

# PROCEDEE ȘI TEHNOLOGII DE PRELUCRARE A MATERIALELOR COMPOZITE

Drd. Ing. GEORGIANA LUMINIȚA ENĂCHESCU - București

Drd. Prof. Ing. IULIANA STAMATE – Colegiul Tehnic “Gheorghe Asachi” București

## ABSTRACT

The paper contains an overview of composite materials, their classification, followed by exposure of the primary machining processes and technologies of metal matrix composites. Among these composite materials were selected laminated composite materials, which are also called sandwich structure, and which plays a significant role, both because of the wide range of use, and because they exhibit properties. There are many methods of obtaining composite materials, such as: casting, metal-pressing, solidified, dispersion hardening, hardening with embedded particles, hot pressing and diffusion bonding, explosive welding components, hardening fiber, sandwich structures.

## 1. NOȚIUNI GENERALE

Materialele compozite se definesc ca fiind sisteme de corpuri solide, deformabile, obținute prin combinații la scară microscopică ale mai multor materiale [1].

Obținerea produselor din materiale compozite este condiționată de prezența simultană în procesul de fabricare a materialelor care formează matricea și a elementelor de armare ale acesteia. Procedeele și tehnologiile de realizare a produsului din compozite sunt determinate de natura și starea fizică a materialului matricei (feros, neferos, materiale plastice în stare solidă, fluidă sau gazoasă) și a elementelor de armare (microcristale, whiskers-uri, fibre foarte scurte sau lungi, tesaturi, roving, pâslă).

În funcție de proprietățile fizico-mecanice ale materialului și ale elementelor de armare a compozitului, tehnologiile de fabricare a diferitelor produse pot fi *primare* (procedee și tehnologii după care produsul respectiv trebuie supus unor prelucrări mecanice ulterioare) și tehnologii *finale*, în cadrul cărora produsul rezultat capătă configurația, dimensiunile și calitatea suprafețelor prescrise.

Calitatea produselor depinde atât de procedeul și tehnologia de elaborare, cât și de fenomenele la interfața matrice – element de armare. Interacțiunea la interfața matrice – element de armare poate fi de natură chimică sau de tip termodinamic, care poate genera faze neindicate pentru un transfer al tensiunilor de solicitare de la matrice la armătură sau tensiuni remanente în produsul respectiv, de ordinul sutelor de MPa și modificarea coeficientului de deformare termică. În cazul elaborării produselor din materiale compozite prin încălziri și răcirii repetate ale acestora, ca urmare a proceselor de difuzie la interfața matrice – fibră de armare, tăria legăturii fibră - matrice poate să scadă până la dispariție, ceea ce face ca rezistența mecanică a materialului compozit să fie diminuată [2].

Clasificarea materialelor compozite, după tipul matricei, cuprinde [2]:

- materiale compozite cu matrice metalică;
- materiale compozite cu matrice ceramică (refractare) ;
- materiale compozite cu matrice organică (polimerice).

Clasificarea materialelor compozite cuprinde:

- Materiale compozite fibroase, obținute din materiale sub formă de fibre, introduse într-un material de bază numit matrice;
- Materiale compozite laminare, alcătuite din straturi suprapuse din diferite materiale;
- Materiale compozite speciale, alcătuite din particule introduse în matrice.

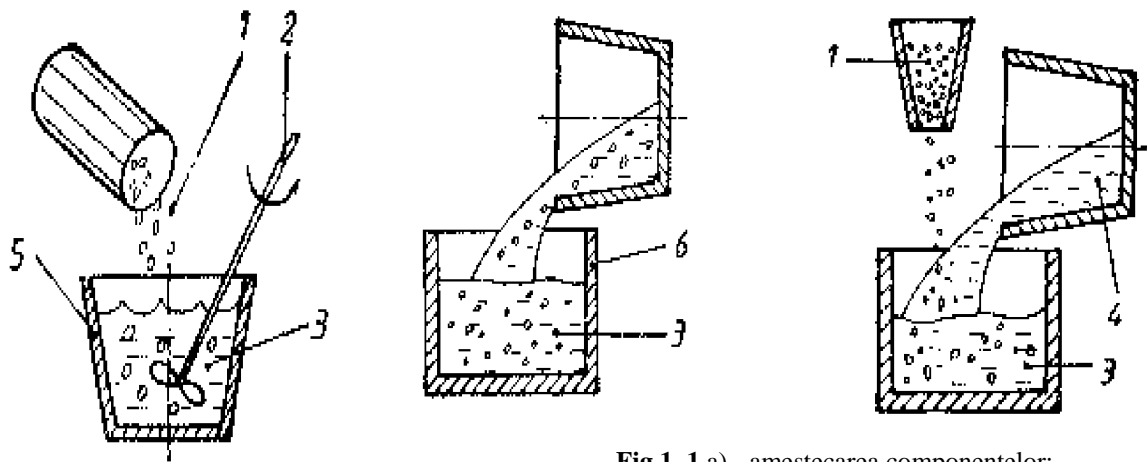
O altă clasificare a materialelor compozite cuprinde [3]:

- Materiale compozite armate cu fibre (fibroase) – fibre lungi plasate într-un aranjament prestabilit sau fibre scurte plasate aleatoriu;
- Materiale compozite hibride – alcătuite din mai multe fibre;
- Materiale compozite stratificate – realizate din mai multe straturi, lipite între ele;
- Materiale compozite armate cu particule.

## 2. PROCEDEE PRIMARE DE PRELUCRARE A MATERIALELOR COMPOZITE

**2. 1. TURNAREA:** un accent deosebit se pune pe procedeele care nu pretind investiții costisitoare, pe primul loc situându-se în acest sens, *metodele de turnare*.

**Turnarea prin curgerea liberă a amestecului:** turnarea gravitațională este varianta cea mai simplă de obținere a produselor din materiale compozite, ce constă în introducerea într-o formă clasică pe bază de nisip cuarțos, sau într-o formă metalică, a amestecului deja realizat prin adăugarea fazei complementare în jetul de aliaj lichid în timpul turnării (fig. 1.1).



**Fig.1. 1.a)** - amestecarea componentelor;

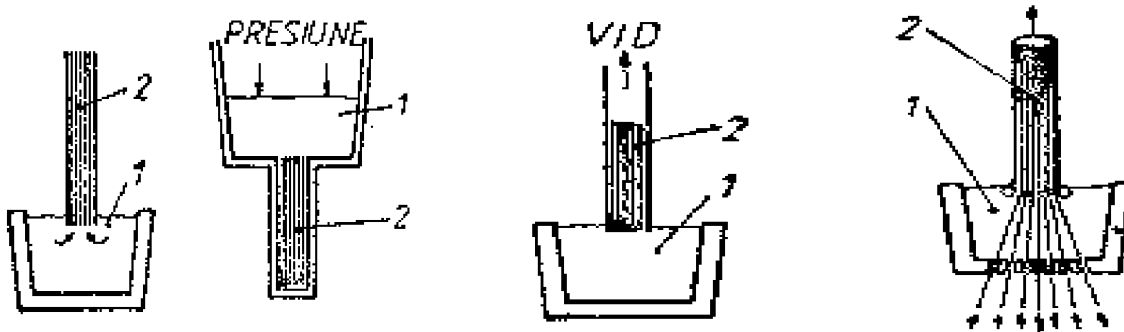
b) - turnarea amestecului deja realizat;

c) - adaugarea materialului complementar în jetul de aliaj lichid;

1- fază solidă; 2- agitator; 3 - amestec; 4 - aliaj lichid; 5 - oala de turnare; 6 – forma

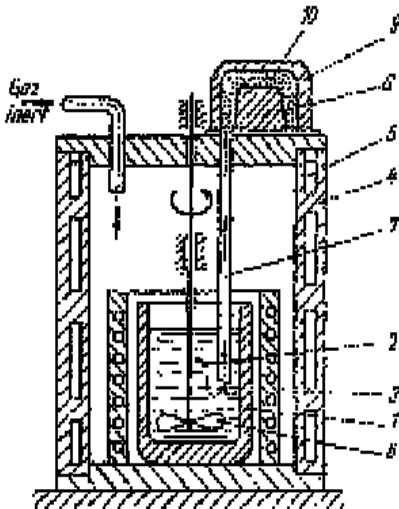
**Turnarea centrifugală** - aplicabilă în cazul unor piese cu configurație simplă, prezintă avantajul că materialul turnat este mai compact, adică mai lipsit de porozitate decât în cazul turnării gravitaționale, ceea ce duce la obținerea unui material compozit cu neomogenitate controlată.

**Turnarea prin infiltrare** se bazează pe introducerea aliajului lichid în porii unei preforme, care este alcătuită în special din fibre continue, sub acțiunea forțelor de gravitație sau capilare, prin aplicarea unei presiuni asupra aliajului, sau prin vidarea preformei (fig. 1.2).



**Fig. 1. 2.** a) - sub acțiunea forțelor capilare; b) - prin aplicarea unei presiuni produse de un gaz;  
c) - prin vidarea preformei; d) - cazul turnării continue;  
1 - aliaj lichid; 2 – fibre

**Turnarea sub presiune** are loc într-o instalație (fig. 1.3 a) constituită din creuzetul 1 umplut cu aliajul metalic 2 în stare lichidă, amestecat cu pulberea de armare din carbură de siliciu cu granulații (100, 500 și 1200  $\mu\text{m}$ ), cărora le corespund diametre medii ale particulelor de 125  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$  și respectiv 3  $\mu\text{m}$ . Dacă armarea se face cu fibre din alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), diametrul acestora poate lua valori între 3 și 4  $\mu\text{m}$  și lungimi medii de 500  $\mu\text{m}$ .



**Fig. 1. 3.** Turnarea sub presiune

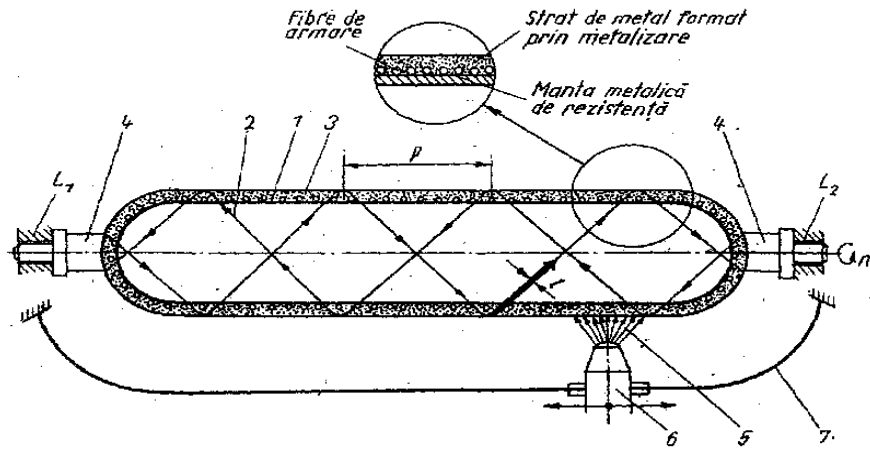
1 – creuzet; 2 - aliaj metalic; 3 - cuptor electric ; 4 – încălț ;  
5 - galerii de răcire ; 6 – agitator ; 7 - tub de turnare ;  
8 - cavitate de formare ; 9 – matrița; 10 - piesa tunată

## 2. 2. METALIZAREA

Realizează produse compozite cu matrice metalică armată cu fibre lungi (continue); trebuie utilizate tehnologii care nu provoacă distrugerea (întreruperea) fibrajului de armare. Această tehnologie comportă următoarele faze de lucru:

- realizarea prin laminare, ambutisare, turnare a suportului metalic 1 (fig 1.4.) din aliaje feroase sau neferoase;
- alinierea și distanțarea regulată a fibrelor 2 pe suportul metalic 1; în funcție de configurația suportului metalic, în locul fibrelor se pot folosi țesături din fibre de bor, carbon, sticlă, pătură roving, șnur furtun, panglică; înfășurarea se realizează prin rotirea suportului 1, fixat în mandrinele 4, montate în lagărele  $L_1$  și  $L_2$ , în timp ce fibra este deplasată către stânga și dreapta, cu pasul  $p$ , de către un dispozitiv special;
- depunerea stratului metalizat 3 peste materialul de armare 2, prin topirea pulberii 5 de oțel sau metale neferoase (Al, Cu, Zn), ori aliaje ale acestora, de către un fascicol de plasmă, generat prin duza 6, care se deplasează de-a lungul șinei 7, în timp ce produsul execută o mișcare de rotație;

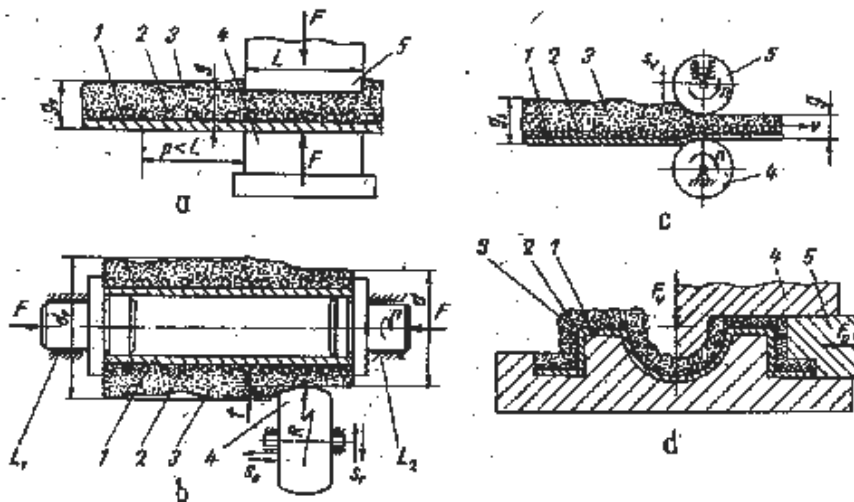
- compactarea stratului de metal deșus prin încălzire cu plasmă în scopul eliminării porozității care, în cazul metalizării cu pulbere de aluminiu, poate fi de ordinul a 15%; compactarea poate fi făcută prin rulare sau, în cazul realizării cu Al, prin proiectarea unui praf adeziv de polistiren diluat în toluen, care prin descompunere la cald nu formează reziduuri de carbon.



**Fig. 1. 4.** Schema de obținere a arhitecturii fibroase de sticlă, bor, grafit, în cazul executării cazanelor, recipientelor, rezervoarelor din materiale compozite prin metalizare  
 1 - suport metalic; 2 - material de armare; 3 - strat de metal; 4 - mandrina de prindere; 5 - pulbere pentru metalizare; 6 - duza; 7 - șina;  $L_1, L_2$  - lagare de sprijin.

### 2. 3. METALIZARE – PRESARE

Această tehnologie este utilizată în cazul fabricării pieselor a căror configurație permite operații ulterioare de laminare, presare la cald, și constă din următoarele faze:



**Fig. 1. 5.** Procedee de obținere prin metalizare-presare a produselor din materiale compozite  
 a - metalizare - presare; b - metalizare - rulare; c - metalizare - laminare; d - metalizare - formare volumetrică;  
 1 - suport metalic; 2 - material pentru armare; 3 - aliaj metalic; 4.a - nicovală;  
 4.b - rola; 4.c și 5.c - cilindri pentru laminare; 4.d și 5.d - poansoane; 5.a - berbec.

- realizarea suportului metalic 1 (fig.1.5) printr-un procedeu clasic (turnare, forjare, laminare, ștanțare, ambutisare, îndoire);

- distribuirea echidistantă a materialului de armare prin rulare - înfășurare a acestuia pe suportul metalic 1; materialul de armare 2 poate fi sub forma de fibre, țesătură, roving, pătură;
- fixarea materialului de armare 2 pe suportul metalic 1, prin depunerea unui strat de aliaj metalic 3, realizat prin topirea unei pulberi metalice (feroasă sau neferoasă) cu ajutorul unui fascicul de plasmă.
- compactarea stratului metalizat prin tasare, pas cu pas (fig.1.5 a) realizată cu nicovala 4 și berbecul 5, în timp ce materialul compozit se deplasează succesiv cu pasul  $p \leq L$ .

Tasarea mai poate fi executată prin rulare (fig.1.5. b), caz în care produsul se rotește în lagărele  $L_1$  și  $L_2$  iar rola 4 se deplasează paralel cu generatoarea cilindrului, după ce a fost poziționată la adâncimea  $t$  de tasare cu ajutorul mișcărilor de avans  $s_r$  și  $s_0$ , sau prin laminare (fig.1.5c), obținută prin trecerea produsului printre cilindri 4 și 5 ai unui laminor (unul dintre cilindri poate fi apropiat sau depărtat de celălalt, în vederea stabilirii grosimii de laminare). În cazul pieselor de forma celor din figura 1.5d, compactarea stratului de material compozit obținut prin metalizare, se realizează într-o matriță dotată cu poansoanele 4 și 5, cu acțiune după direcția forțelor verticală  $F_v$  și orizontală  $F_0$ . Operația de tasare poate fi executată simultan sau succesiv, în funcție de complexitatea configurației produsului.

## 2. 4. SOLIDIFICARE DIRIJATĂ

Este o tehnologie relativ simplă, ce permite controlul parțial asupra structurii formate și în consecință a proprietăților finale ale aliajului. Avantajul principal oferit de această metodă constă în faptul că fazele componente ale materialului compozit realizat sunt aproape de echilibru termodinamic, la suprafața lor de separație formându-se legături puternice. Dezavantajul este creat de imposibilitatea de alegere exactă a raportului volumetric între componentele aliajului și între fazele prezente în structură. La solidificarea unei topituri metalice de compoziție eutectica  $C_E$  se va obține un solid bifazic, având structura lamelară sau fibroasă în funcție de condițiile impuse transformării primare.

## 2. 5. MATERIALE COMPOZITE DURIFICATE PRIN DISPERSIE

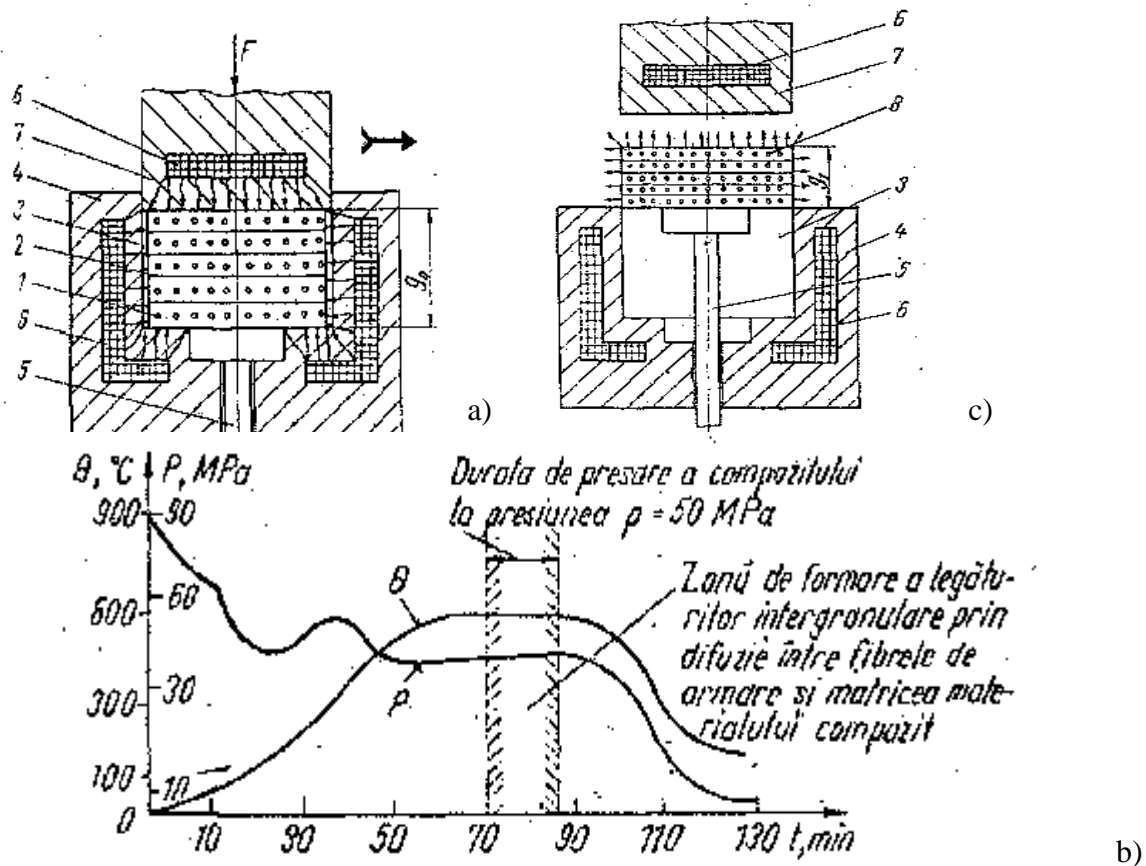
Specific pentru aceste compozite este faptul ca particulele durificatoare au diametre cuprinse între 100...2500 Å și sunt fin dispersate într-o matrice metalică. Caracteristic este faptul că faza secundară are solubilitate redusă în matrice, chiar la temperaturi înalte, între rețelele lor cristaline neexistând legături elastice. Efectul durificator al fazei disperse este determinat de mecanismul de deplasare a dislocațiilor, existente în matricea de bază, pe planurile lor de alunecare (forfecare).

## 2. 6. MATERIALE COMPOZITE CU PARTICULE ÎNGLOBATE

Specific pentru aceste compozite este faptul că particulele durificatoare au dimensiuni cuprinse între 1...50  $\mu m$  și ele nu blochează efectiv mecanismul de deplasare a dislocațiilor. În funcție de combinațiile posibile dintre materialul particulelor și cel al matricei se obțin următoarele combinații de compozite cu particule înglobate: particule nemetalice - matrice nemetalică; particule metalice - matrice nemetalică; particule metalice - matrice metalică; particule nemetalice - matrice metalică. Compozitele formate din particule metalice - matrice nemetalică sunt obținute prin înglobarea într-o rășină epoxidică a unor particule de argint sau cupru. În tehnica aerospațială este utilizat și compozitul format din poliuretan și particule de aluminiu. În cazul compozitelor de tip particule metalice - matrice metalică pot exista două situații: utilizarea unei matrici dure sau a unei matrici moi. Matricea dură este realizată din aliaje pe bază de W, Cr, Mo fiind caracterizată prin stabilitate termică; dacă materialul matriciei va avea și stabilitate chimică bună atunci, se vor putea obține compozite rezistente la temperaturi înalte. Compozitele cu matrice moale utilizează aliaje pe bază de plumb în care sunt înglobate particule de fier sau cupru. Aceste materiale au o prelucrabilitate mecanică bună.

## 2.7. PRESAREA LA CALD ȘI LEGAREA PRIN DIFUZIE

Procedeul este folosit la obținerea produselor sub formă de plăcuțe plane, îndoite sau piese cave cu pereți groși, realizate din mai multe straturi, de tip sandwich, unite între ele prin difuzie între suprafețele aflate în contact. De exemplu, pentru realizarea unei plăcuțe din compozit cu matrice din aluminiu, având dimensiunile 20 x 100 x 5 mm, armată cu fibre lungi (de tip NICALON) din carbură de siliciu (cu diametrul  $\Phi = 10 \dots 15 \mu\text{m}$ ), care să aibă densitatea  $\rho = 2,25 \text{ g/cm}^3$ , rezistența de rupere la tracțiune  $R_m = 2450 \dots 2940 \text{ [MPa]}$ , modulul de elasticitate  $E = 176 \dots 196 \text{ [GPa]}$  și coeficientul de deformare termică de  $3,1 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ .



**Fig. 1. 6.** Succesiunea fazelor de presare și legare prin difuzie între matrice -fibre de armare  
 1 - armatura preformată; 2 - matrice metalică; 3 - cavitatea de formare; 4 - placa de bază a matriței; 5 - aruncătorul;  
 6 - rezistențe electrice; 7 - poansonul; 8 - produsul realizat

a - faza inițială; b - variația temperaturii și presiunii în funcție de timp; c - faza finală de formare

## 2. 8. SUDAREA ELEMENTELOR COMPONENTE PRIN EXPLOZIE

Sudarea prin explozie se utilizează frecvent pentru îmbinarea materialelor metalice eterogene, stratificate, la care diferența între temperaturile de topire ale componentelor poate atinge 1000°C. Metoda este economică și asigură o fixare sigură a componentelor. Principalul inconvenient al metodei: nu permite obținerea de compozite cu fibre lungi, de înaltă rezistență și fragilitate. Particularitatea metodei: elementele constitutive nu se încălzesc în timpul procesului sau se încălzesc foarte puțin. Temperatura metalului, în cazul realizării unei comprimări adiabate, sub acțiunea unei de șoc, poate atinge o valoare semnificativă, timpul de acțiune al câmpului termic este de ordinul microsecundelor și

de aceea influența temperaturii în această fracțiune de timp este ne semnificativă asupra interacțiunilor la limita de separare dintre componentul de armare și matrice.

## 2. 9. MATERIALE COMPOZITE DURIFICATE (RANFORSATE) CU FIBRE

Categorie cu materiale plurifazice, caracterizate prin faptul că în ansamblu sunt îmbinate calitățile matricei și ale fibrelor, dar nu și efectele lor, datorită exigenței unui mecanism specific de transfer al sarcinii mecanice între cele două componente formative. Astfel de mecanism nu acționează la compozitele durificate cu particule, caz în care nu se obțin nici rezistența la oxidare și nici rigiditatea componentei ceramice sub formă de pulbere, dar nici ductilitatea componentei metalice - matricea. Deși o serie de materiale ceramice (alumina, oxidul de zirconiu, silicații) posedă proprietăți intrinseci deosebite, superioare oțelului, aceste calități sunt exploatate incomplet în cadrul materialelor compozite la care participă, datorită defectelor interne și superficiale care produc fragilitatea excesivă a compozitelor; pentru aceasta s-a recurs la prelucrarea fazei de ranforsare sub forma de fibre, reducându-se astfel numărul și importanța acestor defecte, precum și posibilitatea de apariție a altora. Unele materiale metalice pot îndeplini în condiții optime rolul de fibre durificatoare în compozite, dacă ele se vor afla sub formă de monocristale filiforme perfecte (whiskers), fiind astfel lipsite de defectele rețelei cristaline și având rezistența mecanică deosebit de mare. Dintre materialele textile cel mai des folosite la ranforsarea materialelor compozite amintim: fibrele de sticlă și firele sintetice filamentare.

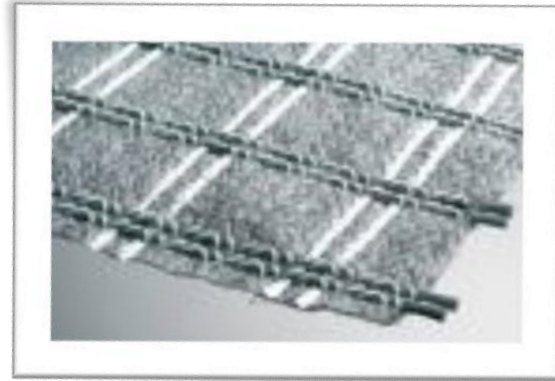


Fig. 1. 7. Material compozit ranforsat cu fibre de sticlă

## 2. 10. STRUCTURI SANDWICH

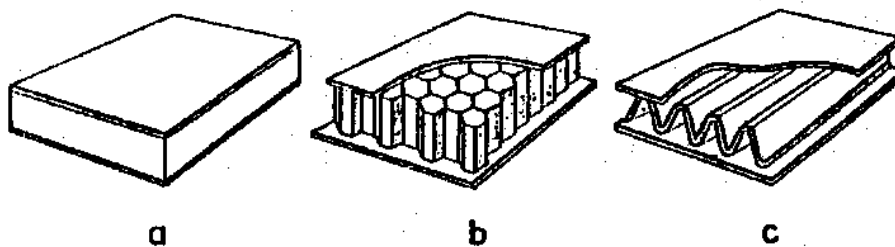


Fig.1.7. Diverse tipuri de structuri sandwich  
a - cu stratul central plat; b - tip fagure; c - profil ondulat

Pentru a combina rigiditatea și rezistența mecanică mari în aceeași construcție ușoară, au fost realizate structurile complexe de tip sandwich (fig.1.7). Ele sunt formate dintr-un strat central plat, tip fagure, sau cu un profil alveolar ondulat. Structurile sandwich pot avea aplicații în domenii obișnuite, precum industria ambalajelor (cartonul ondulat), în construcții civile, ca elemente izolatoare, dar și în domenii de vârf - industriile aeronautică și aerospațială. În cazul elementelor izolatoare se pot folosi ca straturi

centrale diferite combinații fibroase, realizate din fibre recuperate din deșeuri textile. Tehnologia de formare a straturilor fibroase cuprinde următoarele etape: 1 - procedeu în stare uscată, cu subfazele: procedeu prin cardare – pliere; procedeu aerodinamic; procedeu STRUTO și procedeu pentru structuri tip HIGH-LOFT; 2 - procedeu în stare umedă; 3 - procedee complexe, ce includ mai multe faze standard sau speciale.

**Tabel 1.** Generalități cu privire la procedeele de obținere a straturilor fibroase [4]

Procedeu	Orientarea fibrelor	Masa stratului fibros (g/m <sup>2</sup> )	Direcția cu rezistența maximă
1. Procedee în stare uscată: - cardare-pliere	Unghiuri de pliere	80...800...1000	După unghi de pliere
- procedeu aerodinamic	Multidirecțională	50...5000...10500	Echilibrată în toate direcțiile
- procedeu STRUTO	Lamele de vâl perpendiculare	100...500	Perpendiculară pe planul stratului fibros
- procedeu pentru structuri HIGH-LOFT	Perpendiculară	100...700	Perpendiculară
2. Procedeu în stare umedă	Multidirecțională	50...250	Echilibrată în toate direcțiile
3. Procedee complexe	Complexă	200...10500	Echilibrată

Operațiile cuprinse în procesul tehnologic sunt grupate în următoarele faze: tăiere sau mărunțire a deșeurilor, cântărire deșeuri, amestecare cu rășini termoadezive, uscare, depunere în matrițe, termopresare, tăiere și egalizare margini. Tehnologiile de consolidare a straturilor fibroase cuprind: 1 - procedee mecanice: interțesere; interțesere și scămoșare; coasere – tricotare, eventual urmată de scămoșare; 2 - procedee fizico – chimice: cu adezivi în stare lichidă și în stare solidă; 3. procedee mixte. Consolidarea stratului fibros se realizează în proces de tip discontinuu sau continuu – spre acestea concură tendințele actuale, datorită multiplelor automatizări [4].

## CONCLUZII

Ținând cont că materialele compozite sunt un sector în plină dezvoltare, prezentarea realizată a atins doar o parte din procedeele și tehnologiile cele mai uzuale, fiind doar începutul unui studiu mai amplu. Este evident că tipul materiilor prime și caracteristicile acestora vor fi cele care dau direcția spre alegerea tipului de tehnologie adoptată, avându-se în vedere și criteriile economice.

## BIBLIOGRAFIE:

- [1] Alămoreanu, E., Chiriță, R., *Bare și plăci din materiale compozite*, Editura Tehnică, București, 1997
- [2] [www.fast.ro/exec/spa.cgi?cs=&q=tratamente+termice&ch=http:%2F%2Fbioge.ubbcluj.ro%2Fpastevents.htm](http://www.fast.ro/exec/spa.cgi?cs=&q=tratamente+termice&ch=http:%2F%2Fbioge.ubbcluj.ro%2Fpastevents.htm)
- [3] Ispas, Șt., *Materiale compozite*, Editura Tehnică, București, 1987
- [4] Zamfir, M., *Deșeuri textile*, Editura Performantica, Iași, 2008.