire, variația câmpului magnetic inducând un curent electric în bobină. De obicei, capetele de citire sunt magnetorezistive, sensibilitatea acestora fiind mult mai mare. În practică, se folosește un dublu-cap, cuplând un cap de înregistrare inductiv cu un cap de citire magnetorezistiv.

Materialele pentru înregistrarea și stocarea magnetică a informațiilor au numeroase aplicații: casete audio și video, carduri bancare, tichete pentru mijloace de transport în comun, dischete, discuri dure și, mai recent, carduri de memorie (fig. 3.56.)



Fig. 3.56. Card de memorie.

3.6.2. Fibre optice

3.6.2.1. Generalități. Fibrele optice sunt fibre de sticlă sau de plastic care conduc lumina de-a lungul lor. Ele se folosesc pe scară largă în domeniul telecomunicațiilor, permițând transmiterea informațiilor pe distanțe lungi și la lățimi de bandă mai mari decât cablurile metalice, față de care au următoarele avantaje: viteza de transmitere a datelor este foarte mare, ajungând la 200.000 km/s; pierderile de semnal sunt foarte scăzute, chiar pentru distanțe mari; insensibilitate la perturbațiile electromagnetice exterioare; posibilitatea montării lor în orice medii (canale, mări și oceane, medii deflagrante, teren înghețat); transmiterea datelor se face digital, adică sub forma naturală a semnalelor de pe calculatoare; rezistență mare la oxidare și coroziune; nu se încălzesc în timpul funcționării (la frecvențe înalte, cablurile de cupru se încălzesc și trebuie răcite); greutatea redusă; cheltuieli de întreținere și exploatare mici. În același timp, ele prezintă și următoarele dezavantaje: tehnologia de fabricație este pretențioasă, materiile prime din care provin – îndeosebi sticla – trebuind să aibă o puritate avansată; sunt fragile și, ca urmare, razele de racord ale cablurilor trebuie să fie mari; nu permit transportul de energie; densitatea de lumină fiind foarte mare, operatorii umani trebuie să-și protejeze ochii cu ochelari speciali, pentru a nu le fi afectată retina; convertoarele de energie electrică/energie luminoasă de la extremități sunt scumpe, iar conexiunile fibrelor de pe traseu sunt pretențioase.

Pe lângă transmiterea datelor, fibrele optice se mai utilizează în endoscopie și spectroscopie sau pot constitui ele însele senzori de măsurare a unor mărimi fizice (tensiune, temperatură, presiune). O fibră optică dopată cu anumite pământuri rare, cum ar fi erbiul, se poate folosi ca mediu de amplificare pentru lasere.

Cunoscut încă din antichitate, fenomenul circulației luminii printr-un cilindru de sticlă a fost studiat în secolul XIX, realizându-se și câteva aplicații: fântâna luminoasă, fotonul, și unele dispozitive simple pentru investigarea cavităților corpului uman. Mai târziu, au fost descoperite gastroscopul semiflexibil

(1956) și endoscopul medical flexibil (1957), iar în 1970 s-a produs prima fibră optică pentru telecomunicații cu pierderi mici de semnal (20 dB/km față de 0,25 dB/km, cât au cele de astăzi). De altfel, în anul 2009 s-a acordat și un Premiu Nobel în fizică pentru realizări remarcabile în transmiterea luminii prin fibre optice cercetătorilor Charles Kao, Willard Boyle și George Smith.

3.6.2.2. Rețele de fibre optice. Semnalele numerice generate de calculator trebuie transformate în semnale optice, ceea ce se realizează cu ajutorul unei perechi de *tranceivere optice* (fig. 3.57). În interiorul acestora, semnalele electrice sunt transformate în impulsuri optice de către o diodă electroluminescentă și citite de un fototranzistor sau o fotodiodă. Pentru a transmite cât mai multe informații, se folosesc mai multe semnale numerice, cu aceeași viteză de modulare, dar cu lungimi de undă diferite. Pentru aceasta, se folosesc mai multe emițătoare care transmit semnalele luminoase unui multiplexor (fig. 3.58). Acesta concentrează semnalele luminoase primite de la emițătoare și le transmite fibrei optice. Pentru compensarea pierderilor de semnal, pe traseul fibrei optice se montează amplificatoare. La capătul traseului vom avea un demultiplexor care separă semnalele luminoase, în funcție de lungimea de undă, și le transmite receptoarelor finale.

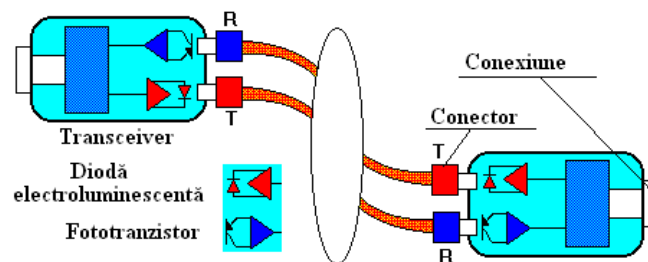


Fig. 3.57. Schema unui transceiver optic.

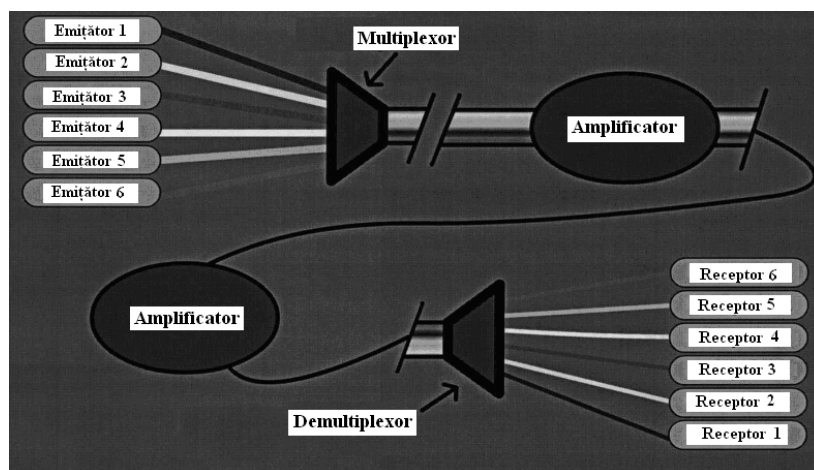


Fig. 3.58. Rețea de fibre optice.

3.6.2.3. Tipuri de fibre optice. Fibra optică este un mediu optic transparent care transmite lumina de-a lungul axei sale printr-o reflexie internă totală. Fibrele optice sunt încorporate în cabluri care le asigură protecție mecanică și chimică. Principiul lor este prezentat în fig. 3.59. Miezul fibrei are un indice de refracție (raportul dintre viteza luminii în vid și viteza luminii prin fibra optică) mai mare decât cel al tecii, astfel că raza de lumină va fi permanent reflectată de suprafața de separație a celor două materiale, propagându-se în zigzag. De obicei, indicele de refracție al miezului este 1,46, iar al tecii 1,48 (indicele de refracție al vidului este 1). Semnalul din fibra optică va circula cu 200.000 km/s, înconjurând Pământul, pe la ecuator, de cinci ori într-o secundă!

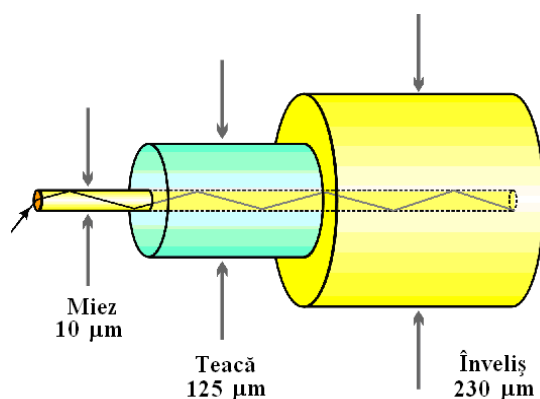


Fig. 3.59. Principiul fibrei optice.

Miezul este confecționat din cuarț foarte pur, dopat cu germaniu și fosfor (pentru creșterea indicelui de refracție), iar teaca, tot din cuarț, dar dopat cu bor și fluor (pentru micșorarea indicelui de refracție). Miezul și teaca sunt protejate de un înveliș exterior din material plastic. Sute sau chiar mii de astfel de fibre optice sunt aranjate sub formă de snopi, formând un cablu optic, protejat și el de o îmbrăcăminte rezistentă la agenții exteriori.

În funcție de diametrul miezului și de lungimea de undă folosită, fibrele optice sunt de două feluri: multimodale și unimodale (fig. 3.60).

a) – Fibrele multimodale sunt primele apărute pe piață și asigură transportul concomitent al mai multor fascicule luminoase (până la 680), având diametrul miezului mai mare de 10 μm . Din cauza atenuării fasciculului de lumină în timpul propagării, ca urmare a reflexiei la limita de separare miez-teacă, se folosesc numai pentru debite mici și distanțe scurte.

Fibrele multimodale sunt de două feluri:

- *fibrele multimodale cu salt de indice* conduc razele de lumină de-a lungul miezului fibrei prin reflexie internă totală. Razele care ajung la suprafața de contact miez-teacă sub un unghi mai mare decât unghiul critic (unghiul minim pentru reflexia internă totală) sunt complet reflectate, iar cele care ajung sub un unghi mai mic decât cel critic sunt refractate din miez în teacă și nu mai transmit lumina (informația) de-a lungul fibrei;

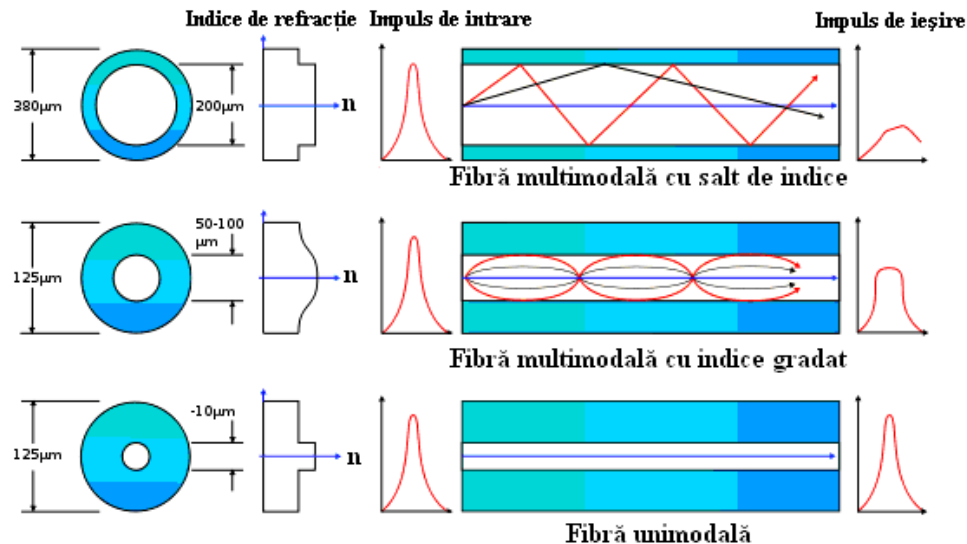


Fig. 3.60. Tipuri de fibră optică.

- *fibrelle multimodale cu indice gradat (cu gradient de indice)* au un indice de refracție al miezului care scade treptat de la un centru către periferie, ceea ce face ca transmiterea luminii să se facă prin unde sinusoidale și pierderile să fie mai mici. Razele cu unghiuri mai mari trec mai mult prin zonele periferice ale miezului, care au indici de refracție mai mici, și nu prin centrul cu indici de refracție mari. Profilul indicelui de refracție este astfel ales încât să minimizeze diferența de viteză de propagare a diverselor raze din fibră. Profilul ideal este foarte apropiat de o relație parabolică între indicii de refracție și distanța față de axa miezului. Ca urmare, diametrul miezului este mai mic, dar execuția sa este mai pretențioasă, fiind alcătuit din straturi succesive, cu indici de refracție care scad de la centru spre periferie.

b) – Fibrele unimodale au apărut ulterior, având diametrul miezului sub 10 μm , astfel că transmiterea semnalului luminos se face liniar, de-a lungul axei miezului. Semnalul luminos este generat de un laser, ceea ce mărește prețul rețelei, dar acest dezavantaj este înlăturat de posibilitatea transmiterii informațiilor pe distanțe foarte mari, chiar intercontinentale, cu pierderi foarte mici de semnal. Desigur, în rețea sunt montate și amplificatoare optice.

3.6.2.4. Fabricarea fibrelor optice. În practică, există trei categorii de materiale pentru fabricarea fibrelor optice: bioxid de siliciu pur și amestecuri ale acestuia cu alți oxizi, în cantități mici, numiți dopanți; sticle compozite; materiale plastice. Cele mai utilizate sunt primele două, granița dintre ele fiind greu de precizat. Atât cuarțul pur, cât și sticla compozită au o structură amorfă, sunt anizotrope și se pot trage în fire din stare vâscoasă. Prima etapă în procesul de fabricare a fibrelor optice din aceste materiale o constituie obținerea unei preforme din cuarț foarte pur, sub formă de cilindru, cu diametrul de circa 10 cm și lungimea de 1 m. Există mai multe metode de obținere a preformelor, cea mai cunoscută

fiind metoda cu modificarea chimică a vaporilor condensați (MCVD – Modified Chemical Vapor Deposition) (fig. 3.61). Oxigenul este barbotat în soluții de SiCl_4 , POCl_3 , GeCl_4 și BBr_3 , iar amestecul de gaze este condus într-un tub de cuarț montat pe un strung special. Elementele dopante (Si, Ge, P, B) vor conferi viitoarei fibre optice proprietățile dorite (indice de refracție, coeficient de dilatare, temperatură de topire etc.). Tubul de cuarț este rotit pe strung și încălzit cu un arzător cu flacără de gaze, formându-se oxizi ai elementelor dopante care fuzionează cu tubul de cuarț și obținându-se un tub de sticlă placat la interior. Obținerea preformei durează câteva ore, procesul de dozare a amestecului de gaze și de injectare a debitului, fiind controlate automat. Preforma astfel obținută este supusă unui control de calitate, măsurându-se, în principal, indicele de refracție.

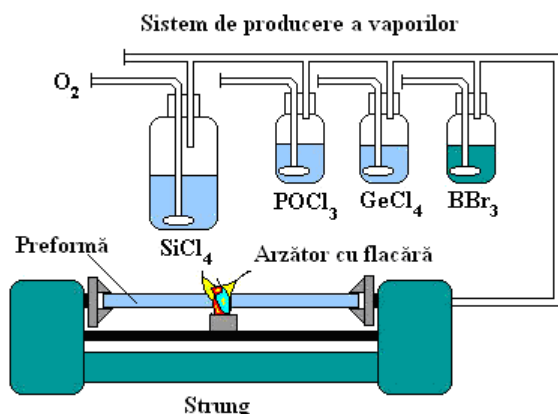


Fig. 3.61. Procedul MCVD de obținere a preformei.

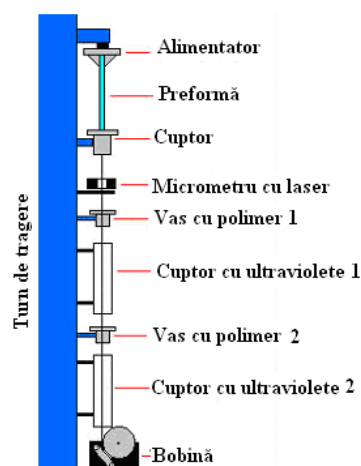


Fig. 3.62. Turn de tragere.

În continuare, preforma este transferată într-un *turn de tragere*, cu înălțimea de circa 15 m unde, dintr-un cilindru cu diametrul de 10 cm și lungimea de 1 m, se obține o fibră optică unimodală cu lungimea de 150 km (fig. 3.62). Preforma este fixată într-un alimentator care asigură avansul acesteia, în mod controlat, în zona în care are loc încălzirea materialului, la 1900...2200 °C. Sursa de căldură poate fi un cuptor electric cu rezistențe de grafit sau cu inducție, arzătoare cu oxigen și hidrogen sau un laser cu CO_2 , utilizarea fiecăreia din aceste surse prezentând atât avantaje, cât și dezavantaje. O condiție foarte importantă este ca incinta de încălzire să fie foarte curată, pentru a preveni impurificarea materialului optic. Menținerea temperaturii la valoarea prescrisă se realizează cu ajutorul unui pirometru optic sau al unui termocuplu.

Temperatura la care se încălzește materialul trebuie să asigure înmuierea acestuia până când vâscozitatea lui să permită tragerea în fibre. Viteza de tragere este de 0,5...1,5 m/s, iar lungimea fibrelor poate ajunge până la 300 km. Pe traiectul dintre zona de tragere și bobina de înfășurare, diametrul fibrei și abaterile de formă ale secțiunii sale transversale, se controlează continuu cu un micrometru

cu laser. Dacă se constată abateri mai mari de 0,1%, sistemul de reglare modifică viteza de tragere. Echipamentul de tragere a fibrei mai include vase cu polimeri în stare lichidă și cuptoare de încălzire cu raze ultraviolete pentru polimerizarea rășinii sintetice. Acoperirea cu polimer a fibrei are rolul de a asigura protecția acesteia la acțiunea mecanică și chimică a mediului înconjurător.

Fibrele optice sunt supuse apoi unui control sever privind rezistența la tracțiune, indicele de refracție, diametrul și grosimea stratului de protecție, coeficientul de atenuare a semnalului optic, capacitatea de transport a informațiilor, dispersia cromatică, temperatura de lucru, rezistența la umiditate, influența temperaturii asupra atenuării semnalului optic și capacitatea de a transmite semnale luminoase sub apă.

După trecerea acestor teste severe, fibrele optice se montează în cabluri care le asigură protecție mecanică și chimică. Un astfel de cablu (fig. 3.63) are o inimă de oțel care constituie elementul de rezistență mecanică, în jurul căreia se montează fibrele optice, precum și mai multe teci de protecție la acțiunea mediului în care se va afla cablul de fibre optice.

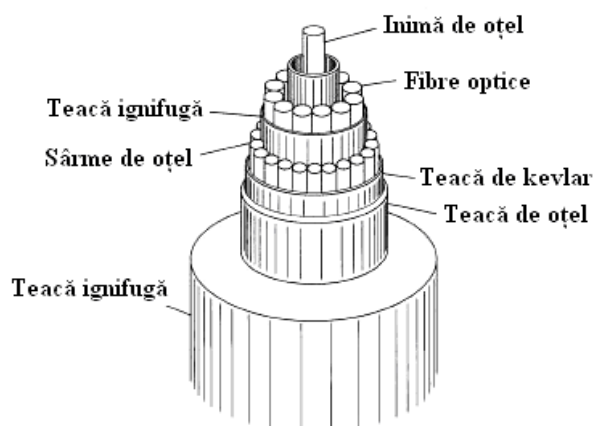


Fig. 3.63. Cablu de fibre optice.

Pe lângă fibrele optice din sticlă prezentate mai sus, care se utilizează pentru distanțe lungi, există și fibre optice din material plastic (POF). Acestea sunt mult mai ieftine, se prelucrează la temperaturi joase și se conectează ușor, dar au caracteristici optice net inferioare în raport cu cele ale sticlei. Ele se folosesc numai pentru transmisii la distanțe mici (100...200 m). Ca materii prime se folosesc polimetacrilatul (PMMA) și anumiți polimeri fluorizați. Miezu fibrei are un diametru de circa 100 de ori mai mare decât în cazul sticlei, dar fragilitatea sa este mult mai scăzută.

3.6.2.5. Aplicațiile fibrelor optice. Aplicațiile fibrelor optice sunt numeroase, cele mai importante vizând următoarele domenii:

a) – Telecomunicațiile utilizează fibre optice atât pentru distanțe scurte, cât și pentru distanțe lungi. Pe distanțe scurte, cum ar fi rețeaua unei clădiri, fibrele

optice economisesc spațiu în conductele de cablu, deoarece o singură fibră poate transporta mai multe date decât un cablu electric. Fibrele optice sunt imune la interferențele electrice și electromagnetice, ele constituind o soluție bună pentru protejarea echipamentelor de comunicații aflate în medii de înaltă tensiune, cum ar fi centralele electrice sau structurile metalice vulnerabile la trăsnet. Ele se pot utiliza și în medii explozive, fără nici un pericol.

Fibrele optice sunt deosebit de avantajoase pentru distanțe lungi, unde debitul și viteza de transmitere sunt foarte mari, cu pierderi mici pe parcurs. Oceanul planetar este străbătut de rețele de telecomunicații prin fibre optice unimodale care leagă toate țările și continentele.

b) – Senzorii cu fibră optică se folosesc la măsurarea tensiunii, temperaturii, presiunii, forței și a altor mărimi fizice care modelează intensitatea, faza, polarizarea, lungimea de undă sau durata de trecere a luminii. Ei pot fi intrinseci (sunt ei înșiși fibre optice) sau extrinseci. Senzorii extrinseci utilizează fibrele optice pentru a conecta un senzor de un alt tip la sistemul de măsurare. Un avantaj major al senzorilor extrinseci este posibilitatea ajungerii în locuri altfel inaccesibile, cum ar fi măsurarea temperaturii din interiorul motoarelor cu reacție ale avioanelor, cu o fibră care transmite semnale unui piometru aflat în afara motorului. De asemenea, pot fi utilizați în același fel, pentru măsurarea temperaturii interne a transformatoarelor electrice, unde câmpurile electromagnetice puternice fac imposibilă folosirea altor tehnici de măsurare.

c) – Medicina folosește fibrele optice în endoscopie și chirurgie. Endoscopia este o metodă de examinare pe viu a unui organ cavităar sau tubular cu ajutorul fibrelor optice care transportă lumina în interiorul corpului. Această lumină este reflectată de organele interne și captată de alte fibre optice care o dirijează către un sistem video, fiind astfel posibilă o vedere de ansamblu și de foarte bună calitate a unor organe interne (gastroscopie, bronhoscopie, rectoscopie).

Chirurgia asociată cu un fascicul laser este o metodă mai puțin invazivă și periculoasă decât cea clasică, folosindu-se la pulverizarea calculilor renali sau biliari, la extirparea unor tumori sau la operații pe retină. Întrucât ea nu necesită decât o anestezie locală, pacientul este internat pentru o perioadă foarte scurtă de timp, ceea ce asigură multiple economii.

d) – Alte aplicații ale fibrelor optice se referă la iluminatul muzeelor și la amenajarea spațiilor de agrement public și domestic (bazine, piscine, fântâni). Fibrele optice se mai folosesc la iluminarea instrumentelor de măsură și control. Un sistem optic poate încorpora mai multe instrumente care, de obicei, se iluminează separat, folosind becuri cu incandescență. Un cablu optic poate diviza fasciculul de lumină cu ajutorul fibrelor, fiecare fibră asigurând iluminarea unui instrument.

În spectrometrie, cablurile de fibre optice sunt utilizate pentru a transmite lumina de la un spectrometru la o substanță care nu se poate introduce în interiorul acestuia, pentru a i se analiza compoziția. Spectrometrul va analiza substanțele trecând lumină prin ele și recepționând lumina reflectată de ele, exact ca endoscopul. Se poate astfel determina compoziția chimică a unor obiecte voluminoase, precum și a unor gaze aflate în vase sub presiune, chiar în timpul reacțiilor chimice.

Alte aplicații ale fibrelor optice se referă la panourile de informare, semnalizarea rutieră și de orientare, balizare și la fabricarea captoarelor și giroscopelor.

În concluzie, fibrele optice reprezintă cel mai bun mijloc de transport pe orice distanță a unor debite mari de informații, cu pierderi minime la sosire. Telefonie, radioul, televiziunea, internetul și alți operatori de date informatice vor folosi o singură conexiune, cu costuri mai mici și o calitate mai bună a transmisiilor.

3.6.3. Betoane avansate

3.6.3.1. Generalități. Betonul este produsul industrial cel mai folosit în lume, fiecărui locuitor revenindu-i peste un metru cub de beton pe an. Cementul, unul din principalii componenți ai betonului, este și un important poluator al mediului, cu circa 7% emisii de CO₂, care provin din arderea combustibililor fosili în fabricile de producere. Pentru reducerea emisiilor de CO₂ în atmosferă, marii producători de ciment încearcă înlocuirea clincherului cu alți componenți care nu reclamă calcinarea (tufuri vulcanice, zgură de furnal, cenușă de la termocentralele pe cărbune).

Pornind de la aceste considerente, cercetătorii din domeniu și-au pus și problema creșterii durabilității betonului, pentru realizarea unor construcții care să dureze mai mult și care să conducă la o raționalizare a consumului de beton. Așa au apărut *betoanele avansate* care răspund acestor nevoi, dar care au și unele proprietăți pe care betonul obișnuit nu le are.

3.6.3.2. Betonul autonivelant a fost inventat în 1978 în SUA, sub denumirea de ARDEX K 15, fiind un beton foarte fluid, obținut prin mărirea cantității de nisip fin și ciment și adăugarea de fibre acrilice, rășini sintetice și aditivi. Contrar aparențelor, cantitatea de apă necesară preparării lui este mai mică decât în cazul betonului clasic. El se poate turna peste orice substrat (beton obișnuit, cărămizi, lemn, ceramică), umple toate interstițiile și curge ca un lichid, având o suprafață perfect orizontală, după principiul vaselor comunicante. Suprafața sa este netedă, putând fi colorată cu pigmenți minerali de diferite culori.

Rezistența la compresiune a betonului autonivelant este similară sau superioară față de cea a betonului clasic, etanșeitatea foarte bună, iar durabilitatea ridicată. Un alt avantaj al său constă în faptul că în timpul turnării nu trebuie vibrat, înlăturându-se astfel pericolul încorporării unor bule de aer, precum și zgomotul produs de vibratoare. Este rezistent la sare, la îngheț, la șocuri termice, la acțiunea agenților chimici și este ușor de întreținut.

Pentru o bună aderență la substrat, este necesară folosirea unei amorse specifice. Grosimea stratului de beton autonivelant este de 5...10 mm. El se folosește atât pentru suprafețe exterioare, cât și pentru suprafețe interioare (terase, holuri de intrare, spații comerciale, recepții de hoteluri, birouri, restaurante), singurele sale dezavantaje fiind prețul (circa 100 Euro/m³) și puținele firme care îl produc.

3.6.3.3. Betonul decorativ reprezintă o inovare eficientă care ușurează amenajarea și decorarea oricărui spațiu, public sau privat, și care este compatibil cu orice proiect de construcție. Din această categorie fac parte *betonul amprentat* și *betonul superfinisat*.

a) – Betonul amprentat (imprimat) este un material de construcție compozit, obținut printr-o tehnologie specială, care conține agregate, ciment, coloranți, aditivi, fibre elastice și apă, fiind pus în operă prin imprimare cu ajutorul unor matrițe care copiază aspectul și forma pietrelor naturale, cărămidilor, granitului, lemnului sau ale altor texturi naturale sau imaginare. Apărut în anii 1970, astăzi este în mare vogă, în toată lumea.

Peste pământul tasat (fig. 3.64) se așază un strat de agregate de 5...10 cm grosime, pentru stabilitate și ruperea capilarității și apoi o folie groasă de polietilenă și un strat de beton obișnuit (B 350), cu grosimea de 10..15 cm, aditivat cu fibre din material plastic, pentru creșterea elasticității și a rezistenței la ciclurile de îngheț-dezgheț. După nivelare, suprafața betonului se impregnează cu un strat foarte dur de colorant-întăritor, format dintr-o mixtură de ciment, agregate dure, aditivi și pigmenți stabili la razele ultraviolete. În continuare, se mai aplică un strat de pulbere pentru obținerea efectului de învechire și un praf decofrant. Amprentarea sau imprimarea se realizează cu matrițe special concepute pentru a obține diferite forme în beton și a oferi suprafeței finale un aspect omogen. După spălarea pavajului, pe suprafața acestuia se aplică un lac acrilic care, după uscare, asigură betonului o protecție sigură la acțiunea apei și a razelor ultraviolete.

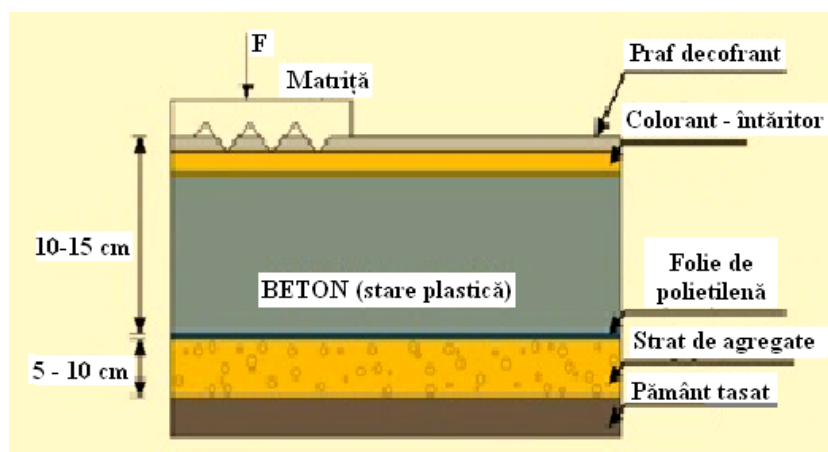


Fig. 3.64. Obținerea betonului amprentat.

Pavajul astfel obținut (fig. 3.65) reprezintă soluția ideală pentru amenajarea durabilă și estetică a spațiilor din curțile interioare, a aleilor, garajelor, teraselor, zonelor din imediata apropiere a piscinelor, dar și a spațiilor largi precum trotuarele, drumurile din zonele rezidențiale, piețe, parcuri sau stații de carburanți. El prezintă următoarele avantaje: rezistență mare la compresiune; o foarte mare durabilitate și rezistență la ciclurile de îngheț-dezgheț și la acțiunea razelor ultraviolete; nu se scufundă și nu se deformează, spre deosebire de pietriș, asphalt sau pavaj; este foarte rezistent la abraziune; asigură un design personalizat, printr-o gamă largă de modele și culori. Dezavantajele sale constau într-un cost mai ridicat și o tehnologie de execuție mai complexă.



Fig. 3.65. Beton amprentat.

b) – Betonul superfinisat (elicopterizat) este un beton cu rezistență abrazivă și duritate mari, folosit la pardoselile industriale cu trafic intens (fig. 3.66). Peste stratul de beton proaspăt se toarnă încă un strat de beton compus din agregate minerale (cuarț, corindon, bazalt), ciment, pigmenți colorați și aditivi. După aplicarea întăritorului pe suprafața proaspătă se va recurge, printr-un sistem mecanic, la încorporarea întăritorului în beton, conferindu-i acestuia duritate și rezistență la uzură. Ca aditivi se folosesc fibre de polipropilenă care împiedică apariția microfisurilor în beton, făcându-l impermeabil.



Fig. 3.66. Beton superfinisat.

Denumirea de *beton helicopterizat* vine de la mașina de încorporat și lustruit folosită (fig. 3.67), care are niște pale asemănătoare celor de elicopter. Betonul

astfel finisat are o rezistență mare la uzură, un nivel ridicat de reflexie a luminii (mărește intensitatea luminii ambientale cu 30%), se întreține ușor, poate fi colorat în funcție de preferință și nu are puncte slabe, rezistența și alte proprietăți fiind aceleași în toată masa lui. El se recomandă în zonele cu trafic intens: hale industriale, fabrici, depozite, hangare, piețe, centre comerciale, stații de carburanți, spălătorii de mașini și muzee.



Fig. 3.67. Mașină de superfinisat betonul.

3.6.3.4. Betonul cu fibre este un material compozit ranforsat cu fibre scurte repartizate uniform și orientate aleatoriu. Suprafața rugoasă a fibrelor asigură legături optime în toate tipurile de beton. Rezistența la compresiune a acestor betoane este de circa 6 ori mai mare decât a unui beton obișnuit (fig. 3.68).

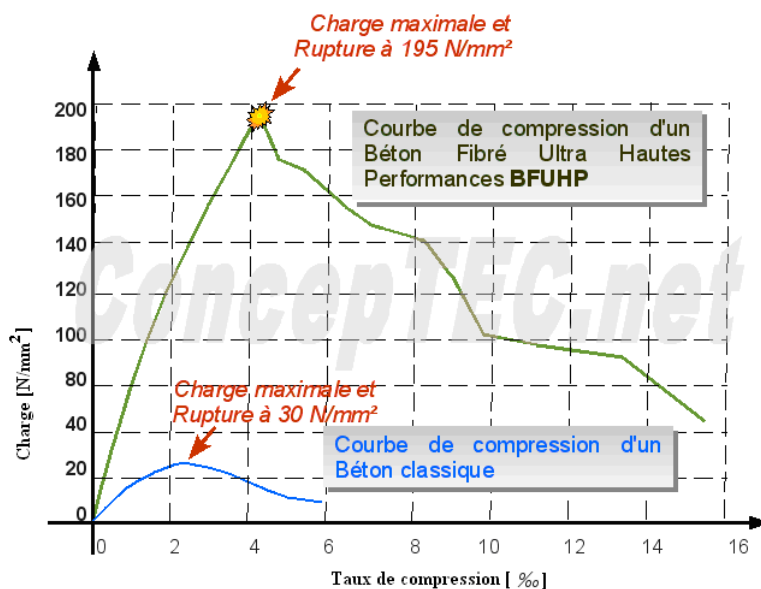


Fig. 3.68. Rezistența la compresiune a betoanelor obișnuit și cu fibre.
[Sursa: ConcepTEC.net/171]

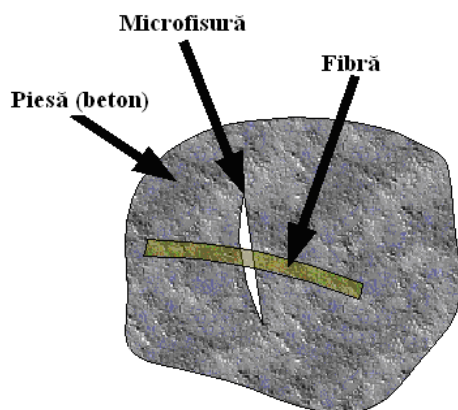


Fig. 3.69. Beton cu fibre.

După natura lor, fibrele pentru armarea betonului pot fi de sticlă, metalice sau din polimeri. Cele mai răspândite sunt fibrele din polipropilenă, cu lungimi de 6...20 mm și diametre de 16...20 μm . Ele se folosesc îndeosebi pentru evitarea fisurării betonului în timpul întăririi (fig. 3.69), dar și pentru creșterea rezistenței la uzură și a elasticității, precum și pentru reducerea permeabilității betonului. Cantitatea de fibre este de 0,1...3% din volumul betonului. Rezistența la fisurare a betonului crește astfel de circa 500 de ori.

Betonul cu fibre este rezistent la uzură și la ciclurile de îngheț-dezghet și are un modul de elasticitate mai mare cu 20% decât a betonului normal, ceea ce îi conferă rezistență la șocuri mecanice (zgudui, cutremure, bombardamente). Prin utilizarea fibrelor se suplinesc unele adaosuri de compuși chimici care conferă betonului rezistență la întindere și forfecare și accelerarea întăririi. Dacă în cazul betonului armat avem nevoie de 25...30 kg de oțel-beton/ m^3 , în cazul betonului cu fibre este necesar doar 1 kg de fibre de armare, în condițiile creșterii rezistențelor la întindere și încovoiere cu circa 20%. Diferența de costuri este vizibilă. În unele cazuri, fibrele de oțel pot înlocui complet armătura metalică a oțelului-beton.

Aplicațiile practice ale betoanelor cu fibre sunt numeroase: platforme industriale, torcretarea tunelurilor și a galeriilor miniere, construcții industriale din elemente prefabricate, dale carosabile, fundații cu solicitare dinamică, conducte subterane, consolidarea taluzurilor, versanților și a pereților stâncoși, stâlpi structurali, construcții rezistente la solicitări de impact, repararea și consolidarea elementelor de construcție din beton supuse uzurii de natură mecanică sau exploatare îndelungate.

3.6.3.5. Betonul fotocatalitic se bazează pe efectul de fotocataliză, adică pe acțiunea prin care se grăbește o reacție chimică sub influența luminii și a unui catalizator. În timpul reacției, catalizatorul nu se consumă și nu se degradează. Fotocataliza este asemănătoare cu sinteza clorofilei din plante. Utilizând lumina, apa și oxigenul din aer, fotocataliza produce molecule foarte reactive, numite radicali liberi, care descompun unele substanțe organice sau anorganice din atmosferă, uneori nocive, în compuși total inofensivi, prin reacții de oxido-reducere.

Cel mai cunoscut fotocatalizator este TiO_2 , un pigment alb, stabil termodinamic, netoxic și economic. El se introduce în vopsele, sticlă, gresie sau beton, pentru menținerea esteticii fațadelor clădirilor și pentru diminuarea poluării atmosferice. Reacția fotocatalitică are loc la suprafața materialului și se desfășoară în mai multe faze. Prin acțiunea luminii asupra TiO_2 (material semiconductor) se formează electroni liberi care se pot combina cu noxele depuse pe suprafața

betonului sub formă de smog (NO_x , SO_x , gaze de eșapament, fum, formaldehidă, benzen, pesticide, alcooli, viruși, bacterii, polen, acarieni), formând produse mai puțin nocive sau chiar inofensive (sulfati, nitrați, O_2 , CO_2 , H_2O). Aceste produse sunt ușor de îndepărtat de pe suprafața betonului de către prima ploaie care va cădea. Viteza reacției catalitice depinde de intensitatea luminii, de cantitatea de TiO_2 de la suprafața betonului și de durata contactului dintre TiO_2 și smogul depus pe construcție. În general, cantitatea de dioxid de titan încorporată în suprafața betonului este de circa 5% din masa cimentului.

Betonul fotocatalitic a fost inventat în Italia de Grupul Italcementi, în anii 1990, și folosit inițial la ridicarea celebrei Biserici a Jubileului din Roma, inaugurată în 2003 (fig. 3.70).



Fig. 3.70. Biserica Jubileului de la Roma.

Astăzi, mai multe firme din Europa, America de Nord și Japonia îl folosesc atât pentru construirea fațadelor diverselor edificii, cât și pentru pavarea șoselelor și trotuarelor, în vederea reducerii noxelor atmosferice. Testele efectuate în laboratoare au arătat că folosirea materialelor de construcții fotocatalitice (betoane, mortare și vopsele) asigură reducerea poluării cu 20...80%, în funcție de orientarea vântului.

Betonul fotocatalitic este un material de construcție de mare importanță pentru viitor, având în vedere cele două avantaje majore ale sale: este un material estetic care nu trebuie curățat niciodată și în același timp este un depoluant al mediului înconjurător.

3.6.3.6. Betonul conductor (betonul autodejivrant) a fost inventat recent în Canada și se bazează pe principiul *percolării electrice*, conform căruia conductibilitatea electrică a materialelor de ranforsare a betonului crește considerabil dacă se depășește un anumit prag critic. El conține materiale bune conducătoare de electricitate încorporate într-o matrice de beton, astfel încât să se permită trecerea curentului electric. Ca materiale de ranforsare se utilizează fire și așchii de oțel (1,5%), fibre de carbon, grafit și cocs (25% din volumul betonului).

Betonul conductor se poate obține fie prin malaxarea obișnuită a produselor componente, obținându-se un beton cu rezistivitate electrică mare și rezistență la compresiune mică, fie prin infiltrarea pastei de beton în rețeaua de ranforsare, obținându-se un beton cu rezistivitate electrică mică și rezistență la compresiune mare (tabelul 3.11).

Betonul conductor, fiind mai scump, se folosește de obicei la placarea unor structuri din beton obișnuit, dar se poate utiliza și ca atare. El prezintă următoarele avantaje: conductibilitatea electrică este stabilă, indiferent de factorii de mediu; proprietățile mecanice sunt foarte bune; este mai ușor decât betonul clasic cu circa 30%; este compatibil cu betonul clasic, putându-se turna peste acesta; elimină total cheltuielile pentru înlăturarea gheții și zăpezii; se poate produce ușor, fără echipamente speciale; asigură reducerea accidentelor datorate condițiilor meteorologice.

Tabelul 3.11. Proprietățile betonului conductor

Proprietățile betonului	Procedeul de obținere	
	Malaxare obișnuită	Infiltrarea pastei
Rezistivitatea electrică [$\Omega \cdot \text{cm}$]	1-30	0,1-5
Rezistența la compresiune [MPa]	30-50	60-100
Rezistența la încovoiere [MPa]	5-15	10-30
Densitatea [kg/m^3]	1450-1850	2000-2500

Datorită calităților sale, betonul conductor poate avea următoarele aplicații:

- încălzirea electrică a spațiilor exterioare care trebuie dejivate în timpul iernii (parcări, trotuare, alei, poduri rutiere și piste de aeroporturi), alimentarea cu curent făcându-se direct de la rețeaua electrică existentă. În felul acesta se înlătură complet folosirea sării și se oferă o alternativă eficientă și ecologică pentru dejivare;
- încălzirea electrică a spațiilor publice interioare prin planșee, soluție care s-ar putea să fie mai economică decât cea actuală;
- punerea la pământ a instalațiilor electrice pentru protecție împotriva electrocutării sau în caz de trăsnet;
- protecția catodică a structurilor metalice îngropate prin reducerea densității de curent datorită suprafeței mari a betonului, care se poate folosi ca anod secundar;
- protecția echipamentelor informatice civile și militare contra pirătăriei lor, având în vedere faptul că acest beton atenuează circa 90% din energia electromagnetică și undele radio (blindaj electromagnetic sau cușcă Faraday).

Betonul conductor a fost experimentat cu succes în câteva locuri din America de Nord și va fi, cu siguranță, unul din materialele cu mare impact în viitorul apropiat.

3.6.3.7. Betonul translucid a fost inventat în anul 2001 de arhitectul maghiar Áron Losonczy sub denumirea de **LiTraCon** (**Light Transmitting Concrete**) și produs numai de compania acestuia, *LiTraCon Bt*, din Csongrád – Ungaria. Este un beton foarte fin armat cu fibre de sticlă cu plumb (cristal) care intră și ies prin două fețe opuse ale blocului sau panoului de beton. Fibrele de sticlă reprezintă circa 4% din volumul total al blocului și sunt repartizate uniform și paralel sau sub formă de fibre lemnoase în masa betonului, la intervale de 2...5 mm. Materialul este translucid pentru că miile de fibre de sticlă transferă lumina între cele două fețe opuse ale fiecărui bloc de beton (fig. 3.71). Blocurile de beton au dimensiunile de 600×300 mm și grosimea de 25...500 mm, iar fibrele de sticlă au diametre de la 2 μm la 2 mm.



Fig. 3.71. Beton translucid.

Betonul translucid se folosește deja în construcția pereților despărțitori ai clădirilor, asigurând mai multă lumină încăperilor. Posibilele aplicații viitoare ale sale sunt stațiile de metrou, trotuarele iluminate pe timp de noapte sau chiar realizarea unor clădiri, având în vedere faptul că rezistența sa la compresie ajunge la 70 MPa.

3.6.3.8. Alte tipuri de betoane avansate. Betonul-ecran a fost inventat, recent, la prestigioasa școală britanică de arte aplicate și design – Royal College of Art Innovation Unit – sub denumirea de *Chronos Chromos Concrete*. Acest beton are proprietatea de a-și schimba culoarea, afișând cifre, texte sau desene pe suprafața sa (fig. 3.72). El este, de fapt, un beton celular care conține cerneluri



Fig.3.72. Betonul-ecran.

termosensibile și un circuit electric integrat care, la trecerea curentului, încălzește local betonul, producând schimbarea culorii cernelii. Circuitul electric este alcătuit din conductoare de nichel-crom, cu rezistivitate mare.

Acest beton futurist ar putea revoluționa tehnica transmisiilor video, prin realizarea unor ecrane-gigant, de ordinul sutelor de metri pătrați.

Betonul autoreparabil conține fibre tubulare cu diametrul interior de circa $60\ \mu\text{m}$, umplute cu anumite substanțe chimice care se întăresc, în contact cu aerul sau cu

alte substanțe conținute de beton. Astfel, la apariția unei microfisuri în masa betonului, substanța chimică este eliberată din interiorul fibrei, pătrunde în microfisură, se întărește și evită extinderea acesteia.

În ceea ce privește natura substanțelor chimice încorporate în fibrele tubulare, există mai multe rețete, începând cu anumite rășini epoxidice și terminând cu silicatul de sodiu care reacționează cu hidroxidul de calciu, prezent în beton, cu formarea unui gel de silice care se întărește în fisură. În toate cazurile, reacțiile chimice sunt foarte rapide, evitând extinderea fisurilor.

Aplicațiile acestui beton sunt multiple, referindu-se la toate construcțiile importante, dar îndeosebi la poduri și viaducte, care au termene exacte și precise de verificare.

3.6.4. Materiale supraconductoare

3.6.4.1. Generalități. Supraconductibilitatea este un fenomen în care rezistivitatea electrică a unui material tinde spre zero, dacă temperatura sa este mai mică decât o anumită valoare specifică materialului, numită temperatură critică. Sub această temperatură, materialele supraconductoare exclud câmpurile magnetice la care sunt supuse (efectul Meissner), iar rezistența lor electrică scade la zero, permițând circulația curentului electric fără nicio pierdere (fig. 3.73).

Acest fenomen a fost descoperit de fizicianul olandez Heike Kamerlingh Onnes de la Universitatea din Leyda, în anul 1911. Răcind mercurul în heliu lichid, la $4,2\ \text{K}$ ($-269\ ^\circ\text{C}$), a observat că rezistența electrică a mercurului a scăzut brusc la zero. Onnes și-a extins cercetările asupra altor materiale supraconductoare, fiind recompensat cu Premiul Nobel pentru fizică în anul 1913. Istoria supraconductibilității are deci un secol, fiind prezentată în fig. 3.74 și tabelul 3.12. Supraconductibilitatea poate fi anulată de temperatură ($T > T_c$), de efectul câmpurilor magnetice intense ($H > H_c$) și de efectul frecvențelor înalte ($f > 10^{13} \dots 10^{14}\ \text{Hz}$).

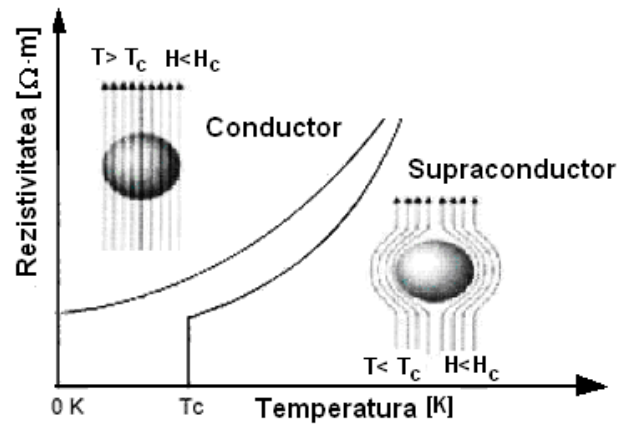


Fig.3.73. Variația rezistivității cu temperatura.

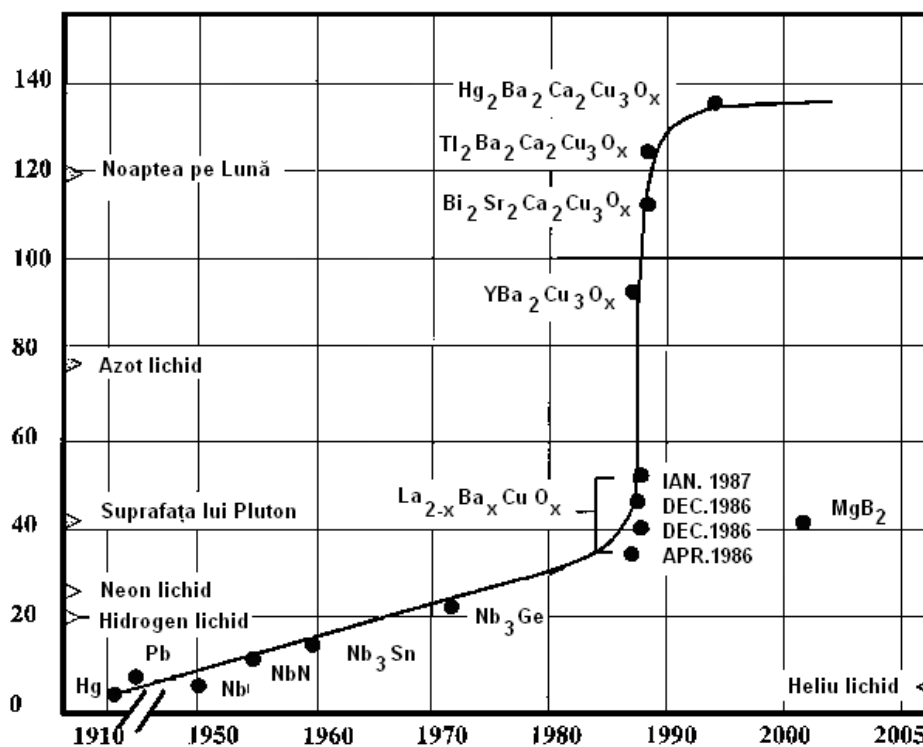


Fig.3.74. Evoluția materialelor supraconductoare.

3.6.4.2. Tipuri de materiale supraconductoare. La ora actuală există câteva mii de tipuri de materiale supraconductoare, numărul acestora fiind în continuă creștere. În funcție de proprietățile și natura lor, acestea pot fi:

Tabelul 3.12. Istoricul materialelor supraconductoare

Anul	Evoluția materialelor supraconductoare
1911	Fizicianul Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), de la Universitatea din Leyda a răcit mercurul la -269°C , constatând că rezistența sa electrică a dispărut. Pentru această descoperire a fost răsplătit cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1913.
1933	Fizicienii germani Fritz Walther Meissner (1882-1974) și Robert Ochsenfeld (1901-1993) au descoperit că materialele supraconductoare (plumb și cositor răcite la o temperatură critică) resping liniile unui flux magnetic exterior, ceea ce se poate constata cu un magnet care stă în stare de levitație deasupra materialului. Curenții electrici de ecranare care circulă la suprafața supraconductorului generează un câmp magnetic care anulează câmpul magnetic aplicat. Acest fenomen se numește <i>efect Meissner sau diamagnetism perfect</i> .
1957	Fizicienii americani John Bardeen (1908-1991), Leon Cooper (n. 1930) și John Schrieffer (n. 1931) au pus bazele teoretice ale supraconductibilității prin <i>teoria BCS</i> (inițialele numelor savanților), pentru care au primit Premiul Nobel pentru fizică (1979). John Bardeen mai primise un astfel de premiu și în 1956 pentru cercetări în domeniul semiconductoarelor.
1962	Fizicianul britanic Brian D. Josephson (n.1940), în timp ce era student în ciclul III de învățământ la Universitatea din Cambridge, a descoperit <i>efectul Josephson</i> (curentul electric curge între două materiale supraconductoare chiar și atunci când acestea sunt separate de un strat izolator), fiind recompensat cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1973, la numai 33 de ani. <i>Efectul Josephson</i> se folosește astăzi la detectarea câmpurilor magnetice foarte slabe.
1979	O echipă formată din cercetătorul danez Klaus Bechgaard (n. 1945), de la Universitatea din Copenhaga și trei francezi (D. Jérôme, A. Mazaud și M. Ribault), a sintetizat primul supraconductor organic $[(\text{TMTSF})_2 \text{PF}_6]$, răcit la 1,2 K (-272°C) și supus unei presiuni înalte.
1986	Fizicienii Alex Müller (n. 1927 în Elveția) și Georg Bednorz (n. 1950 în Germania), cercetători la Laboratorul IBM din Zürich (Elveția) au descoperit ceramica supraconductoare, fiind răsplătiți cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1987.
1987	Descoperirea ceramicii supraconductoare a declanșat o adevărată întrecere între cercetători pentru găsirea unor noi combinații ceramice care să crească temperatura critică. Astfel, cercetătorii Wu Maw-Kuen de la Universitatea Alabama din Huntsville (în prezent, directorul Institutului de Fizică a Academiei Sinice din Taiwan) și Paul Chu de la Universitatea din Houston (n. 1941, în prezent președintele Universității de Știință și Tehnologie din Hong Kong) au înlocuit lantanul și stronțitul din $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, cu ytriu și bariu, obținând un nou material ceramic supraconductor ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$), cu temperatura critică de -181°C , peste cea a azotului lichid ($-195,79^{\circ}\text{C}$) care este un agent de răcire uzual.
1988	Aleen Hermann de la Universitatea din Arkansas a realizat un supraconductor ceramic pe bază de calciu și taliiu cu temperatura critică de -153°C .
1993	Profesorul Ulker Onbasli de la Universitatea din Colorado și cercetătorii A. Schilling, M. Cantoni, J.D. Guo și H.R. Ott de la Laboratorul IBM din Zürich au sintetizat primul supraconductor ceramic din clasa cupraților de mercur, cu formula chimică $(\text{Hg}_{0,8}\text{Tl}_{0,2})\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8,33}$, cu temperatura critică de 138 K (-135°C).

a) – *Supraconductoarele de tipul I* sunt reprezentate de metalele și metaloizii cu conductibilitate electrică medie sau bună, la temperatura mediului

ambiant. Acestea au fost descoperite primele și necesită o temperatură foarte scăzută pentru a deveni supraconductoare și se caracterizează printr-un diamagnetism perfect (tabelul 3.13). Ca o curiozitate, dintre aceste materiale lipsesc argintul, aurul și cuprul, metale cu o foarte bună conductibilitate electrică dar cu rețele cristaline specifice și cu legături strânse între electroni.

Tabelul 3.13. Supraconductoare de tipul I

Elementul	Simbol	Temperatura critică [K]	Elementul	Simbol	Temperatura critică [K]
Carbon	C	15	Zinc	Zn	0,85
Plumb	Pb	7,2	Osmiu	Os	0,66
Lantan	La	4,9	Zirconiu	Zr	0,61
Tantal	Ta	4,47	Americiu	Am	0,60
Mercur	Hg	4,15	Cadmiu	Cd	0,517
Staniu	Sn	3,72	Ruteniu	Ru	0,49
Indiu	In	3,40	Titan	Ti	0,40
Taliu	Tl	1,70	Uranu	U	0,20
Reniu	Re	1,69	Hafniu	Hf	0,128
Protactiniu	Pa	1,40	Iridiu	Ir	0,1125
Toriu	Th	1,38	Lutețiu	Lu	0,100
Aluminiu	Al	1,175	Beriliu	Be	0,026
Galiu	Ga	1,10	Wolfram	W	0,0154
Gadolinu	Gd	1,083	Platină	Pt	0,0019
Molibden	Mo	0,915	Rodiu	Rh	0,000325

b) – Supraconductoarele de tipul II cuprind compuși metalici, aliaje și oxizi ceramici, cu temperaturi mai mari decât ale celor de tipul I. Primul supraconductor de tip II a fost fabricat în 1930 de fizicianul danez W.J. de Haas (1878-1960), fiind un aliaj Pb-Bi, și recunoscut ca atare numai după descoperirea efectului Meissner. Supraconductoarele de tipul II au fost identificate în 1936 de către profesorul L.V. Shubnikov de la Institutul de Fizică și Tehnologie din Harkov (Ucraina), care a constatat două câmpuri magnetice distincte ale aliajului PbTe_2 . Ele se deosebesc de cele de tipul I prin trecerea treptată de la starea de conductibilitate la starea de supraconductibilitate, la cele de tipul I trecerea făcându-se brusc. De asemenea, ele permit o ușoară penetrare a câmpurilor magnetice exterioare în stratul lor superficial, ceea ce generează unele fenomene specifice (benzi supraconductoare și fluxuri turbionare).

Există un număr mare de supraconductoare de tipul II, în tabelul 3.14 fiind prezentate câteva exemple.

c) – Supraconductoarele atipice cuprind alte tipuri de materiale în afara celor metalice sau ceramice, cele mai reprezentative fiind:

■ **Fullerenii** sunt molecule de carbon de formă sferică, elipsoidală sau de nanotuburi. Ei au fost descoperiți în 1985 de H.W. Kroto (n. în 1939, în Anglia), R.F. Curl (n. în 1933, în SUA) și R.E. Smalley (n. în 1943, în SUA), cercetătorii fiind recompensați cu Premiul Nobel pentru chimie, în anul 1996. Foarte răspândiți

Fig. 3.75. Fulleren C₆₀.

pe suprafața Pământului, fullerenii constituie a treia formă alotropică a carbonului, după grafit și diamant. Când au formă sferică, ei se aseamănă cu o minge de fotbal (fig. 3.75), având 60 de atomi de carbon care formează un spațiu închis, de forma unui dom geodezic (poliedru neregulat convex înscris într-o sferă). Domul geodezic a fost inventat de arhitectul și designerul american R.B.Fuller (1895-1983), fiind utilizat prima dată ca pavilion al SUA la Expoziția Universală din 1967 de la Montreal. De la numele acestuia provine și denumirea fullerenilor.

Prin doparea fullerenilor cu atomi ai metalelor alcaline se obțin *fulleride* care, de asemenea, au proprietăți supraconductoare (Na₂Rb_{0,5}Cs_{0,5}C₆₀, Cs₃C₆₀, K₃C₆₀).

Tabelul 3.14 . Supraconductoare de tipul II

Materialul	Temperatura critică [K]	Materialul	Temperatura critică [K]
(Hg _{0,8} Tl _{0,2})Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _{8,33}	138	TlBa ₂ Ca ₃ Cu ₄ O ₁₁	112
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	133-135	Sn ₃ Ba ₄ Tm _{3,6x} CuO	109
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	127-128	Sn ₄ BaTm _{2,4} YCu _{7x} O	104
HgBa ₂ Ca ₃ Cu ₄ O ₁₀₊	125-126	Bi ₂ Sr ₂ (Ca _{0,8} Y _{0,2})Cu ₂ O ₈	95-96
HgBa ₂ (Ca _{1-x} Sr _x)Cu ₂ O ₆₊	123-125	Tl ₂ Ba ₂ CuO ₆	95
(Tl _{0,5} Pb _{0,5})Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₉	118-120	SnInBa ₄ Tm _{4,6x} CuO	87
Sn ₂ B ₂ (Tm _{0,5} Ca _{0,5})Cu ₃ O ₈₊	115	Ga ₂ Sr ₂ CaCu ₄ Y _{5x} O	85
SnInBa ₄ Tm ₃ Cu ₅ O _x	113	La ₂ Ba ₂ CaCu ₅ O ₉₊	79

■ *Supraconductoarele organice* cuprind săruri moleculare, polimeri și borocarbură. Sărurile moleculare sunt substanțe organice [(TMTSF)₂PF₆, (TMTSF)₂ClO₄], numite și *sărurile lui Bechgaard* (după numele danezului care le-a descoperit), care devin supraconductoare la 0,4...12 K. Astăzi se cunosc peste 50 de astfel de substanțe, fără a avea însă aplicații practice. *Borocarburile* au fost descoperite în 1993 de profesorul Robert Cava de la Universitatea Princeton din SUA și sunt combinații ale borului cu carbonul dopate cu atomi de pământuri rare și nichel (YNi₂B₂C_{15,5}K, TmNi₂B₂C₁₁K).

■ *Fermionii grei* sunt compuși ai unor pământuri rare (ceriu sau yterbiu) cu actinide (uraniu) care, la temperaturi joase, capătă proprietăți de supraconductibilitate (CeCu₂Si₂, CeCoIn₅, Al₃Yb_{0,94}, U Pd₂Al₃). Sunt asemănători supraconductoarelor de tip I, dar deocamdată nu au aplicații practice.

■ *Rutenații* sunt oxizi de ruteniu dopați cu atomi ai altor elemente (Sr₂RuO₄, SrYRuO₆, RuSr₂GdCu₂O₈, RuSr₂EuCu₂O₈, RuSr₂SmCu₂O₈), deocamdată neprezentând aplicabilități practice.

3.6.4.3. Fabricarea materialelor supraconductoare. Având în vedere natura materialelor, compoziția lor chimică și proprietățile și formele pe care trebuie să le aibă semifabricatele, prelucrarea supraconductoarelor este un proces dificil, costisitor și de durată, realizându-se prin mai multe procedee.

a) – Fabricarea pastilelor se face prin presarea amestecului de pulberi dintr-o singură parte sau din două părți (vezi fig. 3.27.a,b), cu tratamente termice riguros controlate.

b) – Fabricarea firelor cu intarsii este un proces complex și costisitor și se aplică supraconductoarelor de tipul NbTi sau Nb₃Sn (fig. 3.76). Se începe prin introducerea unor bare hexagonale ale acestor aliaje într-o conductă de cupru, cu diametrul de 100...250 mm, ansamblul fiind apoi decapat într-o baie cu soluție acidă. Conducta se sudează la capete cu capace, iar ansamblul rezultat este presat izostatic într-o cameră cu lichid sub presiune. Urmează o extrudare, o tragere și mai multe trefilări, precum și un tratament termic. După o răsucire și o trefilare finală se realizează fire foarte subțiri cu diametre de 30...100 μm (fig. 3.77). Pornind de la aceste fire, se pot obține, prin răsucire, cabluri supraconductoare obișnuite (fig. 3.78.a) sau late (fig. 3.78.b).

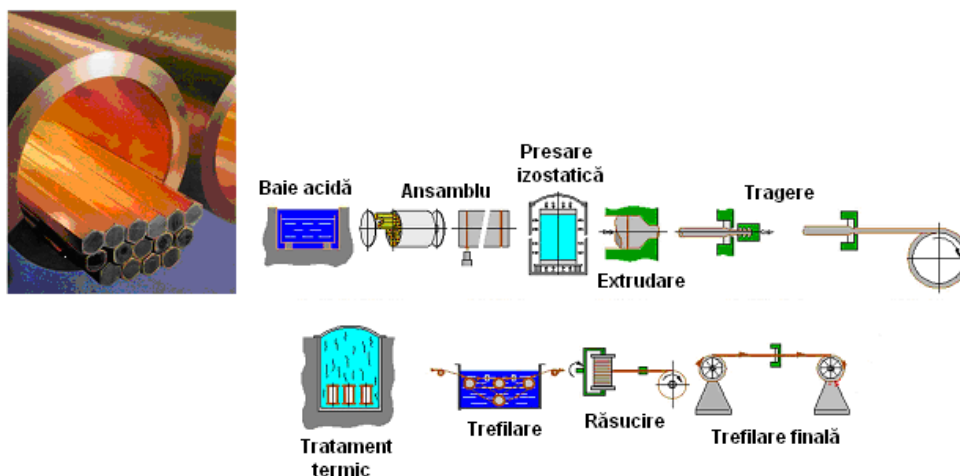


Fig. 3.76. Fabricarea firelor cu intarsii.

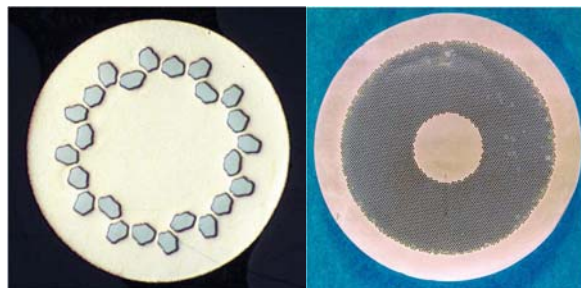


Fig. 3.77. Fire supraconductoare cu intarsii.

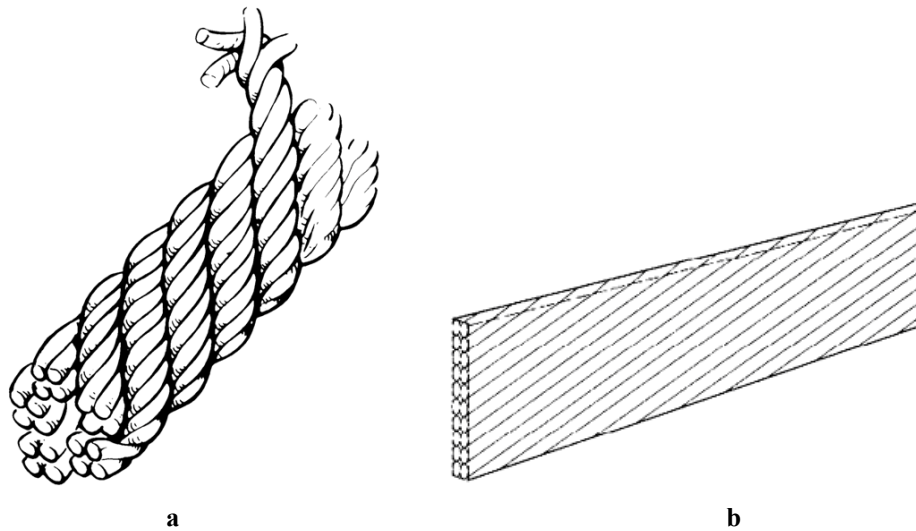


Fig. 3.78. Cabluri supraconductoare.

c) – Fabricarea benzilor se realizează îndeosebi prin depunere chimică de vapori (CVD – Chemical Vapor Deposition). Procedul constă în evaporarea materialului ce urmează a se depune pe un substrat, într-o cameră vidată, cu ajutorul unor impulsuri scurte de energie, de obicei un laser pulsator (fig. 3.79). Impulsul laser cu o durată de 10...40 μ s este focalizat asupra țintei, vaporizând atomii superficiali și formând un jet de plasmă care conduce acești atomi asupra substratului pe care se condensează. Se formează, astfel, un strat subțire cu grăunți orientați aleatoriu (fig. 3.80.a) sau după două direcții (fig.3.80.b).

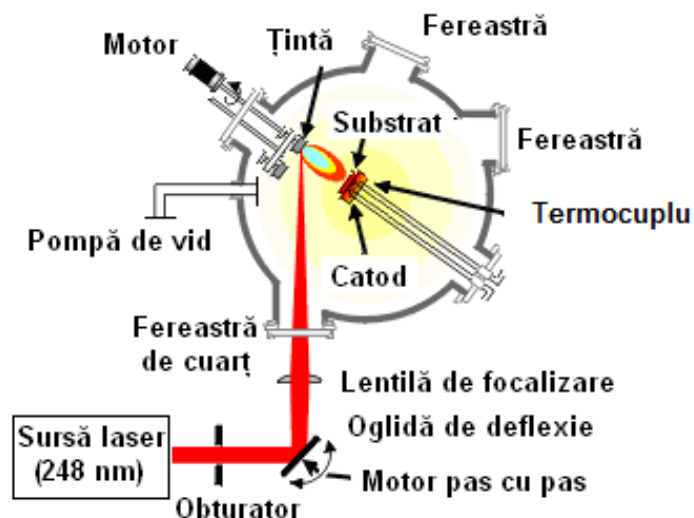


Fig. 3.79. Depunere chimică de vapori cu laser pulsator.

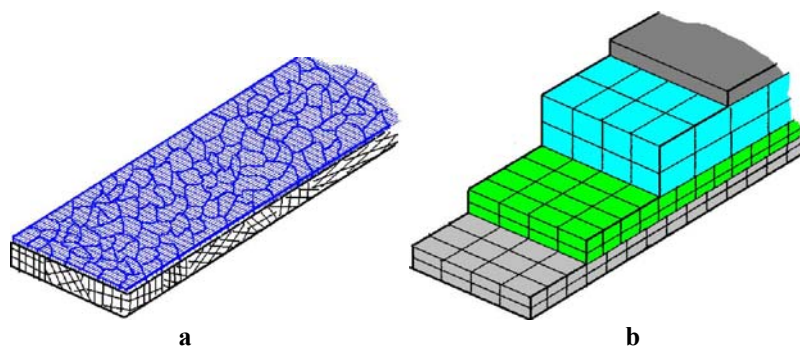


Fig. 3.80. Arhitectura stratului depus.

Condiția realizării depunerii este ca procesul să se desfășoare în vid. Fenomenul este încă insuficient cunoscut, în laboratoarele de specialitate făcându-se cercetări legate de natura materialului-țintă, energia laserului pulsator, distanța de la țintă la substrat, natura materialului substratului și viteza lui de deplasare. Procedul este recomandat în cazul materialelor ceramice, care nu se pot depune prin alte metode.

Schema de principiu a fabricării benzilor prin depunere chimică de vapori este prezentată în fig. 3.81.

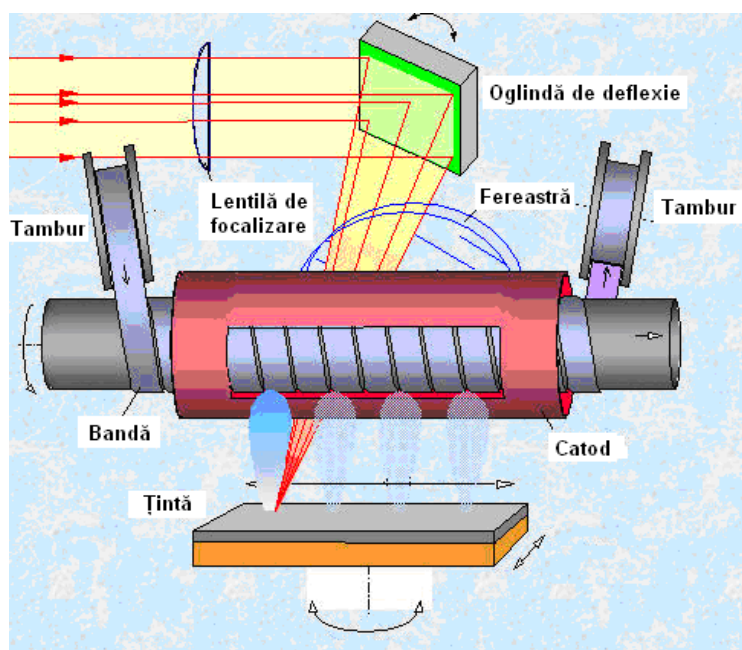


Fig. 3.81. Fabricarea benzilor supraconductoare.

3.6.4.4. Aplicațiile materialelor supraconductoare. Multă vreme, visul cercetătorilor a fost descoperirea unor supraconductoare la temperatura azotului

lichid, ceea ce s-a realizat în 1987. Astăzi, există mai multe tipuri de materiale supraconductoare cu temperaturi critice ridicate, cu multiple aplicații practice.

a) – Aplicațiile medicale se referă la *imageria prin rezonanță magnetică* (IRM) și la *rezonanța magnetică nucleară* (RMN). Imageria prin rezonanță magnetică (IRM) a apărut prin anii 1990 și se bazează pe faptul că atomii de hidrogen din corpurile vii reemit energia acumulată prin inducția unui câmp magnetic puternic cu frecvență vibratorie, energia reemisă putând fi detectată și monitorizată (fig. 3.82). Inducția magnetică de 0,5...4 T se obține cu ajutorul unui magnet supraconductor răcit la 80 K (-193°C), cu ajutorul azotului lichid. Un electromagnet obișnuit ar avea nevoie de o putere de sute de kilowați pentru a produce inducția magnetică necesară. Supraconductibilitatea se utilizează atât pentru inducerea câmpului magnetic, cât și pentru detectarea undelor electromagnetice emise de organele interne ale corpului uman.



Fig. 3.82. Imagerie prin rezonanță magnetică.

Rezonanța magnetică nucleară (RMN) se bazează pe un principiu asemănător. Ea necesită două câmpuri magnetice perpendiculare, unul de înaltă frecvență, celălalt continuu, sub efectul cărora atomii de hidrogen din corpurile vii emit semnale care pot fi detectate. Intensitatea câmpului magnetic trebuie să fie de 7...13 T, putându-se obține numai cu magneți supraconductori.

b) – Stocarea energiei electrice se face într-o bobină supraconductoare de dimensiuni mari, răcită cu heliu lichid (fig. 3.83). Sistemul cuprinde bobina supraconductoare, echipamentul de comutare și instalația de asigurare a temperaturii scăzute, fiind cunoscut sub denumirea de *procedeul SMES* (Supraconductor Magnetic Energy Storage). El se poate utiliza pe lângă toate instalațiile de producere a energiei electrice (eoliene, nucleare, termocentrale, hidrocentrale), înmagazinând energia, atunci când ea nu este consumată, sub formă de energie magnetică, și cedând-o atunci când este nevoie de ea.

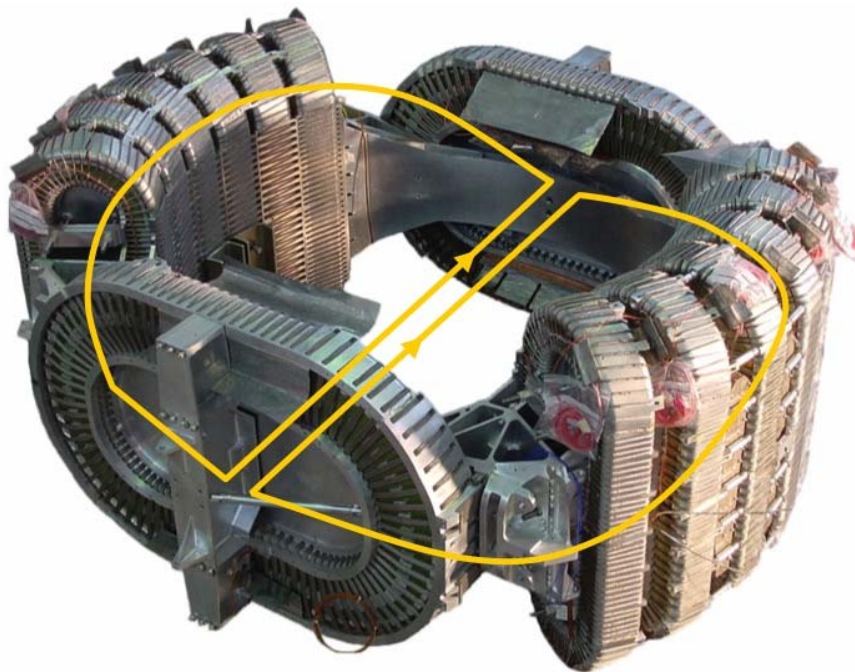


Fig. 3.83. Bobină supraconductoare pentru stocarea energiei.

*c) – Trenul cu levitație magnetică (trenul Maglev – după denumirea în limba engleză, **Magnetic Levitation**)* este un tren care utilizează câmpuri magnetice foarte puternice pentru a-și asigura sustentația și a avansa. Spre deosebire de trenurile clasice, nu există contact cu șinele, ceea ce reduce forțele de frecare și permite atingerea unor viteze foarte mari (recordul mondial este de 581 km/h, fiind stabilit în 2003, în Japonia). În lume, există mai multe trenuri maglev, în fig. 3.84 fiind prezentat transrapidul din Shanghai, dat în folosință cu ocazia Expoziției Universale din 2010.

Principiul de funcționare a trenului cu levitație magnetică este simplu, bazându-se pe efectul Meissner (fig. 3.85) Câmpul magnetic generat de magneții montați în tren este respins de bobinele supraconductoare (bobinele de levitație), situate pe grinzile laterale, astfel că trenul este suspendat la circa 10 cm față de sol. În același timp, bobinele de propulsie, situate de asemenea pe grinzile laterale, asigură deplasarea trenului, având polaritatea schimbată față de cea a bobinelor de levitație. Bobinele de propulsie sunt tot bobine supraconductoare.

Avantajele acestui tren față de unul clasic (viteză mare, nu există frecare cu șinele, nu produce zgomot, se poate deplasa pe platforme suspendate la 10...20 m față de sol, nu poluează mediul și nu este influențat de condițiile atmosferice) sunt limitate de următoarele dezavantaje: are nevoie de o platformă specială de rulare; costuri ridicate cu răcirea bobinelor supraconductoare de pe traseu; influența nefastă a câmpurilor magnetice asupra pasagerilor, precum și a laptopurilor, telefoanelor mobile și cardurilor.



Fig. 3.84. Transrapidul chinezesc din Shanghai (China).

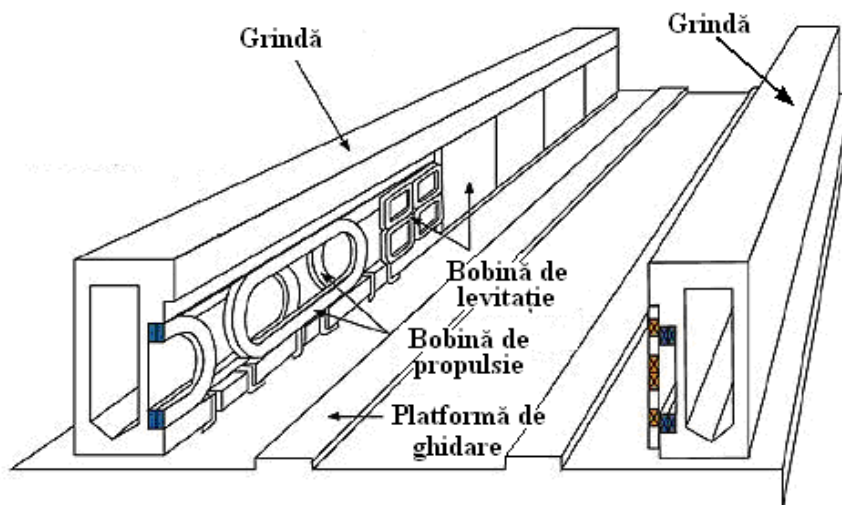


Fig. 3.85. Principiul de funcționare a trenului cu levitație magnetică.

d) – Cablurile supraconductoare (fig. 3.86) constituie una din cele mai promițătoare aplicații pentru viitor, având în vedere pierderile minime în transportul energiei electrice. Deocamdată, această aplicație este în fază de cercetare, datorită dificultății și costurilor ridicate legate de răcirea forțată cu azot lichid a unui astfel de cablu. Ca urmare a rezistenței electrice foarte reduse, un cablu supraconductor poate transmite o putere de circa 70 de ori mai mare decât unul similar din cupru. În același timp, pe lângă costul foarte ridicat (circa 200 \$/kA·m),

cablurile supraconductoare nu sunt suficient de flexibile pentru a fi înfășurate pe tamburi și necesită o stație de lichefiere a azotului.

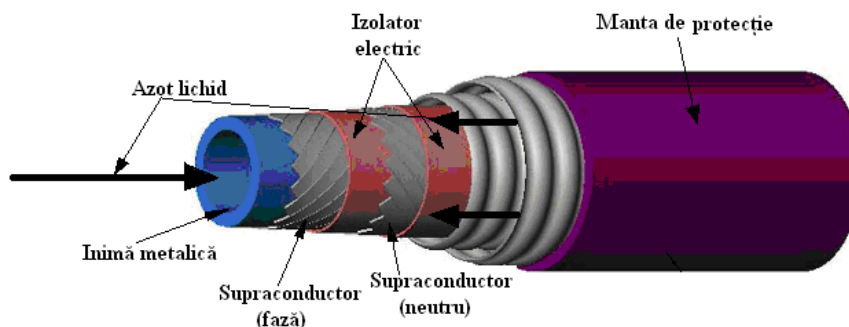


Fig. 3.86. Cablu supraconductor.

Pentru aplicațiile în curent alternativ, cablurile supraconductoare sunt realizate din compuși de genul $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ sau $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, prin tehnologia numită *POWDER in Tube* (PIT). Pentru lungimi mici, aceste cabluri intră în construcția transformatoarelor, motoarelor și electromagneților, îmbunătățindu-le considerabil randamentul.

e) – Generatoarele și motoarele electrice cu bobinaje supraconductoare sunt o aplicație importantă a supraconductibilității. Un generator electric cu bobinaj supraconductor are un randament foarte ridicat, de circa 99%, față de unul clasic, cu un randament de circa 50%. Ba mai mult, greutatea sa este pe jumătate din cea a unui generator convențional. Circuitele magnetice clasice au două neajunsuri principale: inducția magnetică este limitată la 2 T și au mase nominale foarte mari. Aceste neajunsuri sunt înlăturate prin bobinare cu cabluri supraconductoare care, însă, cresc considerabil prețul mașinilor electrice.

f) – Propulsia magnetohidrodinamică. Magnetohidrodinamica (MHD) este o ramură a fizicii care se ocupă cu studiul fluidelor electroconductoare (plasmă, metale topite) în interacțiune cu un câmp magnetic. Termenul a fost introdus în 1942 de către fizicianul suedez Hannes Alfvén (1908-1995) care a primit Premiul Nobel pentru fizică, în 1970, pentru dezvoltarea acestei teorii.

Pornind de la această teorie, inginerii japonezi au construit o navă maritimă fără elice, cu propulsie magnetohidrodinamică, simbolizată YAMATO – 1 (fig. 3.87), al cărui principiu de funcționare se poate aplica și submarinelor. Fenomenul se bazează pe apariția unei forțe Lorentz, ca urmare a interacțiunii dintre un câmp electric constant și un câmp magnetic, cele două câmpuri fiind perpendiculare între ele. În cazul nostru, câmpul electric este transmis prin apa de mare (conducătoare de electricitate) unor bobine supraconductoare încorporate în navă. Câmpul electric este creat între doi electrozi scufundați în apă.

Propulsia magnetohidrodinamică pentru deplasarea navelor maritime este deocamdată mai scumpă decât propulsia clasică, dar, ca și în cazul trenurilor cu levitație magnetică, se fac cercetări pentru perfecționarea ei.



Fig. 3.87. Navă cu propulsie MHD.

g) – Tokamakul (fig. 3.88) este o instalație complexă pentru producerea unei reacții termonucleare controlate, numită fuziune nucleară. Acesta este o reacție nucleară de sinteză a unui nucleu greu, mai stabil, din două nuclee ușoare, însoțită de degajarea unei energii egale cu diferența dintre energia de legătură a nucleului rezultat și cea a nucleelor ușoare. Această reacție are loc în Soare și în alte stele.

În tokamakuri, atomii ușori ai unor gaze se combină, formând atomi grei, cu eliberarea unei cantități uriașe de energie. Pentru aceasta, gazele trebuie încălzite la circa 100 de milioane de grade, fără să atingă pereții reactorului. Acest lucru se poate realiza cu ajutorul unui câmp magnetic foarte puternic, de ordinul a zeci de tesla, produs de magneți supraconductori toroidali.

h) – Circuitele imprimate. Obstacolul principal în producerea circuitelor imprimate din ce în ce mai mici îl constituie încălzirea acestora, prin efect Joule-Lenz. Prin utilizarea materialelor supraconductoare, s-ar înlătura complet acest neajuns, dar se pune problema răcirii lor, ceea ce creează alt neajuns. Un calculator cu circuite imprimate din materiale supraconductoare ar fi de cinci ori mai puternic decât unul clasic, având și un consum de energie mult mai mic.

i) – Bomba electromagnetică (fig. 3.89) este testată în mare secret de armatele americană și rusă. Ea dezvoltă un câmp electromagnetic foarte puternic care poate scoate ireversibil din funcțiune o gamă largă de echipamente electrice și electronice (calculatoare, radare, receptoare radio, emițătoare, rețele electrice și de transmisiuni). Sursa de energie a acestei bombe o constituie un exploziv plastic care, prin intermediul unui generator de comprimare a fluxului (fig. 3.89) și al unui generator magnetohidrodinamic, produce o tensiune de circa 100 kV. Tensiunea este apoi transformată în microunde de către un dispozitiv numit viricator, iar microundele sunt transmise de o antenă specială. Tehnologia a fost inventată în mod independent de către savanții A.D. Saharov (1921-1989), în URSS, și C.M.

Fowler (1918-2006), în SUA, fiind apoi perfecționată de ambele țări.

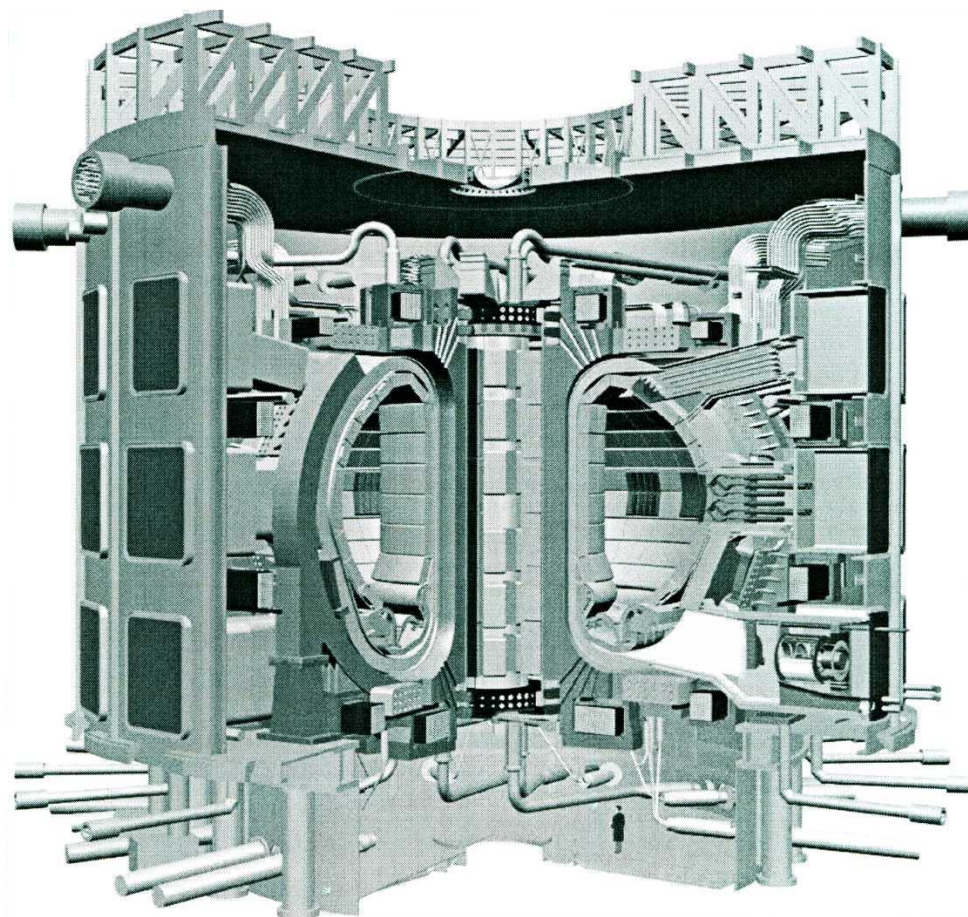


Fig. 3.88. Tokamak.

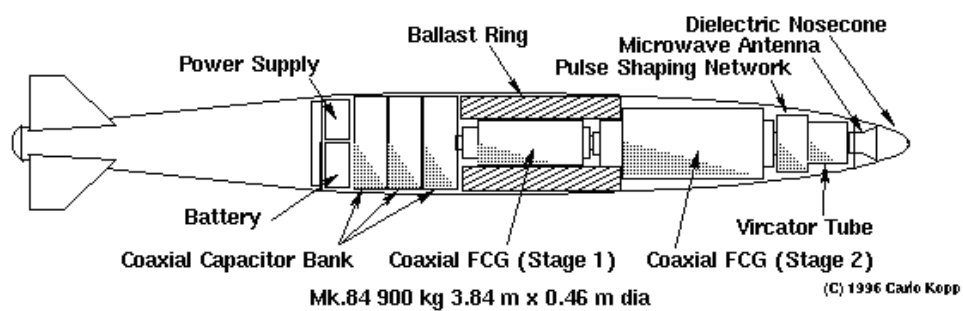


Fig.3.89. Bomba electromagnetică.

[Sursa: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/hpm.htm>]

Bombele electromagnetice vor fi lansate din avioane, iar ca ținte favorite sunt vizate edificiile guvernamentale, bazele militare, nodurile de comunicații, radarele și obiectivele militare. După identificarea țintelor, bombele sunt lansate și ghidate prin GPS, fiind programate să explodeze într-o poziție optimală, care să producă maximum de pierderi inamicului⁸.

3.6.5. Materiale inteligente

3.6.5.1. Generalități. Materialele nu pot fi inteligente, inteligența fiind proprie organismelor vii, și îndeosebi oamenilor, ea constituind capacitatea acestora de a înțelege ușor și bine, de a sesiza ceea ce este esențial. Materialele zise *inteligente* ar trebui denumite *materiale adaptive*, dar întrucât în toate limbile moderne s-a încetățenit sintagma de *materiale inteligente*, vom folosi și noi această denumire. Așadar, materialele inteligente sunt sensibile, evolutive și capabile să se adapteze mediului înconjurător, având funcțiuni de detectare a semnalelor, de stocare a lor și de acționare asupra unui sistem. Ele sunt capabile să-și modifice spontan unele proprietăți fizice (forma, culoarea, vâscoelasticitatea), ca răspuns la factorii naturali care acționează asupra lor, cum ar fi temperatura, forțele exterioare sau câmpurile electrice și magnetice. Funcția de percepție se bazează cel mai adesea pe echilibrul dinamic dintre materialul respectiv și mediul înconjurător. Schimbările mediului înconjurător atrag schimbarea stării de echilibru, în care materialul respectiv va avea alte proprietăți.

O caracteristică importantă a materialelor inteligente o constituie faptul că la o mică modificare a mediului, proprietățile lor se modifică accentuat, adică mărimea răspunsului nu este proporțională, ci mult mai mare decât factorul perturbator. Altă caracteristică importantă este reversibilitatea, adică proprietatea ca după încetarea acțiunii care a produs modificarea să se restabilească starea inițială.

Materialele inteligente au apărut la începutul anilor 80 ai secolului trecut, în SUA, în domeniul aerospațial, dezvoltându-se apoi cu repeziciune, odată cu progresul comunicațiilor, chimiei, biologiei, electronicii, roboticii și sectorului militar. După aspectul lor, ele pot fi dure sau moi.

3.6.5.2. Materialele inteligente dure rezistă în limite largi la compresie, forfecare și alte solicitări mecanice. Din această categorie fac parte aliajele și materialele nemetalice cu memoria formei, precum și materialele piezoelectrice, electrostrictive și magnetostrictive.

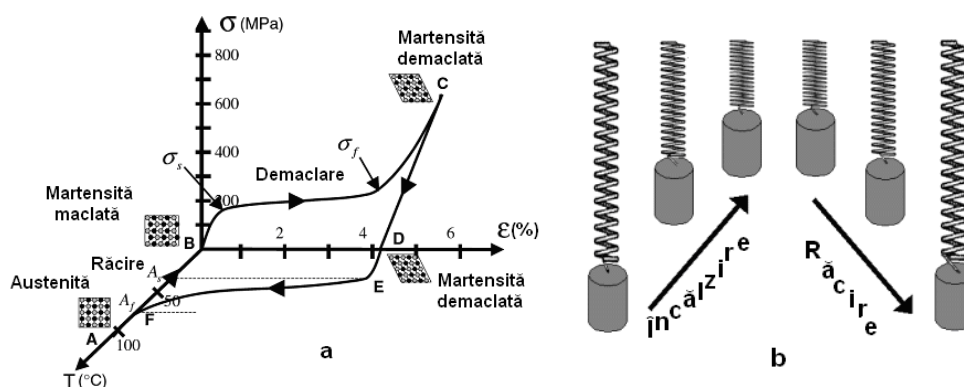
a) – Aliajele cu memoria formei sunt materiale metalice care pot memora o anumită formă impusă, iar după ce sunt supuse unor deformări mecanice, pot reveni la forma inițială sub acțiunea căldurii. Altfel spus, după ce au fost deformat la frig, aceste materiale revin la forma inițială, peste o anumită temperatură, ca urmare a unei schimbări de fază. Efectul memoriei formei se datorează fenomenului de transformare termoelastică martensitică (transformare reversibilă

⁸ Pentru mai multe informații <http://www.abovetopsecret.com/forum/thread/5955> (pgs.1-81)

prin modificarea structurii cristaline în funcție de temperatură). Istoric, noțiunea de *transformare martensitică* este asociată cu transformarea austenitei în martensită (descoperită de metalurgul german A. Martens în 1879). Prin extensie, acest termen este generalizat pentru un număr mare de aliaje ale căror transformări sunt asemănătoare cu transformarea martensitică a oțelurilor. Aceste aliaje sunt fabricate pe bază de nichel și titan, cu adaosuri de cupru, fier, crom și aluminiu.

Cel mai cunoscut aliaj cu memoria formei este aliajul numit *nitinol* al cărui nume provine de la *Nickel-Titane Naval Ordnance Laboratory* (actualmente Naval Surface Warfare Center) – locul unde a fost descoperit. El este un material cu proprietăți remarcabile legate de efectul de memorare a formei, cum ar fi capacitatea de înmagazinare a energiei elastice (42 MJ/m^3) sau deformațiile maxime care pot fi recuperate în cadrul memoriei mecanice (10%) sau termice (8%). De asemenea, are un preț acceptabil, este fiabil și compatibil cu țesuturile vii. S-a calculat că o cantitate de 50 litri de nitinol poate înmagazina tot atâta energie cât produce un motor cu ardere internă. În fig. 3.90.a este prezentat efectul memoriei formei pentru un aliaj nitinol, într-un sistem de coordonate temperatură-efort-deformație, iar în fig. 3.90.b, exemplificarea acestui efect pentru un arc elicoidal.

Aliajele cu memoria formei se obțin prin topire cu arc electric în vid sau în cuptoare cu inducție, pentru a avea cât mai puține impurități, după care se toarnă în lingouri. Urmează apoi câteva etape de laminare a lingourilor și, în final, o trefilare pentru obținerea unui produs sub formă de sârmă. Ele trebuie să aibă următoarele proprietăți: o elasticitate care să le permită o deformare reversibilă foarte mare, de până la 10 %; efectul simplu de memoria formei care reprezintă redobândirea unică și spontană a formei inițiale a aliajului, prin încălzire, după o deformare mecanică; efectul de memoria formei în dublu sens care reprezintă redobândirea spontană atât a formei calde, cât și a celei reci, la încălzire și la răcire; efectul de memorie a arestului termic care constă în „amintirea” temperaturii de întrerupere a transformării din ciclul termic precedent.



Aplicațiile aliajelor cu memoria formei sunt numeroase, în fig. 3.91 fiind prezentate domeniile de utilizare a acestora, iar în fig. 3.92, câteva exemple prac-

tice: *a* – nit de asamblare folosit în cazul în care suprafața de căpuire este inaccesibilă; *b* – asamblarea conductelor de titan, care nu se pot suda, utilizate în aviație; *c* – valvă pentru închiderea conductelor de gaze la apariția unui incendiu; *d* – agrafe alungite în prealabil prin răcire pentru consolidarea fracturilor osoase care, la temperatura corpului uman se contractă, facilitând vindecarea; *e* – stent endovascular spiral pentru dilatarea arterelor coronare (*1* – cateter pentru introducerea stentului răcit; *2* – stent cu memoria formei care se dilată la temperatura corpului; *3* – arteră coronară dilată); *f* – lingura magică (un truc folosit de iluzionisti: lingura răcită în prealabil are o formă normală, iar la contactul cu mâinile scamatorului se îndoaie, revenind la forma inițială).

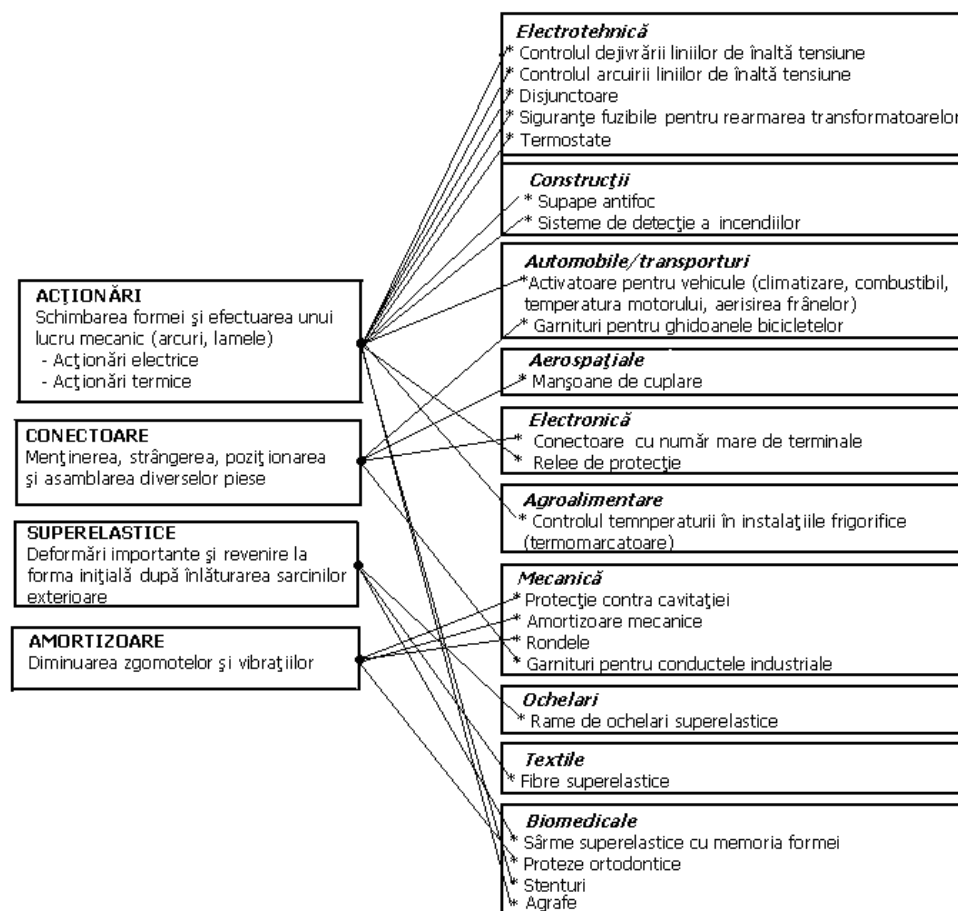


Fig. 3.91. Domenii de utilizare a aliajelor cu memoria formei.

b) – Materialele nemetale cu memoria formei cuprind materiale ceramice, plastice și compozite.

Ceramicile cu memoria formei cuprind materiale vâscoelastice, martensitice și feroelastice. Din prima categorie face parte un material ce conține 40...60% mică, având formula chimică $X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH,F)_4$ în care $X=K,Na,Ca$;

$Y = \text{Al, Mg, Fe}$; $Z = \text{Si, Al, Fe}^{3+}, \text{Ti}^{4+}$. Prin încălzire la peste 300°C , mica se poate deforma plastic, iar prin răcire la temperatura ambiantă, materialul își recapătă forma inițială. Deformarea maximă nu poate depăși 0,5 %.

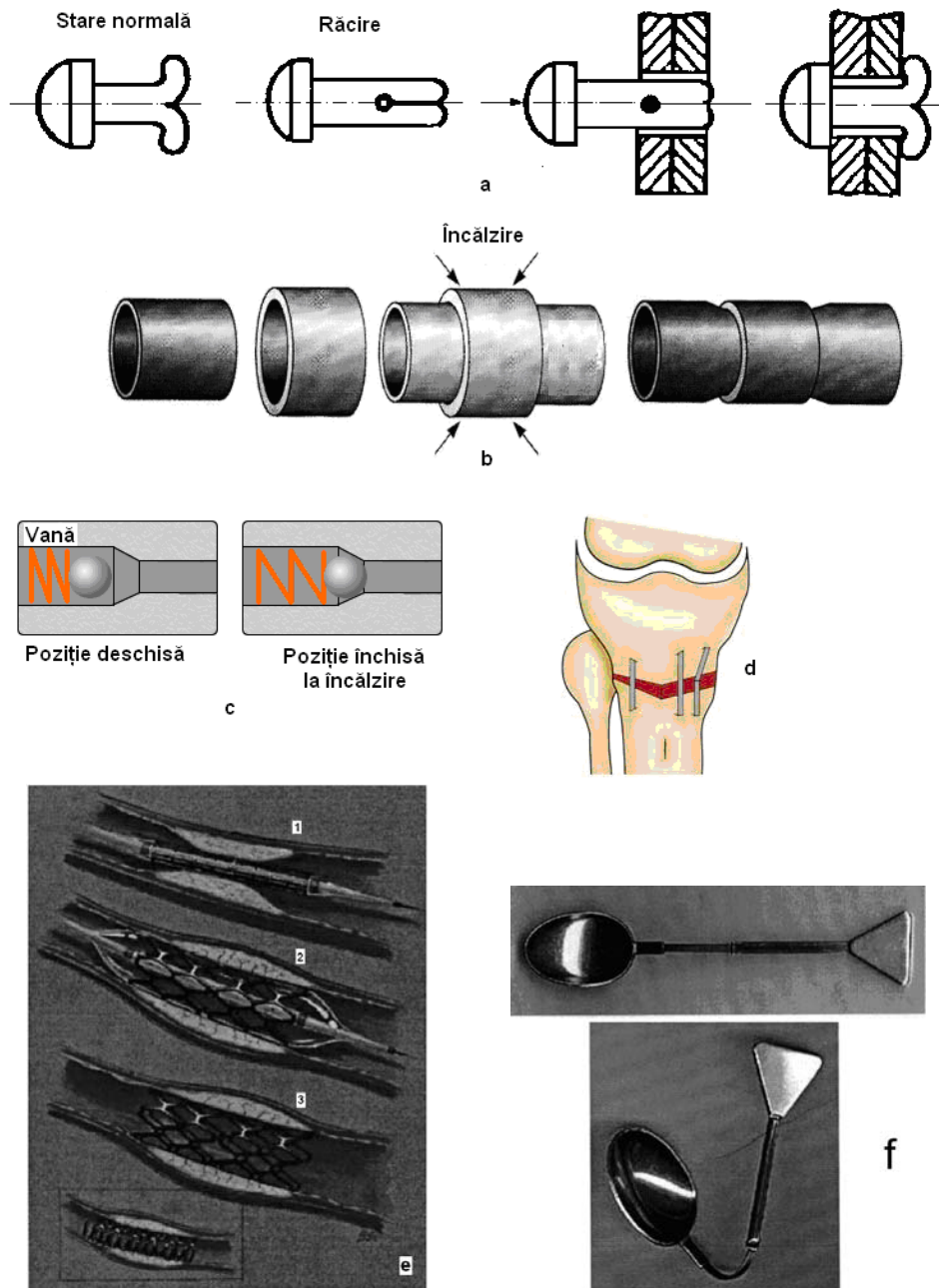


Fig.3.92. Aplicațiile aliajelor cu memoria formei.

Ceramica martensitică este reprezentată de bioxidul de zirconiu (ZrO_2) stabilizat cu oxid de ytriu (Y_2O_3) sau bioxid de ceriu (CeO_2) care prezintă trei stări alotropice: cubică, tetragonală și monoclinică. Transformarea tetragonal-monoclinică are loc între 1150°C și 880°C , fiind asemănătoare cu transformarea martensitică a aliajelor metalice și realizând o deformare de circa 2%.

Ceramica feroelastică este reprezentată de perovskite (BaTiO_3 , SrTiO_3 , CaTiO_3) și va fi tratată la materialele piezoelectrice.

Ceramicile cu memoria formei au o viteză de reacție foarte mare și un consum redus de energie, dar și o deformare mult mai mică decât a aliajelor metalice, precum și o fragilitate ridicată și un proces laborios de fabricare.

Polimerii cu memoria formei au următoarele avantaje: sunt ușori, supli, insensibili la acțiunea câmpurilor magnetice, au consumuri scăzute de energie și nu sunt fragili. În același timp, nu se pot folosi la temperaturi mai mari de 120°C și au viteze de reacție mai mici. Ei au proprietatea de a reveni dintr-o stare deformată (temporară), indusă de o încălzire sau un alt stimul exterior (motor electric, câmp magnetic, lumină), la starea inițială (permanentă). Din această categorie fac parte polimerii termoplastici, elastomerii, și polimerii ionici.

Polimerii cu memoria formei au atât aplicații industriale, cât și aplicații medicale. Astfel, poliolefina bombardată cu electroni de mare energie și încălzită la 120°C se strânge, asigurând izolarea unui mănunchi de conductoare electrice sau cuplarea a două conducte metalice care nu se pot suda și nu se mai înmoaie la reîncălzire. De asemenea, din astfel de polimeri se pot confecționa fire pentru suturi chirurgicale (fig.3.93) care se transformă succesiv din forma inițială *I* în forma finală cu nod 6, în circa 20 de secunde, prin încălzire la 41°C . Se realizează astfel o cusătură a plăgilor cu autoreglarea strângerii optime a nodurilor, înlăturându-se posibilitatea unor strângeri prea mari, care să producă necrozarea țesuturilor. În plus, după vindecarea răni, firele de sutură se resorb, fără nici un pericol pentru corpul uman. Tot ca aplicație medicală se menționează stenturile cardiovasculare care le înlocuiesc pe cele din nitinol (fig.3.92. e), având dimensiuni mai mici și putând fi introduse mai ușor cu cateterul, prin vene sau artere.

Compozitele cu memoria formei se obțin prin laminarea într-o matrice polimerică a unor benzi, lamele sau sârme metalice cu memoria formei. Structurile obținute pot fi pliate, rulate sau împachetate în orice mod (fig. 3.94). Revenirea la forma inițială se realizează, în general, cu ajutorul căldurii, fără ca materialul compozit să-și piardă performanțele. O astfel de structură prezintă următoarele avantaje: rezistență mare în raport cu greutatea; reducerea gabaritului prin împachetare; rezistență la oboseală și reziliență ridicate.

În fig.3.95 se prezintă exemplul plierii și deplierii unei țevi din material compozit cu memoria formei: *a* – țevă; *b* – pliere prin presare; *c* – țevă pliată; *d* – revenirea țevii la forma inițială sub acțiunea căldurii. Aplicațiile includ structuri ușoare și rigide, care constituie o alternativă avantajoasă la structurile gonflabile utilizate până acum.

c) – Materialele piezoelectrice. Piezoelectricitatea este proprietatea unor materiale izolatoare de a se polariza electric sub acțiunea unor forțe exterioare sau

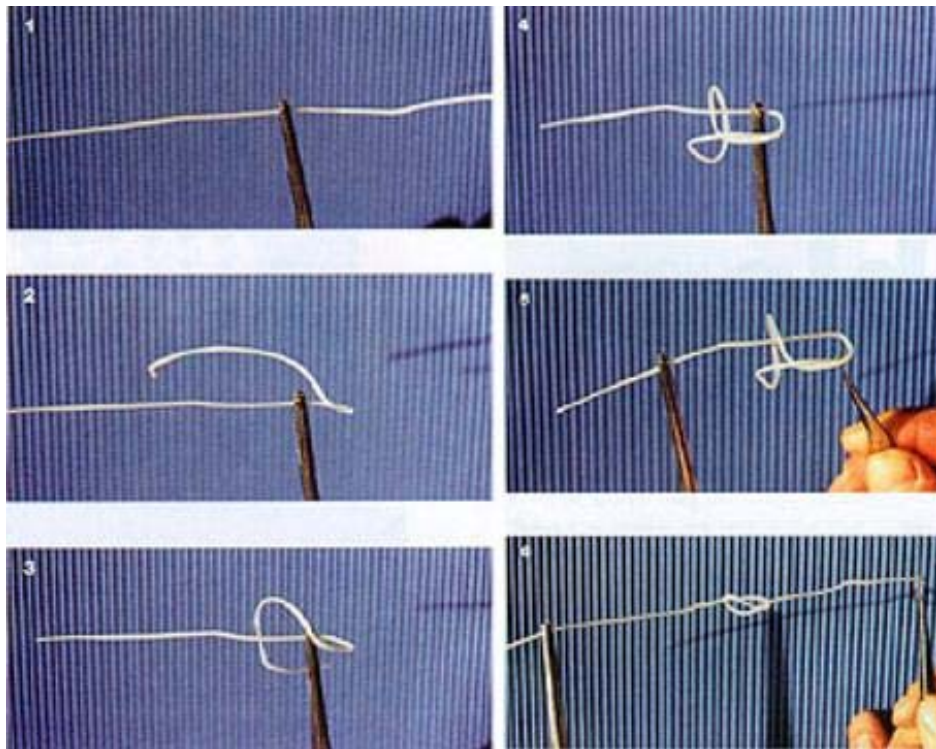


Fig. 3.93. Fir chirurgical din polimer cu memoria formei.

de a se deforma când li se aplică un câmp electric. În primul caz avem un efect piezoelectric direct, iar în al doilea, un efect piezoelectric indirect (fig. 3.96): *a* – cristal polarizat în stare inițială; *b* – generarea curentului electric prin comprimare (efect piezoelectric direct); *c* – dilatare la aplicarea curentului electric (efect piezoelectric invers). Piezoelectricitatea apare numai în anumite materiale izolatoare și se manifestă prin apariția unor sarcini electrice pe suprafețele monocristalelor deformate mecanic. Într-un cristal piezoelectric, sarcinile electrice pozitive și negative sunt separate simetric, astfel că sarcina electrică totală a cristalului este neutră. Dacă asupra cristalului acționează o sarcină mecanică exterioară, simetria sarcinilor electrice este perturbată, generând un impuls electric. De exemplu, dacă asupra unui cristal de cuarț de 1 cm^3 acționează o forță de 2 kN , se produce o tensiune de 12.500 V .

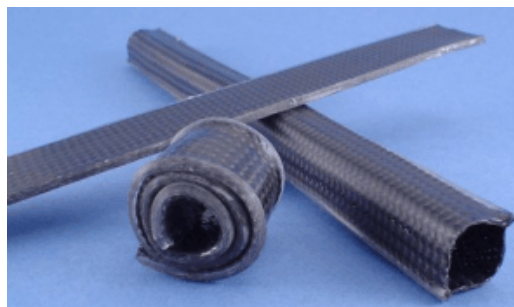


Fig. 3.94. Material compozit cu memoria formei.

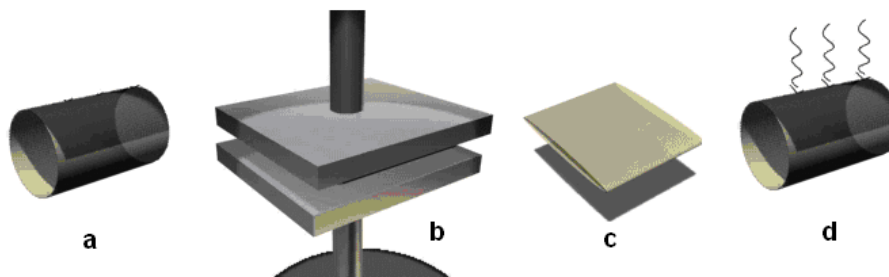


Fig. 3.95. Plierea și deplierea unei țevi compozite cu memoria formei.

În același timp, dacă asupra cristalului piezoelectric se aplică un câmp electric exterior, cristalul se va deforma mecanic. Din cele 32 de clase de cristale existente numai 20 prezintă efect piezoelectric, iar dintre acestea numai 10 sunt polare, adică au o polarizare electrică spontană.

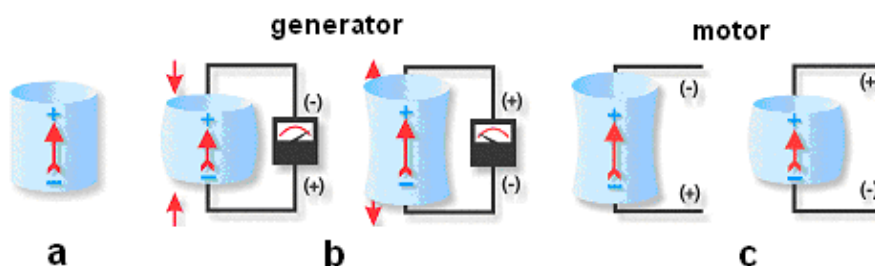


Fig. 3.96. Efectul piezoelectric.

Fenomenul piezoelectric direct a fost descoperit de frații Pierre și Jacques Curie, în 1880, tineri preparatori la Facultatea de Științe din Paris, iar efectul piezoelectric invers, de către Gabriel Lippman, profesor de fizică la Sorbona, în 1881. Fenomenul a rămas o curiozitate de laborator până în 1917, când Paul Langevin, profesor de fizică la Collège de France, a inventat un detector ultrasonic pentru submarine, alcătuit din cristale de cuarț lipite între două plăci de oțel și un hidrofön pentru detectarea ecoului.

Varietatea materialelor naturale sau de sinteză care prezintă efect piezoelectric este mare. Ele se pot clasifica în familii, după compoziția chimică, structura cristalografică sau importanța lor științifică și industrială.

Oxizii feroelectrici (perovskitele) au valori ridicate ale constantei dielectrice, cei mai cunoscuți fiind titanații (BaTiO_3 , PbTiO_3 , SrTiO_3), precum și unele soluții solide [$(\text{PbSr})\text{TiO}_3$, $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$]. Tot din această familie fac parte niobatul de litiu (LiNbO_3), tantalatul de litiu (LiTaO_3) și unele materiale mai complexe ($\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$, $\text{Pb}_2\text{KNb}_5\text{O}_{15}$, $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$).

Cuarțul (SiO_2) este cel mai important material piezoelectric. Din aceeași

familie mai fac parte unii fosfați și arseniați (GaPO_4 , AlPO_4 , GaAsO_4). Spre deosebire de familia precedentă, acești compuși nu sunt feroelectrici, au coeficienți piezoelectrici mai mici, dar și proprietăți mecanice mai bune și o bună stabilitate termică.

Semiconductoarele din grupele III-V cu structură zinc-blendă și II-VI cu structură wurtzitică (sulfură naturală de zinc) au proprietăți piezoelectrice. Dintre acestea amintim nitrura de aluminiu (AlN) și oxidul de zinc (ZnO).

Polimerii au proprietăți piezoelectrice modeste și pierderi dielectrice mari, dar și unele avantaje: impedanță acustică și permitivitate dielectrică scăzute, conductibilitate termică mică, flexibilitate mare și cost redus. Ei pot fi de origine biologică (celuloză, collagen) sau de sinteză (fluorură de poliviniliden).

Materialele piezocompozite sunt alcătuite dintr-o osatură ceramică activă și o matrice polimerică pasivă. Osatura ceramică poate fi sub formă de particule, fibre uniaxiale sau plăci.

În tabelul 3.15 se prezintă proprietățile piezoelectrice ale câtorva materiale reprezentative.

Tabelul 3.15. Proprietățile materialelor piezoelectrice

Nr. crt.	Materialul	Formula chimică	Temperatura Curie T_c [$^{\circ}\text{C}$]	Polari- zarea P [C/cm^2]	Coeficientul de cuplare piezoelectrică d_{33} [$\times 10^{-12} \text{C}/\text{N}$]	Coeficientul de tensiune g_{33} [$\times 10^{-16} \text{C}/\text{N}$]	Constanța dielectrică K
1	Cuarț	SiO_2	573		-2,3	-57,5	4
2	Titanat de bariu	BaTiO_3	130	26	191	11,4	2000
3	Titanat-zirconat de plumb	$\text{PbZr}_{0,5}\text{Ti}_{0,5}\text{O}_3$	386		233	39,5	1500
4	Titanat-zirconat de plumb și lantan	$\text{Pb}_{0,88}\text{Zr}_{0,35}\text{Ti}_{0,65}\text{La}_{0,08}\text{O}_3$	65	47	682	20	3400
5	Niobat de plumb	PbNb_2O_6	560		85	42	250
6	Fluorură de poliviniliden	$(\text{CH}_2\text{-CF}_2)_n$	41		30	200	15

Aplicațiile materialelor piezoelectrice sunt numeroase. Efectul piezoelectric direct (generarea curentului electric prin comprimare) are următoarele aplicații practice:

♦ *Transductoarele acustice* transformă undele sonore în semnale electrice și invers: microfoane, telefoane mobile, sonare, ecografe medicale.

♦ *Generatoarele piezoelectrice* produc scântei prin comprimarea mate-

rialului piezoelectric: brichete, aprinzătoare de gaz, bascheți care emit semnale luminoase, telecomenzi pentru televizoare fără baterii și sonerii de apartament fără alimentare electrică.

♦ *Transformatoarele piezoelectrice* utilizează ambele efecte ale materialelor piezoelectrice. Prin efect piezoelectric invers, un curent de excitație generează sarcini mecanice asupra unei bare din titanat-zirconat de plumb, făcând-o să vibreze cu o frecvență aleasă, care să corespundă frecvenței de rezonanță. Prin efect piezoelectric direct, electrozii aflați la capetele barei generează o tensiune care poate fi amplificată prin rezonanță de circa o mie de ori.

Ca aplicații ale efectului piezoelectric invers (dilatarea materialului la aplicarea unui curent electric) se menționează:

♦ *Rezonatoarele piezoelectrice* sunt foarte stabile în timp și au frecvențe foarte precise, factorul lor de calitate având valori mari ($Q = 10^4 \dots 10^6$): ceasuri cu cuarț și microbalanțe cu cuarț care măsoară mase foarte mici cu o precizie ridicată.

♦ *Captoarele de presiune și accelerație* se folosesc pentru măsurarea presiunii în conductele hidraulice ale avioanelor sau a aerului în pneurile automobilelor, precum și la fabricarea unor instrumente muzicale (baterii electronice). Pe același principiu se pot măsura și accelerațiile (accelerometre cu lamă vibrantă, girometre vibrante Coriolis) sau se construiesc airbagurile pentru protecția pasagerilor din automobile la șocuri.

♦ *Acționările și motoarele piezoelectrice* se bazează pe câmpul electric generat prin comprimarea unui material piezoelectric, cu care se comandă o mișcare rotativă sau liniară. Acționările piezoelectrice asigură curse directe de până la 100 μm , sau de 0,1...1 mm, în cazul folosirii unor amplificatoare mecanice (microscopie cu efect de tunel, comanda injectoarelor motoarelor Diesel, optică adaptivă în astronomie, controlul vibrațiilor).

Motoarele piezoelectrice au viteză redusă și cuplu mare și ca atare nu necesită reductoare și nu fac zgomot. Ele se utilizează la focalizarea obiectivelor aparatelor de fotografiat și filmat și la mecanismele geamurilor electrice ale automobilelor.

În tabelul 3.16 se prezintă o comparație între acționările piezoelectrice și alte tipuri de acționări.

d) – Materiale electrostrictive. Electrostricțiunea este proprietatea unor materiale dielectrice de a-și modifica forma sub acțiunea unui câmp electric variabil. Ea se datorează sarcinilor electrice repartizate aleatoriu în interiorul materialului care, sub acțiunea unui câmp electric, se vor polariza pe suprafețele opuse ale materialului și fiind de sensuri opuse se vor atrage reciproc și vor produce deformarea materialului. Diferența dintre materialele electrostrictive și cele piezoelectrice este că la primele nu avem centre de greutate diferite pentru cele două tipuri de sarcini electrice.

Toate materialele dielectrice au proprietăți electrostrictive, dar acestea sunt prea slabe pentru aplicații practice. Dintre acestea, câteva ceramice prezintă o electrostricțiune mai ridicată, acestea fiind $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ și $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_{3-x}\cdot\text{PbTiO}_3$. Ca aplicații practice ale acestora se menționează

oglinzile deformabile întâlnite la telescoapele spațiale și laserele de puteri mari, dispozitivele de poziționare mecanică fină folosite în robotică și microscopie optică și motoarele ultrasonore utilizate la focalizarea automată a camerelor video.

Tabelul 3.16. Comparație între acționările piezoelectrice și alte tipuri de acționări

Sursa de energie	Felul acționării	Gama de deplasare	Precizia deplasării	Forța produsă	Viteza de răspuns
Aer comprimat	Motor pneumatic	Rotație		5 kgm	10 s
	Cilindru pneumatic	100 mm	100μm	10 ⁻² kg/mm ²	10 s
Ulei	Motor hidraulic	Rotație		10 kgm	1 s
	Cilindru hidraulic	1000 mm	10μm	10 kg/mm ²	1 s
Energie electrică	Motor de curent alternativ	Rotație		3 kgm	10 ms
	Motor de curent continuu	Rotație		20 kgm	10 ms
	Motor pas cu pas	1000 mm	10μm	30 kg	100 ms
	Bobină + membrană	1 mm	0,1μm	30 kg	1 ms
	Acționare piezoelectrică	0,1 mm	0,01μm	3 kg/mm²	0,1 ms

e) – Materiale magnetostrictive. Magnetostricțiunea este proprietatea unor materiale feromagnetice de a se deforma sub acțiunea unui câmp magnetic. Fenomenul a fost descoperit în 1842 de fizicianul britanic J.P. Joule (1818-1899) care a constatat alungirea unei bare de nichel aflate într-un câmp magnetic (efect Joule sau efect magnetostrictiv direct). Fenomenul este reversibil, adică dacă un astfel de material este alungit, el se magnetizează (efect Villari sau efect magnetostrictiv invers). Fizicianul italian Emilio Villari (1836-1904) a descoperit acest efect în 1865. Dacă un material este magnetizat până la saturație, deformația maximă produsă prin magnetostricțiune este, în general, de 1 μm pentru 1 cm de material. Astfel fierul are o deformație relativă de numai 0,2 μm/cm, în timp ce aliajele fierului cu terbiul și disprosiul (TbFe₂, DyFe₂) au deformații relative foarte mari, de circa 16 μm/cm, într-un câmp magnetic de 1 MA/m. Tot din această categorie mai fac parte aliajele fier-cobalt și fier-cobalt-nichel, însă cel mai performant material magnetostrictiv este *terfenolul-D* (Tb_{0,3}Dy_{0,7}Fe_{1,9}), a cărui denumire provine de la *Terbium Fe Naval Ordnance Laboratory Dysprosium* (Laboratorul din SUA unde a fost descoperit și nitinolul).

Magnetostricțiunea produce zgomotul specific transformatoarelor sau apa-

ratelor electrice de înaltă tensiune, zgomotul având o frecvență dublă față de cea a curentului electric (100 Hz față de 50 Hz), la care se mai adaugă și armonicile.

Primele aplicații ale materialelor magnetostrictive au fost receptoarele telefonice, sonarele pentru detectarea submarinelor și traductoarele de cupru. Astăzi, gama acestora cuprinde:

- *Motorul liniar peristaltic* este alcătuit dintr-o bobină electromagnetică înfășurată pe un tub în care se introduce forțat (cu strângere) o bară de terfenol, întreaga construcție fiind încorporată într-o armătură inelară. La activarea bobinei, bara magnetostrictivă de terfenol va efectua o mișcare de dilatare-comprimare. Motorul se utilizează în aviație (aripi inteligente), în industria de automobile (sisteme de frânare) și medicină (distribuirea controlată a fluidelor).

- *Transductorul magnetostrictiv* (fig.3.97) este format dintr-o bobină electromagnetică în interiorul căreia se află o bară magnetostrictivă, totul fiind protejat de un cilindru pentru închiderea circuitului magnetic. Pentru asigurarea deplasării bidirecționale a barei metalice, aceasta este magnetizată static fie cu un magnet permanent, fie cu un curent continuu care circulă prin bobină, suprapunându-se peste curentul de excitație.

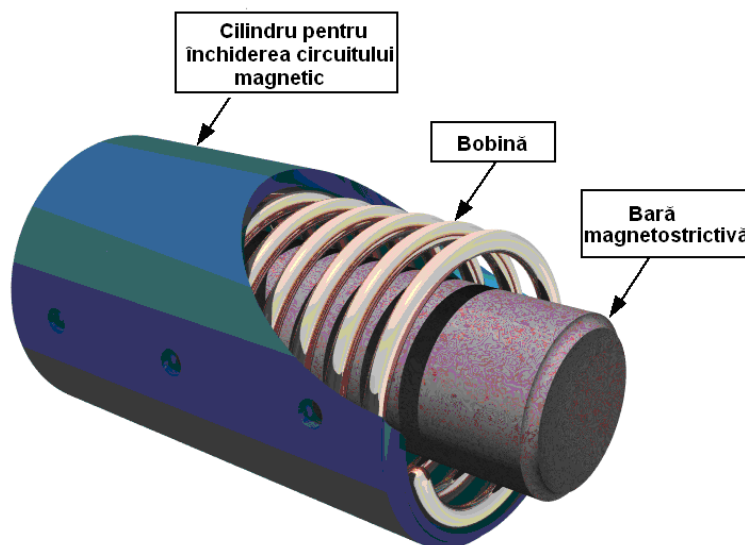


Fig. 3.97. Transductor magnetostrictiv.

Bara metalică este confecționată din fier, nichel, aliaje aluminiu-fier (algenol) sau nichel-cobalt și, mai ales, din terfenol, datorită performanțelor sale magnetostrictive.

Transductorul magnetostrictiv se utilizează pentru transformarea curenților de înaltă frecvență în ultrasunete, având și alte aplicații: microoglinzi, micropompe și micromotoare.

- *Alte aplicații:* senzori magnetostrictivi pentru detectarea intensității câmpurilor magnetice înconjurătoare; măsurarea forțelor și momentelor de torsi-

une; controlul activ al zgomotelor și vibrațiilor, prin utilizarea simultană a efectului invers pentru măsurarea nivelului acestora și a efectului direct pentru aducerea lor la nivelul dorit.

3.6.5.3. Materialele inteligente moi cuprind fluidele electoreologice și magnetoreologice, cristalele lichide și mușchii artificiali.

a) – Fluidele electoreologice sunt suspensii de particule conducătoare într-un lichid dielectric. Mărimea particulelor este de $1...100\ \mu\text{m}$, cu o fracție volumică (raportul dintre volumul particulelor și volumul total) de $30...40\%$. Descoperite în 1947 de către fizicianul american W.M. Winslow, aceste fluide au proprietăți foarte interesante atât din punct de vedere științific, cât și din punct de vedere tehnologic. Sub acțiunea unui câmp electric, ele trec foarte rapid ($< 10\ \text{ms}$) din stare lichidă în stare solidă. Transformarea este reversibilă, fiind suficientă înlăturarea câmpului electric. Explicația este foarte simplă (fig. 3.98): în lipsa câmpului electric particulele plutesc liber în lichid, datorită maselor foarte mici care nu sunt afectate de gravitație (fig. 3.98.a); sub acțiunea câmpului electric, particulele formează lanțuri paralele (fig. 3.98.b) care conduc la creșterea considerabilă a vâscozității lichidului, astfel că acesta nu mai curge, devenind pseudosolid. De obicei, suspensia este formată din pulberi de bariu și titan și ulei siliconic sau uree.

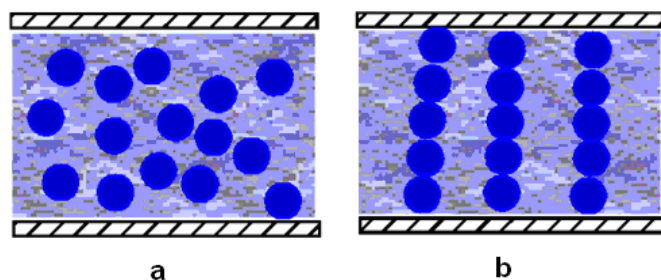


Fig.3.98. Fluid electoreologic.

Consistența fluidelor electoreologice se poate modifica în limite largi cu ajutorul câmpului electric, începând de la un lichid cu vâscozitate mică, până la starea de gel care se apropie de corpurile solide.

Ca aplicații ale fenomenului se menționează industria de automobile (ambreiaje, amortizoare, controlul activ al vibrațiilor), supape pentru controlul debitului și al pierderilor de presiune fără piese în mișcare, sisteme de transfer și recuperare a căldurii (bazate pe modificarea conductibilității termice prin schimbarea vâscozității fluidului), servovalve hidraulice pentru robotică.

b) – Fluidele magnetoreologice sunt suspensii stabile de particule feromagnetice ultrafine într-un lichid dielectric care, la aplicarea unui câmp magnetic, își măresc brusc vâscozitatea, devenind solide. Particulele magnetice, cu dimensiuni de $0,05...1\ \mu\text{m}$, în circumstanțe normale, sunt repartizate aleatoriu în masa lichidului dielectric (fig. 3.99.a). Prin aplicarea unui câmp magnetic, particulele microscopice se aliniază după liniile câmpului, formând lanțuri care modifică proprietățile reologice ale lichidului (elasticitate, plasticitate, vâscozitate),

precum și alte proprietăți (magnetice, electrice, termice, acustice). Prin îndepărtarea câmpului magnetic, particulele revin la starea inițială dezordonată.

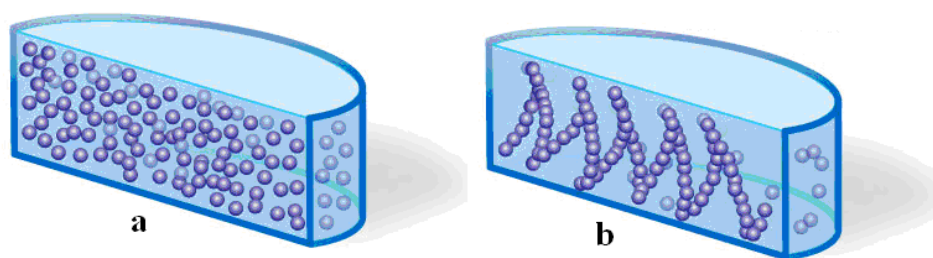


Fig.3.99. Fluid magnetoreologic.

Particulele feromagnetice ocupă 20...40% din volumul total al materialului, în mod curent utilizându-se carbonil de fier (FeCO) sau un aliaj fier-cobalt. Lichidul dielectric purtător trebuie să aibă o vâscozitate de 0,1...1 Pa·s, folosindu-se ulei siliconic, glicol sau kerosen. Pentru evitarea aglomerării sau depunerii gravitaționale a particulelor, fluidul conține și substanțe tensioactive sau stabilizatori: acid oleic, acid citric, lecitină de soia sau hidroxid de tetrametil-amoniu.

Față de fluidele electoreologice, cele magnetoreologice au unele avantaje: înlăturarea efectelor produse de câmpul electric (reacții de degradare electrochimică, încălzire prin efect Joule-Lenz, ecranarea câmpului, tensiune de străpungere), performanțe mecanice mai bune și rezistență mai mare la impurități și elemente de contaminare.

Ca aplicații practice ale fluidelor magnetoreologice se menționează: amortizoare și sisteme de frânare controlabile pentru autovehicule grele, protecția cockpiturilor (locuri rezervate piloților) de elicopter în caz de accidente sau a protezelor membrelor inferioare (moale la mers și dur la coborârea scărilor), amortizoare pentru protecția clădirilor la cutremure, superfinisarea lentilelor sau oglinzilor optice ale telescoapelor, membre ale roboților care să le imite pe cele umane.

În tabelul 3.17 se prezintă o comparație între fluidele electoreologice (ER) și cele magnetoreologice (MR).

c) – Cristalele lichide. Am fost obișnuiți să considerăm că materia se prezintă sub trei forme (solidă, lichidă și gazoasă), dar ea se mai poate prezenta și sub formă de plasmă și de cristale lichide. Cristalele lichide sunt substanțe care combină proprietățile materialelor solide cristaline, ale căror atomi sunt distribuiți în spațiu după o regulă bine organizată, cu proprietățile lichidelor convenționale, ale căror atomi nu respectă o astfel de regulă (fig. 3.100).

În stare solidă, moleculele sunt foarte ordonate, având puțină libertate de mișcare, iar starea lichidă este caracterizată de o orientare dezordonată a acestora. Orientarea moleculelor cristalelor lichide este cuprinsă între cele două stări.

Istoria descoperirii și evoluției cunoștințelor referitoare la cristalele lichide este prezentată în tabelul 3.18.

Tabelul 3.17. Comparație între fluidele electrorreologice și cele magnetoreologice

Proprietatea	Fluide electrorreologice	Fluide magnetoreologice
Rezistența la forfecare	2...5 kPa (3...5 kV/mm) Câmp limitat de tensiunea de străpungere	50...100 kPa (150...250kA/m). Câmp limitat de saturație
Vâscozitatea	0,2...0,3 Pa·s (la 25 °C)	0,2...0,3 Pa·s (la 25 °C)
Temperatura de funcționare	10...90 °C (ionic) -25...+125 °C (anhidric)	-40...+150 °C (limitată de lichidul purtător)
Densitatea de curent	2...15 mA/cm ² (4kV/mm la 25 °C)	
Densitatea	1...2,5 g/cm ³	3...4 g/cm ³
Particulele conducătoare	Pulberi de bariu și titan	FeCO, aliaje Fe-Co
Culoarea	Opacă sau transparentă	Brună, neagră, gri sau opacă

Ceea ce diferențiază un lichid cristalizat (cristalul lichid poate fi denumit și astfel) de un lichid convențional, este forma moleculelor. În primul, acestea sunt subțiri și alungite și chiar dacă poziția moleculelor este aleatorie, orientarea lor este aproape ordonată. Majoritatea cristalelor lichide sunt constituite din combinații chimice de natură organică aflate în stare lichidă. Sub acțiunea unui câmp electric, ele își ordonează moleculele bipolare după direcția câmpului. Chiar dacă unele molecule nu formează dipoli permanenți, câmpul electric produce o rearanjare a electronilor și protonilor acestora, astfel că, în final și aceste molecule vor fi polarizate. Aceeași influență o are și câmpul magnetic.

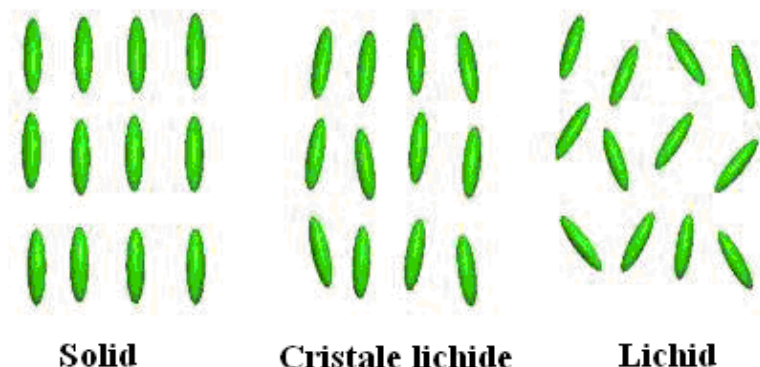


Fig. 3.100. Orientarea moleculelor în materiale.

Tabelul 3.18. Istoricul apariției cristalelor lichide

Anul	Scurt istoric
1888	Botanistul și chimistul austriac Friedrich REINITZER (1857-1927) descoperă natura cristalină a benzoatului de colesteril extras din morcovi, constatând că are două puncte de topire.
1904	Fizicianul german Otto LEHMANN (1855-1922), considerat a fi „părintele” cristalelor lichide, publică lucrarea <i>Flüssige Kristalle</i> , constatând birefrigența acestora și consacându-le denumirea.
1911	Mineralogul francez Charles-Victor MAUGUIN (1878-1958) efectuează primele experiențe cu cristale lichide între două plăci subțiri.
1922	Mineralogul și cristalograful francez Georges FRIEDEL (1865-1933) descrie structura și proprietățile cristalelor lichide și le clasifică în trei categorii: nematice, colesterice și smectice.
1927	Fizicianul rus Vsevolod-Konstantinovici FREDERIKS (1885-1944) descoperă tranziția de fază a cristalelor lichide, produsă prin aplicarea unui câmp electric sau magnetic asupra cristalelor nedeformate (<i>tranziție Frederiks</i>), factor esențial al tuturor tehnologiilor Liquid Crystal Display (LCD) – afișaj cu cristale lichide.
1936	Marconi Wireless Telegraph Company din America brevetează prima aplicație practică a cristalelor lichide.
1962	Cercetătorul american Richard WILLIAMS de la Radio Corporation of America (RCA) descoperă caracteristicile electro-optice ale cristalelor lichide.
1962	Chimistul american George W. GRAY (n. 1926) publică prima carte referitoare la cristalele lichide (<i>Molecular Structure and Properties of Liquid Crystals</i>).
1964	Inginerul american George H. HEILMEIER (n. 1936) a descoperit <i>efectul dispersiei dinamice</i> (DSM), punând bazele viitorului ecran LCD.
1970	Societatea Hoffmann – La Roche din Elveția brevetează <i>efectul câmpului nematic în elice</i> care va sta la baza afișajelor electronice.
1972	În SUA se fabrică primul panou cu afișaj electronic.
1983	Firma Brow, Boveri & Cie din Elveția brevetează un ecran super-nematic în elice cu cristale lichide monocrome.
1990	În SUA și Germania se brevetează transmisiile optice prin cristalele lichide și noi dispozitive de afișaj electro-optic.
1991	Fizicianul francez Pierre-Gilles DE GENNES (1932-2007) este distins cu Premiul Nobel pentru fizică pentru cercetări asupra cristalelor lichide și polimerilor.
1992	Firma Hitachi din Japonia începe fabricarea ecranelor LCD pe baza tehnologiei In Plane Switching (IPS).
1996	Firma Samsung din Coreea de Sud abordează o tehnologie optică ce permite dezvoltarea LCD-urilor, rămasă prioritară până astăzi.
2007	Vânzarea televizoarelor LCD o depășește pe cea a televizoarelor CRT (cu tuburi catodice).
2011	Firma Toshiba din Japonia a realizat un panou LCD destinat unui calculator personal cu 2560x1600 pixeli, cu afișare de caractere chinezești, ceea ce este un record în domeniu.

Cristalele lichide se prezintă sub trei faze (fig. 3.101): nematică, colesterică și smectică.

Faza nematică (de la grecescul *nematos* = fir) este cea mai apropiată de un lichid izotrop. Moleculele nu sunt așezate într-o ordine pozițională strictă, dar sunt orientate după o direcție aproximativ longitudinală, fiind foarte frecvent utilizate în electronică.

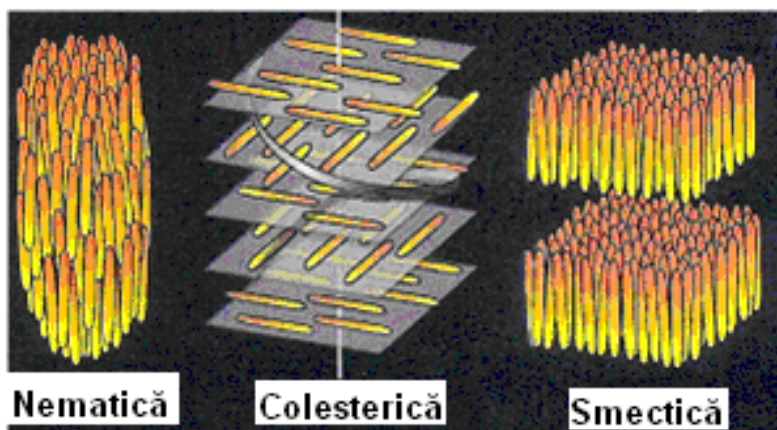


Fig. 3.101. Fazele cristalelor lichide.

Faza colesterică este de fapt o fază nematică elicoidală, alcătuită din molecule dispuse în straturi plan-paralele, moleculele fiecărui strat fiind orientate perpendicular față de cele ale stratului vecin. Straturile sunt în continuă mișcare de rotație, astfel că moleculele acestora dau impresia unei elice.

Faza smectică (de la grecescul *smecma* = săpun) se caracterizează printr-o așezare în straturi a moleculelor, moleculele fiecărui strat având o orientare nematică. Este posibilă și deplasarea moleculelor de pe un strat pe altul, dar cu un consum sporit de energie.

Cristalele lichide au proprietatea de a polariza lumina (fig. 3.102). Lumina naturală nu este polarizată, ea propagându-se în toate direcțiile (fig. 3.102.a). La trecerea printr-un cristal lichid, vibrațiile particulele luminoase E și B au loc într-o singură direcție, adică mișcarea ondulatorie se propagă într-un singur plan de vibrație, ce cuprinde direcția de vibrație și direcția de propagare (fig. 3.102.b).

De asemenea, cristalele lichide au și proprietatea de birefringență, adică dublarea prin refracție a unei raze de lumină la pătrunderea în cristal. Astfel, dacă o rază de lumină trece printr-un polarizator și traversează un cristal lichid, ea se dublează în două raze cu polarități diferite. Așa se explică descompunerea luminii albe în raze colorate (ROGVAIV).

Cristalele lichide folosite în LCD sunt structurate nematic. Fiecare celulă dintr-un LCD este alcătuită dintr-un strat de molecule perpendiculare aranjate între două plăci de sticlă și doi polarizatori (fig. 3.103). Fără un cristal lichid între filtrele de polarizare, lumina care trece printr-un filtru ar fi blocată de electrozi.

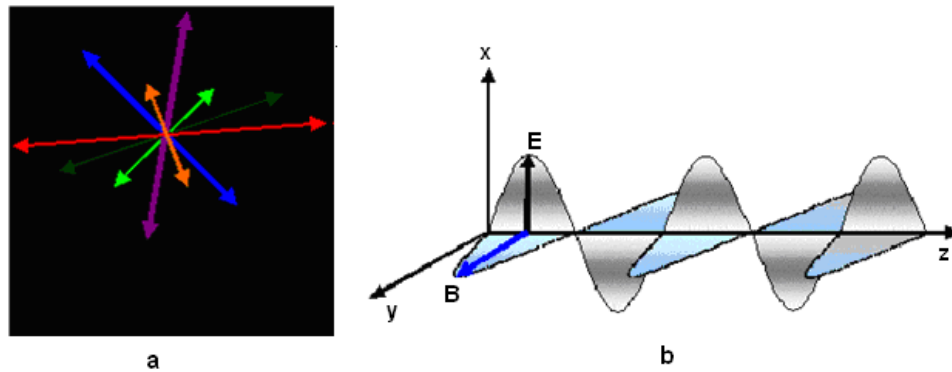


Fig. 3.102. Lumină naturală și lumină polarizată.

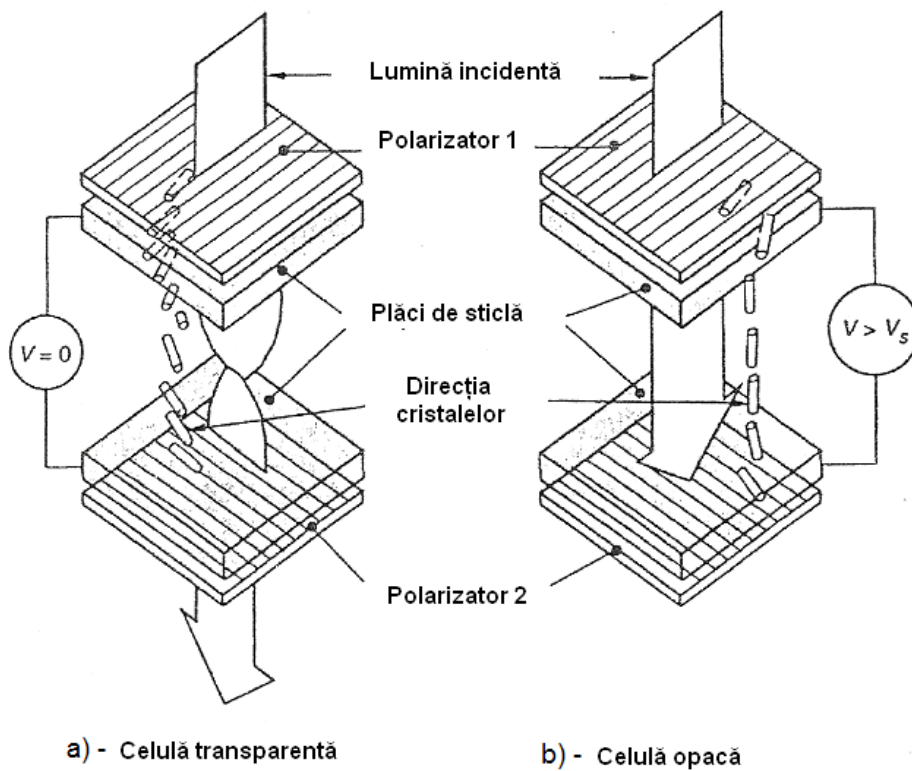


Fig. 3.103. Celulă cu cristale lichide.

Când $V = 0$ (fig. 3.103.a), cristalele dintre plăcile de sticlă își schimbă progresiv direcția, formând o elice care se rotește cu 90° . Astfel, lumina care traversează prima placă de sticlă, se va roti și ea cu 90° , trecând prin al doilea polarizator, ortogonal față de primul, deci celula este transparentă.

Prin aplicarea unui câmp electric celulei ($V > V_s$), cristalele lichide se orientează după direcția câmpului (fig. 3.103.b) și nu mai formează o elice. Lumina nu se mai rotește, fiind blocată de al doilea polarizator, iar celula devine opacă.

Aplicația cea mai cunoscută a cristalelor lichide este ecranul cu cristale lichide (LCD). Există și termometre cu cristale lichide, pentru gama de temperaturi $-30...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, precum și aparate pentru detectarea tumorilor precoce care nu pot fi puse în evidență prin radiografii sau alte metode de investigare. Se știe că tumorile au o temperatură mai mare decât a țesuturilor înconjurătoare, căldura degajată de tumori fiind pusă în evidență de un timbru cu cristale lichide aplicat pe suprafața pielii. Alte aplicații ale cristalelor lichide se referă la mediul industrial: măști de sudură sau controlul nedistructiv al pieselor metalice pentru depistarea defectelor interne.

O aplicație interesantă a cristalelor lichide o constituie așa-numita „sticlă inteligentă”, formată dintr-un strat subțire de cristale lichide, amplasat între două plăci de sticlă sau de material plastic transparent (fig. 3.104). În lipsa unui câmp electric, cristalele lichide nu sunt aliniate și poziția lor dezordonată împrăștie razele de lumină în toate direcțiile, fereastra devenind mată. La aplicarea câmpului electric, cristalele lichide se orientează ordonat, permițând razelor de lumină să străbată sticla, care devine transparentă. Această proprietate oferă o protecție comodă împotriva radiațiilor solare puternice, precum și posibilitatea realizării unor indicatoare optice de tip nou.

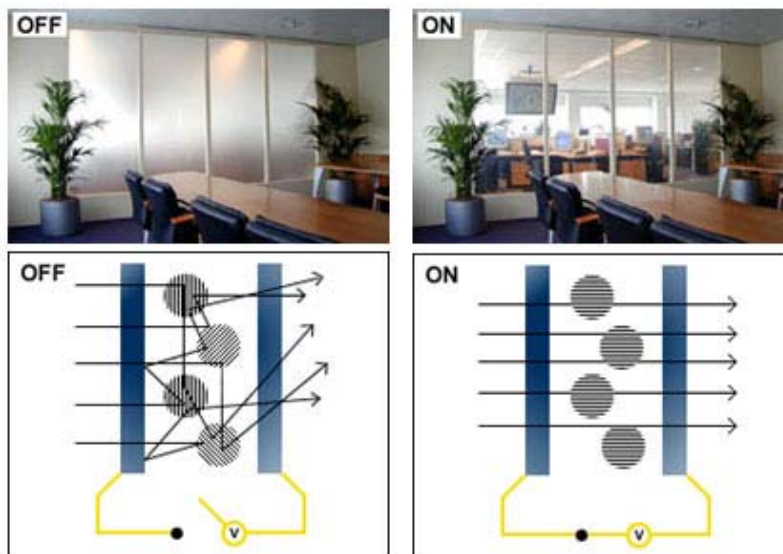


Fig. 3.104. Sticla inteligentă.

d) – **Mușchii artificiali** sunt materiale sintetice care se comportă asemănător cu mușchii biologici. Aceste materiale se dilată sau se contractă sub acțiunea unor stimuli chimici sau electrici.

Astfel, fasciculele de fibre fabricate din geluri de polimeri se contractă prin

introducerea într-o soluție acidă, datorită ionilor negativi ai polimerului care sunt atrași de ionii pozitivi ai soluției acide care impregnează gelul. Prin introducerea gelului într-o soluție bazică, ionii negativi ai gelului sunt respinși de ionii negativi ai soluției, provocând dilatarea gelului. Efectul mecanic este similar cu acțiunea țesutului muscular natural.

Polimerii electroactivi se dilată sau se contractă în prezența unui câmp electric. Acești polimeri pot fi dielectricsi, feroelectrici sau ionici. Ca polimeri dielectricsi se folosesc polimerii electrostrictivi și elastomerii, iar ca polimer feroelectric, polifluorura de viniliden (PVDF). Acuitatea acestor polimeri crește prin introducerea în compoziția lor a unor fluide electoreologice.

Printre aplicațiile mușchilor artificiali se enumeră: sisteme microelectromecanice pentru acționări inteligente, perfecționarea scrierii Braille, minipompe pentru administrarea medicamentelor fluide, membrane optice pentru corectarea aberațiilor luminii, proteze umane, roboți cu aspect uman (androizi) sau sfîncere artificiale pentru tratamentul incontinenței urinare.

3.6.5.4. Aplicații viitoare ale materialelor inteligente. Materialele inteligente se inspiră din ce în ce mai mult din modele biologice. De câțiva ani, structura membranelor biomoleculare, proteinele, structura ADN-ului, polizaharidele și lipidele constituie modele pentru crearea de noi materiale inteligente, ale căror posibile aplicații vor fi tratate în continuare.

a) – Electronica moleculară a apărut în anii 70 ai secolului trecut. ADN-ul și proteinele sunt microprocesoare capabile să recunoască semnale (electroni, ioni, molecule mici) și să reacționeze la modificările fizice sau chimice. Tehnologiile moderne deschid calea fabricării unor noi tipuri de polimeri conductori și semiconductori. Componentele electronice moleculare prezintă multiple avantaje față de cele clasice: asamblare tridimensională, proprietăți mai bune, miniaturizare apropiată de structurile biologice și posibilitatea realizării interfeței cu structurile vii.

Grație chimiei organice și geneticii, este posibilă fabricarea tranzistoarelor din materiale plastice, mai ușoare, mai mici și mai ieftine decât cele clasice. Pentru prima dată, va fi posibilă dezvoltarea unui circuit, după modelul creșterii unui cristal. Pentru aceasta, cercetătorii va trebui să realizeze fire, comutatoare și memorii moleculare reversibile, pe care să le asambleze în sisteme cu funcțiuni coordonate și nu în ultimul rând, cercetătorii va trebui să repare aceste sisteme, înlocuind moleculele sau componentele care nu funcționează corect. Fără îndoială, electronica moleculară va juca un rol din ce în ce mai important în anii care vin.

b) – Textilele inteligente vizează ținute militare de camuflaj, echipamente care să permită antrenorilor monitorizarea efortului depus de sportivi sau tricouri care să-și schimbe imprimeurile.

Echipamentele militare de camuflaj conțin minicamere video care detectează toate elementele de mediu, adaptând imediat culoarea de camuflaj propice. Soldații vor deveni astfel un fel de cameleoni a căror culoare se confundă cu cea a mediului înconjurător. Ba mai mult, se vorbește chiar de realizarea unor ținute care să-i facă invizibili pe luptători!

În ceea ce-i privește pe sportivi, se are în vedere realizarea unor echipamente care încorporează microcapsule cu produse chimice speciale, ce reacționează la temperatură și la efort, schimbându-și culoarea. Antrenorii și medicii sportivi vor putea astfel să urmărească de la distanță eforturile sportivilor. De asemenea, vor fi realizate tricouri și alte obiecte de îmbrăcăminte care își vor modifica imprimeurile în funcție de temperatură și luminozitate, după principiul cristalelor lichide. În Japonia au fost fabricate deja obiecte de îmbrăcăminte care resping insectele nedorite, fără a avea vreun miros sau vreo influență nefastă asupra purtătorilor.

Se fac cercetări pentru fabricarea unor textile care încorporează materiale cu schimbare de fază. Prin microîncapsulări depuse pe țesătură odată cu pasta de imprimare, acestea acționează ca un termoregulator, stocând căldura corpului și eliberând-o doar atunci când este nevoie. De asemenea, se vor fabrica materiale-cameleon cu comportament cromatic modificabil, în funcție de lumină (fibre fotocromatice), de temperatură (fibre termocromatice), de câmpul electric (fibre electrocromatice), de presiune (fibre piezocromatice) și de umiditate (fibre cu cromism solvabil).

c) – Aplicațiile medicale pornesc de la structura ADN-ului care este un biocalculator de o complexitate încă nedescifrată. Încet-încet se vor realiza interfețe între materiale biologice inteligente și materiale de sinteză, prin fabricarea unor cipuri biotice implantabile, care să trateze diverse afecțiuni metabolice (retine artificiale, pompe de insulină, stimulatoare și defibrilatoare cardiace) sau să realizeze teste biochimice sau medicale.

În ceea ce privește tratarea cancerului, se urmărește comanda deschiderii porilor din membrana primară a celulelor canceroase de către un curent emis de un microprocesor, prin care să se introducă mici molecule-medicament ce distrug celula canceroasă. În felul acesta, celulele sănătoase sunt protejate, iar cele canceroase distruse. La rândul lor, după deschiderea porilor, celulele canceroase emit un semnal electric recepționat de microprocesor, realizându-se astfel un circuit bidirecțional între organismul viu și calculator.

d) – Industria farmaceutică face cercetări pentru realizarea unor capsule care să elibereze medicamentul într-o perioadă mai lungă de timp, sub acțiunea unui câmp electric slab. Capsula va fi implantată sub piele, iar curentul electric va fi programat de un microprocesor. Metoda este eficientă în administrarea insulinei pentru diabetici, dar și a analgeticelor sau hormonilor. Microprocesorul comandă eliberarea dozei optime de medicament, la timpul potrivit.

e) – Industria alimentară este foarte aproape de realizarea unor ambalaje inteligente care să absoarbă oxigenul ce vine în contact cu alimentele. Aceste ambalaje mai au proprietatea de a omorî microbii sau virușii care contaminatează alimentele și de a păstra o umiditate dorită, ajungându-se astfel la mult dorita înlăturare a conservanților dăunători sănătății. Ambalajele vor fi fabricate din zeoliți, o varietate de argilă care conține săruri de argint și de cupru ce omoară microbii, precum și din gluten de grâu, care este biodegradabil și chiar comestibil.

PARTEA A DOUA

4

TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE

4.1. Domenii de utilizare a tehnologiilor neconvenționale

Procedeele de prelucrare prin aşchiere studiate anterior devin ineficiente din punct de vedere economic sau chiar imposibil de aplicat în anumite situații, cum ar fi:

- suprafețele de prelucrat au configurații complexe;
- prelucrarea unor piese confecționate din metale și aliaje cu proprietăți deosebite (rezistență foarte mare la rupere, refractaritate ridicată, rezistențe înalte la coroziune și cavitație, fragilitate mare etc.);
- obținerea unei precizii dimensionale foarte ridicate și a unei calități foarte bune a suprafețelor prelucrate și realizarea unor alezaje microdimensionale;
- realizarea unor productivități sporite în condițiile unor însemnate economii de combustibili convenționali, materii prime și resurse energetice.

Aceste limitări au determinat apariția și dezvoltarea unor metode de prelucrare noi care se numesc *tehnologii neconvenționale*, la care îndepărtarea adaosului de prelucrare se face sub formă de microparticule ca urmare a interacțiunii dintre piesă și semifabricat și un agent eroziv. Agentul eroziv este un sistem fizico-chimic sau fizico-mecanic complex care cedează piesei energie de natură electrică, electromagnetică, electrochimică, termică, chimică, mecanică sau de radiație. Energia agentului eroziv distruge stratul superficial al piesei de prelucrat prin topire, vaporizare, sublimare, ruperi de material sub formă de microparticule sau prin coroziune. În toate cazurile, pentru erodarea stratului superficial al piesei de prelucrat, energia agentului eroziv trebuie să depășească energia de legătură a particulelor de material. De asemenea, particulele erodate trebuie îndepărtate de spațiul de lucru deoarece ele pot frâna sau chiar opri continuarea eroziunii.

În același timp, tehnologiile neconvenționale au un cost de prelucrare mai ridicat, datorită valorii mari a utilajelor și gradului avansat de automatizare. Procedeele clasice de prelucrare sunt mai eficiente la piesele cu prelucrabilitate ușoară și complexitate redusă, iar tehnologiile neconvenționale sunt indicate la piesele cu prelucrabilitate dificilă și complexitate ridicată.

Clasificarea procedeele de prelucrare prin eroziune se face după mai multe criterii (natura energiei distructive, natura agentului eroziv, fenomenul fundamental etc.), în continuare prezentându-se o clasificare după natura agentului eroziv.

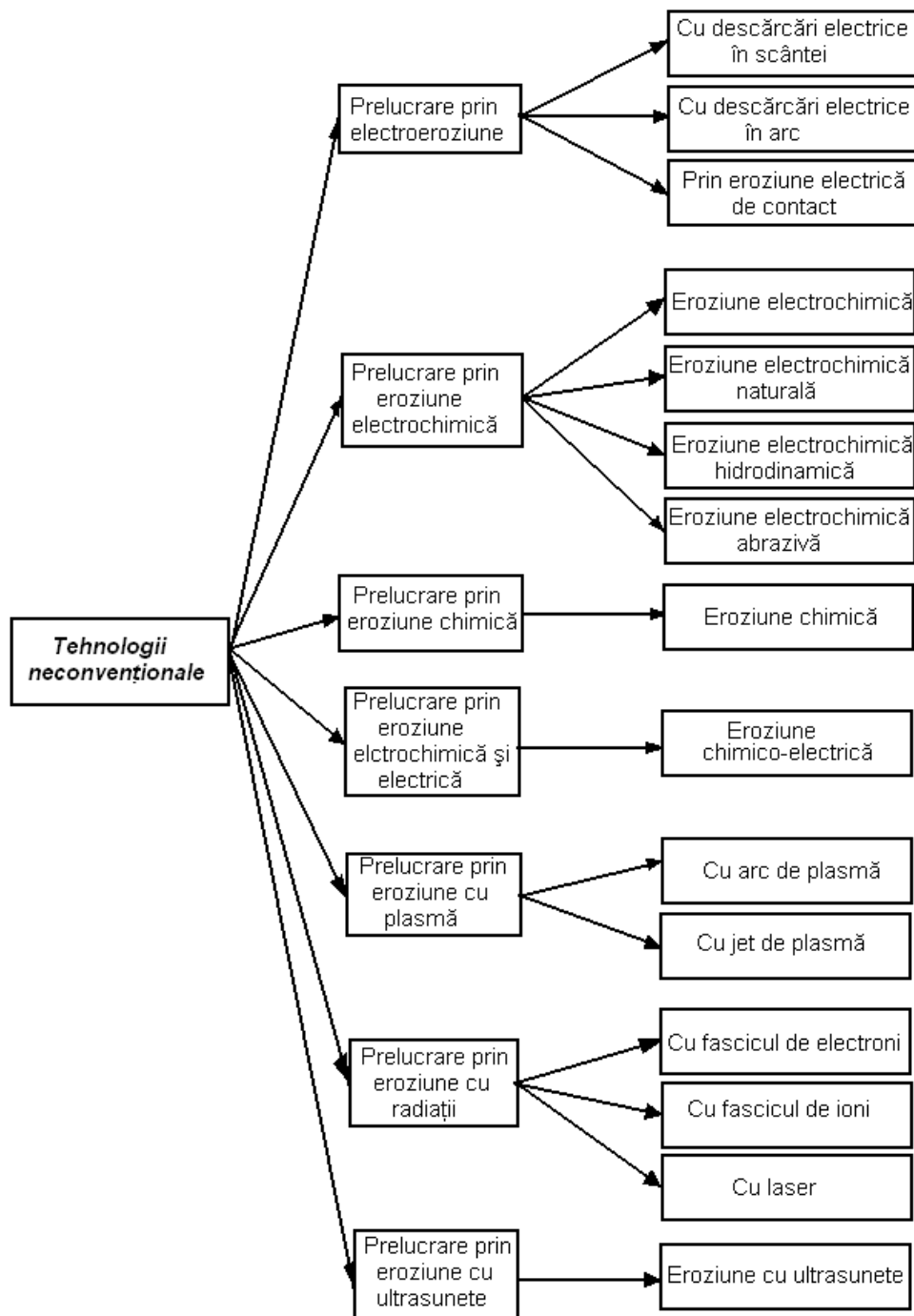


Fig. 4.1. Clasificarea procedeele de prelucrare prin eroziune.

4.2. Prelucrarea prin electroeroziune

4.2.1. Generalități

Prelucrarea prin electroeroziune se bazează pe efectele erozive complexe, discontinue și localizate ale unor descărcări electrice prin impuls, amorsate repetat între electrodul-sculă 1 și piesa de prelucrat 2 (fig. 4.2) care sunt conectate la sursa de curent U . Piesa și electrodul-sculă sunt scufundate în dielectricul 3 și între ele există un spațiu S numit interstițiu de prelucrare în care au loc descărcările electrice. Acestea conduc la desprinderi de material atât din electrodul-sculă, cât mai ales din piesă.

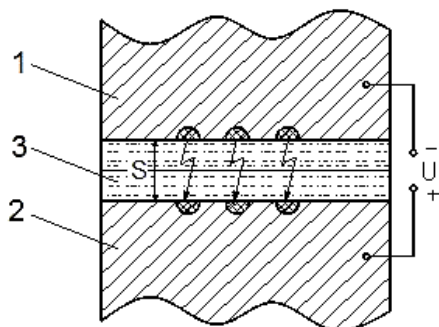


Fig. 4.2. Schema de principiu a prelucrării prin electroeroziune.

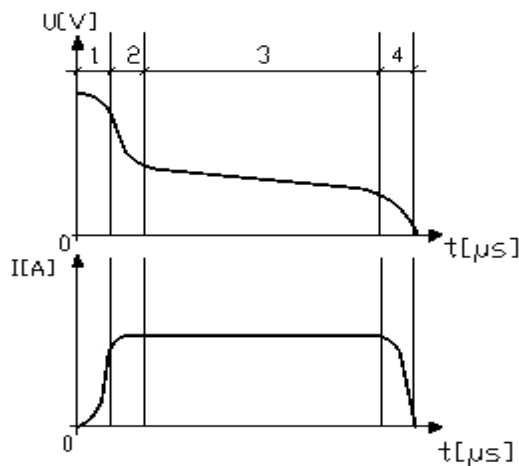


Fig. 4.3. Stadiile descărcării electrice.

Descărcarea electrică are mai multe stadii (fig. 4.3): 1 – luminescență (străpungerea mediului dielectric prin eliberarea unor electroni sau ioni de către electrodul-sculă); 2 – scânteie (formarea canalului de plasmă termică); 3 – arc nestăionar (stabilizarea parametrilor U și I); 4 – încheierea ciclului de descărcare. Un ciclu nu durează mai mult de 10^{-1} s.

În canalele de descărcare se formează plasmă ($3.000...20.000$ °C) care topește și vaporizează rapid materialul piesei, fenomenul petrecându-se sub forma unor microexplozii care se aud și se văd. Simultan apar și unde de șoc mecanice care, împreună cu gazele care iau naștere, deformează canalele de plasmă și conduc la apariția unor bule de gaz în interstițiul de lucru. Presiunea în aceste bule este foarte mare, astfel că ea asigură și evacuarea particulelor erodate din microcraterile formate.

4.2.2. Fenomene fizico-mecanice și chimice la prelucrarea prin electroeroziune

Prelucrarea prin electroeroziune a fost descoperită în 1943 de cercetătorii ruși, soții Lazarenko, iar prima mașină de prelucrat prin electroeroziune a fost construită tot de către ruși, în 1955. Începând cu anii 1970, procedeul s-a generalizat. În fig. 4.4. sunt prezentate fenomenele fizico-mecanice și chimice care au loc în timpul prelucrării, observându-se trei faze:

a) – *Inițierea descărcării* (fig. 4.4.a) are loc în urma ionizării dielectricului de către câmpul electric, prin formarea unui canal conducător între electrodul-sculă și piesă. Ionizarea se produce acolo unde câmpul electric atinge o intensitate maximă, adică în zonele în care distanțele dintre asperitățile sculei și ale piesei sunt minime. Aceste canale au diametre de la câțiva micrometri până la 800...900 μm și lungimi de 100...600 μm sau chiar de câțiva milimetri. Ionizarea durează foarte puțin (10...100 ns) și conduce la formarea plasmei care are o temperatură de 3.000...12.000 $^{\circ}\text{C}$, ea fiind constituită din atomi metalici vaporizați din sculă și din piesă, ioni și electroni.

b) – *Topirea și vaporizarea materialului piesei* (fig. 4.4.b) se datorează plasmei din canalele conducătoare. În timpul acestei faze, curentul crește, iar tensiunea scade. Particulele pozitive și negative care au fost dislocate se orientează către catod sau către anod, printr-un canal foarte îngust, rezultând densități de curent de circa 10^6 A/cm^2 , ceea ce determină încălzirea locală a sculei și piesei, topirea și vaporizarea materialului piesei și degradarea dielectricului. În jurul canalului de plasmă se formează o bulă de gaze și o undă de șoc care se propagă radial în lichid.

c) – *Înlăturarea microparticulelor erodate* (fig. 4.4.c) începe în momentul decuplării curentului electric, când temperatura bulei de plasmă este de 3.000...20.000 $^{\circ}\text{C}$. Prin efect hidrodinamic, cavitatea crește până când presiunea sa internă este depășită de presiunea hidrostatică a dielectricului, fiind distrusă prin implozie. Microparticulele lichide erodate sunt dispersate în dielectric sub formă de microsferă, iar în electrodul-sculă și piesă se formează mici cratere. Producerea unei descărcări este urmată de o creștere locală a interstițiului, ceea ce determină ca următoarele descărcări să se amorseze în noi zone.

Temperatura ridicată din canalele ionizate determină fenomene de pirogenare, adică reacții chimice între gazele aflate la temperaturi înalte, aceste reacții consumând 4...16% din energia impulsurilor. Procesul de piroliză determină depunerea unei pelicule de gaze pe electrodul-sculă, fapt ce face ca uzura acestuia să fie mai mică. Dacă în dielectric se adaugă 2% sulf, micșorarea uzurii electrodului-sculă ajunge la 40...45%, datorită îngroșării peliculei protectoare.

După cum am menționat, procesul de electroeroziune conduce la apariția unor microparticule care trebuie evacuate rapid din interstițiul de lucru, în caz contrar procesul fiind încetinit sau chiar întrerupt complet. Eliminarea lor se face prin unde de șoc care apar, prin implozia bulelor de gaz și mai ales datorită circulației forțate a dielectricului. Presiunea dielectricului nu poate fi însă prea mare, pentru că ar conduce la distrugerea canalelor de ionizare.

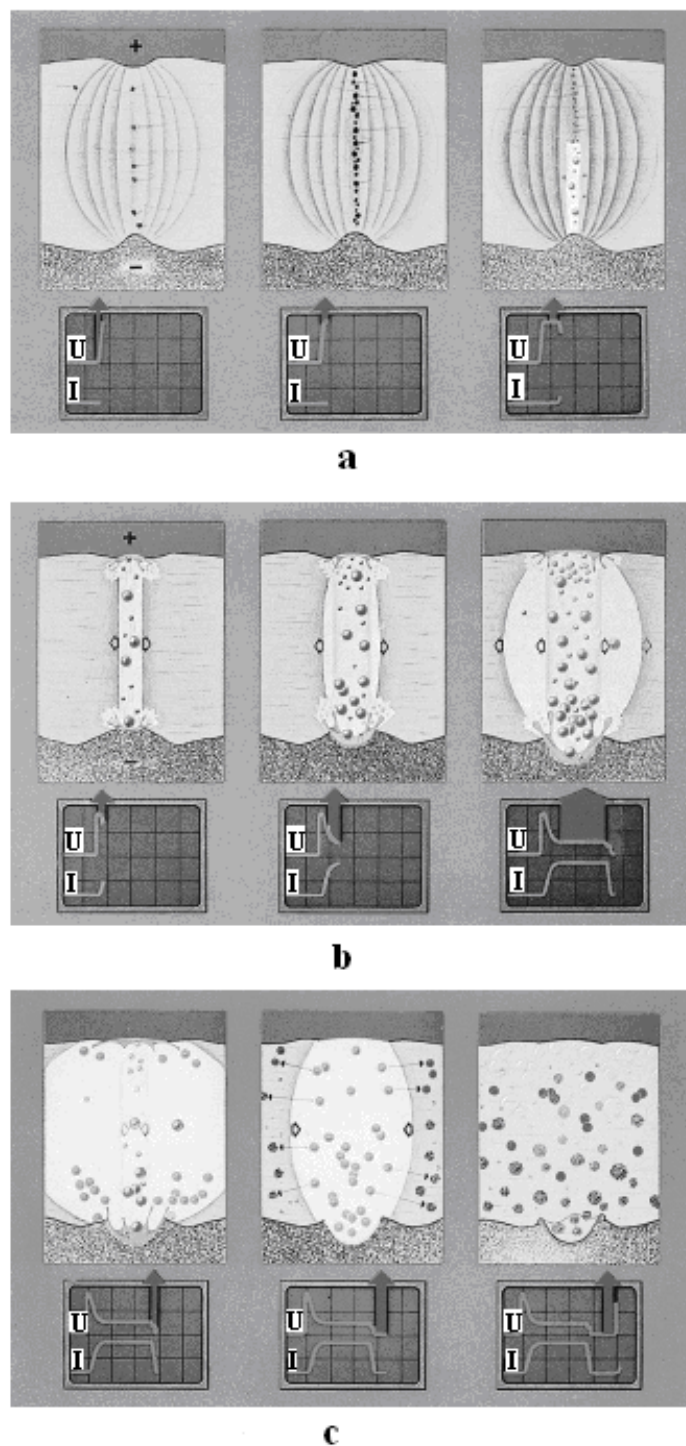


Fig. 4.4. Mecanismul fizic al prelucrării prin electroeroziune.

Fenomene erozive similare cu cele de pe suprafața piesei de prelucrat apar și pe suprafața electrodului-sculă. Pentru o eroziune minimă a sa, electrodul-sculă se conectează la polul optim, în funcție de stadiile descărcării, și se execută din materiale cu o bună conductibilitate termică sau cu o temperatură de topire ridicată (Al, Ag, Cr, Cu, Ni, W, Zr, grafit etc.).

Un element care influențează direct fenomenele fizico-mecanice și chimice care au loc la prelucrarea prin electroeroziune este interstițiul de lucru. El se poate asimila cu o rezistență electrică neliniară, iar caracteristica tensiune-timp este formată din trei părți (fig. 4.5): 1 – porțiune cu cădere rapidă de tensiune în care se formează canalele de descărcare ($t_1 = 10^{-9} \dots 10^{-7}$ s); 2 – porțiune cu o cădere mai lentă de tensiune ($t_2 = 100 \dots 500$ μ s); 3 – porțiune cu tensiune constantă.

Reglarea interstițiului de lucru dintre electrozi se face în mod automat, el trebuind să fie constant, pentru evitarea fenomenului de scurtcircuitare. Aceasta ar conduce la apariția unor cavități mult mai mari decât în cazul descărcărilor normale și la rebutarea pieselor. Interstițiul de lucru este mai mare la degroșare și mai redus la finisare, în ambele cazuri el trebuind să asigure evacuarea gazelor care apar în timpul prelucrărilor.

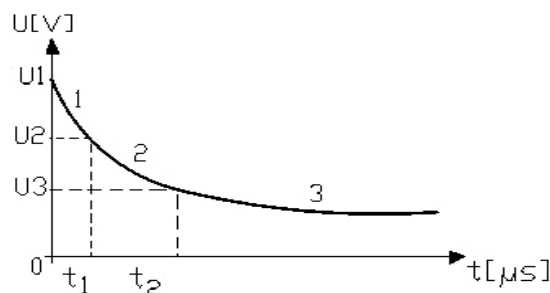


Fig. 4.5. Caracteristica tensiune-timp a interstițiului de lucru.

4.2.3. Dielectrici utilizați la prelucrarea prin electroeroziune

Un rol important în procesul de prelucrare electroerozivă îl are dielectricul utilizat, adică lichidul în care are loc descărcarea electrică și circulația lui, de care depinde în mare măsură productivitatea prelucrării. Circulația dielectricului asigură îndepărtarea particulelor erodate care ar conduce la scurtcircuitarea interstițiului de lucru (fig. 4.6). Dielectricul trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă rezistență chimică mare la acțiunea aerului;
- să-și păstreze vâscozitatea în timpul prelucrării;
- să aibă conductibilități termică și electrică reduse;
- să aibă temperatura de aprindere peste 40 °C;
- să se evaporeze cât mai puțin în timpul prelucrării, iar vaporii să nu fie nocivi;
- să fie stabil chimic la descărcări electrice repetate;
- să-și păstreze proprietățile fizico-chimice în timp;
- să nu coste mult și să poată fi filtrat și reutilizat.

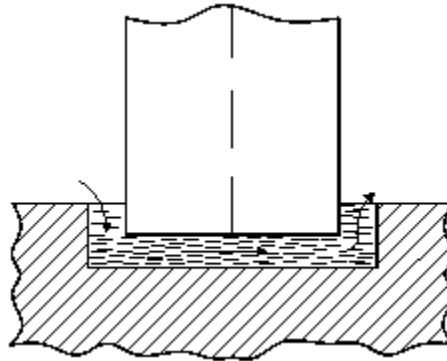


Fig. 4.6. Circulația dielectricului în interstițiul de lucru.

Circulația sub presiune a dielectricului asigură îndepărtarea particulelor erodate ($p = 0,6 \dots 1$ bar).

Ca dielectrici pentru prelucrarea prin electroeroziune se utilizează apa, uleiurile industriale și petrolul. Cel mai bun dielectric este un amestec de 80% petrol, 18% păcură și 2% pulbere de sulf, iar pentru desfășurarea normală și continuă a procesului de electroeroziune, dielectricul trebuie curățat de reziduuri prin filtrare.

4.2.4. Scule utilizate la prelucrarea prin electroeroziune

Prin electroeroziune pot fi prelucrate toate tipurile de materiale bune conducătoare de electricitate, fie că sunt moi, fie că sunt dure sau extradure. Ca urmare, alegerea materialului pentru electrozii-sculă se face în funcție de materialul care se prelucrează, astfel încât să se obțină o uzură minimă la o dislocare maximă de material de prelucrat. De asemenea, alegerea materialului electrodului-sculă se face în funcție de numărul pieselor care se execută. Astfel, în producția de unicate și de serie mică, se alege un material mai ieftin (cupru, alamă, grafit), iar pentru producția de serie mare se alege un material mai rezistent, dar mai scump (pulberi sinterizate de cupru-grafit, wolfram-cupru).

Ținând seamă de materialul din care se confecționează electrozii-sculă, ei se obțin prin turnare, deformare plastică la cald sau la rece (matrițare, tragere, extrudare și presare), sinterizare din pulberi metalice sau grafit și depuneri galvanice, aducându-se la forma finală prin așchiere. Electroductul-sculă este format dintr-o parte activă care participă direct la generarea suprafeței și dintr-o parte auxiliară cu care se fixează la mașina de prelucrat. În fig. 4.7 se prezintă câteva construcții caracteristice de electrozi-sculă.

4.2.5. Generatoare de impulsuri folosite la prelucrarea prin electroeroziune

Generatorul de impulsuri este partea cea mai importantă a unei mașini de

prelucrat prin electroeroziune care asigură reglarea diferitelor regimuri electrice de prelucrare. Ele pot fi cu acumulare de energie (dependente) sau fără acumulare de energie (independente).

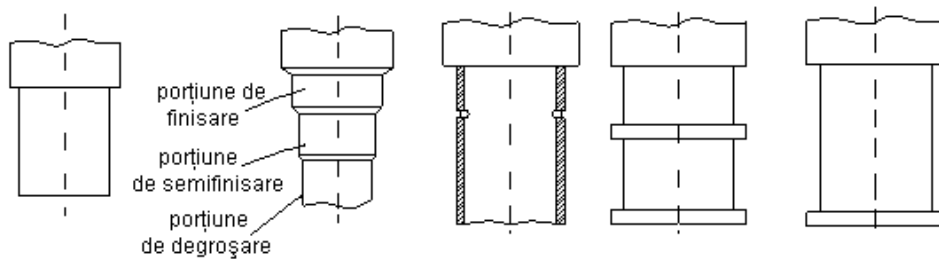


Fig. 4.7. Forme caracteristice de electrozi-sculă.

În fig. 4.8 se prezintă schema de principiu a unui generator cu energie înmagazinată în câmp electric (generator RC). De la o sursă de curent continuu U se alimentează prin rezistența R un condensator C la bornele căruia se conectează electrodul-sculă și piesa de prelucrat.

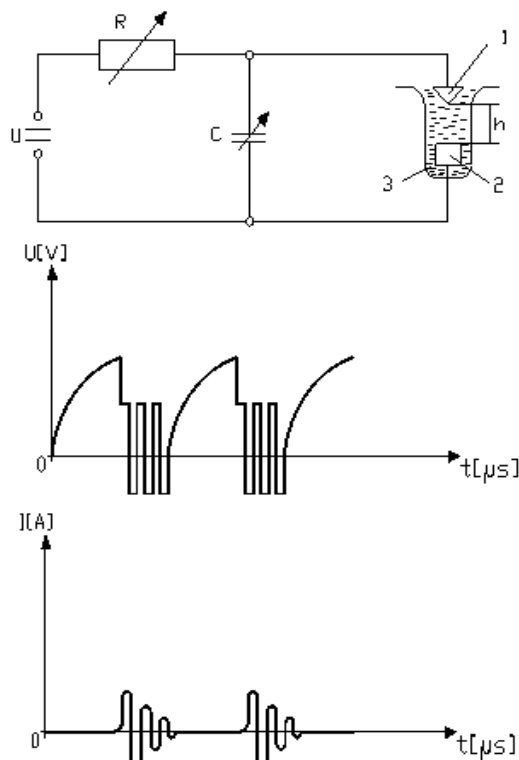


Fig. 4.8. Schema de principiu a generatorului de impulsuri RC și forma impulsurilor.

Condensatorul se încarcă până la atingerea tensiunii necesare amorsării descărcărilor, după care se descarcă într-un timp mult mai scurt, între electrodul-sculă 1 și piesa 2 aflate în dielectricul 3. Puterea instalației nu poate depăși 1 kW, iar schema prezintă următoarele dezavantaje: randament scăzut și pierderi de energie de 10...20%; frecvența, durata, amplitudinea și energia impulsului depind de starea fizică a interstițiului de lucru.

Generatoarele fără acumulare de energie sau independente se bazează fie pe întreruperea curentului furnizat de o sursă de curent continuu, fie pe generarea directă a impulsurilor cu ajutorul mașinilor electrice rotative sau a circuitelor cu saturație magnetică. În fig. 4.9 se prezintă schema de principiu a unui generator de impulsuri bazat pe întreruperea curentului, elementele de comutație cele mai folosite fiind:

- *tuburile electronice*, în cazul prelucrării cu scânteii de înaltă frecvență și putere sub 5 kW;
- *tranzistoarele*, în cazul prelucrării cu descărcări în arc electric de medie și înaltă frecvență și puteri până la 25 kW;
- *tiristoarele*, în cazul prelucrării cu descărcări în arc electric cu frecvențe medii și joase și puteri până la 50 kW.

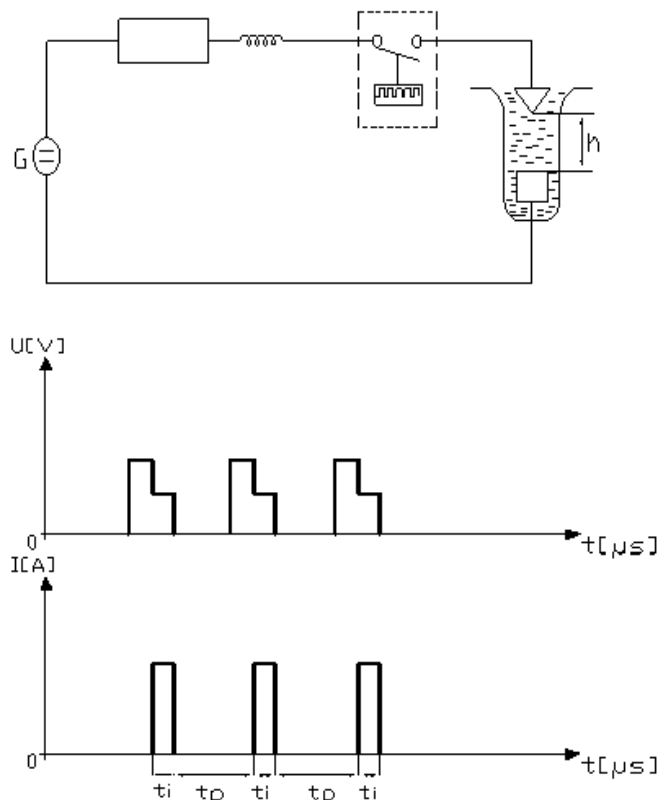


Fig. 4.9. Schema de principiu a generatorului de impulsuri cu întreruperea curentului.

Toate aceste generatoare au posibilitatea reglării frecvenței, duratei impulsurilor și a coeficientului de umplere. Ele sunt alcătuite dintr-o sursă de curent continuu, o unitate pentru limitarea curentului, un întrerupător electric și un sistem de comandă. Sursa de tensiune a generatorului este un transformator alimentat de la rețeaua trifazată, din secundarul căruia se obțin atât tensiunile de putere, cât și cele de comandă. Aceste tensiuni sunt redresate cu redresoare de diferite tipuri.

4.2.6. Mașini de prelucrat prin electroeroziune

4.2.6.1. Mașina universală de prelucrat prin electroeroziune. Schema-bloc a mașinii universale de prelucrat prin electroeroziune este prezentată în fig. 4.10: 1 – batiu; 2 – carcasă cu echipamente electrice; 3 – cap portelectrod-sculă; 4 – electrod-sculă; 5 – cuvă cu dielectric; 6 – piesă; 7 – sanie longitudinală; 8 – sanie transversală; *I* – mișcare de rotație a electrodului-sculă; *II* – mișcare rectilinie a electrodului-sculă; *III* și *IV* – mișcări de poziționare a piesei.

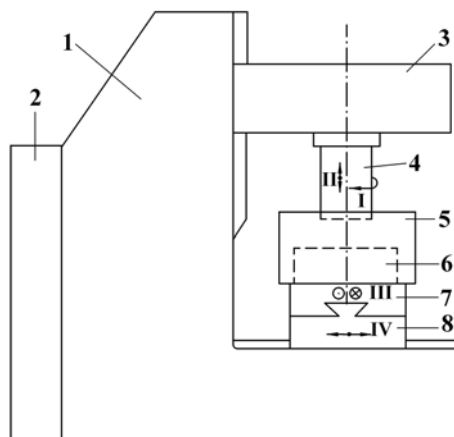


Fig. 4.10. Schema-bloc a mașinii universale de prelucrat prin electroeroziune.

Schema de principiu a mașinii universale de prelucrat prin electroeroziune este prezentată în fig. 4.11: 1 – generator de impulsuri; 2 – regulator de avans; 3 – electrod-sculă; 4 – piesă de prelucrat; 5 – cuvă cu dielectric de lucru; 6 – rezervor cu dielectric; P_H – pompă hidraulică; F – filtru; 7 – radiator de răcire; 8 – ghidaje; *I*, *II* – mișcările electrodului-sculă.

Regulatorul de avans asigură un interstițiu optim și este alcătuit dintr-un motor electric de curent continuu și un mecanism care transformă mișcarea de rotație a motorului într-o mișcare rectilinie-alternativă *II*. Servomecanismul are o construcție simplă, dar nu se poate utiliza decât pentru mașini de dimensiuni mici și mijlocii. Pentru mașini grele, regulatorul de avans este electrohidraulic, având o construcție mai complicată. De asemenea, comanda servomecanismului de avans se poate realiza prin motoare pas cu pas, în acest caz deplasările fiind foarte

precise, putând atinge câțiva microni.

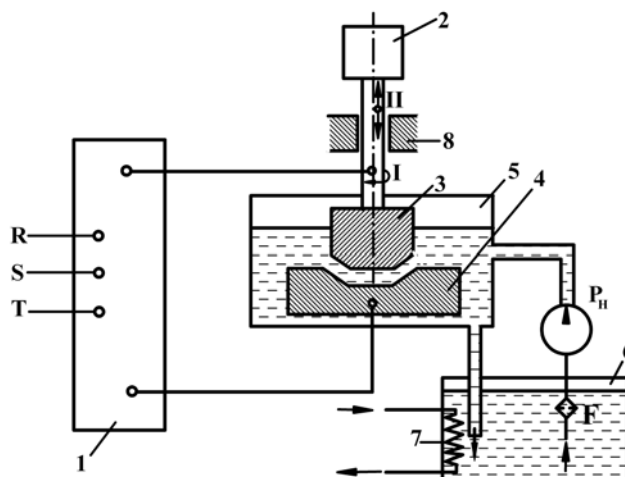


Fig. 4.11. Schema de principiu a mașinii universale de prelucrat prin electroeroziune.

4.2.6.2. Mașinile pentru tăierea materialelor prin electroeroziune se utilizează la debitarea pieselor executate din materiale foarte dure (fig. 4.12). După principiul de lucru sunt:

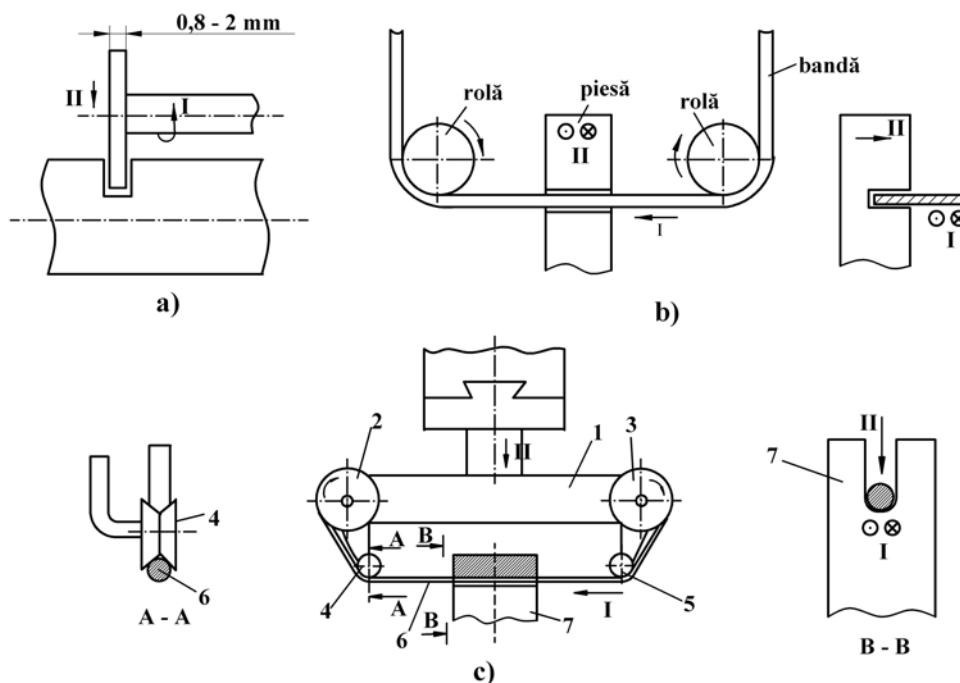


Fig. 4.12. Scheme pentru tăierea materialelor prin electroeroziune.

a) – Mașinile pentru tăierea metalelor cu electrod-sculă-disc sunt utilizate la debitarea barelor și profilurilor, precum și pentru realizarea unor creștături de precizie în țevi, plăci, bușe elastice etc. (fig. 4.12.a). Discul execută atât mișcarea de rotație *I*, cât și avansul vertical *II*, iar prinderea lui se face similar cu fixarea discurilor abrazive la mașinile de rectificat.

b) – Mașinile pentru tăierea metalelor cu electrod-sculă-bandă (fig. 4.12.b) utilizează ca sculă o bandă metalică și sunt mai răspândite decât cele cu discuri deoarece pot realiza tăieturi după diferite contururi. Benzile au lățimi de 0,1...0,3 mm când sunt din alamă și 0,6...1 mm când sunt din oțel și execută mișcarea principală *I*, iar piesa, avansul rectiliniu *II*.

c) – Mașinile pentru tăierea metalelor cu electrod-sculă-sârmă (fig. 4.12.c) se utilizează la tăieturi de precizie și la debitarea materialelor metalice deficitare și scumpe, pentru a reduce pierderile de materie primă. Semnificația notațiilor este următoarea: *I* – dispozitiv portelectrod și de avans; 2, 3 – tamburi pentru înfășurarea-desfășurarea sârmei-electrod; 4, 5 – role pentru conducerea sârmei-electrod; 6 – sârmă-electrod; 7 – piesă. Sârma-electrod are diametre de 0,05...0,5 mm dacă este din cupru sau alamă și mai mici de 0,1 mm dacă este confecționată din wolfram. Ea execută mișcarea rectilinie *I*, iar dispozitivul portelectrod, mișcarea de avans *II*.

4.2.6.3. Mașinile specializate de prelucrat prin electroeroziune se folosesc la rectificarea și filetare.

a) – Mașinile de rectificat prin electroeroziune se utilizează pentru rectificarea rotundă sau plană a pieselor din materiale extradure (fig. 4.13): *1* – electrod-sculă; 2 – piesă; 3 – suportul piesei; 4 – dielectric; *I*, *II*, *III* – mișcările realizate de către electrodul-sculă și piesa de prelucrat.

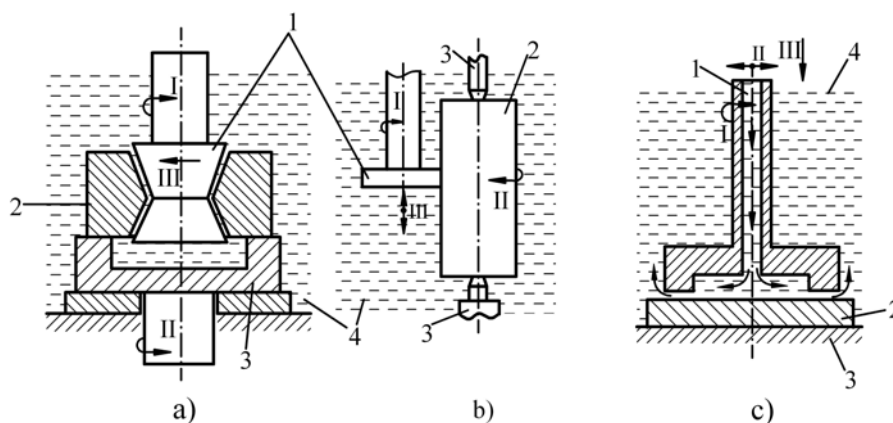


Fig. 4.13. Rectificarea rotundă sau plană a pieselor din materiale extradure.

Mișcările de rotație se fac cu turații scăzute ($n = 30...350$ rot/min), iar electrozii-sculă se confecționează din cupru electrolitic, alamă sau grafit.

b) – Mașinile de filetat prin electroeroziune se utilizează pentru tăierea

tuturor tipurilor de filete interioare sau exterioare în materiale extradure, cum ar fi carburile metalice (fig. 4.14).

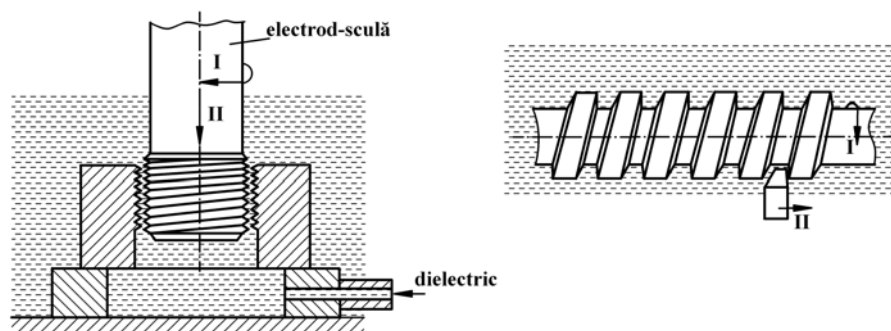


Fig. 4.14. Prelucrarea filetelor prin electroeroziune.

4.3. Prelucrarea prin eroziune electrochimică

4.3.1. Generalități

Prelucrarea prin eroziune electrochimică se bazează pe *fenomenul dizolvării anodice*, adică trecerea în soluție a materialului din care este confecționat anodul prin niște reacții chimice simple. Avantaje: productivitatea prelucrării este ridicată; precizia dimensională și calitatea suprafețelor prelucrate sunt foarte bune; prelucrarea nu conduce la modificări structurale sau tensiuni superficiale în piesele prelucrate; posibilitatea obținerii unor piese la forma finală, fără prelucrări ulterioare. În același timp, procedeul necesită instalații costisitoare, iar controlul parametrilor de lucru este dificil.

În interstițiul de lucru au loc o serie de fenomene fizico-mecanice și chimice, datorită trecerii curentului electric prin electrolit, între electrodul-sculă și piesă. Ionii pozitivi de la anod trec în soluție și reacționează cu ioni negativi existenți în electrolit, formând compuși chimici (hidroxizi metalici) care se depun ca reziduuri în electrolit. În fig. 4.15 este reprezentat schematic un proces de dizolvare anodică a unui oțel, având ca electrolit o soluție apoasă de NaCl. Hidroxizii de fier se vor depune în cuva de electroliză, iar hidrogenul se degajă la catod, împreună cu sărurile produse (noxe), motiv pentru care băile trebuie închise și prevăzute cu aerisire forțată.

Productivitatea prelucrării electrochimice este cantitatea de material dizolvată chimic sub acțiunea curentului electric, în unitatea de timp. Cantitatea efectivă de metal erodat de la anod se poate determina pe baza legilor lui Faraday:

- *legea întâi*: masa unei substanțe depuse la un electrod în timpul electrolizei este proporțională cu cantitatea de electricitate trecută prin electrolit:

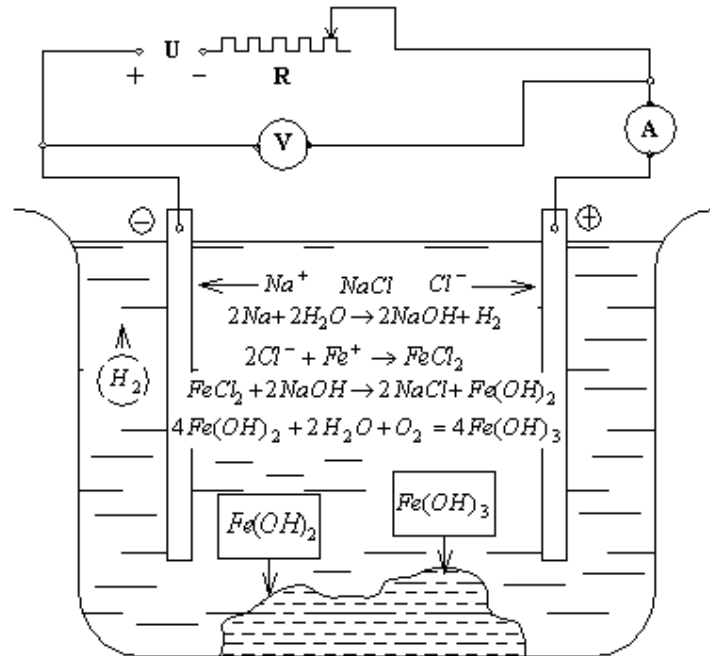


Fig. 4.15. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrochimică.

$$m = K \cdot I \cdot t \cdot \eta, \text{ g} \quad (2.1)$$

unde: K – echivalentul electrochimic al substanței, mg/Coulomb; I – intensitatea curentului, A; t – timpul de trecere a curentului, s; η – randamentul de curent (raportul dintre cantitatea de material efectiv dizolvată și cea teoretic dizolvată, %;

- *legea a doua*: la trecerea aceleiași cantități de electricitate prin soluții cu diferiți electroliți, cantitățile fiecăreia dintre substanțele expuse la transformări sunt proporționale cu echivalenții lor chimici:

$$\frac{K}{M} = 0,01036 \text{ sau } K = 0,01036 \cdot \frac{Ag}{v} \quad (2.2)$$

unde: Ag – greutatea atomică a argintului, g; v – valența atomului din combinația moleculară; $Ag/v = M$ – echivalentul chimic al substanței, g/A·h.

Volumul de material erodat V :

$$V = \frac{I \cdot t}{96500} \cdot \eta \cdot \frac{A}{v} \cdot \frac{1}{\rho}, \text{ cm}^3 \quad (2.3)$$

unde: $F = 96.500$ – numărul lui Faraday, A·s; ρ – densitatea metalului, g/m³; A – masa atomică a metalului supus erodării.

Productivitatea prelucrării este direct proporțională cu intensitatea curentului și timpul de trecere a curentului și invers proporțională cu densitatea materialului și valența lui.

În procesul de prelucrare electrochimică, electrolitul îndeplinește următoarele funcțiuni: asigură închiderea circuitului electric între electrodul-sculă și piesă; înlătură microparticulele din zona de prelucrare; înlătură căldura produsă în procesul de lucru. Pentru aceasta, electrolitul trebuie să aibă următoarele calități: conductibilitate electrică foarte bună; toxicitate redusă; coroziune minimă; stabilitate chimică și electrochimică.

Ca electroliti se utilizează: soluție de 30% NaCl și KCl, 10% H₂SO₄, 5% NaOH, NaCl, NaNO₃.

La prelucrarea prin eroziune electrochimică, pe suprafața piesei de prelucrat se formează o *peliculă pasivă* care împiedică desfășurarea în continuare a eroziunii. După modul cum se înlătură această peliculă, există mai multe metode de prelucrare prin eroziune electrochimică.

4.3.2. Eroziunea electrochimică naturală

Îndepărtarea produselor eroziunii se face cu ajutorul gazelor care se formează în procesul de prelucrare. Pe suprafața cu asperități a piesei de prelucrat se formează o peliculă vâscoasă cu grosime neregulată, mai mare în adâncituri, față de cea de la vârful asperităților (fig. 4.16). Dizolvarea metalului va începe în regiunea vârfurilor asperităților, datorită concentrației de câmp electric în această zonă. Procedul se utilizează pentru operații de lustruire, decapare sau debavurare

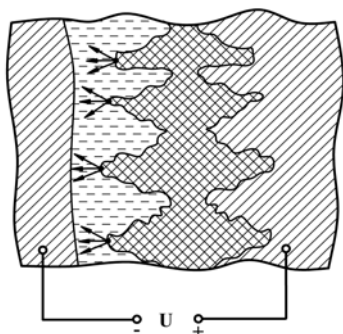


Fig. 4.16. Eroziunea electrochimică naturală.

și se realizează în cuve similare cu cele de la acoperirile galvanice, construite din metal și căptușite cu materiale plastice sau lemn, pentru a rezista la coroziune. Electrozii se confecționează din materiale electroconductoare (cupru electrolitic, grafit) și se amplasează la o distanță de 40...100 mm de piesa de prelucrat. Sursele de energie sunt generatoare de curent continuu cu $U = 6...12 \text{ V}$ și $I = 5...25 \text{ A/dm}^2$, pentru electroliti reci și $40...280 \text{ A/dm}^2$, pentru electroliti calzi.

Principalele aplicații ale metodei sunt prezentate în fig. 4.17: *a* – curățarea de oxizi a pieselor turnate sau forjate (*1,2* – electrozi-sculă; *3* – piesă; *4* – electrolit; *5* – cuvă); *b* – netezirea electrochimică a suprafeței unei piese (*1* – electrod-sculă; *2* – piesă; *3* – electrolit; *1* – avans transversal al electrodului-sculă); *c* – lustruirea suprafețelor interioare ale țevelor (*1* – electrod-sculă; *2* – piesă; *3* – cuvă cu electrolit; *4* – placă de sprijin izolantă); *d* – lustruirea benzilor și sârmelor (*1* – bandă sau sârmă de lustruit; *2,3* – tamburi de înfășurare-desfășurare; *4* – baie de spălare; *5* – baie de degresare; *6* – baie de lustruire; *7* – electrod-sculă; *8* – baie de spălare finală; *9* – contact bușă-anod).

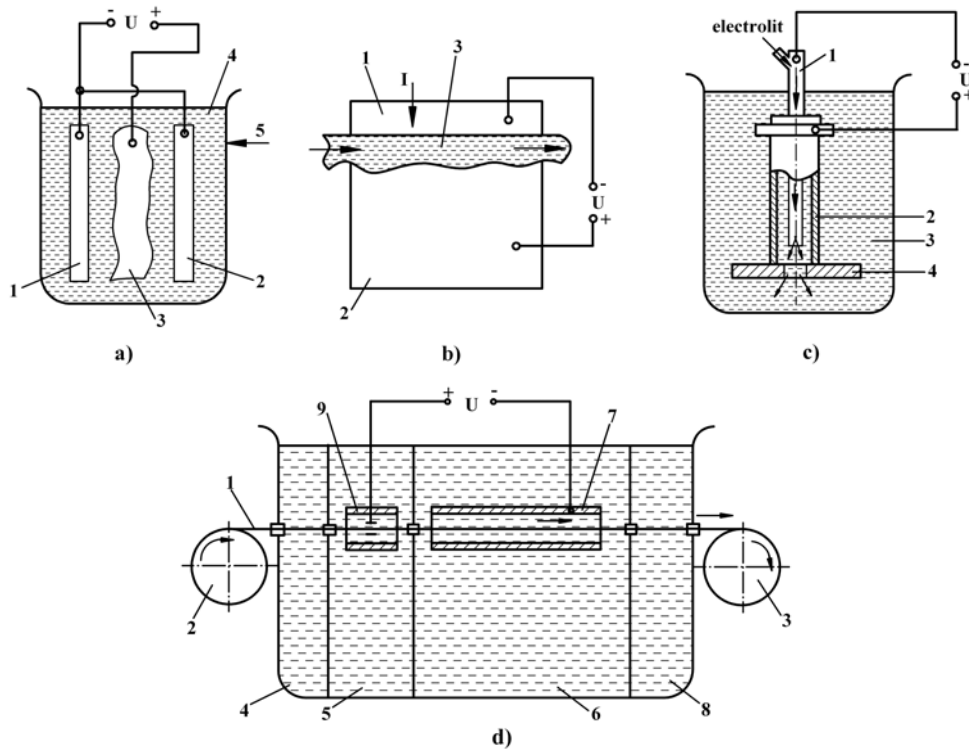


Fig.4.17. Aplicații ale eroziunii electrochimice naturale.

4.3.3. Eroziunea electrochimică hidrodinamică

Îndepărtarea peliculei pasive se face prin acțiunea mecanică a electrolitului introdus cu presiune ridicată ($7...30 \text{ daN/cm}^2$) și cu viteză mare ($30...50 \text{ m/s}$) între electrodul-sculă și piesă (fig. 4.18): 1 – sursă de curent continuu; 2 – regulator de avans; 3 – electrod-sculă; 4 – piesă; 5 – cuvă cu electrolit; R_z – rezervor cu dielectric; P_H – pompă hidraulică; F – filtru; 6 – instalație de răcire; I, II – mișcări ale electrodului-sculă. Electrozii-sculă se confecționează din oțel inoxidabil, alamă, bronz sau aliaje de aluminiu. Productivitatea prelucrării este proporțională cu intensitatea curentului, însă aceasta este limitată de încălzirea electrodului care nu trebuie să fie mai mare de $20...75^\circ\text{C}$. Ca electroliti se utilizează soluții apoase de NaCl cu acid boric sau soluții apoase de fluoruri și acid fluorhidric. Interstițiul de lucru este de $0,05...0,8 \text{ mm}$.

Principalele aplicații ale procesului sunt prezentate în fig. 4.19: *a* – prelucrarea suprafețelor plane (*I* – piesă; 2 – electrod-sculă; 3 – canale pentru electrolit; *I* – mișcarea electrodului-sculă); *b* – strunjire exterioară (*I* – piesă; 2 – electrod-sculă; *I* – mișcare principală de rotație a piesei; *II* – avans transversal al electrodului-sculă); *c* – găurire (*I* – piesă; 2 – electrod-sculă; 3 – inel pentru contact electric; 4 – izolator electric; 5 – capac pentru evacuarea electrolitului; *I, II* – mișcările electrodului-sculă); *d* – prelucrarea paletelor de turbine (*I* – piesă; 2, 3, 4, 5

– electrozi-sculă; 6 – cuvă cu electrolit; $I...IV$ – mișcările electrozilor-sculă).

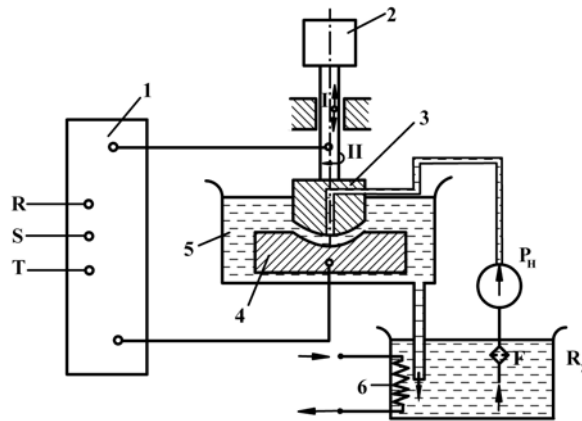


Fig. 4.18. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

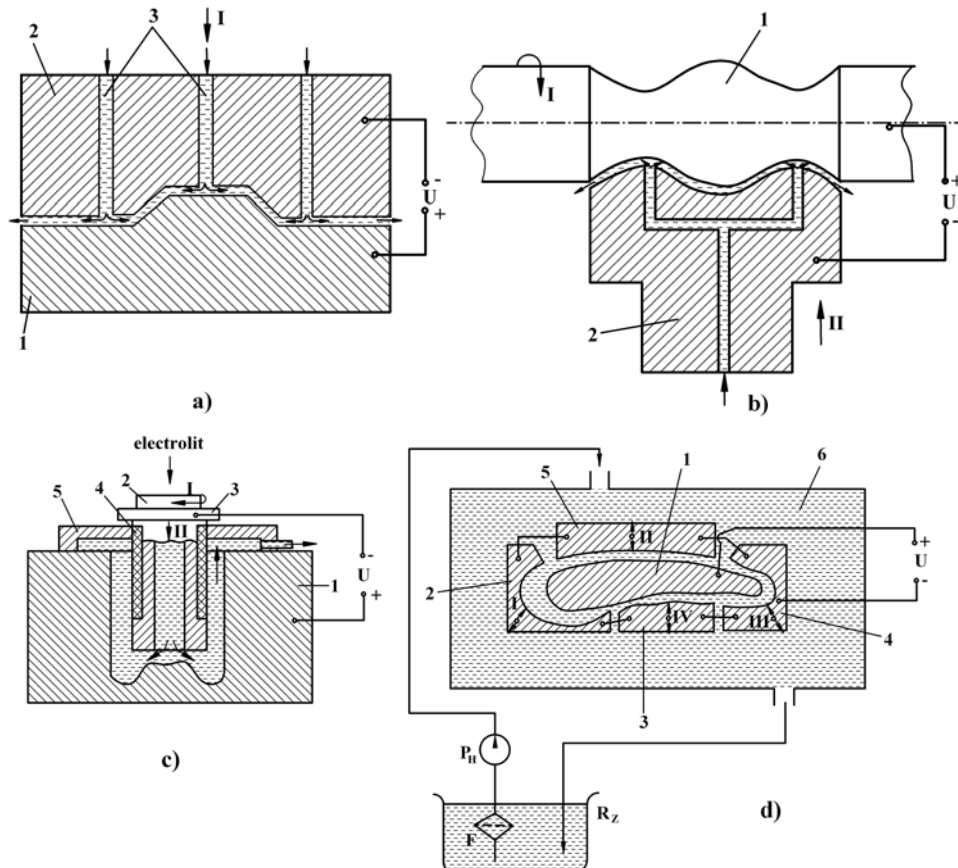


Fig. 4.19 Aplicații ale eroziunii electrochimice hidrodinamice.

4.3.4. Eroziunea electrochimică abrazivă

Procedeul de prelucrare electrochimică abrazivă se bazează pe desfășurarea simultană a unei prelucrări electrochimice cu depasivizarea mecanică forțată prin intermediul unei scule abrazive (fig. 4.20): 1 – electrod-sculă cu granule abrazive; 2 – piesă; 3 – electrolit; 4 – peliculă anodică; I, II – mișcările electrodului-sculă.

Prin acest procedeu se obțin productivități foarte bune (până la $500 \text{ mm}^3/\text{min}$) și o rugozitate foarte bună a suprafețelor prelucrate ($R_a = 0,05 \dots 0,2 \text{ } \mu\text{m}$). Mișcarea I se realizează cu viteze de $20 \dots 30 \text{ m/s}$.

Principalele domenii de aplicare a metodei sunt prezentate în fig. 4.21: a – ascuțirea sculelor așchietoare; b – rectificare; c – honuire.

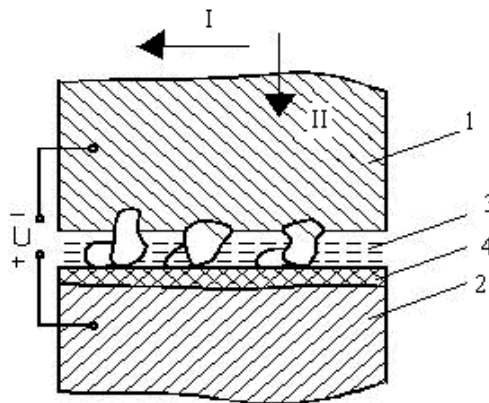


Fig. 4.20. Schema de principiu a eroziunii electrochimice abrazive.

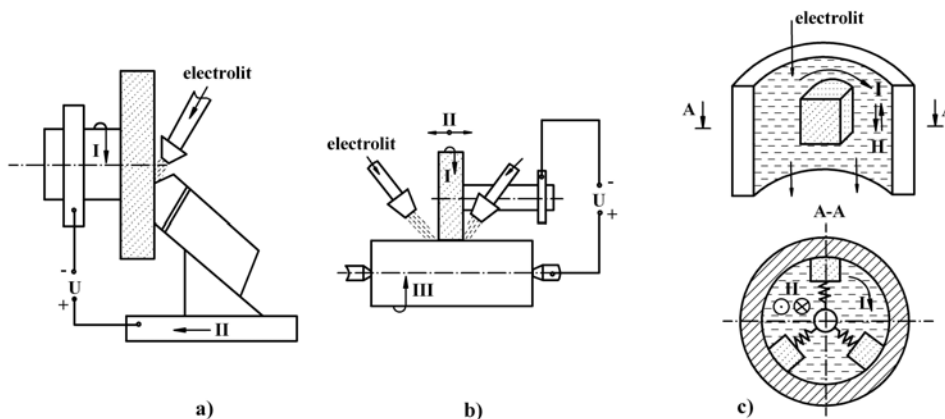


Fig. 4.21. Aplicații ale eroziunii electrochimice abrazive.

4.4. Prelucrarea prin eroziune chimică

Prelucrarea prin eroziune chimică se bazează pe atacul suprafeței de prelucrat cu o substanță chimică activă. Operația se realizează prin introducerea piesei de prelucrat în soluții speciale, îndeosebi în soluții sodice. Compoziția acestora se alege în funcție de natura metalului de prelucrat și de cantitatea de material care se îndepărtează în unitatea de timp. Randamentul prelucrării este influențat de compoziția chimică a electrolitului, temperatura băii, compoziția

chimică a obiectului supus eroziunii și în special de structura cristalină a acestuia, având în vedere că atacul se produce la limita de separare a cristalelor.

Procedeul se aplică îndeosebi la prelucrarea prin gravare a tablelor, benzilor și profilurilor, la găurirea unor piese din metale și aliaje dure, la executarea unor canale cu aplicații în industria electronică la circuitele imprimate, precum și la confecționarea unor grile sau filtre fine. Precizia de prelucrare este condiționată de oprirea la timp a eroziunii chimice.

Tehnologia de prelucrare prin eroziune chimică se poate realiza pe întreaga suprafață a piesei, când se fac operații de lustruire, polizare sau decapare sau numai pe anumite zone ale piesei. În al doilea caz, se realizează acoperirea zonelor care nu sunt supse prelucrării cu o masă din material plastic rezistent la agenții corosivi. În ambele cazuri, suprafețele de prelucrat trebuie bine curățate cu perii de sârmă sau cu discuri abrazive și decapate cu solvenți organici, după care se spală cu jet puternic de apă. Se apreciază că suprafața este bine pregătită dacă prin introducerea și scoaterea piesei din apă, pe suprafața pregătită rămâne un film continuu și uniform de apă.

Ca soluții de atac se utilizează: clorură ferică, H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , acid fluorhidric, acid cronic, clorură cuprică sau combinații ale acestora. Se pot astfel prelucra piese din Al și aliaje de Al, Pb, Ge, oțeluri-carbon și inoxidabile, Cu și aliaje din Cu, Cr, Ni și aliaje din Ni, Si, Zn, Sn.

În fig.4.22 se prezintă un exemplu de prelucrare prin eroziune chimică.

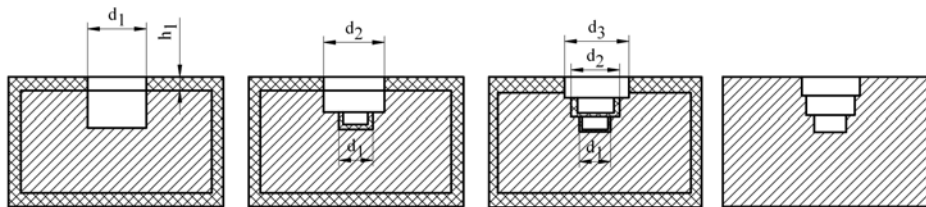


Fig.4.22. Prelucrare prin eroziune chimică.

4.5. Prelucrarea prin eroziune electrică și electrochimică

4.5.1. Generalități

Prelucrarea prin eroziune electrică se face cu o productivitate mică și cu o precizie dimensională și o calitate a suprafeței foarte bune, iar prelucrarea prin eroziune electrochimică are o productivitate mare, o precizie dimensională și o calitate a suprafeței mai slabe. Ca urmare, ar trebui combinate cele două procedee, dar primul utilizează un lichid dielectric, iar al doilea un lichid electroconducător. Prin utilizarea unui lichid semidielectric se face un compromis tehnic între cele două procedee care generează procedeul complex de eroziune electrică și electrochimică, numit și *procedeu anodo-mecanic*, a cărui schemă de principiu este prezentată în fig. 4.23: 1 – electrod-sculă; 2 – piesă de prelucrat; 3 – mediu de lucru; 4 – microasperitate; 5 – peliculă pasivă; 6 – particulă erodată din electrodul-

sculă; 7 – descărcare electrică prin impulsuri nedirijate; 8 – volum de material erodat electric din piesa de prelucrat; I , II – mișcări executate de electrodul-sculă.

Eroziunea materialului din piesa de prelucrat se bazează pe acțiunea electrochimică (dizolvarea anodică), acțiunea electroerozivă datorată descărcărilor electrice prin impulsuri nedirijate, acțiunea termică prin efect Joule-Lenz la contactul electrodului-sculă cu microasperitățile piesei și acțiunea mecanică de îndepărtare a particulelor de material. După modul de alegere a parametrilor electrice poate predomină fie procedeul electrochimic, fie procedeul electroeroziv.

Dacă puterea specifică introdusă în spațiul de lucru este mică, predomină eroziunea electrochimică, iar dacă puterea specifică este mare, predomină eroziunea electrică.

Ca lichide de lucru se folosesc soluțiile coloidale de silicat de sodiu sau silicat de aluminiu și suspensii de caolin în apă.

Electrozii-sculă au forme geometrice corespunzătoare cu forma geometrică a suprafeței ce trebuie generată și se confecționează din fontă, oțel, cupru și aliaje de cupru.

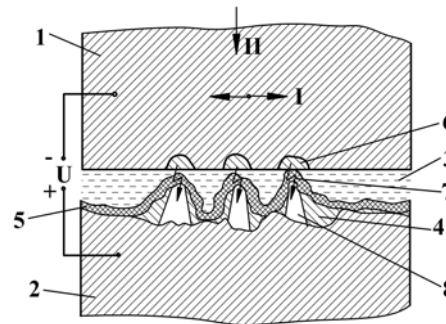


Fig. 4.23. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrică și electrochimică.

4.5.2. Operații de prelucrare prin eroziune electrică și electrochimică

Schemele de lucru ale mașinilor de prelucrare prin eroziune electrică și electrochimică sunt prezentate în fig. 4.24: *a* – debitare cu disc; *b* – debitare cu bandă; *c* – ascuțirea sculelor așchietoare; *d* – rectificarea plană; *e* – rectificarea suprafețelor profilate; *f* – netezirea ghidajelor; *g* – decupare după contur cu electrod filiform.

4.5.3. Mașini de prelucrat prin eroziune electrică și electrochimică

4.5.3.1. Mașina de debitat cu electrod-disc (fig. 4.25) este formată din placa de bază *I* pe care se află batiul *2* cu sania portsculă *3*. Mișcarea motorului de curent alternativ *M* este transmisă arborelui principal prin mecanismul de reglare cu conuri în trepte *4*. Pe arborele portsculă, care execută mișcarea principală de rotație *I*, se montează electrodul-disc *5*, aflat în cuva cu lichid de lucru *6*. Electrodul-disc execută avansurile vertical *II* și transversal *III*.

Pe această mașină se pot face tăieturi multiple pentru piese de tip pieptene sau se pot confecționa bușe elastice.

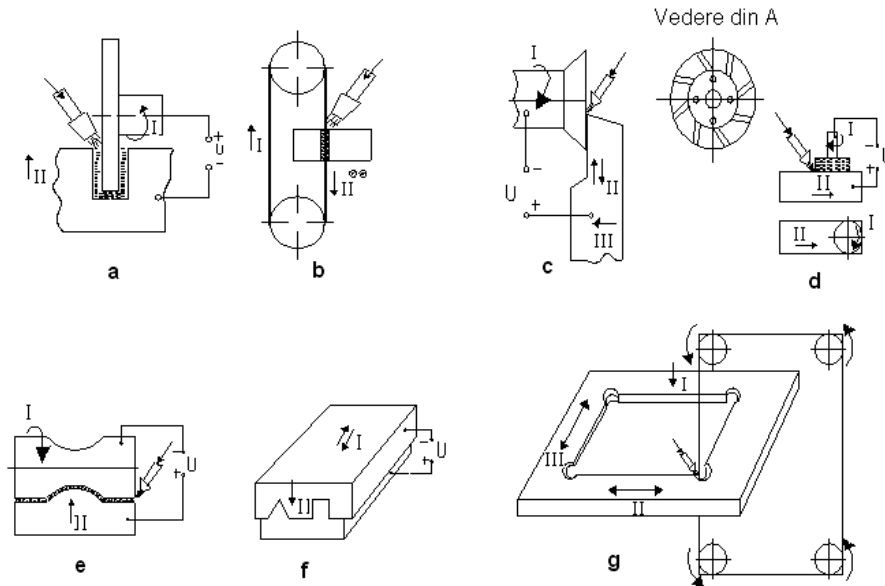


Fig. 4.24. Schemele de lucru ale mașinilor de prelucrare prin eroziune electrică și electrochimică.

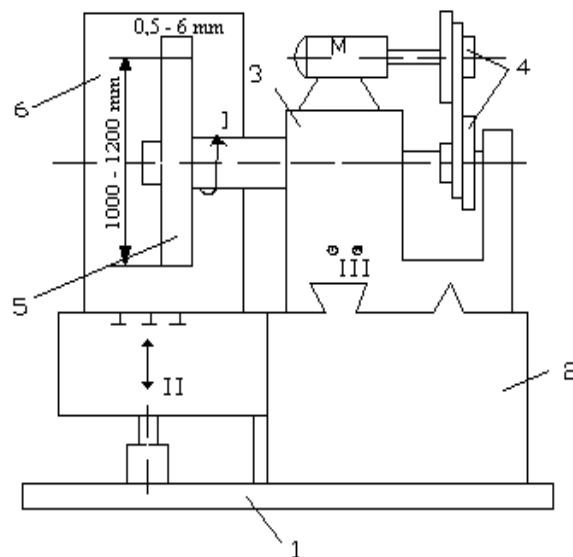


Fig. 4.25. Mașina de debitat cu electrod-disc.

4.5.3.2. Mașina de găurit (fig. 4.26) este alcătuită din placa de bază *I* pe care se află batiul *2* cu capul de găurit *3*. Electrocul-sculă *4* execută atât mișcarea principală de rotație *I*, cât și avansul vertical *II*. Piesa *5* și suportul acesteia *6* se află în cuva cu lichidul de lucru *7*, montată pe masa mașinii *8*, care execută mișcarea de poziționare *III*. Lichidul de lucru este aspirat din rezervorul *Rz* de către pompa

hidraulică P_H și apoi trimis în cuvă prin duza D . După utilizare electrolitul se scurge liber în rezervorul R_z .

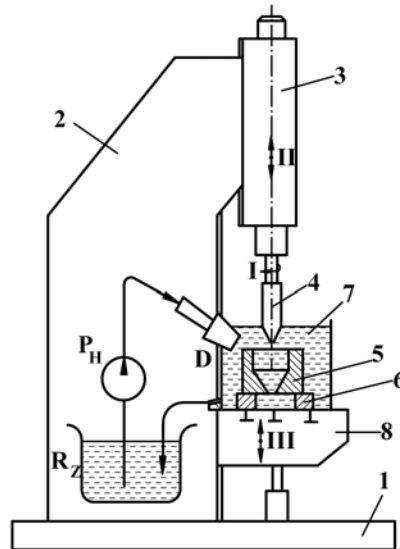


Fig. 4.26. Mașina de găurit.

4.6. Prelucrarea prin eroziune cu plasmă

4.6.1. Generalități

Plasma este o substanță aflată într-o stare de agregare asemănătoare celei gazoase, puternic sau complet ionizată, alcătuită dintr-un amestec de molecule, ioni și electroni. Are o bună conductibilitate electrică, o temperatură ridicată și emite radiații electromagnetice și lumină. Se consideră că peste 99% din materia Universului se prezintă sub formă de plasmă. În apropierea Pământului există plasmă sub formă de vânt solar (flux de protoni și neutroni emis continuu de Soare). Temperatura plasmei variază în limite foarte largi, începând de la temperatura mediului ambiant (plasma din tuburile cu descărcări în gaze rarefiate), până la milioane de grade (plasma nucleară).

În construcția de mașini se folosește plasma apărută ca urmare a descompunerii atomilor unor gaze în electroni și ioni, sub acțiunea temperaturilor înalte, numită plasmă termică. Ea apare cu precădere într-un arc electric și are temperaturi de 6.000...30.000 °C, realizându-se cu un generator numit *plasmotron* (fig. 4.27). Arcul electric produs între electrodul I și duza răcită cu apă 2 este comprimat de către duză, astfel că avem o creștere a densității de curent în zona centrală a arcului. Stratul tubular de gaz mai rece al coloanei de plasmă din zona duzei se comportă ca un ecran termic și electric, asigurând menținerea unei temperaturi foarte ridicate în zona centrală.

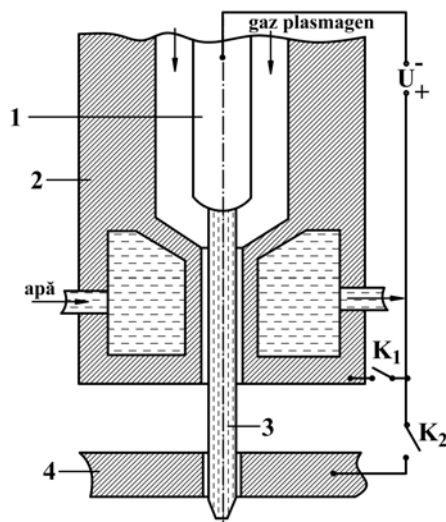


Fig. 4.27. Schema de principiu a plasmotronului.

Gazul plasmogen trebuie să asigure protecția electrodului la oxidare, fiind neutru în raport cu materialul electrodului (W, grafit, zirconiu, hafniu). Această condiție este îndeplinită în cea mai mare parte de gazele inerte monoatomice (Ar, He). S-ar putea utiliza și unele gaze biatomice (N_2 , H_2) care ar asigura transferul unei cantități mai mari de căldură, dar acestea nu sunt pure, conținând urme de oxigen care favorizează oxidarea și uzura rapidă a electrodului.

După modul realizării arcului electric, avem două variante de plasmotroane:

- cu arc de plasmă, când arcul 3 se produce între electrodul 1 și piesa 4 (K_1 – deschis, K_2 – închis), piesa

fiind electroconducătoare;

- cu jet de plasmă, când arcul electric 3 se produce între electrod și duza răcită cu apă (K_1 – închis, K_2 – deschis), piesa fiind rea conducătoare de electricitate, iar plasma este suflată în exterior de presiunea gazului, sub formă de jet.

Ca surse de alimentare cu curent continuu se utilizează convertizoare cu puteri de 1...100 kW sau redresoare speciale, iar alimentarea cu gaz plasmogen se face de la butelii de presiune înaltă prevăzute cu regulatoare de presiune sau cu ajutorul unor pompe speciale.

4.6.2. Aplicații tehnologice ale prelucrării cu plasmă

4.6.2.1. Tăierea metalelor cu arc de plasmă. Schema de principiu a unei instalații de tăiere cu plasmă este reprezentată în fig. 4.28. Plasmotronul 1 este alimentat cu energie electrică de la sursa 2, al cărei pol negativ este legat la electrodul neconsumabil de wolfram 3, izolat electric față de corpul plasmotronului. Gazul plasmogen (Ar, Ar + H_2 , Ar + N_2 , N_2 , Ar + aer), al cărui debit se reglează cu robinetul 4 și se măsoară cu aparatul 5, se introduce în plasmotron și pătrunzând în spațiul arcului electric 6, dă naștere plasmei.

În cazul funcționării în regim cu jet de plasmă, polul pozitiv al sursei de curent se leagă la corpul plasmotronului, prin stabilirea unui contact electric între punctele a și b, piesa de tăiat 7 nefiind legată la sursa 2. Pentru amorsarea arcului se utilizează oscilatorul de ionizare 8. Curentul se limitează, la început, la 10...15 A, cu ajutorul rezistenței 9. Pentru funcționarea în regim cu arc de plasmă se întrerupe contactul electric între punctele a și b și acesta se stabilește între punctele a și c, piesa de tăiat fiind astfel legată la polul pozitiv al sursei.

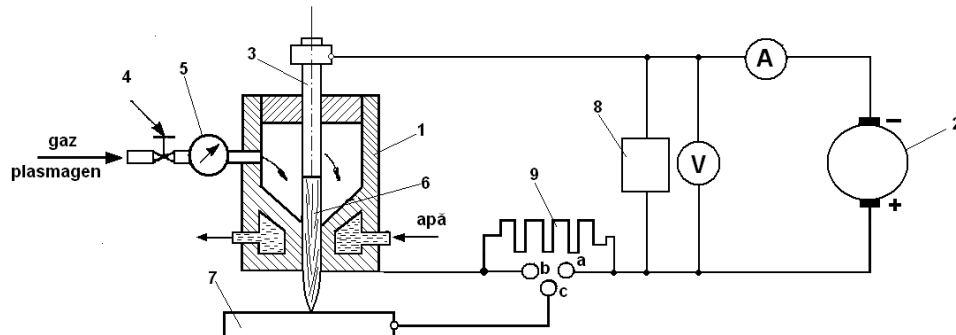


Fig. 4.28. Tăierea cu plasmă.

Tăierea cu plasmă prezintă următoarele avantaje: productivitate ridicată, posibilitatea tăierii tuturor materialelor metalice, obținerea unor tăieturi înguste și cu suprafețe curate. De asemenea, prin acest procedeu se pot tăia și materiale nemetalice. Se realizează viteze de tăiere de 250...1250 mm/min și se pot tăia materiale metalice cu grosimi până la 120 mm. Procedeu este recomandat îndeosebi în cazul materialelor metalice care nu se pot tăia cu flacăra oxigaz: oțeluri inoxidabile, Al, Cu, Mg și aliajele lor.

4.6.2.2. Prelucrările prin aşchiere cu încălzire limitată cu jet de plasmă se aplică la strunjire, frezare și rabotare.

a) – Strunjirea cilindrică exterioară (fig. 4.29) se poate aplica la piese dure ($HRC = 50...60$), conducând la productivități de 10...15 ori mai mari ca în cazul aşchierii la rece, precum și la creșteri de 2...10 ori a durabilității sculelor.

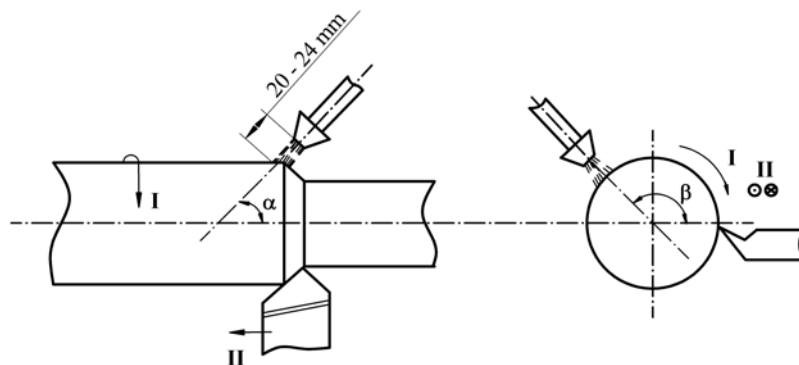


Fig. 4.29. Strunjirea cu plasmă.

Materialul de aşchiat este încălzit în zona din fața tăişului cuțitului, ceea ce conduce la micșorarea considerabilă a rezistenței sale la rupere. Unghiul $\alpha = 90^\circ$ – pentru piese cu grosime mare și $\alpha < 90^\circ$ – pentru piese de diametre mici. Pentru a evita eventualele contacte dintre aşchiile degajate în timpul aşchierii și duza plasmotronului, aceasta se va înclina cu unghiul β .

b) – Frezarea (fig. 4.30) sau *rabotarea* (fig. 4.31) se aplică de asemenea în cazul materialelor dure, pentru creșterea productivității așchierii și a durabilității sculelor.

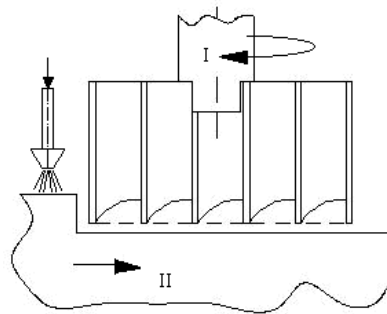


Fig. 4.30. Frezarea cu plasmă.

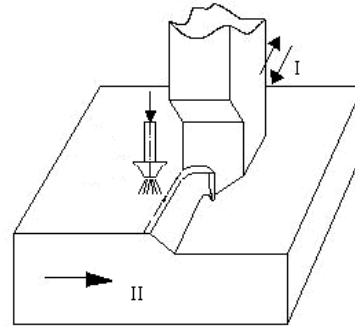


Fig. 4.31. Rabotarea cu plasmă.

În toate cazurile, sculele așchietoare utilizate sunt armate cu plăcuțe dure din carburi metalice sau materiale mineralo-ceramice.

4.6.2.3. Metalizarea cu plasmă se utilizează cu rezultate foarte bune la depunerea unor straturi omogene din materiale refractare, cu temperaturi de topire în jur de 3.000 °C: Mo, oxizi de Al și Zn, zirconat de Ca și Mg, carburi, nitruri și boruri. Schema de principiu este prezentată în fig. 4.32, unde: 1 – plasmotron; 2 – piesă de metalizat; 3 – siloz cu pulbere; 4 – strat depus prin metalizare; 5 – atmosferă protectoare de gaz inert.

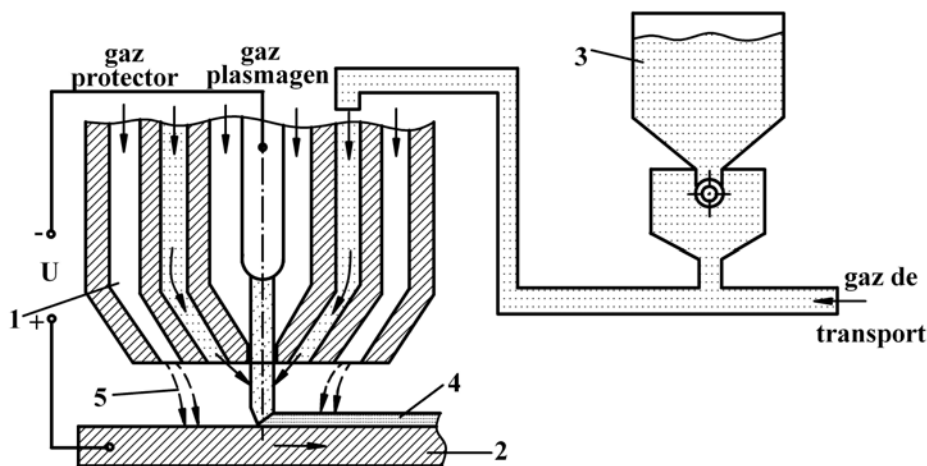


Fig. 4.32. Metalizarea cu plasmă.

Avantaje: stratul depus nu prezintă impurități datorită atmosferei de gaze protectoare; cantitatea de căldură primită de materialul de bază este foarte mică; stratul depus este dens și prezintă o aderență foarte bună la materialul de bază.

4.6.2.4. Sudarea cu plasmă. Sudarea cu plasmă prezintă următoarele

avantaje: viteză de sudare mare și productivitate ridicată; pregătirea pieselor este puțin pretențioasă; zona influențată termic este redusă; calitatea sudurii este foarte bună. Dezavantajul procedurii constă în costul ridicat al instalațiilor.

Pentru sudare se folosește plasmă cu temperaturi de 6.000...30.000 °C, obținută în plasmotron (fig. 4.33). Între electrodul nefuzibil din wolfram 1, care constituie catodul și ajutorul plasmotronului 2, care este anodul, se produce un arc electric. Prin canalul 3 se insuflă un gaz monoatomic (Ar, He) sau biatomic (H_2 , N_2) sau un amestec din aceste gaze și prin dezvelirea atomilor acestor gaze de electroni se produce jetul de plasmă 4, care determină topirea marginilor pieselor 5 și formarea băii metalice 6. Metalul topit nu este îndepărtat, ca la tăiere, ci împins lateral și în spate, întrucât presiunea gazului plasmogen este mică. Pe măsura deplasării jetului de plasmă în sensul de sudare, cu viteza v_s , baia metalică se solidifică, formând cusătura 7. Debitul gazului plasmogen este insuficient pentru a asigura protecția băii metalice și, de aceea, prin orificiul inelar 8 al plasmotronului, se insuflă gaz inert, cu un debit mult mai mare. Sursa de energie este în curent continuu, pentru a avea o stabilitate bună a arcului.

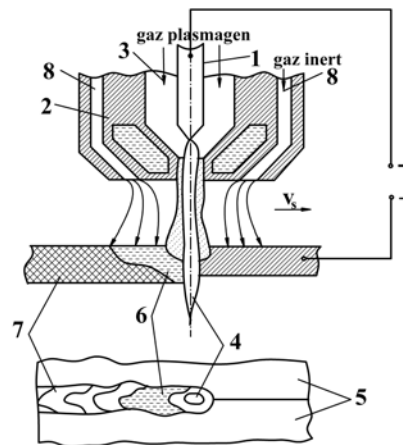


Fig. 4.33. Sudarea cu plasmă.

4.7. Prelucrarea prin eroziune cu radiații

4.7.1. Prelucrarea cu fascicul de electroni

Procedul se bazează pe fenomenul de emisie termoelectronică, adică pe proprietatea unui catod încălzit de a emite un flux de electroni. Fasciculul de electroni cu densitate și energie cinetică mare este accelerat și focalizat asupra piesei de prelucrat într-un spațiu vidat. Energia fluxului se calculează cu relația:

$$E = n \cdot e \cdot U = n \cdot \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad J \quad (2.4)$$

unde: n – numărul electronilor; $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$, C – sarcina electrică a unui electron; U – tensiunea de accelerare, V; $m = 9,19 \cdot 10^{-31}$, kg – masa unui electron; v – viteza de accelerare a electronilor, km/s.

Energia cinetică a fluxului se transformă în căldură, la impactul electronilor cu piesa, conform schemei de principiu din fig. 4.34: a – formarea sursei termice; b – formarea craterului de eroziune; c – repetarea impulsului; I – fasciculul de electroni; 2 – piesă; 3 – strat de material transparent pentru electroni; 4 – crater de

eroziune; 5 – zonă lichidă; 6 – zonă solidificată.

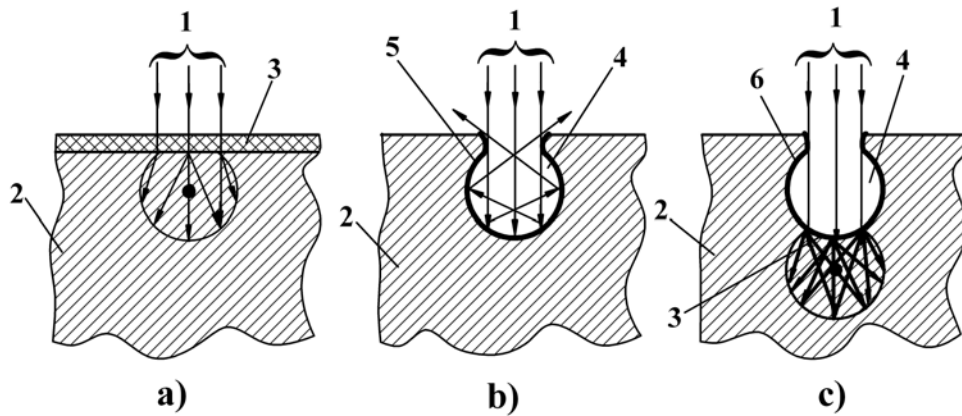


Fig. 4.34. Schema de principiu a prelucrării cu fascicul de electroni.

Electronii pătrund prin stratul superficial și ajung până la o anumită adâncime, unde energia lor cinetică se transformă în căldură, temperatura fiind de circa $6.000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Materialul este vaporizat, formându-se un crater din care este expulzat în exterior, după care operația se repetă. Fasciculul de electroni este transmis sub formă de impulsuri cu durată de $10^{-6} \dots 10^{-4}\text{ s}$ și cu frecvență de $10^2 \dots 10^4\text{ Hz}$.

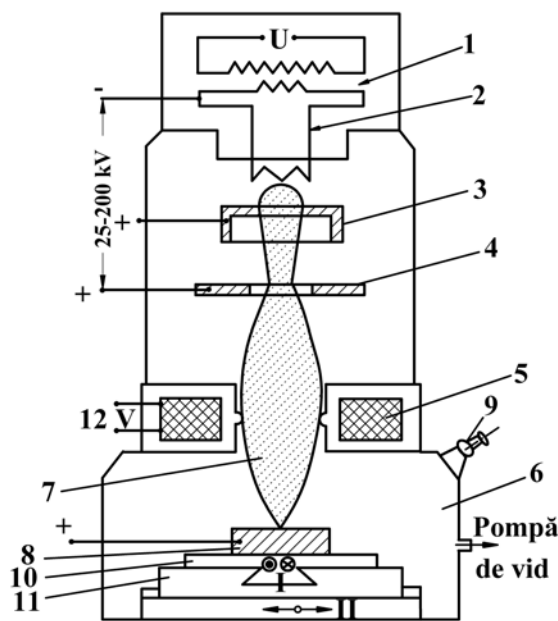


Fig. 4.35. Instalație de prelucrare cu fascicul de electroni.

O instalație de prelucrare cu fascicul de electroni este prezentată în fig. 4.35: 1 – transformator coborât de tensiune; 2 – catod din W sau Ta, încălzit la $2.300\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – grilă anodică; 4 – anod; 5 – bobine de focalizare; 6 – incintă vidată; 7 – fascicul de electroni; 8 – piesă; 9 – dispozitiv binocular de urmărire și control; 10, 11 – săni pentru deplasarea piesei în coordonate rectangulare (mișcările I și II). Instalația se mai numește *tun electronic*. Vidul este destul de înalt ($10^{-2} \dots 10^{-3}\text{ daN/cm}^2$), pentru evitarea ciocnirii electronilor de moleculele de aer și posibilitatea focalizării lor.

Prelucrarea cu fasciculul de electroni are următoarele

aplicații:

a) – Sudarea. Se obțin suduri pe adâncime mare și lățime mică, raportul dintre lățime și adâncime ajungând la 1/40. Se pot suda materiale cu puncte de fuziune ridicate sau incompatibile între ele (W-Cu). Viteza de sudare este ridicată, ajungând până la 15 m/min. Zona influențată termic este mică. Sudarea se face fără material de adaos și fără mediu protector, calitatea cusăturii fiind foarte bună.

Procedeul se aplică la confecționarea sculelor așchietoare (sudarea capului de corpul sculei), în tehnica aerospațială, la reactoarele nucleare, în micro-electronică și electrotehnică și la sudarea sub apă.

b) – Găurirea se aplică materialelor dure și extradure: corund sintetic, rubine, safire, materiale refractare, sticlă, materiale ceramice, semiconductoare sau chiar materiale plastice care intră în componența filtrelor. Prin găurire se obțin găuri de diametre foarte mici (până la 25...50 μm), fante înguste și foarte înguste și filtre foarte fine (până la 70.000 orificii cu diametre de 2 $\mu\text{m}/\text{cm}^2$) (fig. 4.36).

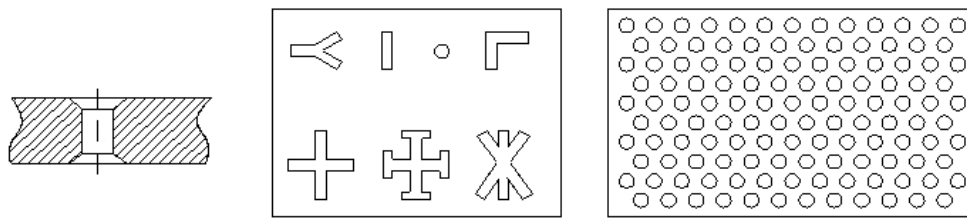


Fig. 4.36. Exemple de găuri prelucrate cu fascicul de electroni.

c) – Topirea se aplică materialelor refractare (Ta, W, Ti) precum și la obținerea unor oțeluri speciale utilizate în industria aerospațială și nuclearelectrică (fig. 4.37): 1 – catod termoemisiv circular; 2 – anod; 3 – izolatoare electrice; 4 – bobine de focalizare; 5 – fascicule de electroni; 6 – electrod consumabil; 7 – cristalizator din cupru cromat cu pereții dubli răciți cu apă; 8 – bară de metal rafinat; 9 – cameră vidată.

4.7.2. Prelucrarea cu fascicul de ioni

Prelucrarea cu fascicul de ioni se bazează pe fenomenul emisiei de electroni de către un catod încălzit care ionizează moleculele unui gaz monoatomic (Ar, He, Xe), ionii astfel obținuți fiind puternic accelerați de către un câmp electric. Schema de principiu a procedurii este prezentată în fig. 4.38. Conform schemei, ionul accelerat pătrunde în piesă până ciocnește un atom.

Dacă energia ionului este destul de mare, atomul lovit ciocnește la rândul său alt atom, având loc un lanț de ciocniri care proiectează la suprafața piesei mai mulți atomi, sub formă de material evaporat, având loc prelevarea unei anumite cantități de material din piesă. În același timp, ionul incident accelerat parcurge o nouă distanță în piesă, producând evaporarea altor atomi ai piesei.

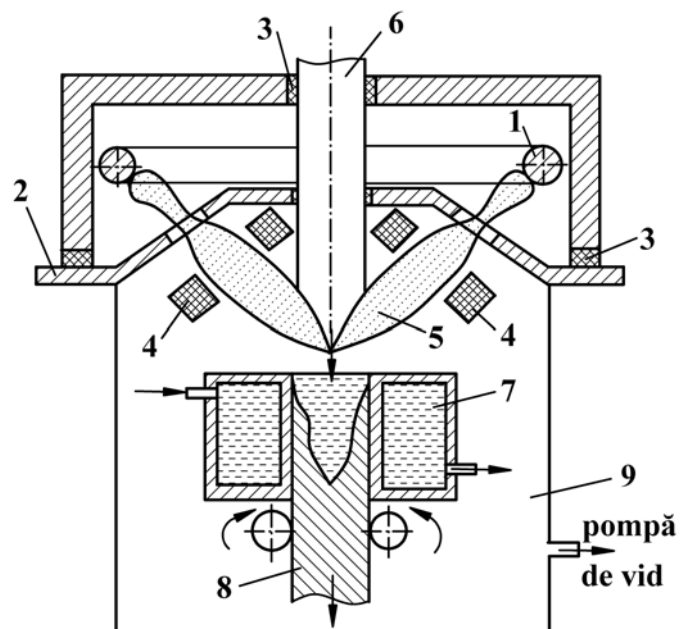


Fig. 4.37. Topirea cu fascicul de electroni.

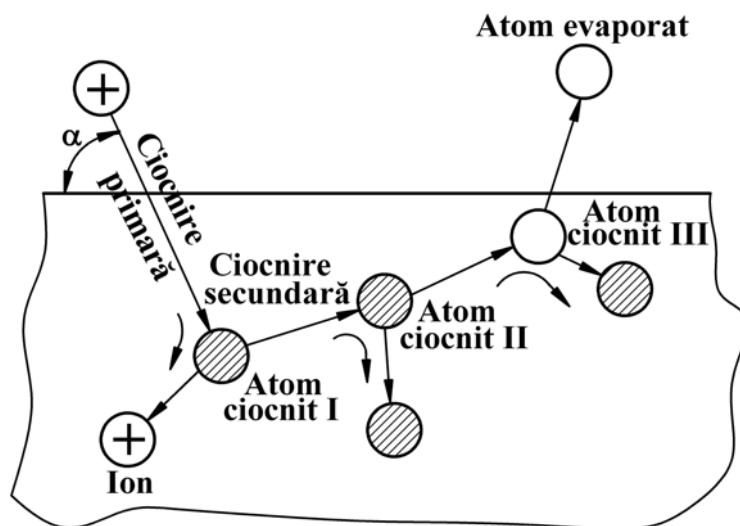


Fig. 4.38. Schema de principiu a prelucrării cu fascicul de ioni.

Randamentul maxim de pulverizare se realizează când unghiul de incidență $\alpha = 10 \dots 50^\circ$. La valori mari ai unghiului de incidență, o bună parte din ionii accelerați este reflectată de suprafața piesei și nu mai participă la procesul de excitare a atomilor din material.

Procedeul s-a dovedit a fi deosebit de eficient la prelucrarea materialelor

dure și extradure: carburi metalice, oțeluri refractare, oțeluri inoxidabile și înalt aliate. Cu ajutorul acestui procedeu se pot realiza microsuduri de mare finețe, debitări, găuriri și frezări. Pentru fiecare din aceste prelucrări s-au realizat instalații specifice.

Domeniul în care fasciculul de ioni și-a găsit cea mai mare aplicabilitate este *placarea ionică*, adică depunerea de straturi subțiri de material, cu proprietăți speciale, pe un metal de bază. Schema de principiu a instalației, numită și *tun ionic*, este prezentată în fig. 4.39.

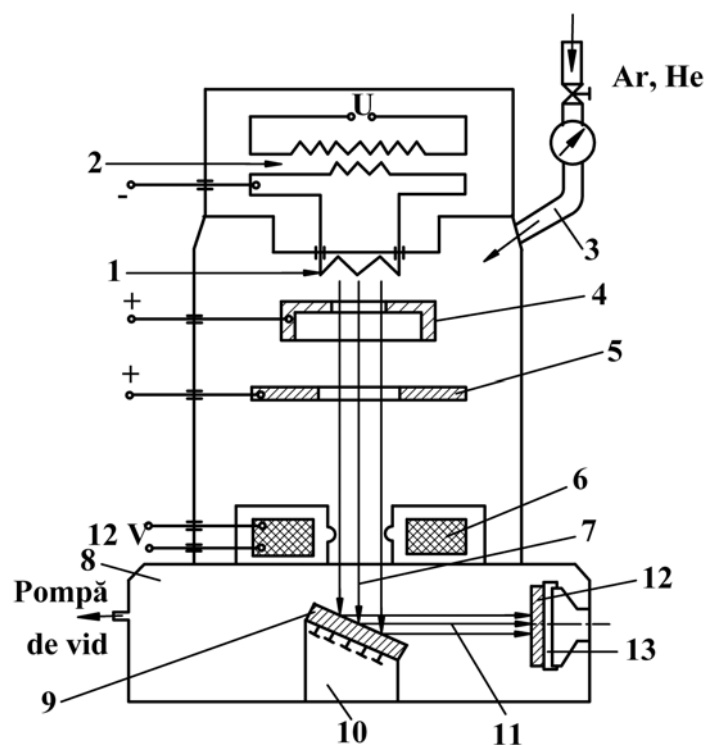


Fig. 4.39. Instalație de placare ionică.

Catodul 1, din wolfram sau tantal, legat la secundarul transformatorului coborât de tensiune 2, se încălzește la 2.300 °C și emite electroni care ionizează moleculele unui gaz monoatomic (Ar, He, Xe), introdus prin conducta cu reductor și manometru 3. Fluxul de ioni este accelerat de grila anodică 4 și anodul 5 și focalizat și deflectat cu bobinele electromagnetice 6. Fasciculul de ioni 7 pătrunde în camera de bombardare 8, cuplată la o pompă de vid, și acționează asupra plăcii cu material de depunere 9, așezată pe suportul 10, smulgând atomii 11 care se depun pe piesa 12, prinsă pe suportul 13. Piesa de placat 12 trebuie bine decapată înainte de placarea ionică.

Datorită adhezivității deosebite a materialului depus și posibilității de a

acoperi suprafețe complexe, placarea ionică s-a dovedit utilă în următoarele domenii: protecția suprafețelor metalice împotriva oxidării și coroziunii; realizarea contactelor electrice argintate; lubrificație solidă prin acoperiri cu aliaje anti-fricțiune, obținerea unor suprafețe reflectorizante prin depuneri de argint pe oțel; placarea pieselor pentru creșterea durității și a rezistenței la uzură; obținerea circuitelor integrate.

4.7.3. Prelucrarea cu fascicul de fotoni (cu laser)

4.7.3.1. Generalități. Unul din cele mai noi procedee utilizate în construcțiile de mașini, electrotehnică, electronică, mecanică fină, aeronautică și comunicații este cel cunoscut sub denumirea de *LASER* (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* = Amplificarea luminii prin stimularea emisiei de radiații). Explicația fenomenelor care conduc la emisiunea laser se bazează pe teoria mecanicii cuantice a lui Max Planck (1858 – 1947) care arată că punerea în libertate și absorția de energie radiantă se produc în mod discontinuu în anumite cantități numite *cuante de energie*.

Dacă un atom primește o rază de lumină, considerată ca fiind constituită din particule elementare cu o anumită cantitate de energie, numite *fotoni*, electronii atomului absorb câte un foton și își măresc astfel cantitatea de energie. Această creștere face ca un astfel de electron să treacă de pe orbita staționară din jurul nucleului, corespunzătoare nivelului energetic fundamental, pe o altă orbită mai îndepărtată, corespunzătoare unui alt nivel energetic, atomul situându-se într-o stare nouă, numită stare excitată (fig. 4.40.a, b).

Starea excitată se caracterizează prin instabilitate și electronii revin pe orbita intermediară, cedând o parte din energia câștigată în momentul excitației (fig. 4.40.c). În final, electronii revin pe orbita staționară (fig. 4.40.d), cedând și restul de energie, sub formă de fotoni. Trebuie menționat că pentru obținerea emisiunii laser, toți fotonii emiși de electroni la revenirea lor pe orbita staționară trebuie să aibă aceeași frecvență sau aceeași culoare. Deci, trecerea atomilor de pe orbite mai îndepărtate pe orbita staționară a atomului determină o emisiune stimulată de fotoni, aceasta fiind schema de principiu a laserului (fig. 4.40.e).

Fenomenul laser se produce în mod eficient dacă are loc într-un spațiu numit *rezonator optic* (fig. 4.41). Instalația este formată din camera cu mediu activ 1, mărginită de oglinda cu reflexie totală 2 și oglinda semitransparentă 3. Sub acțiunea pompajului optic, mediul activ (solid, lichid sau gazos) va produce o emisie de fotoni care se va amplifica prin oscilarea între cele două oglinzi reflectorizante. Datorită timpului scurt în care se produce emisiunea stimulată și amplificarea (10^{-6} s) și posibilității de a fi condus, concentrat și focalizat, fasciculul laser poate ajunge la densități de putere de 10^{10} W/cm² și la temperaturi de 18.000 °C care topesc și vaporizează orice material existent.

Forma oglinzilor de capăt ale rezonatorului poate fi plană, sferică sau prismatică, iar mediile active pot fi solide (rubin sintetic impurificat cu crom), semiconductoare (GaAs, InP), lichide (soluție de EuB₃ în alcool) sau gazoase

(He-Ne, Ne-O₂, Hg-Ne).

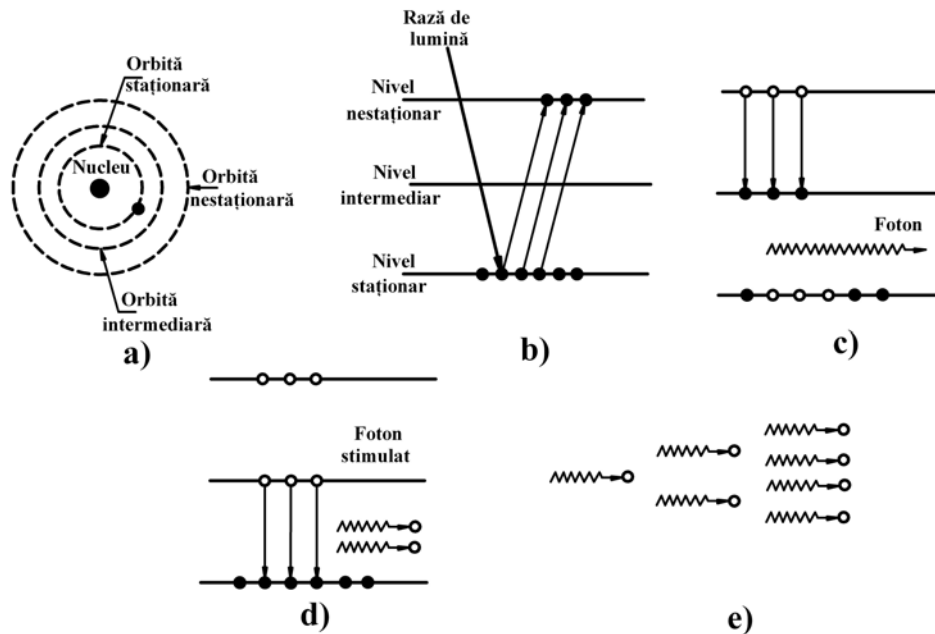


Fig. 4.40. Schema de principiu a laserului.

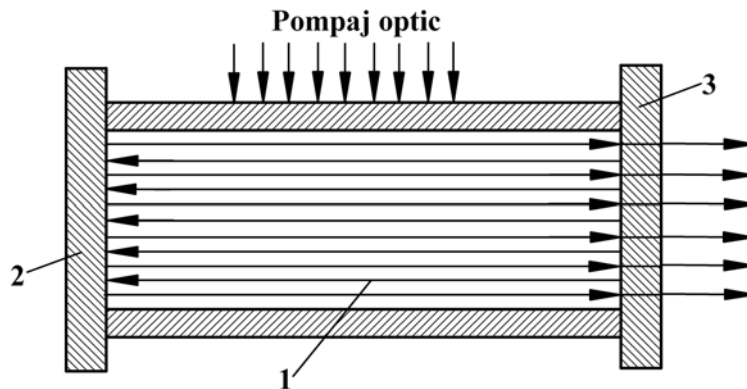


Fig. 4.41. Schema generării fasciculului laser.

4.7.3.2. Instalațiile de prelucrare cu laser se utilizează la sudare, tăiere și găurire.

a) – Sudarea cu laser (fig. 4.42) se realizează cu o instalație formată din sursa de alimentare cu energie electrică *1* care poate fi o baterie de condensatoare, un redresor sau un generator de curent continuu sau alternativ, sursa de excitație optică *2* care este, de obicei, o lampă cu descărcări în gaze și camera de rezonanță *3*

care conține mediul activ solid. Lampa de excitație și camera de rezonanță sunt montate în carcasa reflectorizantă 4. Din camera de rezonanță, fasciculul laser 5 trece prin obturatorul de siguranță 6 și lentila de focalizare 7, ajungând la piesele de sudat 8. Pentru protecția băii metalice, prin duza 9 se insuflă un gaz inert care produce atmosfera protectoare 10.

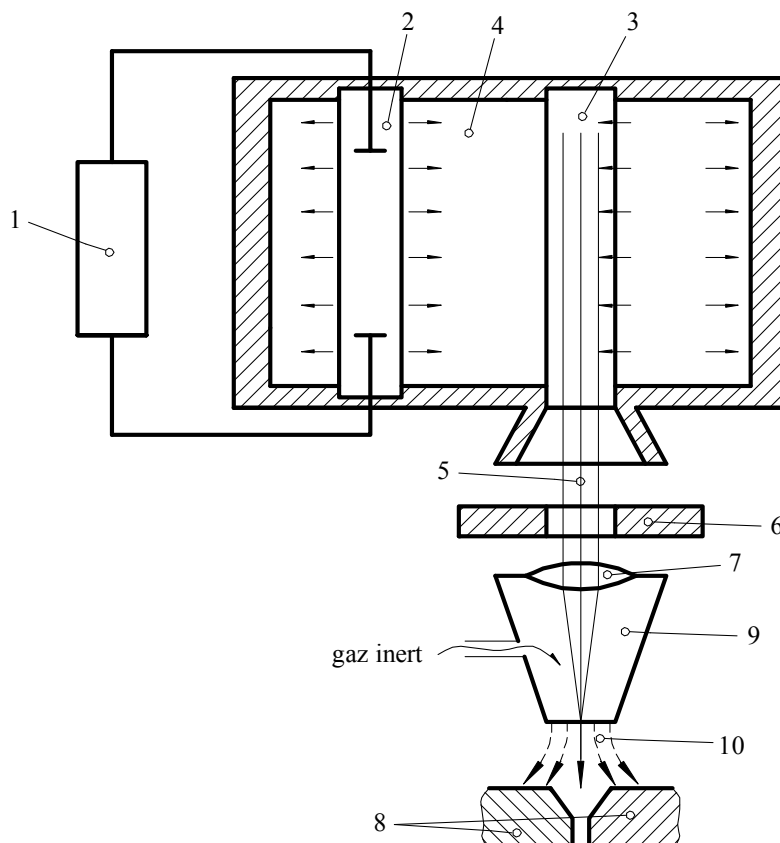


Fig. 4.42. Sudarea cu laser.

Fasciculul laser poate fi sub formă de impulsuri sau continuu, obținându-se o sudură de foarte bună calitate.

b) – Tăierea cu laser (fig. 4.43) este o aplicație foarte răspândită în industrie, datorită realizării unor tăieturi foarte fine în materiale dure și fragile. Pentru îndepărtarea produselor tăierii cu mai multă ușurință, tăierea se face cu jet de oxigen, în cazul materialelor metalice sau cu jet de gaz inert, în cazul materialelor fragile (sticlă, ceramică) sau inflamabile (hârtie, țesături, materiale plastice, piele). Sursa de curent 1 alimentează o lampă cu descărcări în gaze, aflată în rezonatorul optic 2, mărginit de oglinda de reflexie totală 3 și oglinda semitransparentă 4. Fasciculul laser 5 trece prin opturatorul de siguranță 6, este deviat de

oglinnda de deflexie 7 răcită cu apă și este focalizat cu lentila 8 pe suprafața piesei de tăiat 9, așezată pe masa de uzină fonic 10. Prin duza 11 se insuflă oxigen sau un gaz inert. Temperatura în punctul de focalizare este de până la 20.000 °C.

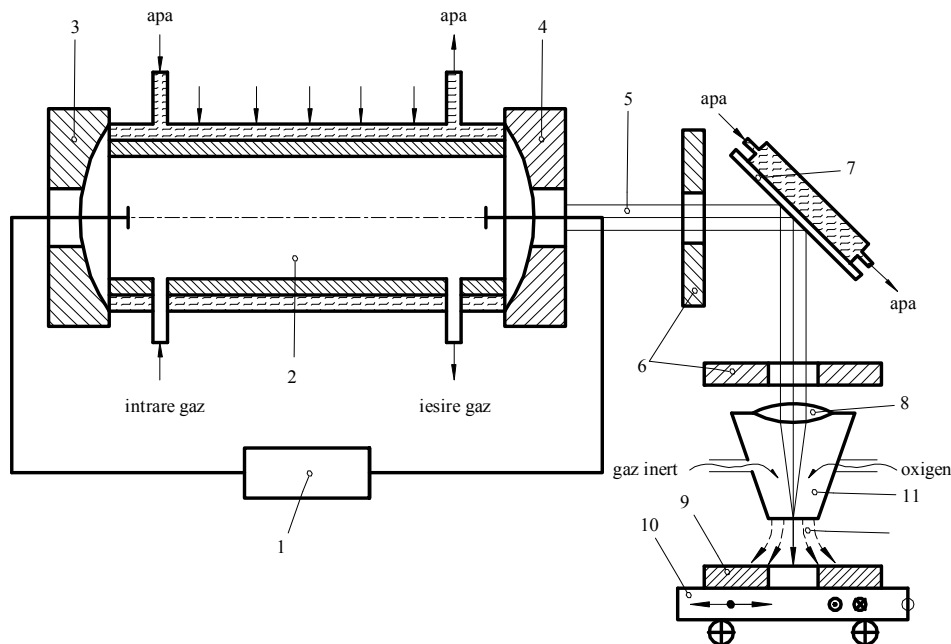


Fig. 4.43. Tăierea cu laser.

Tăierea cu laser este condiționată, în mare măsură de constantele termofizice ale materialului. În general, pot fi tăiate ușor materialele care au o diferență mică între temperatura de topire și cea de vaporizare, precum și materialele cu conductibilitate termică și căldură specifică mici. Procedul se aplică la tăierea oțelurilor-carbon, refractare și inoxidabile, a Al, Cr, Ta, aliajelor de zirconiu, rubinului, diamantului și a altor materiale care nu se pot tăia prin tehnologii clasice, aplicându-se îndeosebi în electronică și mecanica fină.

c) – Găurirea cu laser se utilizează la prelucrarea unor microorificii cu diametre de 0,005...1,5 mm și lungimi de până la 15 mm, în materiale dure și extradure (Mo, W, Ti, Ta, oțeluri inoxidabile, carburi metalice, rubin, diamant).

4.8. Prelucrarea prin eroziune cu ultrasunete

4.8.1. Generalități

Ultrasunetele sunt oscilații mecanice ale mediului elastic cu frecvențe de $16 \dots 10^7$ kHz, ele nefiind percepute de urechea umană. În natură, există mai multe viețuitoare care emit și recepționează ultrasunete, pentru detectarea hranei sau pentru a se adăposti de dușmani: lilieci, fluturi de noapte, mamifere marine și

rozătoare mici. Aplicațiile tehnice ale ultrasunetelor se bazează pe efectul piezoelectric invers, precum și pe proprietățile de electrostricțiune sau de magnetostricțiune ale unor materiale (vezi § 3.6.5.2.c,d,e). Datorită unor proprietăți specifice (lungime de undă mică; posibilitatea de dirijare în spațiu prin reflexie, refracție și difracție; transport de energie în mediul elastic de propagare; posibilitatea de a se concentra în spații limitate; ridicarea temperaturii mediului în care se propagă), ultrasunetele au aplicații diverse în tehnică.

În fig. 4.44. se prezintă schema de principiu a eroziunii cu ultrasunete. Distrugerea materialului de pe suprafața piesei de prelucrat 1 se produce atunci când scula 2 lovește una sau mai multe particule abrazive 3. Energia cinetică a particulelor abrazive amorsează fisuri atât pe suprafața piesei de prelucrat, cât și pe suprafața sculei. În suspensia abrazivă 4 se formează bulele de cavitației 5 care,

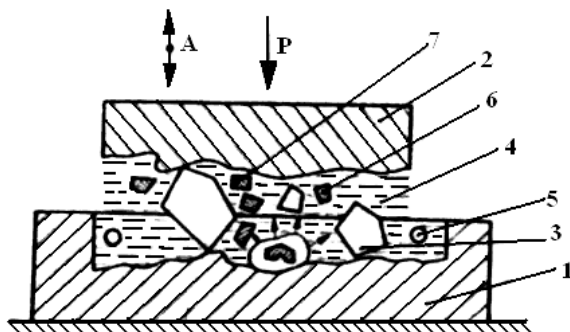


Fig. 4.44. Principiul eroziunii cu ultrasunete.

fiind comprimate de sculă, fac implozie, producând presiuni și temperaturi locale mari ce determină desprinderea particulelor din piesă 6 și din sculă 7. Scula este apăsată cu o presiune $P = 0,5 \dots 4,5 \text{ daN/cm}^2$, iar amplitudinea ultrasunetelor este $A = 5 \dots 120 \text{ }\mu\text{m}$, la o frecvență $f = 18 \dots 30 \text{ kHz}$. Ca materialele abrazive se utilizează carburi de siliciu sau de bor sau praf de diamant.

4.8.2. Mașini de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete

Există mai multe tipuri de mașini de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete, ele fiind asemănătoare, ca formă constructivă, cu mașinile de frezat universale. Schema constructivă de principiu a unei astfel de mașini fiind prezentată în fig. 4.45. Pe montantul 1 care face corp comun cu batiul 2 se află sania 3 cu blocul ultrasonic. Acesta este format din transductorul magnetostrictiv 4 care transformă curenții de înaltă frecvență emiși de generatorul GfF în ultrasunete și din concentratorul de ultrasunete 5, sub forma unui paraboloid de rotație. La capătul concentratorului se află scula 6 care transmite energia ultrasonică particulelor abrazive purtate de un lichid. Lichidul abraziv este aspirat din rezervorul Rz de către pompa P_H , trece prin droselul D și este adus la locul de lucru. Particulele abrazive desprind așchii foarte mici din piesa 7 care se află în cuva 8. Săniile 9 și 10 asigură avansurile rectangulare II și III, avansul vertical I fiind asigurat de sania 3.

Suspensia abrazivă are și rolul de evacuare din zona de lucru a particulelor erodate. În același timp, pe măsură ce particulele abrazive își rotunjesc muchiile, pierzându-și capacitatea de erodare, noi particule abrazive sunt aduse în zona de

lucru prin circuitul hidraulic.

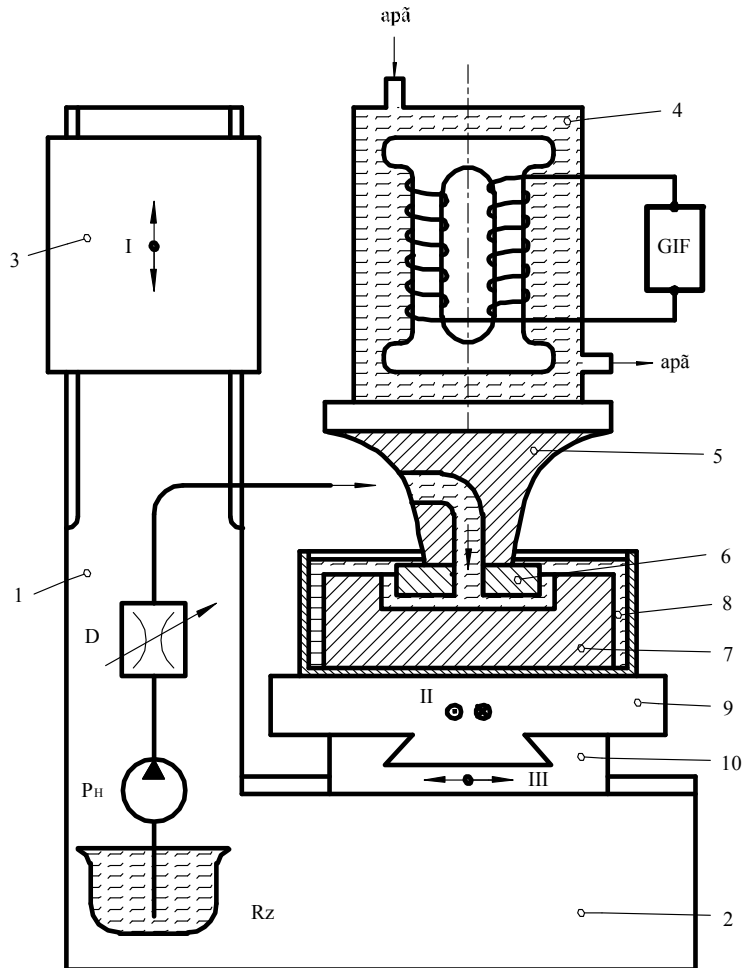


Fig. 4.45. Mașina de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete.

4.8.3. Aplicații tehnologice ale prelucrării cu ultrasunete

Prelucrarea cu ultrasunete se aplică îndeosebi materialelor fragile sau extradure. Cu cât fragilitatea este mai mare, cu atât prelucrabilitatea este mai bună. Este vorba de sticlă, rubin, safir, cuarț, ceramică, diamant, ferite, germaniu, siliciu, carburi metalice și materiale mineralo-ceramice. În fig. 4.46. sunt prezentate aplicațiile reprezentative ale eroziunii cu ultrasunete: *a* – găurire; *b* – debitare, *c* – execuția orificiilor și cavităților complexe; *d* – perforare sau debitare simultană; *e* – prelucrarea matrițelor și filierelor; *f* – execuția orificiilor curbe; *g* – finisarea prin rectificare a suprafețelor plane sau profilate; *h* – filetarea unor materiale extradure

neconducătoare electric; i – debitare după un contur oarecare; j – honuire; k – durificarea stratului superficial.

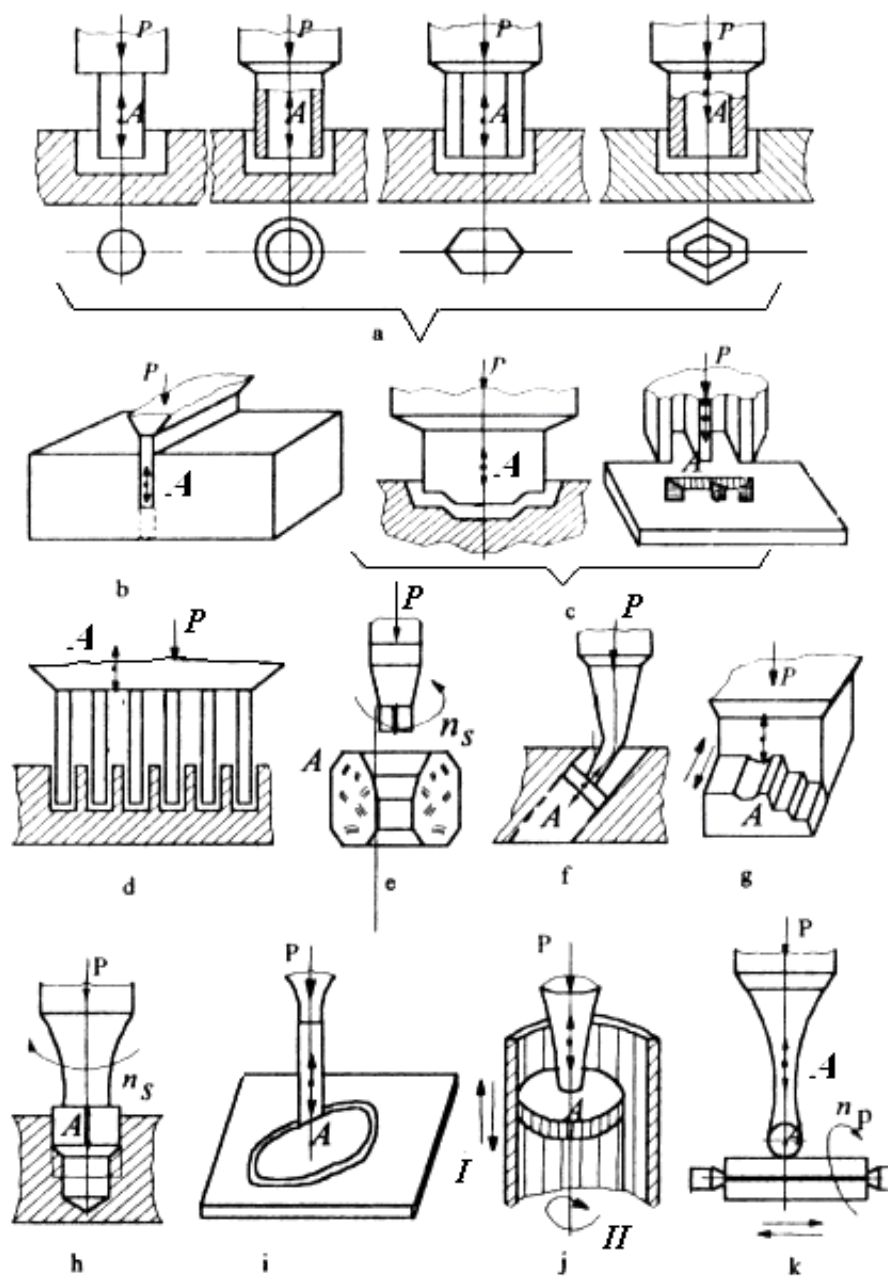


Fig. 4.46. Aplicații ale prelucrării cu ultrasunete [7].

DICȚIONAR ROMÂN-ENGLEZ-FRANCEZ DE CUVINTE-CHEIE

A

absorbție de gaze	gas absorption	absorption (<i>f</i>) de gaz
adsorbție	adsorption	adsorption (<i>f</i>)
alamă	brass	laiton (<i>m</i>)
aliaj	alloy	alliage (<i>m</i>)
aliaj amorf	amorphous alloy	alliage (<i>m</i>) amorphe
aliaj antifricțiune	antifriction alloy	alliage (<i>m</i>) antifriction
aliaj cu memoria formei	shape memory alloy	alliage (<i>m</i>) à mémoire de forme
aliaje de aluminiu	aluminium alloys	alliages (<i>m</i>) d'aluminium
aliaje de cupru	copper alloys	alliages (<i>m</i>) de cuivre
aliaje de magneziu	magnesium alloys	alliages (<i>m</i>) de magnésium
aliaje de titan	titanium alloys	alliages (<i>m</i>) de titane
aliaj eutectic	eutectic alloy	alliage (<i>m</i>) eutectique
aliaj hipereutectic	hypereutectic alloy	alliage (<i>m</i>) hipereutectique
aliaj hipoeutectic	hypoeutectic alloy	alliage (<i>m</i>) hypoeutectique
aliaj mecanic	mechanical alloy	alliage (<i>m</i>) mécanique
aliaj neferos	non-ferrous alloy	alliage (<i>m</i>) non ferreux
aliaj pentru lipire moale	soft solder alloy	alliage (<i>m</i>) de brasage tendre
aliaj tipografic	printing alloy	alliage (<i>m</i>) typographique
aliaj ușor fuzibil	low-melting alloy	alliage (<i>m</i>) facilement fusible
alotropie	allotropy	allotropie (<i>f</i>)
ălpaca	German silver	maillechort (<i>m</i>)
aluminu	aluminium	aluminium (<i>m</i>)
alungirea relativă la rupere	percentage elongation	allongement (<i>m</i>) pour cent après rupture
aminoplast	aminoplast	aminoplaste (<i>m</i>)
austenită	austenite	austénite (<i>f</i>)
așchiere	cutting	coupe (<i>f</i>)

B

beinită	bainite	bainite (<i>f</i>)
beton	concrete	béton (<i>m</i>)

beton amprentat	imprinted concrete	béton (<i>m</i>) imprimé
beton antiacid	anti acid concrete	béton (<i>m</i>) anti-acide
beton armat	reinforced concrete	béton (<i>m</i>) armé
beton autonivelant	self leveling concrete	béton (<i>m</i>) autonivelant
beton avansat	advanced concrete	béton (<i>m</i>) avancé
beton bituminos	bituminous concrete	béton (<i>m</i>) bitumineux
beton celular	aerated concrete	béton (<i>m</i>) cellulaire
beton conductor	conductive concrete	béton (<i>m</i>) conducteur
beton cu fibre	fiber concrete	béton (<i>m</i>) à fibre
beton decorativ	aesthetic concrete	béton (<i>m</i>) esthétique
beton fotocatalitic	photocatalytic concrete	béton (<i>m</i>) photocatalitique
beton precomprimat	prestressed concrete	béton (<i>m</i>) précontraint
beton refractar	refractory concrete	béton (<i>m</i>) réfractaire
beton translucid	translucent concrete	béton (<i>m</i>) translucide
bioceramică	bioceramic	bio-céramique (<i>f</i>)
borurare	boration	boruration (<i>f</i>)
bronz	bronze	bronze (<i>m</i>)
bronz cu aluminiu	aluminium bronze	bronze (<i>m</i>) d'aluminium
bronz cu staniu	tin bronze	bronze (<i>m</i>) à l'étain

C

calandrare	calendering	calandrage (<i>m</i>)
calorizare	calorising	calorisation (<i>f</i>)
carbon	carbon	carbone (<i>m</i>)
cauciuc butilic	butyl rubber	caoutchouc (<i>m</i>) butilique
cauciuc natural	natural rubber	caoutchouc (<i>m</i>) naturel
cauciuc nitrilic	nitrile rubber	caoutchouc (<i>m</i>) nitrile
cauciuc sintetic	synthetic rubber	caoutchouc (<i>m</i>) synthétique
cauciuc stiren-butadienă	styrene-butadiene rubber	caoutchouc (<i>m</i>) styrène-butadiène
călibilitate	hardenability	trempeabilité (<i>f</i>)
călire	hardening	trempe (<i>f</i>)
călire izotermă	isothermal hardening	trempe (<i>f</i>) isotherme
călire în aer	air hardening	trempe (<i>f</i>) à l'air
călire în apă	water hardening	trempe (<i>f</i>) à l'eau
călire în trepte	graded hardening	trempe (<i>f</i>) à gradins
călire întreruptă	interrupted hardening	trempe (<i>f</i>) interrompue
călire în ulei	oil hardening	trempe (<i>f</i>) à l'huile
călire superficială	superficial hardening	trempe (<i>f</i>) superficielle
căldură specifică	specific heat	chaleur (<i>f</i>) spécifique
cărămidă	brick	brique (<i>f</i>)
cementare; carburare	cementation; carburizing	cémentation (<i>f</i>)
cementită	cementite	cémentite (<i>f</i>)

ceramică avansată	advanced ceramic	céramique (f) avancée
ceramică de artă	ceramic art	céramique (f) d'art
ceramică feromagnetică	ferromagnetic ceramic	céramique (f) ferromagnétique
ceramică industrială	technical ceramic	céramique (f) industrielle
ceramică piezoelectrică	piezoelectric ceramic	céramique (f) piézoélectrique
ceramică refractară	refractory ceramic	céramique (f) réfractaire
ceramică semiconductoare	semiconductor ceramic	céramique (f) semiconductrice
ceramică supraconductoare	superconducting ceramic	céramique (f) supraconductrice
ceramică tribologică	tribological ceramic	céramique (f) tribologique
ceramică utilitară	utilitarian ceramic	céramique (f) utilitaire
cianizare	cyaniding	cyanisation (f)
coeficient de dilatare liniară	coefficient of linear expansion	coefficient (m) de dilatation thermique
cloropren	chloroprene	chloroprène (m)
compozit cu memoria formei	shape memory composite	composite (m) à mémoire de forme
compus intermetalic	intermetallic compound	composé (m) intermétallique
condensator ceramic	ceramic capacitor	condensateur (m) céramique
conductibilitate electrică	electrical conductivity	conductibilité (f) électrique
conductibilitate termică	thermal conductivity	conductibilité (f) thermique
constantan	constantan	constantan (m)
contractie	shrinkage; contraction	contraction (f); retrait (m)
cristal lichid	liquid crystal	cristal (m) liquide
cristalografie	crystallography	cristallographie (f)
cromizare	chromising	chromisation (f)
cupru	copper	cuiivre (m)
cuptor cu muflă	muffle furnace	four (m) à moufle
cuptor cu rezistență	resistance furnace	four (m) à résistance
curbă de încălzire	heating curve	courbe (f) de chauffage
curbă de răcire	cooling curve	courbe (f) de refroidissement

D

dendrimer	dendrimer	dendrimère (m)
dendrită	dendrite	dendrite (f)
depolimerizare termică	thermal depolymerization	dépolymérisation (f) thermique

diagrama fier-carbon	iron-carbon phase	diagramme (m) fer-carbone
diagramă de echilibru	equilibrium diagram	diagramme (m)d'équilibre
dielectric	dielectric	diélectrique (m)
difuziune	diffusion	diffusion (f)
disociere	dissociation	dissociation (f)
dizolvare	dissolution	dissolution (f)
dizolvare anodică	anodic dissolution	dissolution (f) anodique
ductilitate	ductility	ductilité (f)
duraluminu	duralumin	duralumin (m)
duritate	hardness	dureté (f)

E

elastomer	elastomer	élastomère (m)
elasticitate	elasticity	élasticité (f)
electrod-sculă	tool-electrod	outil-électrode (m)
electroeroziune	electroerosion	électro-érosion (f)
eroziune chimică	chemical erosion	érosion (f) chimique
eroziune cu plasmă	plasma erosion	érosion (f) à plasma
eroziune electrochimică	electrochemical erosion	érosion (f) électrochimique
expandare	expanding	expansion (f)
extrudare	extrusion	extrusion (f)
extrudare reactivă	reactive extrusion	extrusion (f) réactive

F

faianță	faience	faïence (f)
fenoplastă	phenoplast	phénoplaste (m)
ferită	ferrite	ferrite (f)
feroelectricitate	ferroelectricity	ferroélectricité (f)
fibră de aramidă	aramid fiber	fibre (f) d'aramide
fibră de bor	boron fiber	fibre (f) de bore
fibră de carbon	carbon fiber	fibre (f) de carbone
fibră de sticlă	fiberglass	fibre (f) de verre
fibră multimodală	multi mode fiber	fibre (f) multimode
fibră optică	optical fiber	fibre (f) optique
fibră unimodală	single mode fiber	fibre (f) monomode
fier	iron	fer (m)
filare	spinning	filage (m)
fluaj	creep	fluage (m)
fluid electrorheologic	electrorheological fluid	fluide (m) électro-rhéologique
fluiditate	castability	coulabilité (f)

fluid magnetoreologic	magnetorheological fluid	fluide (<i>m</i>) magnétorhé- ologique
fluid supercritic	supercritical fluid	fluid (<i>m</i>) supercritique
fontă	cast iron; pig-iron	fonte (<i>f</i>)
fontă albă	white cast iron	fonte (<i>f</i>) blanche
fontă antifricțiune	antifriction cast iron	fonte (<i>f</i>) antifriction
fontă austenitică	austenitic cast iron	fonte (<i>f</i>) austénitique
fontă brută	pig-iron	fonte (<i>f</i>) de première fusion
fontă cenușie	grey cast iron	fonte (<i>f</i>) grise
fontă cu grafit lamelar	lamellar graphite cast iron	fonte (<i>f</i>) à graphite lamel- laire
fontă cu grafit nodular	spheroidal graphite cast iron	fonte (<i>f</i>) à graphite sfero- ïdal
fontă de afinare	steel-making pig-iron	fonte (<i>f</i>) d'affinage
fontă de fricțiune	bearing cast iron	fonte (<i>f</i>) de friction
fontă de turnătorie	foundry pig-iron	fonte (<i>f</i>) de moulage
fontă maleabilă	malleable cast iron	fonte (<i>f</i>) malléable
fontă maleabilă cu inimă albă	whiteheart malleable cast iron	fonte (<i>f</i>) malléable à coeur blanc; fonte (<i>f</i>) européenne
fontă maleabilă cu inimă neagră	blackheart malleable cast iron	fonte (<i>f</i>) malléable à coeur noir; fonte (<i>f</i>) américaine
fontă perlitică	pearlitic cast iron	fonte (<i>f</i>) perlitique
fontă refractară	heat resisting cast iron	fonte (<i>f</i>) réfractaine
fontă specială	special cast iron	fonte (<i>f</i>) fine
forjabilitate	forgeability	forgeabilité (<i>f</i>)
formare manuală	manual molding	moulage (<i>m</i>)
fragilitate	brittleness; fragility	fragilité (<i>f</i>)
furnir	placage	placage (<i>m</i>)

G

gâtuire relativă la rupere granulare gresie	reduction of area granulation stoneware	striction (<i>f</i>) de rupture granulation (<i>f</i>) grès (<i>m</i>)
---	---	--

I

izolator ceramic izolație termică	ceramic insulator thermal insulation	isolateur (<i>m</i>) céramique isolation (<i>f</i>) thermique
--------------------------------------	---	--

Î

înfășurare	winding	enroulement (<i>m</i>)
------------	---------	--------------------------

L

laminare	rolling	laminage (<i>m</i>)
ledeburită	ledeburite	lédéburite (<i>f</i>)
lemn	wood	bois (<i>m</i>)
lipire	gluing	collage (<i>m</i>)

M

magnet permanent	permanent magnet	aimant (<i>m</i>) permanent
magneziu	magnesium	magnésium (<i>m</i>)
maleabilitate	malleability	malléabilité (<i>f</i>)
martensită	martensite	martensite (<i>f</i>)
masă volumică (densitate)	density	masse (<i>f</i>) volumique; poids(<i>m</i>) spécifique
materiale avansate	advanced materials	matériaux (<i>m</i>) avancés
material ceramic	ceramic material	matériau (<i>m</i>) céramique
material compozit	composite material	matériau (<i>m</i>) composite
material electrostrictiv	electrostrictive material	matériau (<i>m</i>) électrostrictif
material inteligent	smart material	matériau (<i>m</i>) intelligent
material magnetostrictiv	magnetostrictive material	matériau (<i>m</i>) magnéto-strictif
material magnetic	magnetic material	matériau (<i>m</i>) magnétique
material magnetic dur	hard magnetic material	matériau (<i>m</i>) magnétique durs
material magnetic moale	soft magnetic material	matériau (<i>m</i>) magnétique doux
material magnetic semidur	magnetic material semi rigid	matériau (<i>m</i>) magnétique semi-dur
material piezoelectric	piezoelectric material	matériau (<i>m</i>) piézoélectrique
material plastic	plastic	matière (<i>f</i>) plastique
material plastic termo-reactiv	thermosetting plastic	plastique (<i>m</i>) thermdurcissable
material sandviș	sandwich material	matériau (<i>m</i>) sandwich
material stratificat	stratified material	matériau (<i>m</i>) stratifié
material supraconductor	superconducting material	matériau (<i>m</i>) supraconducteur
material termoplast	thermoplastic	matière (<i>f</i>) thermoplastique
matrice	matrix	matrice (<i>f</i>)
matrice ceramică	ceramic matrix	matrice (<i>f</i>) céramique
matrice metalică	metal matrix	matrice (<i>f</i>) métallique
matrice organică	organic matrix	matrice (<i>f</i>) organique
matrice plastică	plastic matrix	matrice (<i>f</i>) plastique

măcinare	grinding	broyage (<i>m</i>)
metal	metal	métal (<i>m</i>)
metal neferos	non-ferrous metal	métal (<i>m</i>) non ferreux
modul de elasticitate	elastic modulus	module (<i>m</i>) d'élasticité
mozaic	mosaic	mosaïque (<i>f</i>)
mușchi artificial	artificial muscle	muscle (<i>m</i>) artificiel

N

nilon	nylon	nylon (<i>m</i>)
nitrurare	nitriding; nitrogen hardening	nitruration (<i>f</i>)

O

oțel	steel	acier (<i>m</i>)
oțel aliat	alloy steel	acier (<i>m</i>) allié
oțel avansat de înaltă rezistență	advanced high strength steel	acier (<i>m</i>) avancé à haute résistance
oțel aliat de scule	alloy tool steel	acier (<i>m</i>) allié à outils
oțel anticorosiv	corrosion resisting steel	acier (<i>m</i>) résistant à la corrosion
oțel bifazic	dual phase steel	acier (<i>m</i>) biphasé
oțel calmat	killed steel	acier (<i>m</i>) calmé
oțel-carbon	carbon steel	acier (<i>m</i>) au carbone
oțel-carbon de calitate	quality carbon steel	acier (<i>m</i>) au carbone de qualité
oțel-carbon de scule	carbon tool steel	acier (<i>m</i>) au carbone à outils
oțel-carbon obișnuit	plain steel	acier (<i>m</i>) au carbone de construction
oțel cu modificarea forțată a plasticității	transformation induced plasticity steel	acier (<i>m</i>) TRIP
oțel damaschinat	Damascus steel	acier (<i>m</i>) damassé
oțel de cementare	carburizing steel	acier (<i>m</i>) de cémentation
oțel de scule	tool steel	acier (<i>m</i>) à outils
oțel duplex	duplex steel	acier (<i>m</i>) duplex
oțel inoxidabil	stainless steel	acier (<i>m</i>) inoxydable
oțel martensitic îmbătrânit	martensitic ageing steel	acier (<i>m</i>) maraging
oțel multifazic	complex phase steel	acier (<i>m</i>) multiphasé
oțel necalmat	rimming (rimmed) steel	acier (<i>m</i>) effervescent
oțel pentru arcuri	springs steel	acier (<i>m</i>) à ressorts
oțel pentru automate	free-cutting steel	acier (<i>m</i>) de décolletage
oțel pentru rulmenți	bearings steel	acier (<i>m</i>) à roulements

oțel pentru table de cazane și recipiente sub presiune	plates steel for boilers and pressure vessels	acier (<i>m</i>) à toles pour chaudières et appareils à pression
oțel pentru pile	file steel	acier (<i>m</i>) pour limes
oțel pentru țevi	tubes steel	acier (<i>m</i>) à tubes
oțel rapid	high-speed steel	acier (<i>m</i>) rapide
oțel refractar	heat-resisting steel	acier (<i>m</i>) réfractaire
oțel rezistent la uzură	wear resisting steel	acier (<i>m</i>) résistant à l'usure
oțel semicalmat	semi-killed steel	acier (<i>m</i>) semi-calmé
oțel turnat	cast steel	acier (<i>m</i>) moulé

P

panel	blockboard	panneau (<i>m</i>) latté
placaj	plywood	contreplaqué (<i>m</i>)
parchet stratificat	laminat flooring	parquet (<i>m</i>) stratifié
perlită	pearlite	perlite (<i>f</i>)
placă aglomerată din lemn (PAL)	medium density fiberboard (MDF)	panneau (<i>m</i>) de fibres à densité moyenne
placă fibrolemnoasă (PFL)	oriented strand board (OBS)	panneau (<i>m</i>) de grandes particules orientées
plasticitate	plasticity	plasticité (<i>f</i>)
plumb	lead	plomb (<i>m</i>)
poliacetilenă	polyacetylene	polyacétylène (<i>m</i>)
poliacrilat	polyacrylate	polyacrylate (<i>m</i>)
poliaditiie	polyaddition	polyaddition (<i>f</i>)
poliamidă	polyamide	polyamide (<i>m</i>)
poliamidă-imidă	polyamide-imide	polyamide-imide (<i>f</i>)
polianilină	polyaniline	polyaniline (<i>f</i>)
poliarilamidă	polyarylamide	polyarylamide (<i>f</i>)
polibutadienă	polybutadiene	polybutadiène (<i>m</i>)
policarbonat	polycarbonate	polycarbonate (<i>m</i>)
policlorură de vinil	polyvinyl chloride	polychlorure (<i>m</i>) de vinyle
policondensare	polycondensation	polycondensation (<i>f</i>)
poliester	polyester	polyester (<i>m</i>)
polieteretercetona	polyetheretherketone	polyétheréthercétone (<i>f</i>)
polietilenă	polyethylene	polyéthylène (<i>m</i>)
polietersulfonă	polyethersulfone	polyéthersulfone (<i>f</i>)
polifenilsulfonă	polyphenilsulfone	polyphénilsulfone (<i>f</i>)
polifluorură de viniliden	polyvinylidene fluoride	polyfluorure (<i>f</i>) de vinylidène
polifhtalamidă	polyphthalamide	polyphthalamide (<i>f</i>)
poliimidă	polyimide	polyimide (<i>f</i>)
polimer avansat	advanced polymer	polymère (<i>m</i>) avancé

polimer biocompatibil	biocompatible polymer	polymère (<i>m</i>) biocompatible
polimer biodegradabil	biodegradable polymer	polymère (<i>m</i>) biodégradable
polietilenă de înaltă densitate	high-density polyethylene	polyéthylène (<i>m</i>) haute densité
polietilenă de joasă densitate	low-density polyethylene	polyéthylène (<i>m</i>) basse densité
polietilenă tereftalată	polyethylene terephthalate	polyéthylène (<i>m</i>) téréphthalate
polimer	polymer	polymère (<i>m</i>)
polimer conductor	conductrice polymer	polymère (<i>m</i>) conducteur
polimer cu memoria formei	shape memory polymer	polymère (<i>m</i>) à mémoire de forme
polimer fonic	photonic polymer	polymère (<i>m</i>) photonique
polimerizare	polymerization	polymérisation (<i>f</i>)
polipirol	polypyrrole	polypyrrole (<i>m</i>)
polipropilenă	polypropylene	polypropylène (<i>m</i>)
polistiren	polystyrene	polystirène (<i>m</i>)
polisulfonă	polysulfone	polysulfone (<i>f</i>)
politetrafluoretilenă	polytetrafluoroethylene	polytétrafluoroéthylène(<i>m</i>)
politiofenă	polythiophene	polythiophène (<i>m</i>)
poliuretan	polyurethane	polyuréthane (<i>m</i>)
porțelan	porcelain	porcelaine (<i>f</i>)
prelucrare cu laser	laser machining	usinage (<i>m</i>) par laser
prelucrare cu ultrasunete	ultrasonic machining	usinage (<i>m</i>) par ultrasons
presare	pressing	pressage (<i>m</i>)

R

ranfort	reinforcement	renfort (<i>m</i>)
rășină epoxidică	epoxyde resin	résine (<i>f</i>) époxydique
rășină fenolică	phenolic resin	résine (<i>f</i>) phénolique
rășină poliesterică	polyester resin	résine (<i>f</i>) polyester
rășină poliuretanică	polyurethane resin	résine (<i>f</i>) polyuréthane
rășină vinilesterică	vinylester resin	résine (<i>f</i>) vinylester
reciclare	recycling	recyclage (<i>m</i>)
reciclare chimică	chemical recycling	recyclage (<i>m</i>) chimique
reciclare mecanică	mechanical recycling	recyclage (<i>m</i>) mécanique
recoacere	annealing	recuit (<i>m</i>)
refractoritate	refractoriness	réfractarité (<i>f</i>)
revenire	tempering	revenu (<i>m</i>)
reziliență	resiliency	résilience (<i>f</i>)

rezistența de rupere la tracțiune	breaking strenght	résistance (f) de rupture à la traction
rezistență la compresiune	compression strength	résistance (f) à la compression
rezistență la coroziune	corrosion resistance	résistance (f) à la corrosion
rezistență la încovoiere	bending strength	résistance (f) à la flexion
rezistență la forfecare	shear strength	résistance (f) au cisaillement
rezistență la oboseală	fatigue strength	résistance (f) à la fatigue
rezistență la rupere	ultimate strength	résistance (f) de rupture
rezistență la șoc	impact strength	résistance (f) au choc
rezistență la uzură	resistance to wear	résistance (f) à l'usure
rețea cristalină	crystal lattice	réseau(m) cristallin
rigiditate	rigidity; stiffness	rigidité (f)

S

sculă așchietoare	cutting tool	outil (m) de coupe
segregare	segregation	ségrégation (f)
siliciere; silicizare	siliconizing	siliconizing (m)
silicon	silicone	silicone (f)
silumin	alpax; silumin	alpax (m); silumin (m)
soluție solidă	solid solution	solution (f) solide
solvoliză	solvolysis	solvolyse (f)
sorbită	sorbite	sorbite (f)
spumă metalică	metal foam	mousse (f) métallique
staniu	tin	étain (m)
sudare	welding	soudage (m)
sudabilitate	weldability	soudabilité (f)
superaliaje	superalloys	superalliages (m)

Ș

șerardizare	sherardizing	shérardisation (f)
-------------	--------------	--------------------

T

tehnologie neconvențională	unconventional technology	technologie (f) non conventionnelle
temperatură de topire	smelting point	point (m) de fusion
tenacitate	tenacity; toughness	ténacité (f)
teracotă	terra cotta	terre (f) cuite
termistor	thermistor	thermistance (f)

transformare peritectică	peritectic transformation	transformation (<i>f</i>) péritectique
tratament termic	heat treatment	traitement (<i>m</i>) thermique
tratament termomecanic	thermomechanical treatment	traitement (<i>m</i>) thermomécanique
turnare	casting	coulage (<i>m</i>); coulée (<i>f</i>)
turnare centrifugă	centrifugal casting	coulée (<i>f</i>) centrifuge
turnare continuă	continuous casting	coulée (<i>f</i>) continue
turnare sub presiune	casting under pressure	coulée (<i>f</i>) sous pression

T

țiglă	tile	tuile (<i>f</i>)
-------	------	--------------------

V

varistor	varistor	varistance (<i>f</i>)
----------	----------	-------------------------

Z

zinc	zinc	zinc (<i>m</i>)
------	------	-------------------

BIBLIOGRAFIE

1. **Abramovici, R.** – *Materii prime ceramice* (2 vol.), Institutul Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, 1974.
2. **Achimfa, Șt.** – *Materiale metalice cu proprietăți speciale*, Reprografia Universității „Dunărea de Jos” din Galați, 1999.
3. **Alămoreanu, E., Constantinescu, D.M.** – *Proiectarea plăcilor compozite laminate*, Editura Academiei Române, București, 2005.
4. **Aliprandi, G.** – *Matériaux réfractaires et céramiques techniques*, Editions Septima, Paris, 1979.
5. **Ambos, E.** – *Urformtechnik metallischer Werkstoffe*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
6. **Amza, Gh., Dumitru, G.M., Rîndașu, V.O.** – *Tehnologia materialelor* (vol.I), Editura Tehnică, București, 1997.
7. **Amza, Gh., Rîndașu, V.O., Dumitru, G.M., Amza, C.Gh.** – *Tratat de tehnologia materialelor* (2 vol.), Editura Academiei Române, București, 2002.
8. **Anghel-Sprânceană, F., Anghel, D.** – *Metode și procedee tehnologice* (vol.II), Editura Printech, București, 2006.
9. **Anghel-Sprânceană, F., Popescu, M.O.** – *Tehnologii electromecanice*, Litografia Universității „Politehnica” din București, 1998.
10. **Arabagian, O., Olaru, Gh., Budeanu, A., Todor, N.** – *Studiul materialelor folosite în minerit*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1967.
11. **Arzamasov, B.** – *Materials Science*, MIR Publishers, Moscow, 1989.
12. **Ashby, F.M., Jones, R.H.D.** – *Engineering Materials 1. An Introduction to Properties, Applications and Design* (fourth edition), Cambridge, 2009.
13. **Axenov, P.N.** – *Turnătorie* (traducere din limba rusă), Editura Tehnică, București, 1954.
14. **Badea, S.** – *Forjarea și extruziunea materialelor metalice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
15. **Bailley, D., Wright, E.** – *Practical Fiber Optics*, Newnes, Oxford, 2003.
16. **Baïlon, J.P., Dorlot, J.M.** – *Des matériaux* (3e édition), Presses Internationales Polytechnique, Montreal, 2002.
17. **Bain, E.C., Paxton, H.W.** – *Les éléments d'addition dans l'acier*, Dunod, Paris, 1968.
18. **Bataev, A.A., Bataev, V.A.** – *Kompozitionnie materialı*, Universitetskaia Kniga, 2006.
19. **Bathias, C.** – *Matériaux composites* (2^e édition), Dunod, 2009.
20. **Baur, E., Brinkmann, S., Schmachtenberg, E.** – *Saehtling Kunststoff Taschenbuch*, Carl Hanser Verlag, 2007.
21. **Béres, L., Komócsin, M.** – *Acélok, öntöttvasak javító-és felrakóhegesztése*,

- ESAB Kft., Budapest, 1995.
22. **Bernstein, M.L.** – *Structura deformirovannîh metallov*, Metallurgia, Moskva, 1975.
 23. **Berreta, H.** – *Ladrillos de plástico reciclado* (2⁰ edición), Nobuko, 2007.
 24. **Berthelot, J.M.** – *Matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures* (4e édition), Lavoisier, 2005.
 25. **Bertolotti G., Capitelli, V.** – *Dizionario delle materie plastiche*, Tecniche Nuove, 2007.
 26. **Bobkov, A.S., Juraviev, V.S.** – *Proizvodstvennaia bezopasnosti v rezinovoï promîslennosti*, Izdatelstvo Himiia, Leningrad, 1980.
 27. **Bohosievici, C.** (sub coordonarea) – *Dicționar poliglot de metalurgie și construcții de mașini*, Editura Tehnică, București, 1996.
 28. **Bolgojin, Ș.A., Altaev, Ș.A., Musin, A.M.** – *Sozdanie i primenenie gornogo oborudovaniia iz plastmass v Karagandinskom basseine*, Izdatelstvo Nauka, Alma-Ata, 1977.
 29. **Bolunduț, I.L.** – *Tehnologia materialelor plastice și compozite*, Editura Junimea, Iași, 2010.
 30. **Bolunduț, I.L.** – *Materiale metalice*, Editura AGIR, București, 2004.
 31. **Bolunduț, I.L.** – *Tehnologia materialelor și mașini-unelte*, Litografia Institutului de Mine din Petroșani, 1985.
 32. **Bolunduț, I.L., Dumitrescu, I.** – *Mașini- unelte și prelucrări prin așchiere*, Editura Tehnica-Info, Chișinău, 1999.
 33. **Bolunduț, I.L.** – *Știința și ingineria materialelor*, Editura Junimea, Iași, 2010.
 34. **Bolunduț, I.L.** – *Știința și ingineria materialelor*, Editura Tehnica-Info, Chișinău, 2010.
 35. **Bortnikov, V.G.** – *Osnovî tehnologii pererabotki plasticeskih mass*, Izdatelstvo Himiia, Leningrad, 1983.
 36. **Bost, J.** – *Matières plastiques. Technologie. Plasturgie* (3^e tirage), Lavoisier, 2010.
 37. **Bourban, P.E., Carlsson, L., Mercier, J.P., Månson, J.A.** – *Matériaux composites à matrice organique: constituant, procédés, propriétés*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2004.
 38. **Brabie, V., Avram, N., Moldovan, P.** – *Elaborarea aliajelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
 39. **Brandrup, J.** – *Die Wiederverwertung von Kunststoffen*, Carl Hanser Verlag München-Wien, 1995.
 40. **Brandt, N.B., Ciudinov, S.M.** – *Elektronaia struktura metallov*, Izdatelstvo Moskovskovo Universiteta, Moskva, 1973.
 41. **Brissaud, M.** – *Matériaux piézoélectriques*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2007.
 42. **Brozzo, P.** – *Struttura e proprietà meccaniche dei materiali metallici*, ECIG, Genova, 1979.
 43. **Budinski, K.G.** – *Engineering Materials - Properties and Selection*, Library

- Publishing Company, New Jersey, 1992.
44. **Budnikov, P.P., Berejnoi, A.S., Bulavin, I.A., Grissik, B.M., Kukolev, G.V., Poluboiarinov, D.N.** – *Tehnologia produselor ceramice și refractare*, Editura Tehnică, București, 1960.
 45. **Bujoreanu, L.Gh.** – *Materiale inteligente*, Editura Junimea, Iași, 2002.
 46. **Burdese, A.** – *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici*, UTET, Torino, 1992.
 47. **Buschow, K.H.J.** (editor) – *Concise Encyclopedia of Magnetic and Superconducting Materials* (second edition), PDF, Elsevier Science, 2006.
 48. **Cahn, R.W.** – *Physical Metallurgy*, American Elsevier Publishing Company, New York, 1970.
 49. **Cahn, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J.** – *Materials Science and Technology*, MacMillan Publishing Company, New York, 1991.
 50. **Calea, Gh., Drimer, D., Amza, Gh., Gladcov, P.** – *Tehnologie mecanică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
 51. **Callister, W.D.Jr.** – *Materials Science and Engineering – An Introduction*, Ed. John Wiley & Sons (5th edition), New York, 2000.
 52. **Cardwell, D.A., Ginley, D.S.** (editors) – *Handbook of Superconducting Materials* (vol I) ▪ *Superconductivity, Materials and Processes*, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2003.
 53. **Cazaud, R., Le Roux, R.** – *Métallurgie. Aide Memoire*, Dunod, Paris, 1970.
 54. **Cazimirovici, E., Negulescu, I., Târcolea, M., Răducanu, D.** – *Teoria și tehnologia deformării prin tragere*, Editura Tehnică, București, 1990.
 55. **Cătuneanu, V.M.** (sub coordonarea) – *Materiale pentru electronică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
 56. **Ceașescu, N., Popescu, I.** – *Tehnologii neconvenționale* (vol. I.), Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1982.
 57. **Cedighian, S.** – *Materiale magnetice – Îndreptar*, Editura Tehnică, București, 1974.
 58. **Chermant, J.L.** – *Les céramiques thermomécaniques*, Presses du CNRS, Paris, 1989.
 59. **Cheșa, I., Lașcu-Simion, N., Mureșeanu, C., Rizescu, C., Teodorescu, M.S.** – *Mărci și produse din oțel*, Editura Tehnică, București, 1989.
 60. **Cheșa, L., Lașcu-Simion, N., Nedelcu, C., Rizescu, C., Teodorescu, M.S.** – *Alegerea și utilizarea oțelurilor*, Editura Tehnică, București, 1984.
 61. **Ciampaglia, G.** – *Tecnologia dei materiali compositi meccanici ed aeronautici* (2 ed.), IBN Editore, Roma, 2003.
 62. **Cincu, C., Manea Gh.** – *Cartea operatorului din industria de prelucrare a materialelor plastice*, Editura Tehnică, București, 1984.
 63. **Ciobanu, R.C., Căliman, R.** – *Tehnologia materialelor și sistemelor compozite*, Rotaprintul Universității din Bacău, 1994.
 64. **Cobzaru, P.** – *Materiale compozite*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2004.
 65. **Cojocaru-Filipiuc, V.** – *Fonte. Obținere*, Editura Samia, Iași, 2002.

66. **Colan, H., Tudoran, P., Ailincăi, Gh., Marcu, M., Drugescu, E.** – *Studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
67. **Collings, P.J.** – *Liquid Crystals* (second edition), Princeton University Press, 2002.
68. **Colombié, M.** – *Matériaux métalliques* (2ème édition), Dunod/L'Usine Nouvelle, 2008.
69. **Colombié, M.** – *Pratique de matériaux industriels: propriétés, choix, utilisation*, Dunod, Paris, 1990.
70. **Colombier, L., Hochmann, J.** – *Aciers inoxydables, aciers réfractaires*, Dunod, Paris, 1965.
71. **Constantinescu, A.** – *Criterii de alegere rațională a oțelurilor*, OID-ICM, București (vol.I - 1998, vol.II - 1998, vol.III - 1999).
72. **Constantinescu, A.** – *Fluajul metalelor*, Editura Tehnică, București, 1970.
73. **Constantinescu R., Platon, M.** – *Utilizarea maselor plastice în construcții*, Editura Tehnică, București, 1985.
74. **Corbet, C.** – *Matières plastiques. Matériaux. Outillages de mise en forme*, Casteilla, 2009.
75. **Cordebois, J.P., Colombié, M.** – *Fabrication par usinage* (2ème édition), Dunod/L'Usine Nouvelle, 2008.
76. **Crăciunescu, M.** – *Materiale compozite*, Editura SEDONA, Timișoara, 1998.
77. **Crisp, J., Elliott, B.** – *Introduction to Fiber Optics* (third edition), Newnes, Oxford, 2005.
78. **Crișan, A.** – *Elaborarea și turnarea fontelor*, Reprografia Universității „Transilvania” din Brașov, 1996.
79. **Croft, D.N.** – *Heat Treatment of Welded Steel Structures*, Abington Publishing, Cambridge, 1996.
80. **Cuida, O.** – *Fabricarea țevelor de oțel prin laminare și tragere la rece*, Editura Tehnică, București, 1991.
81. **De Sy, A.V.** – *Métallurgie structurale théorique et appliquée*, Dunod, Paris, 1962.
82. **Degarmo, E.P., Black, T. J., Ronald, A.** – *Matériaux et procédés de fabrication* (9^e éd.), Wiley, 2003.
83. **Demus, D.** – *Faszinierende Flüssigkristalle*, Libri. Digital, 2007.
84. **Dennis, W.H.** – *Metallurgy of Nonferrous Metals*, London, 1960.
85. **Dieter, E.G. Jr.** – *Metalurgie mecanică* (traducere din limba engleză -SUA), Editura Tehnică, București, 1970.
86. **Dimitriu, S., Gheorghe, C., Dimitriu, A., Buțu, M.** – *Tratamentul termic al îmbinărilor sudate*, Editura BREN, București, 2002.
87. **Dinu, M.** – *Metale de înaltă puritate*, Editura Tehnică, București, 1988.
88. **Dobrovici, D., Prisecaru, I., Banciu, M.** – *Metalurgia fontei*, Editura Tehnică, București, 1966.
89. **Dobrowolski, J.A.** – *Concrete Construction Handbook* (fourth edition), McGraw-Hill, 1998.

90. **Domșa, Al., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Botha, L., Colan, H., Buzoianu, P.** – *Tehnologia fabricării pieselor din pulberi metalice*, Editura Tehnică, București, 1966.
91. **Domșa, Ș., Miron, Z.** – *Îndrumător pentru utilizarea fontelor, oțelurilor și aliajelor neferoase*, Editura Tehnică, București, 1985.
92. **Dondik, I.G.** – *Mehaniceskie ispîtania metallov*, Izdatelstvo Akademii Nauk Ukrainskoi SSR, Kiev, 1962.
93. **Drăgan, I., Ilca, I., Badea, S., Cazimirovici, E.** – *Tehnologia deformărilor plastice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
94. **Du Trémolet de Lacheisserie** (sous la direction de) – *Magnétisme - Matériaux et applications*, EDP Sciences, Grenoble, 1999.
95. **Dulămiță, T., Vermeșan, G., Munteanu, Al., Vasile, T., Catrinoiu, C., Prejban, I.** – *Tehnologia tratamentelor termice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
96. **Dumitraș, C., Opran, C.** – *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice și minerale*, Editura Tehnică, București, 1992.
97. **Duval, C.** – *Matières plastiques et environnement. Recyclage. Valorisation. Biodégradabilité. Écoconception*, Dunod, 2009.
98. **Effing, M.** – *Rechnerunterstützte Anlegung und Fertigung von Faserverbundbauteilen*, Diss. T. H., Aachen, 1988.
99. **Eisenstadt, M.M.** – *Introduction to Mechanical Properties of Materials*, MacMillan Publishing Company, New York, 1981.
100. **Fetecău, C., Oancea, N., Stan, F.** – *Prelucrarea mecanică a maselor plastice*, Oficiul de Informare Documentară pentru Industria Construcțiilor de Mașini, București, 2000.
101. **Fiterău, V.** – *Metalografie și proprietățile metalelor*, Reprografia Universității din Brașov, 1979.
102. **Fleşer, T.** – *Modificarea stării oțelurilor supuse solicitărilor termomecanice*, Editura Politehnica, Timișoara, 2002.
103. **Flinn, R.A., Trojan, P.K.** – *Engineering Materials and their Applications* (3rd edition), Houghton Mifflin, Boston, 1986.
104. **François, D.** – *Endommagements et rupture de matériaux*, EDP Sciences, 2004.
105. **Frey, H.** – *Dünnschichttechnologie*, VDI Verlag, Düsseldorf, 1987.
106. **Gâdea, S., Petrescu, M.** – *Metalurgie fizică și studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
107. **Gâdea, S., Protopopescu, M.** – *Aliaje neferoase*, Editura Tehnică, București, 1966.
108. **Gale, W.F., Totemeier, T.C.** – *Smithells Metals Reference Book* (8th edition), ASM International, 2004.
109. **Gambhir, M.I.** – *Concrete technology* (third edition), Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2004.
110. **Gavrilaș, I., Marinescu, N.I.** – *Prelucrări neconvenționale în construcția de mașini* (vol.I), Editura Tehnică, București, 1991.

111. **Gavrilaș, I., Marinescu, N.I.** – *Prelucrarea prin electroeroziune și electrochimic-abrazivă* (2 vol.) Editura Tehnică, București, 1980.
112. **Geller, Y.A.** – *Tool Steels*, MIR Publishers, Moscow, 1978.
113. **Georgescu, G.S.** – *Îndrumător pentru ateliere mecanice* (ediția a V-a), Editura Tehnică, București, 1972.
114. **Geru, N.** – *Proprietățile metalelor și metode fizice de control*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1991.
115. **Geru, N., Bane, M., Coșmeleată, G., Gurgu, C., Marin, M.** – *Analiza structurii materialelor metalice*, Editura Tehnică, București, 1991.
116. **Geru, N., Chircă, D., Bane, M., Ripoșan, L., Marin, M., Coșmeleată, G., Biolaru, T.** – *Materiale metalice. Structură. Proprietăți. Utilizări*, Editura Tehnică, București, 1985.
117. **Gheorghe, C., Ștefan, M.** – *Îndreptar de metale. Obținere. Proprietăți. Utilizări*, Editura Tehnică, București, 1997.
118. **Gheorghieș, C.** – *Controlul structurii fine a metalelor cu radiații X*, Editura Tehnică, București, 1990.
119. **Gherasimov, V.V., Monahov, A.S.** – *Materiali iadernoi tehniki*, Energoizdat, Moskva, 1982.
120. **Giacomelli, I., Munteanu, A.** – *Tratamente termice*, Reprografia Universității din Brașov, 1980.
121. **Gladcov, P., Petrovici, A., Alexandrescu, V., Cosmulescu, D.** – *Tehnologia materialelor* (vol. I, II), Fundația PROINVENT a Universității „Politehnica” din București, 1998.
122. **Gontean, A., Gontean, Z.** – *Considerații generale privind utilizarea materialelor plastice în minerit*, Litografia Institutului de Mine, Petroșani, 1978.
123. **Gorelik, S.S.** – *Recrystallization in Metals and Alloys*, MIR Publishers, Moscow, 1981.
124. **Gozzelino G.,** – *Materie plastice. Struttura, proprietà e applicazioni dei materiali polimerici industriali*, Hoepli, 2007.
125. **Grămescu, T., Slătineanu, L., Braha, V., Sârbu, I.** – *Prelucrabilitatea materialelor*, Editura Tehnica-Info, Chișinău, 2000.
126. **Griffin, G.J.L.** (editor) – *Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers*, Blackie Academic & Professional, London, 1994.
127. **Guliaev, A.D.** – *Metallovedenie*, Metallurghizdat, Moskva, 1967.
128. **Gupta, C.K., Krishnamurthy, N.** – *Métallurgie extractive de terres rares*, CRC Press, 2005.
129. **Gurevici, S.M.** – *Spravocinik po svarke tvetnih metallov*, Izdatelstvo Naukova Dumka, Kiev, 1981.
130. **Gutt, G., Palade, D.D., Gutt, S., Klein, F., Schmitt, K.T.** – *Încercarea și caracterizarea materialelor metalice*, Editura Tehnică, București, 2002.
131. **Haussonne, J.M.** – *Céramiques pour l'électronique et l'électrotechnique* (2e édition), Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2002.

132. **Hayes, J.** – *Manual del Tecnico de Fibra Optica*, Delmar Pub, 2006.
133. **Hătărăscu, O.** – *Drumul fierului*, Editura Albatros, București, 1985.
134. **Hătărăscu, O., Vlădescu, M., Scorțea, C., Cuida, O., Ancuț, R.** – *Îndreptar de metalurgie*, Editura Tehnică, București, 1988.
135. **Hellerich, W., Harsch, G., Haenle, S.** – *Werkstoffführer Kunststoffe-Eigenschaften, Prüfungen, Kennwerte*, Carl Hanser Verlag, 2010.
136. **Hensen, F., Berghaus, U.** – *Plastics Extrusion Technology*, Carl Hanser Verlag, Munich, 1997.
137. **Hergenrother, P.M., Connell, J. W.** – *Advances in Polymer Science*, Springer-Verlag, Berlin, vol.117, pp. 67...110, 1994.
138. **Higgins, R.A.** – *Engineering Metallurgy*, ELBS, Kent, 1986.
139. **Homorodean, L.** – *Studiul unor supraconductori cu temperaturi critice înalte*, Teză de doctorat, Universitatea Babeș-Bolyai din Cluj-Napoca, 2002.
140. **Hornbogen, E., Eggeler, G., Werner, E.** – *Werkstoffe*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
141. **Horun, S., Păunică, T., Sebe, O.M., Șerban, S.** – *Memorator de materiale plastice*, Editura Tehnică, București, 1988.
142. **Huheey, J., Keiter, E., Keiter, R.** – *Chimie inorganique* (traduit de l'anglaise), De Boeck & Larcier s.a., Paris, Bruxelles, 1996.
143. **Iancău, V., Nica, D.** – *Tratamente termice cu azot și carbon*, Editura Tehnică, București, 1999.
144. **Iclănzan, T.** – *Plasturgie - Tehnologia prelucrării materialelor plastice*. Centrul de Multiplicare al Universității Tehnice din Timișoara, 1995.
145. **Iclănzan, T.** – *Tehnologia prelucrării materialelor plastice și compozite*, Editura Politehnica, Timișoara, 2006.
146. **Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M.** – *Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase speciale*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
147. **Ifrim, A., Noțingher, P.** – *Materiale electrotehnice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1992.
148. **Ileana, F.** – *Materiale electrotehnice și electronice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1993.
149. **Iordănescu, P.** – *Metalul înaripat*, Editura Tehnică, București, 1989.
150. **Ispas, Șt.** – *Materiale compozite*, Editura Tehnică, București, 1987.
151. **Janot, C. Ilchner, B.** – *Matériaux émergents*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2001.
152. **Jaoul, D.B.** – *Etude de la plasticité et application aux métaux*, Presses de l'École des Mines de Paris, 2008.
153. **Jinescu, V.V.** – *Proprietățile fizice și termomecanica materialelor plastice* (2 vol.), Editura Tehnică, București, 1979.
154. **Jutz, H., Scharkus, E.** – *Westerman Tables for the Metal Trade*, New Age International Publishers, New Delhi, 2006.
155. **Kachanov, L.M.** – *Fundamentals of the Theory of Plasticity*, Mir Publishers, Moscow, 1974.

156. **Kathrein, A., Moldovan, P.** – *Utilajul și tehnologia de elaborare și turnare a aliajelor neferoase*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
157. **Keil, T.** – *Spanende Bearbeitung von Verbundwerkstoffe*, Diplomatica Verlag GmbH, Hamburg, 2009.
158. **Kern, R.F., Suess, M.E.** – *Steel Selection*, J. Willez & Sons, New York, 1979.
159. **Koller, E.** – *Dictionnaire encyclopédique des sciences des matériaux*, Éditions Dunod, 2008.
160. **Koller, E.** – *Dictionnaire encyclopédique du génie des procédés*, Éditions Dunod, 2006.
161. **Krauss, G.** – *Principles of Heat Treatment of Steel*, American Society for Metals Park, Ohio, 1980.
162. **Krenkel, W.H.** – *Ceramic matrix composites: fiber reinforced ceramics and their applications*, John Wiley, New York, 2008.
163. **Krishna Reddy, L.** – *Principles of Engineering Metallurgy*, New Age International Publishers, New Delhi, 1996.
164. **Kulshreshtha, A.K., Vasile, C.** – *Handbook of Polymer Blends and Composites* (vol.2), Rapra Technology Ltd., Shawbury, 2002.
165. **Kurz, W., Mercier, J.P., Zambelli, G.** – *Introduzione alla Scienza dei Materiali*, Ed. Hoepli, Milano, 1994.
166. **La Mantia, F.** – *Handbook of Plastics Recycling*, Rapra Technology, Shrewsbury, UK, 2002.
167. **Lachnitt, J.** – *Les matériaux réfractaires*, Presses Universitaires de France, Paris, 1983.
168. **Lagoudas, D.C.** – *Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications*, Springer, 2008.
169. **Lee, S.** – *Dictionary of Composite Materials Technology*, CRC Press LLC, Palo Alto, California, 1995.
170. **Lendlein, A.** – *Shape-Memory Polymers*, Springer, 2010.
171. **Leyens, C., Peters, M.** (editors) – *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2003.
172. **Lozovan, M., Dobrea, V., Craus, M.C., Cornei, N.** – *Materiale avansate*, Editura Alfa, Iași, 2008.
173. **Lupescu, M.B.** – *Fibre de armare pentru materialele compozite*, Editura Tehnică, București, 2004.
174. **Magyari, A.** – *Utilaje de preparare a substanțelor minerale utile*, Editura Tehnică, București, 1983.
175. **Manzke, C.** – *Lichtwellenleiter – Technik*, Expert-Verlag GmbH, 2007.
176. **Marinescu, N.I., Gavrilaș, I., Vișan, A., Marinescu, R.D.** – *Prelucrări neconvenționale în construcția de mașini* (vol.II), Editura Tehnică, București, 1993.
177. **Mihalcu, M.** – *Materiale plastice armate*, Editura Tehnică, București, 1986.
178. **Mihăilă, I.** – *Tehnologii neconvenționale* (ediția a 2-a), Editura Universității din Oradea, 2003.

179. **Million, A., Million, C.** – *Lipirea și aliaje de lipit*, Editura Tehnică, București, 1975.
180. **Milon, M.C.** – *Glossaire du traitement thermique* (3e édition), Dunod / Pyc Éditions, 2007.
181. **Miloșan, I.** – *Procedee unitare în metalurgie*, Reprografia Universității „Transilvania” din Brașov, 1998.
182. **Miravete, A.** – *Materiales Compuestos*, Editorial Reverté S.A., Barcelona, 2007.
183. **Mitelea, I.** – *Știința materialelor* (vol.II), Editura Politehnica, Timișoara, 2010.
184. **Mitov, M.** – *Les cristaux liquides*, Presses Universitaires de France (PUF), 2000.
185. **Moga, A.** – *Materiale în construcția de mașini*, Editura Tehnică, București, 1964.
186. **Moldovan, P., Brabie, V., Tocaci, L., Badea, S., Nagy, I., Cazimirovici, E., Florian, E.** – *Tehnologii metalurgice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
187. **Moldovan, V., Maniu, A.** – *Utilaje pentru deformări plastice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
188. **Morris, D.G., Naka, S., Caron, P.** – *Intermetallics and Superalloys*, Willey – VCH Verlag GmbH, 2000.
189. **Motoașcă, S.D.** – *Studiul caracteristicilor magnetice ale materialelor magnetice moi*, Teză de doctorat, Universitatea „Transilvania” din Brașov, 2010.
190. **Mougin, J.P.** – *Béton armé*, Eyrolles, 2000.
191. **Murray, G.T.** – *Introduction to Engineering Materials*, Library Publishing Company, New York, 1992.
192. **Murri, G.** – *Aide-mémoire. Métallurgie, métaux, alliages, propriété*. Dunod, Paris, 2004.
193. **Nagy, I.I.** – *Ultrasunetele și utilizarea lor*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
194. **Nanu, A.** – *Tehnologii neconvenționale*, Editura Augusta, Timișoara, 2003.
195. **Nanu, A.** – *Tehnologia materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
196. **Nardin, M.** – *Metalele și alte elemente de înaltă puritate*, Editura Academiei Române, București, 2002.
197. **Nardin, M.** – *Constituția aliajelor binare* (ediția a II-a), București, 2002.
198. **Natterer, J., Sandoz, J.L., Rey, M.** – *Construction en bois. Matériaux, technologie et dimensionnement*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2005.
199. **Neintzel, M.** – *Handbuch Verbundwerkstoffe*, Hanser Verlag, 2004.
200. **Newmann, J., Choo, B.S.** (editors) – *Advanced Concrete Technology*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.
201. **Nica, A.** – *Ceramica tehnică*, Editura Tehnică, București, 1988.

202. **Nicolae, A., Luca, V., Ilie, A., Călea, Gh. Gh.** – *Materiale ceramice refractare pentru instalații termotehnologice*, Editura Fair Partners, București, 1999.
203. **Nocivin, A.** – *Materiale avansate: materiale compozite; materiale metalice cu proprietăți speciale*, „Ovidius” University Press, Constanța, 2001
204. **Oprea, F.** – *Teoria proceselor metalurgice. Metale neferoase*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1966.
205. **Oprea, F., Ilinescu, E., Segărceanu, T., Vișa, I.** – *Metalurgiile elementelor însoțitoare ale metalelor neferoase uzuale*, Editura Tehnică, București, 1968.
206. **Oprea, F., Oprea, S., Olaru, F.** – *Metalurgia plumbului, cuprului și zincului*, Editura Tehnică, București, 1965.
207. **Oprea, F., Taloi, D., Constantin, I., Roman, R.** – *Teoria proceselor metalurgice*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
208. **Pálfalvi, A., Mehedințeanu, M., Andrei, E., Nicolae, V., Breștin, A., Șontea, S., Floriganță, Gh.** – *Tehnologia materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
209. **Pawłowski, L.** – *Dépôts physiques: Techniques, microstructures et propriétés*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2003.
210. **Păunel, M.A.** – *Combaterea coroziunii structurilor din oțel supratereștrii*, Editura BREN, București, 2002.
211. **Pešina, E.** – *Zaklady užití teorie plasty*, Nakladatelství Technické Literatury, Praha, 1966.
212. **Petit, G., Barquins, M.** – *Matériaux caoutchouteux*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2008.
213. **Philibert, J., Vignes, A., Bréchet, Y., Combrade, P.** – *Métallurgie, du minerai au matériau*, (2e édition), Dunod, Paris, 2002.
214. **Pichon, J.-F.** – *Aide-mémoire. Injection des matières plastiques* (2^e édition), Dunod, 2005.
215. **Picoș, C., Coman, Gh., Slătineanu, L., Grănescu, T.** – *Prelucrabilitatea prin așchiere a aliajelor feroase*, Editura Tehnică, București, 1981.
216. **Popa, A., Olaru, P.** – *Plumbul și zincul*, Editura Tehnică, București, 1975.
217. **Popescu, I., Dumitraș, C., Savu, T., Dumitrescu, A., Purcărea, M., Tonoiu, S.** – *Tehnologia prelucrării pieselor din materiale clasice și compozite* (2 vol.), Editura MATRIX ROM, București, 2000.
218. **Popescu, N., Șaban, R., Bunea, D., Pencea, I.** – *Știința materialelor pentru ingineria mecanică* (vol.2), Editura Fair Partners, București, 1999.
219. **Popescu, V.I., Chiriac, C.** – *Oțeluri rapide*, Editura AGIR, București, 2002.
220. **Popescu, N., Șaban, R., Bunea, D., Pencea, I.** – *Știința materialelor pentru ingineria mecanică* (vol.2), Editura Fair Partners, București, 1999.
221. **Popescu, V., Horovitz, O., Rusu, T.** – *Materialele polimerice și mediul*, Editura Mediamira, Cluj-Napoca, 2005.
222. **Popovici, E., Dvininov, E.** – *Materiale nanostructurale avansate. Prezent și viitor* (vol.I), Editura Demiurg, Iași, 2007.

-
223. **Pumnea, C., Ioniță, N., Șontea, S.** – *Tehnologii din industria metalurgică și prelucrătoare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979.
224. **Quevron, L., Quedin, L.** – *Cours de métallurgie*, Eyrolles, Paris, 1972.
225. **Radhakrishnan, V.M.** – *Welding Technology & Design*, New Age International Publishers, New Delhi, 2005.
226. **Rakhit, A.K.** – *Heat Treatment of Gears – A Practical Guide for Engineers*, ASM International, 2000.
227. **Rădoi, M., Huzum, N., Rantz, G., Baci, E., Crivac, Gh., Dinică, C., Dragomir, I.** – *Recondiționarea pieselor*, Editura Tehnică, București, 1986.
228. **Rău, A., Vacu, S.** – *Elaborarea oțelurilor de scule*, Editura Tehnică, București, 1964.
229. **Reed, C.R.** – *The Superalloys: Fundamentals and Applications*, Cambridge University Press, 2006.
230. **Reed, R.E.** – *Physical Metallurgy Principles*, Van Nostrand, New York, 1977.
231. **Reinboth, H.** – *Technologie und Anwendung magnetischer Werkstoffe*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.
232. **Richards, C.W.** – *La science des matériaux de l'ingénieur*, Dunod, Paris, 1965.
233. **Rolfe, R.T.** – *A Dictionary of Metallography*, Chapman & Hall Ltd., London, 1949.
234. **Rubin, I.** – *Handbook of Plastic Materials and Technology*, Wiley, 1990.
235. **Salinas, M.H.** – *Untersuchung flüchtiger Verbindungen bei der thermischen Zersetzung von stickstoffhaltigen Polymerwerkstoffen*, Die Dissertation Technischen Universität München, 2001.
236. **Sălăgean, T.** – *Oțeluri pentru construcții sudate*, Editura Facla, Timișoara, 1974.
237. **Schwarz, O., Ebeling, F.W., Furth, B.** – *Kunststoffverarbeitung*, Vogel-Buchverlag, 2009.
238. **Serafini, T.T., Delvigs, P., Lightsey, R.** – *Preparation of Polyimides from Mixtures of Monomeric Diamines and Esters of Polycarboxylic Acids*, US Patent N^o 3745149, July 1973.
239. **Sha, W., Guo, Z.** – *Maraging Steels: Modeling of Microstructure, Properties and Applications*, Woodhead Publishing Limited, 2009.
240. **Sha, W., Malinov, S.** – *Titanium Alloys: Modeling of Microstructure, Properties and Applications*, Woodhead Publishing Limited, England, 2005.
241. **Shekelford, J.F.** – *Introduction to Materials Science for Engineers*, MacMillan Publishing Company, New York, 1992.
242. **Shriver, D.F., Atkins, P.W., Overton, T.L., Rourke, J.P., Weller, M.T., Armstrong, F.A.** – *Inorganic Chemistry*, WH Freeman, New York, 2006.
243. **Simionescu, Gh.** – *Tehnologia materialelor: materiale plastice; acoperiri de protecție*, Editura Alma Mater, Bacău, 2001.
244. **Singh, O., Bhavikatti, S.S.** – *Introduction to Mechanical Engineering*, New Age International Publishers, New Delhi, 2006.

-
245. **Smithels, C.J.** – *Metals Reference Book* (5th edition), Butterworths, London-Boston, 1978.
246. **Sofroni, L.** – *Elaborarea și turnarea aliajelor. Fonte, oțeluri și aliaje neferoase*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.
247. **Solá, P.M.** – *Electromecanizado: electroerosión y mecanizado electroquímico*, MARCOMBO S.A., Barcelona, 1989.
248. **Spur, G.** – *Keramikkbearbeitung*, Carl Hauser Verlag, München, 1989.
249. **Srivastava, C.M., Srinivasan, C.** – *Science of Engineering Materials*, New Age International Publishers, New Delhi, 1997.
250. **Stanimir, A.** – *Așchierea oțelurilor cu duritate mare*, Editura Universitaria, Craiova, 1997.
251. **Stoian, L., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Maniu, A.** – *Tehnologia materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.
252. **Stoica, V., Stoica, N.** – *Utilizarea rațională a materialelor* (vol I), OID-ATMCGF, București, 1979.
253. **Strobel, O.** – *Lichtwellenleiter – Übertragungs und Sensortechnik*, VDE Verlag, 2002.
254. **Strojev, M.B.** – *Teoria obrabotki metallov dovleniem*, Mașinostroenie, Moskva, 1971.
255. **Suciu, V., Suciu, M.V.** – *Studiul materialelor*, Editura FAIR PARTNERS, București, 2008.
256. **Surugiu, I.** – *Tehnologii moderne. Prelucrarea prin electroeroziune*, (vol.I), Editura Electra, 2008.
257. **Șaban, R., Vasile, T., Bunea, D., Gheorghe, D., Brânzei, M., Ioniță, Gh.** – *Studiul și ingineria materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică R.A., București, 1995.
258. **Șaban, R., Dumitrescu, C.** – *Tratat de știința și ingineria materialelor metalice. Metale. Aliaje. Materiale speciale. Materiale compozite* (vol.3), Editura AGIR, București, 2009.
259. **Șahrai, M.L.** – *Peredovie tehnologhiceskie proțesî v mașinostroenii*, Mașghiz, Moskva, 1950.
260. **Șerban, V.A., Răduță, A.** – *Știința și ingineria materialelor*, Editura Politehnica, Timișoara, 2010.
261. **Ștefănescu, F., Neagu, G., Mihai, A.** – *Materiale compozite*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996.
262. **Teoreanu, I., Ciocea, N.** – *Tehnologia produselor ceramice și refractare*, Editura Tehnică, București, 1985.
263. **Toderaș, M.** – *Încercări pe materiale*, Editura Focus, Petroșani, 2008.
264. **Totten, G.E.** – *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies* (2th edition), CRC Press, New York, 2006.
265. **Trușculescu, M.** – *Studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1977.
266. **Trușculescu, M., Ieremia, A.** – *Oțeluri inoxidabile și refractare*, Editura Facla, Timișoara, 1983.

267. **Ursache, M., Chircă, D.** – *Proprietățile metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
268. **Vacu, S., Dragomir, I., Oprea, S.** – *Metalurgie generală*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.
269. **Vasilieva, V.V.** (pod red.) – *Kompozitionnîe materialî – Spravocinik*, Mašinostroenie, Moskva, 1990.
270. **Vlase, S.** – *Materiale compozite. Metode de calcul*, Editura Universității „Transilvania”, Brașov, 2007.
271. **Voicu, M., Gladcov, P., Amza, Gh., Szel, P., Drimer, D., Iova, R.** – *Tehnologia materialelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
272. **Wegst, C.W.** – *Stahlschüssel*, Verlag Stahlschüssel Wegst GMBH, Marbach, 1985.
273. * * * – *Catalogul Standardelor române – 2009*, Editura ASRO, București, 2010.
274. * * * – *Dicționar cronologic al științei și tehnicii universale*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1979.
275. * * * – *Dubbel. Manualul inginerului mecanic* (traducere din limba engleză), Editura Tehnică, București, 1998.
276. * * * – EN 573/1-4 – *Aluminium and aluminium alloys*.
277. * * * – *Fonte și oțeluri turnate (CSCM-F₀)*, Culegere de standarde comentate, OID-ICM, București, 1996.
278. * * * – *Hütte. Manualul inginerului* (traducere din limba germană după ediția a 29-a), Editura Tehnică, București, 1995.
279. * * * – *Les céramiques industrielles*, Etude réalisée par Centre d'Animation Regional en Matériaux Avancés, France, 1999.
280. * * * – *Lexiconul tehnic român* (vol. 1...18), Editura Tehnică, București, 1957...1966.
281. * * * – *Manualul inginerului metalurg* (2 vol.), Editura Tehnică, București, 1978 (vol. I) și 1982 (vol. II).
282. * * * – *Materiale plastice (CSCM – Mp₄, CSCM – MP₅, CSCM – Mp₆)*, Culegeri de standarde comentate, OID – ICM, București, 1998.
283. * * * – *McGraw – Hill Encyclopedia of Science and Technology* (7th edition), New York, 1992 (vol. 1... 20).
284. * * * – *Metale și aliaje neferoase (CSCM-N₁, CSCM-N₂, CSCM-N₃)*, Culegere de standarde comentate, OID-ICM, București, 1994.
285. * * * – *Metals Handbook, Non-ferrous Metals*, Ohio, 1980.
286. * * * – *Mică enciclopedie de metalurgie*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1980.
287. * * * – *Oțeluri (CSCM-O₁, CSCM-O₂, CSCM-O₃, CSCM-O₄)*, Culegere de standarde comentate, OID-ICM, București, 1994-1995.
288. * * * – *Teoreticeskie: eksperimentalnîe issledovaniia abrazivnîh materialov*, Academia Nauk SSSR. Uralskii Naucinî Tentr, Sverdlovsk, 1982.
289. * * * – *The New Encyclopædia Britannica*, (15th edition), Chicago, 1994.
290. * * * – *Welt-Bergbau Daten*, Reihe A, Heft 11, Wien, 1996.



Prof.univ.dr.ing. Ioan-Lucian BOLUNDUȚ, născut la 20 decembrie 1947, în comuna Bucium, județul Alba, este absolvent al Liceului „Horia, Cloșca și Crișan” din Abrud, în anul 1966 și al *Facultății de Electromecanică Minieră* a *Institutului de Mine* din Petroșani, în anul 1971. După terminarea facultății, lucrează la Întreprinderea Minieră Moldova Nouă, până în 1977, când devine asistent la *Catedra de Mașini Miniere* a *Institutului de Mine* din Petroșani.

Șef de lucrări în anul 1980, conferențiar în 1990, devine în anul 2000 profesor la Universitatea din Petroșani, în prezent fiind titularul disciplinelor *Știința și ingineria materialelor*, *Materiale și tehnologii neconvenționale* și *Mașini-unelte și prelucrări prin așchiere*. A obținut titlul științific de doctor-inginer în anul 1982, cu teza intitulată „*Contribuții asupra îmbunătățirii construcției instalațiilor mobile de perforat pentru săparea lucrărilor miniere subterane*”.

A publicat șapte cărți ca unic sau principal autor, din care trei în străinătate, precum și 95 de lucrări științifice, din care 20 în străinătate. În domeniul activității tehnice a participat la elaborarea a 45 de studii executate pe bază de contracte de cercetare științifică, încheiate cu unități de cercetare, proiectare și producție din țară. A participat la numeroase simpozioane și conferințe științifice naționale și internaționale.

Este secretar științific al Consiliului Facultății de Inginerie Mecanică și Electrică a Universității din Petroșani, editorul publicației științifice „*Annals of the University of Petroșani*” care are cinci secțiuni și membru al mai multor asociații profesionale și științifice din România și străinătate.