

## **B. Matricea materialelor compozite durificate cu fibre**

Conform celor afirmate anterior în subcapitolul 3, principalul criteriu de alegere a materialului matricei compozitului îl reprezintă temperatura de lucru. Astfel, din acest punct de vedere se disting trei tipuri de matrici:

- matricea polimerica – cu temperatura de lucru  $< 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- matricea metalica – cu temperatura de lucru  $< 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cu excepția superaliajelor pe baza de Ni și Co care pot depăși  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- matricea ceramica – cu temperatura de lucru  $> 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Aceasta va fi și ordinea în care vom prezenta câteva caracteristici speciale ale fiecărui tip de matrice în parte.

### **B.1. Matrice polimerica**

În funcție de proprietățile materialelor compozite obținute, polimerii utilizați ca matrice se pot grupa în trei clase:

#### **♦ Polimeri cu performanțe medii:**

- termoplastici – polipropilenă;
- termoreactivi – fenoplaste;
- elastomeri de uz general;

#### **♦ Polimeri cu “înalte performanțe”, dar cu termostabilitate redusă:**

- termoplastici – poliamide, poliesteri saturați, s.a.;
- termoreactivi – poliesteri nesaturați, rășini epoxidice, s.a.;
- elastomeri – poliuretani;

#### **♦ Polimeri termostabili cu performanțe ridicate:**

- termoplastici;
- termoreactivi – poliimide, s.a.;
- elastomeri – siliconici;

În continuare vom prezenta principalele caracteristici și utilizări ale celor mai întrebuintate matrici polimerice din cadrul materialelor compozite.

### B.1.1. Rasini epoxidice

Rasina epoxidica reprezinta una dintre cele mai bune matrici polimerice pentru materialele compozite, fapt determinat de urmatoarele aspecte:

- rasinile epoxidice au o aderenta foarte buna la o mare varietate de materiale de umplutura, de ranforsare sau la diverse substraturi.
- marea varietate de rasini epoxidice si de agenti de intarire conduce la o gama foarte larga de proprietati dupa intarire, cu implicatii in posibilitatile de prelucrare si domeniile de utilizare.
- Intarirea rasinilor epoxidice nu este insotita de eliminare de compusi volatili, iar contractia la formare este mai mica decat in cazul rasinilor fenolice sau poliesterice.
- Rasinile epoxidice intarite prezinta rezistenta buna la actiunea agentilor chimici si proprietati dielectrice excelente. Primele patente referitoare la obtinerea rasinilor epoxidice au aparut in Germania si S.U.A. (Ciba Corporation) dupa cel de-al doilea razboi mondial.

Funcție de natura componentelor participante la reacție, precum și de raportul molar al acestora, se pot obtine diverse tipuri de rasini epoxidice. Acestea difera intre ele prin compozitia chimica, masa moleculara si prin functionalitate.

Un fenomen foarte important in procesul de fabricatie al materialelor compozite pe baza de rasini epoxidice este acela de intarire al rasilor. Intarirea rasilor epoxidice are loc pe seama gruparilor reactive epoxi. Acest proces poate avea loc prin polimerizarea ciclurilor epoxidice sau prin interactiunea acestora cu coreactanti de tipul aminelor sau anhidridelor. Indiferent de modalitatea de intarire se obtine un produs reticulat, tridimensional, insolubil si infuzibil.

In general, rasilile epoxidice se caracterizeaza prin excelente proprietati adezive, contractie redusa la formare, buna comportare la temperaturi moderate (pana la 180 °C) si o rezistenta buna la actiunea diversilor agenti chimici.

Proprietatile mecanice ale rasilor epoxidice depind de natura agentului de sarjare sau de ranforsare. Prin ranforsare cu fibre de sticla, aramidice sau carbon, se obtin compozite cu rezistente mecanice deosebite. In tabelul 14 se prezinta proprietatile mecanice ale rasilor epoxidice armate cu fibre de sticla.

In general, rezistenta termica a rasilor epoxidice este cuprinsa in intervalul 150 – 180 °C (pentru functionare continua), dar, pentru intervale scurte de timp, ele suporta temperaturi

de pana la 200 °C, temperaturi necorespunzatoare pentru utilizarea acestor rasini in industria aeronautica.

Comportarea rasinilor epoxidice la flacara este foarte buna, ele neintretinand arderea (proprietati de autostingere). Rezistenta chimica la apa, baze diluate si concentrate, hidrocarburi, acizi slabi si solventi organici este excelenta. Ele sunt atacate de acizi tari, acetona, acetat de etil si solventi clorurati.

*Tabelul 14 – Caracteristicile rasinilor epoxidice armate*

Proprietatea	U.M.	Rasina armata cu	
		Tesatura de sticla	Fibre unidirectionale
<i>Agentul de armare</i>	%	65	80
<i>Densitatea</i>	g/cm <sup>3</sup>	1,9	2,1
<i>Rezistenta la tractiune</i>	MPa	400	1200
<i>Modul de elasticitate</i>	MPa	24000	48000
<i>Rezistenta la flexiune</i>	MPa	550	1500
<i>Rezistenta la forfecare interlaminara</i>	MPa	50	50

Prin ranforsarea rasinilor epoxidice cu fibre de sticla, carbon sau aramidice se obtin materiale compozite utilizate in industria aeronautica (palette de elicopter, elemente de fuselaj, anvelope de sateliti etc.), in industria chimica (cisterne, cuve de stocaj, conducte pentru produse corozive etc.), in industria materialelor sportive.

### B.1.2. Rasini fenol-formaldehidice

Rasinile fenol-formaldehidice, obtinute prin condensarea fenolului cu formaldehida, pot fi considerate ca fiind primii polimeri sintetici obtinuti la scara industrială. Productia lor a inceput in anul 1910, iar polimeii obtinuti au fost cunoscuti sub denumirea de bachelita. Din acel an, productia de rasini fenol-formaldehidice s-a dezvoltat continuu, in special datorita multiplelor utilizari din domeniul electric, telefonic, al articolelor de uz casnic etc.

In prezent, rasinile fenol-formaldehidice se utilizeaza in calitate de matrici polimerice la obtinerea materialelor compozite stratificate, a pulberilor de presare, ca rasini de turnare, materiale de impregnare, lacuri de acoperire, adezivi etc.

Compozitele sunt rezistente la actiunea solventilor, acizilor si bazelor slabe. Sunt atacate in schimb de acizii si bazele tari. Prezinta, de asemenea, buna rezistenta la flacara si la agentii atmosferici. Deficientele care determina o serie de limite de utilizare sunt: rezistenta

slaba la baze tari, imposibilitatea obtinerii de produse transparente, imposibilitatea utilizarii in domeniul alimentar si cadenta scazuta de formare.

Principalele proprietati ale materialelor compozite formate cu rasini fenolice si armate cu fibre sunt redade in tabelul 15.

Materialele compozite cu fibre de azbest se utilizeaza la fabricarea componentelor electroizolatoare (colectoare, contactoare) si a materialelor de frictiune (placute de frana, discuri de ambreiaj). Materialele compozite pe baza de fibre de azbest si grafit sau azbest si dioxid de siliciu prezinta o rezistenta deosebita la actiunea acizilor si se utilizeaza in industria chimica pentru fabricarea de aparate sau detalii ale acestora: rezervoare, reactoare, coloane de rectificare sau absorbtie, bai de electroliza, pompe si ventilatoare, conducte, ventile etc.

*Tabelul 15 – Proprietatile compozitelor cu umpluturi fibroase*

Proprietatea	Fibre celulozice	Fibre de azbest	Fibre de sticla	
			continue	Orientate, continue
Densitatea, g/cm <sup>3</sup>	1,35-1,45	1,95	1,7-1,85	1,7-1,9
Rezistenta de rupere, MPa				
la intindere	45	80-100	80	500
la indoire	80-90	85-90	120	250
la compresie	120-145	80	130	130
Rezistenta la soc, kJ/m <sup>2</sup>	9-15	20-25	45-120	150
Duritate Brinell, MPa	250-270	300	-	400-450
Absorbtia de apa, %	0,2-0,3	0,2-0,7	0,2	0,2
Permeabilitate dielectrica la 50 Hz	8-9	9-10	6-7	8-10

Materialele compozite cu fibre de sticla sunt indicate pentru fabricarea articolelor electrotehnice si a altor detalii cu rezistenta mecanica ridicata, capabile sa functioneze la temperaturi cuprinse intre -196 si +200 °C, in conditiile climatului tropical, in conditii de umiditate ridicata, in medii acide sau bazice, sau in prezenta radiatiilor ionizante.

### B.1.3. Rasini vinilesterice

Rasinile vinilesterice sunt polimeri termoreactivi la baza obtinerii carora stau rasinile epoxidice, poliesterii sau poliuretanii cu grupe terminale hidroxil. Au fost obtinute in conditii de laborator in 1950, dar au capatat importanta practica si au fost comercializate abia in 1965 de firma Shell Chemical Company sub denumirea de Epocryl Resins. Importanta practica cea mai insemnata au capatat-o rasinile vinilesterice obtinute din rasinile epoxidice.

Materialele compozite pe baza de rasini vinilesterice armate cu fibre de sticla se obtin prin majoritatea procedeelor de obtinere (formare manuala, centrifugare, formare in sac etc.) si se utilizeaza in industria chimica si petroliera, agricultura, industria miniera si alimentara.

Aceste domenii de aplicabilitate a rasinilor vinilesterice armate cu fibre de sticla sunt dictate de rezistenta chimica deosebita a acestora, intretinerea usoara, usurinta de instalare, raportul favorabil cost / performante, in comparatie cu otelul si alte aliaje anticorozive. Datorita acestor aspecte, rasinile vinilesterice si-au gasit largi aplicatii la fabricarea materialelor compozite armate cu fibra de sticla: conducte, tevi de canalizare, scrubere, rezervoare pentru produse chimice etc.

Rasinile vinilesterice se utilizeaza, de asemenea, la placari anticorozive si mortare, sau la obtinerea diferitelor repere prin turnare (fitinguri, rotoare pentru pompe centrifuge, componente pentru automobile etc.)

#### B.1.4. Matrici termoplastice

Matricile polimerice termoplastice au devenit in ultimii ani concurenti seriosi ai matricilor polimerice termoreactive. Acest lucru poate fi usor scos in evidenta daca se compara limitele utilizarii matricilor polimerice termoreactive cu avantajele pe care le ofera folosirea materialelor polimerice termoplastice la fabricarea materialelor compozite.

- in comparatie cu matricile termoreactive, materialele polimerice termoplastice au un timp de viata nelimitat si nu necesita conditii speciale de stocare, neexistand pericolul de reticulare ca in cazul celor dintai.
- Ciclul de formare al matricilor termoplastice este foarte scurt, prelucrarea avand loc pe masini de mare productivitate, in forme foarte complicate, din care rezulta piese finite ce nu necesita finisari ulterioare.
- Intarirea finala a matricilor termoplastice are loc ca urmare a unui proces fizic (solidificarea topiturii) si nu ca urmare a unui proces chimic, greu de controlat si din care eventual pot rezulta compusi cu molecula mica, ca in cazul matricilor termoreactive. Ca urmare, sunt excluse defectele structurale de tipul celor ce pot apare la utilizarea matricilor termoreactive (pori).
- Deseurile de fabricatie si bavurile in cazul matricilor termoplastice sunt recuperabile, deci nu se ridica probleme ecologice.

In prezent, exista un numar insemnat de polimeri termoplastici ce pot fi utilizati in calitate de matrici la fabricarea materialelor compozite. Materialele armate cu fibre de sticla,

de bor sau de carbon, prezinta bune proprietati mecanice, excelente proprietati dielectrice, inertie chimica ridicata, rezistenta la radiatii UV si buna comportare la flacara. Prezinta o buna stabilitate termica putand fi utilizate pana la temperaturi de 180-230 °C.

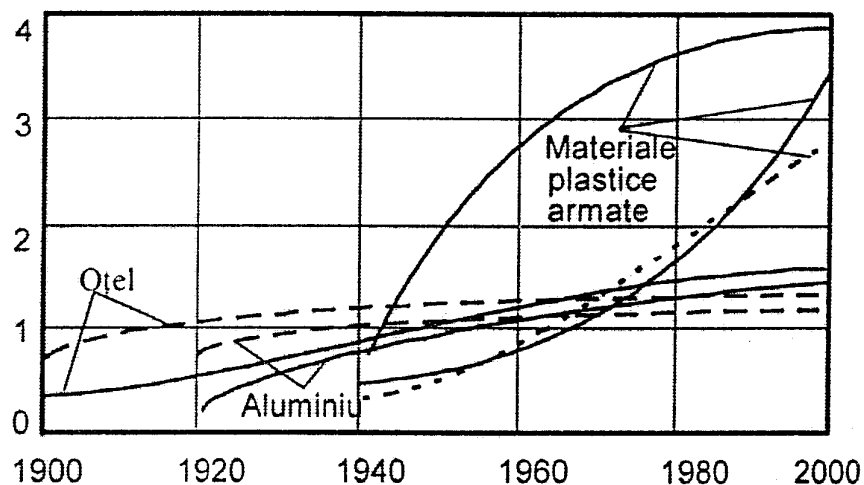
Ca exemplu semnificativ, polifenilensulfura (PPS) se utilizeaza la: confectionarea corpurilor de pompe, vane, compresoare, racorduri pentru rafinarii si instalatii petrochimice; obtinerea de repere pentru submarine si nave maritime, datorita rezistentei deosebite la actiunea apei de mare; fabricarea duliilor, fasungurilor, prizelor, periilor colectoare pentru motoare, circuitelor integrate, comutatoarelor etc.

Un alt exemplu semnificativ il reprezinta polisulfona (PSU) care are o excelenta rezistenta la hidroliza, la actiunea alcaliilor, solutiilor de saruri si acizi minerali; se utilizeaza in medicina si in industria alimentara, datorita posibilitatilor de spalare si sterilizare cu apa fierbinte, in industria electronica pentru circuite imprimate, conectoare etc.

### **B.1.5. Principalele aplicatii ale materialelor compozite cu matrice polimerica**

Caracteristica de baza a compozitelor polimerice consta in raportul foarte ridicat rezistenta / greutate. Conform acestei caracteristici, materialele compozite intrec cele mai bune oteluri – vezi Figura 17.

*Figura 17 – Evolutia in timp a proprietatilor structurale unidirectionale ale materialelor conventionale si ale materialelor plastice armate. Raportul dintre rez.la intindere (---) sau la compresiune (- -) si densitate. Raportul dintre modulul de elasticitate si densitate (...).*



Datorita acestui fapt, materialele compozite polimerice au devenit indispensabile pentru dezvoltarea unor domenii de varf precum microelectronica, tehnica medicala, constructiile aerospatiale, industria de automobile, industria navala etc.

Este relevant un singur exemplu: la construirea modulului lunar al navetei spatiale Apollo 11, circa 75% din materialele utilizate au fost compozite polimerice, iar in cazul navetei spatiale Discovery, acest procent a ajuns la 87%. Si in industria navala utilizarea compozitelor polimerice a atins un ritm galopant, plecand de la partile submersibile ale vapoarelor si ajungand pana la echipamente ultracomplexe de foraj marin.

#### **a) Aplicatii in industria navala**

##### **1 - Protectia partii submersibile a vapoarelor**

Matricile polimerice armate cu fibre de sticla sunt folosite pentru protectia partii submersibile a navelor, suprafata acesteia fiind expusa unor puternice socuri si presiuni ridicate ale apei sarate. Alegerea matricei polimerice si a materialului de armare este de mare importanta si a facut obiectul unui studiu de solutie, care a luat in considerare comparativ otelul, cauciucul si materialele plastice armate cu fibra de sticla, ajungandu-se la concluzia ca cel din urma, adica materialul compozit, este preferabil celor traditionale, fapt ce se poate constata si din tabelul 16.

Din examinarea datelor prezentate in tabelul 16 rezulta avantajele pe care le prezinta utilizarea materialelor compozite in protectia partii submersibile a vaselor, atat in ceea ce privesc proprietatile mecanice de rezistenta, cat si costurile aferente executarii si intretinerii in timp a protectiei.

***Tabelul 16** – Materiale utilizate pentru protectia partii submersibile a vapoarelor*

<b>Caracteristici</b>	<b>Metale</b>	<b>Cauciuc</b>	<b>Compozite din materiale plastice si fibre de sticla</b>
Durabilitate	Medie	Buna	Foarte buna
Rezistenta la soc	Slaba	Buna	Foarte buna
Costul aplicarii protectiei	Moderat	Ridicat	Scazut
Costul repararii si intretinerii	Moderat	Ridicat	Scazut

Materialele compozite polimerice cu fibre de sticla au patruns practic in toate domeniile tehnicii si ale vietii moderne, fiind in prezent cel mai frecvent utilizate. Din productia totala anuala de materiale de ranforsare consumate pentru obtinerea compozitelor, s-a estimat ca pe

plan mondial fibrele de sticla detin primul loc –  $1280 \times 10^3$  t/an, fata de 3600 t/an de fibre aramidice continue, 3300 t/an de fibre de carbon continue, cateva t/an de fibre ceramice ( $\text{SiC}$  si  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) si fibre de bor.

## 2 - Submarine si submersibile comerciale

Una dintre cele mai vechi aplicatii ale materialelor compozite armate cu fibre de sticla in acest domeniu a fost structura submersibilului Halfbeak, construit in 1954 in S.U.A. Dupa 16 ani de serviciu s-a constatat ca materialul compozit si-a pastrat proprietatile fizico-mecanice initiale.

Performantele submarinelor la adancimea de scufundare a periscopului sunt limitate de perturbatiile create de vibratii si de zgomotul produs de antene, periscop si catarg.

Marina americana a studiat posibilitatea utilizarii materialelor compozite formate din rasini epoxi armate cu fibre de grafit, pentru confectionarea catargului si a structurii submarinelor, cu rezultate promitatoare. Submarinele comerciale cu adancime de scufundare sub 457m folosesc in constructia unor subansamble matrici polimerice armate cu fibre de sticla.

Din punct de vedere al proprietatilor mecanice, rasinile epoxi armate cu fibre de carbon sunt mult mai rezistente decat rasinile epoxi armate cu fibre de sticla (rezistenta la compresiune de 1200-1700 MPa pentru cazul armarii cu fibre de carbon, fata de doar 200 MPa pentru cel al armarii cu fibre de sticla, rezistenta la indoire intre 700 – 1700 MPa, fata de 550 MPa si rezistenta la tractiune de 800 – 1500 MPa, fata de 400 MPa in aceeasi comparatie).

Submarinele comerciale din generatia recenta, care opereaza la adancimi sub 1524m, la o presiune hidrostatica de 15,2 MPa, utilizeaza materiale compozite din rasini epoxi armate cu fibre aramidice. Noul material folosit ofera o greutate specifica mai redusa si o rigiditate superioara, comparativ cu materialele plastice armate cu fibre de sticla.

## 3 - Geamanduri de navigatie

Inlocuirea geamandurilor metalice cu cele confectionate din materiale compozite s-a impus datorita frecventelor deteriorari ale vaselor in cazul coliziunii cu acestea. Au fost incercate succesiv materiale compozite cu matrici polimerice cum sunt: spume de polietilena, elastomeri poliuretatici si materiale plastice armate cu fibre de sticla.

Geamandurile pentru ancorarea unor vase au fost, de asemenea, construite din materiale compozite, asa cum este cazul celor din zona petroliera a Egiptului, confectionate din

materiale plastice armate cu fibre de sticla, cu diametrul de 4m si cantarind circa 16,5 tone, capabile sa tina la ancora petroliere cu o capacitate de 330-600 tone de titei.

#### 4 - Echipamente pentru foraje marine

Materialele compozite cunosc o larga utilizare in fabricarea unor componente ale echipamentelor pentru foraje marine, inlocuind otelurile aliate, ca urmare a greutatii specifice reduse, a proprietatilor mecanice adecvate si a rezistentei la coroziunea apei de mare.

Se afla in curs de experimentare protejarea conductelor submarine pentru transportul titeiului si produselor petroliere, cu matrici polimerice si fibre de carbon rezistente la coroziunea apei de mare si cu o flexibilitate sporita de-a lungul axei longitudinale a conductei.

Prajinile utilizate pentru forajul de mare adancime sunt supuse la compresiune si la activitatea periodica de miscare a valurilor, cu riscul de deteriorare. Schimbarea masei prajinilor de foraj, prin trecerea de la otel la materiale compozite, conduce la cresterea adancimii de foraj si a sigurantei in functionare. S-a dovedit ca 15m de conducta fabricata din fibre de carbon si fibre de sticla rezista pana la o presiune de eruptie de 168 MPa, fiind folosite curent in forajele din Marea Nordului, timp de 3 campanii, la presiune de lucru de 70 MPa.

Carme automate, integral capsulate si motoare cu elice pentru ambarcatiunile de salvare se fabrica din mase plastice armate cu fibre de sticla rezistente la foc.

Din materiale compozite se produc si diferite tipuri de ambarcatiuni de salvare pentru transportul personalului de operare al sondelor de extractie, cu dimensiuni cuprinse intre 6,2m (pentru 21 de persoane) si 8,75m (pentru 66 persoane).

Testul de rezistenta al ambarcatiunilor de salvare se face prin expunere la radiatia unei facke de petrol, cu temperatura de 1150°C, la o distanta de 30m, temperatura din interiorul ambarcatiunii nedepasind 27°C. Reduceri in greutatea ambarcatiunii de circa 25% s-au obtinut prin inlocuirea fibrelor de sticla cu un hibrid format din fibre aramidice si fibre de sticla in matrice poliuretanică.

In fabricatia unor componente ale vehiculelor pe perna de aer se utilizeaza, de asemenea, un hibrid format din fibre de carbon si fibre de sticla, incorporat intr-o matrice din materiale plastice, hibrid care a dat rezultate foarte bune in mediile ostile cu vapori de apa si nisip, cu activitate coroziva si eroziva. Paletele turbinelor de aer, cu lungimea de 2,7m, fabricate din duraluminiu, au fost inlocuite cu palete fabricate dintr-un material compozit

avand un miez format din spume poliuretanic rigide acoperite cu un strat de material plastic armat cu fibre de sticla.

#### 5 - Ambarcatiuni pentru transport, agrement si intreceri sportive

Constructorii de ambarcatiuni pentru scopuri turistice din Europa au utilizat spuma de policlorura de vinil, armata cu fibra de sticla si poliester, aplicata peste scheletul de lemn al ambarcatiunilor.

Constructorii de ambarcatiuni din Italia au fabricat un material compozit format din fibre aramidice si de sticla in matrici din materiale plastice pentru realizarea unor vase de 21m, pentru 80 de pasageri, cu geometrie variabila, in scopul atingerii unor viteze de deplasare foarte mari (de 50 de noduri) si reducerii consumului de combustibil cu 40%.

In domeniul curselor nautice s-au construit ambarcatiuni ale caror componente structurale sunt in intregime din materiale compozite de tipul laminatelor de tip sandwich, fagure de miere. Greutatea ambarcatiunii a scazut de la 2000 Kg la 1500 Kg, iar consumul de combustibil s-a redus de la 60 l/h la 42 l/h, la viteza optima cuprinsa intre 32 si 42 de noduri, putandu-se atinge o viteza maxima cuprinsa intre 52 si 70 de noduri, in functie de tipul ambarcatiunii.

#### **b) Aplicatii in industria de automobile**

Compozitele elastomerice cunosc o larga utilizare in constructia de autoturisme si autovehicule datorita greutatii reduse a acestora si proprietatilor elastice si de rezistenta, cel putin comparabile cu ale materialelor traditionale.

In constructia automobilelor si a motoarelor moderne, reducerea greutatii, a consumului de carburant si cresterea sigurantei pasagerilor constituie obiective majore, care se pot atinge prin cresterea ponderii componentelor fabricate din materiale compozite. Compozitele elastomerice folosite pentru fabricarea unor repere ale motorului, cutiei de viteze, sistemului de suspensie sunt supuse unor sarcini statice considerabile, pana la 400-500 kg, trebuind sa nu prezinte fisuri pe toata durata de serviciu a unei masini estimata la 10-15 ani.

Axul cardanic, de exemplu, exploateaza multe dintre proprietatile materialelor compozite cu matrice polimerica. Astfel, bunele proprietati de amortizare pot atenua vibratiile produse de motor. De asemenea, transmiterea redusa a zgomotelor face sa poata fi evitata propagarea acestora de la roti si differential la caroserie. Greutatea scazuta a axului cardanic si rigiditatea sporita permit functionarea la turatii mari. Prima utilizare experimentală care a dus

apoi la implementarea industrială a fost în cazul unui Ford Cortina pentru care s-a executat un ax cardanic din rasini armate cu fibre de carbon care sa-l inlocuiasca pe cel de otel. Axul initial cantarea 10,2 kg, iar cel din material compozit doar 4,5 kg din care 3,3 kg erau mufele metalice de legatura de la capete. Inlocuirea cu un material similar si a articulatiei cardanice a redus greutatea cu inca 1,3 kg. In afara reducerii greutatii, s-a redus si nivelul de zgomot din cabina.

Axele cardanice pentru furgonete si autocamioane au fost realizate din compozite hibride (carbon-sticla), rezultand urmatoarele avantaje fata de solutia clasica: scaderea greutatii cu 45,6%, echilibraj mai putin pretentios, rezistenta la agenti corozivi si o viteza critica admisibila mai mare.

Costul total al axului din compozit polimeric este comparabil cu al celui metalic. Chiar daca pretul materialului compozit este mai mare, capacitatea sa de absorbtie a vibratiilor si de izolare a zgomotelor elimina necesitatea utilizarii unor dispozitive si montaje costisitoare care se folosesc pentru axele metalice.

Rotile pentru autovehicule realizate din compozite hibride constituie o alta solutie pentru scaderea greutatii autovehiculului. Acestea pot fi realizate prin tehnologii simple si in forme diverse, foarte estetice.

Utilizarea acestor tipuri de compozite hibride este posibila si in cazul diverselor elemente de caroserie, a barelor de protectie, a suportilor pentru radiator. De asemenea, tachtii pentru comanda supapelor realizati din compozite cu matrice termoplastica, imbunatatesc performantele motorului, reducand in acelasi timp zgomotele si perturbatiile. Rezervoarele de automobile si autocamioane constituie inca o aplicatie a acestor tipuri de compozite.

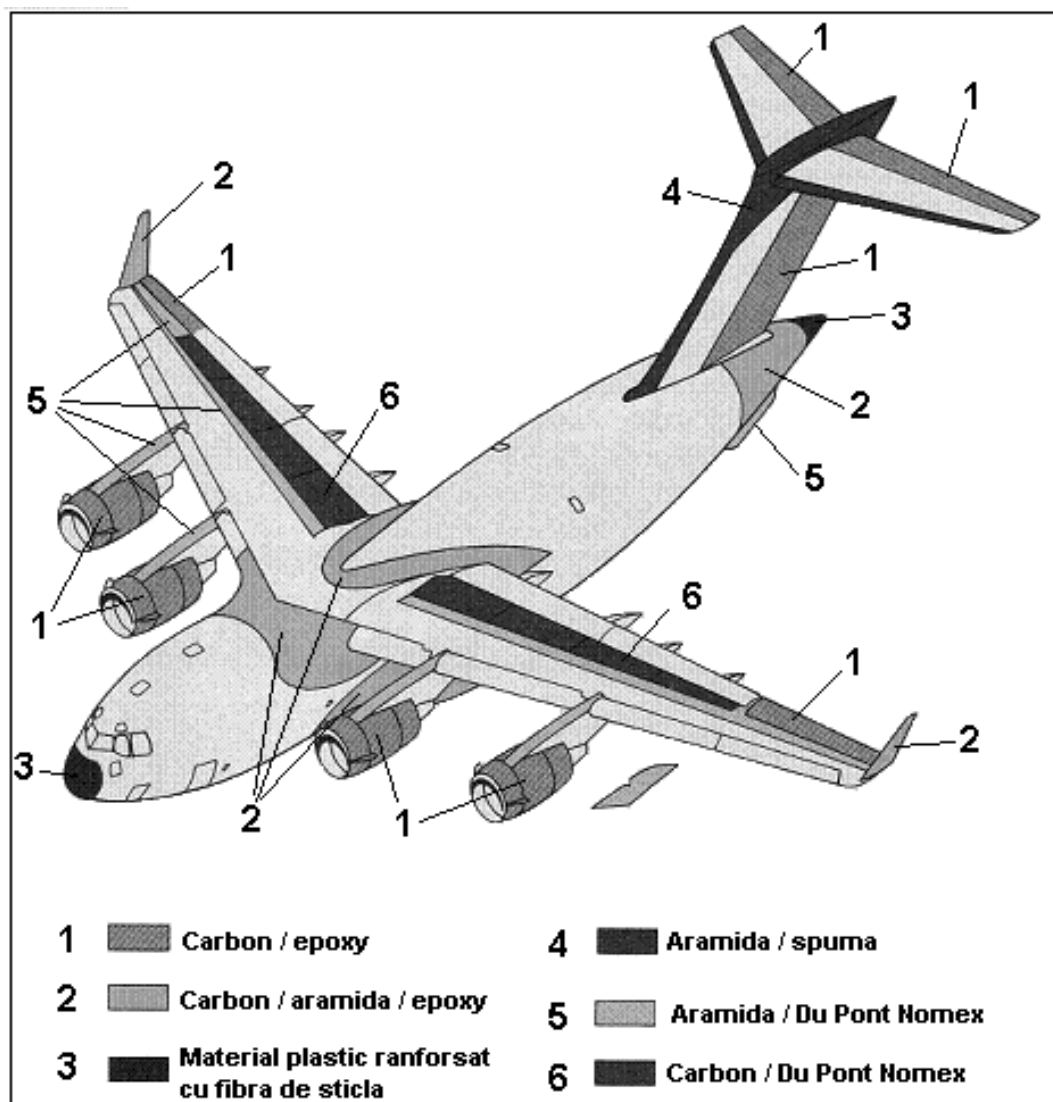
### **c) Aplicatii in industria aeronautica si aerospaciala**

Principalele parti ale unor aeronave, cum sunt: aripi fixe si mobile, cozi, trenuri de aterizare, fuselaje, interioare ale cabinei pasagerilor, stabilizatoare orizontale si verticale etc., contin componente fabricate din materiale compozite - vezi figura 20.

Componente din materiale compozite sunt utilizate pe scara larga in fabricatia aparatelor cu autonomie mare de zbor, cum sunt: Boeing 737, 757, 767 si Airbus A310, A320, componente care cantaresc circa 1350 Kg pentru fiecare tip de aparat. Cu exceptia unor mici detalii, majoritatea elementelor fabricate din materiale compozite sunt de tipul structurilor sandwich – fagure de miere.

Dimensiunile pieselor fabricate din materiale compozite variaza in limite foarte largi, in functie de localizarea acestora in constructia aeronavelor. Cea mai mare piesa in serviciu fabricata din matrice epoxidica si fibre de carbon, este directia aparatului Boeing 767, care are o lungime de 11m si o latime de 3m. Aripile fixe, ampenajul si compartimentele interioare ale celebrei aeronave sunt fabricate din structuri compozite sub forma de sandwich.

*Figura 20 – Utilizarea materialelor compozite in constructia aeronavelor (fibre de carbon, sticla sau aramidice cu matrici epoxidice sau fenolice)*



Placile de acoperire ale structurilor sunt fabricate din fibre de carbon, sau fibre de carbon combinate cu fibre aramidice sau cu fibre de sticla. Materialele compozite se utilizeaza

pe scara larga in amenajarea interioara a aeronavelor si, pe langa proprietatile mecanice si de procesabilitate adecvate, trebuie sa fie rezistente la foc (sa nu emita gaze toxice si fum).

In plus, partile interioare vizibile trebuie sa aiba un aspect estetic pentru a satisface cerintele constructorilor de aeronave. Partile interioare fabricate din materiale compozite sunt in general compartimentele pentru bagajele de mana, peretii laterali, podeaua, plafonul, anexele sanitare, peretii despartitori pentru compartimentarea cabinelor. De regula, aceste componente sunt fabricate din rasini epoxidice sau fenolice foarte rezistente la foc, cu inflamabilitate scazuta si slaba emisie de miros si gaze toxice, armate cu fibre de sticla sau fibre de carbon, a caror utilizare a devenit predominanta in ultima perioada. Piesele fabricate din fibre de carbon lungi si rasina epoxidica au greutate totala care reprezinta intre 1/3 si 1/2 din greutatea totala a acelorasi piese fabricate din otel sau titan.

Domeniul cel mai important in care se utilizeaza materialele compozite este cu siguranta domeniul aviatiei si tehnicii militare. Componentele fabricate din materiale compozite sunt utilizate in constructia invelisului aripilor, stabilizatoarelor orizontale, eleroanelor, directiei si a altor componente ale avioanelor de vanatoare. Pentru tipul de avion A.V.-8B se utilizeaza aproximativ 590 Kg de materiale compozite formate din fibra de carbon si rasini epoxi, obtinandu-se o reducere totala a greutatii avionului cu circa 225 Kg (26% din greutatea structurii avionului).

In constructia avionului de vanatoare F-18 materialele compozite reprezinta aproximativ 10% din greutatea structurii si peste 50% din suprafata exterioara a acestuia, asa cum se poate constata din figura 21.

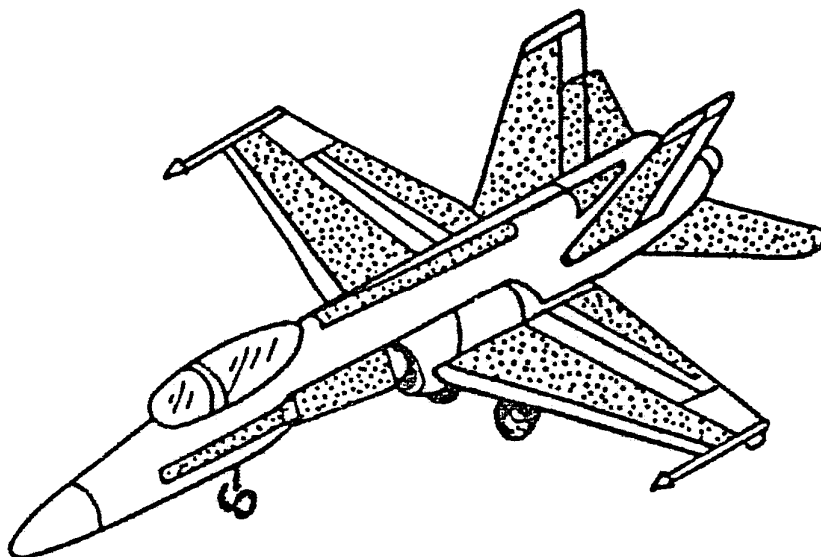
Pentru tipul de avion F-14, produs de Grumman Aerospace Corporation, se utilizeaza stabilizatoare orizontale fabricate din materiale compozite armate cu fibre de bor. General Dynamics of Forth Worth utilizeaza rasina epoxi armata cu fibre de carbon pentru constructia unor componente ale avionului F-16, cum sunt: stabilizatorul orizontal si cel vertical, directia si aripa de atac etc.

Studiile de piata efectuate de catre constructorii de aeronave pentru aviatia civila si militara indica o tendinta certa de crestere a consumului de noi materiale compozite, pe termen mediu si lung, compozite destinate sa reduca greutatea proprie a aeronavelor, sa reduca costurile de fabricatie, sa automatizeze procesele de pilotare si sa creasca siguranta zborului.

Exista insa si unii factori care franeaza dezvoltarea mai rapida a utilizarii materialelor compozite, cum sunt costul ridicat al acestora, investitiile de capital pentru introducerea lor si termenele de livrare.

În ceea ce privește structurile spațiale, acestea trebuie să îndeplinească de regulă următoarele condiții: să fie ușoare, rezistente, să aibă coeficient mic de dilatare și stabilitate dimensională pe toată durata de lucru.

*Figura 21 – Avion de vânătoare de tip F-18 – zonele hasurate - rasini epoxi aerate cu fibre de carbon*



Principalele componente utilizate în tehnica aerospațială se pot grupa în următoarele categorii: structuri, platforme, vase și rezervoare de presiune, carcase.

Structurile și platformele constau, în esență, dintr-un ansamblu de tuburi și panouri drepte, dimensionate astfel încât să preia puternicele solicitări axiale și longitudinale. Dacă aceste structuri sunt destinate să rămână o perioadă îndelungată pe orbite extraterestre de joasă altitudine, atunci materialul de construcție trebuie să fie rezistent la atacul oxigenului atomic și la degradare datorită radiațiilor cosmice.

Vasele și rezervoarele de presiune destinate depozitării gazelor și lichidelor de propulsie sunt prevăzute cu captuseli metalice adecvate, deoarece materialele compozite sunt poroase. Din această cauză, problema esențială a proiectării vaselor și rezervoarelor de presiune o constituie echilibrarea dintre preluarea sarcinii între captuseala metalică și materialul compozit exterior și dilatarea termică diferită ale celor două tipuri de materiale utilizate, în succesiunea termică ciclică a regimului de funcționare.

Carcasele din materiale compozite se utilizează în cazul vaselor de presiune și a structurilor spațiale, fiind astfel concepute încât să facă față solicitărilor mecanice și ale mediului exterior. Problema majoră a carcaselor o constituie siguranța sistemului de îmbinare a structurilor și materialelor carcasei pe care aceasta le protejează. Materialele compozite sunt

utilizate la fabricarea unor componente ale rachetelor tactice, strategice si defensive, precum si in constructia motoarelor spatiale.

Fibrele utilizate pe scara larga in constructia componentelor spatiale sunt mai ales fibrele de sticla de tip E si S, fibrele aramidice si fibrele de carbon/grafit.

Matricile polimerice utilizate la fabricarea materialelor compozite trebuie sa dispuna de proprietati fizice si mecanice adecvate conditiilor de zbor extraterestru. Rasinile epoxidice sunt cel mai des utilizate in aplicatiile spatiale si in constructia rachetelor. Rasinile epoxidice multifunctionale corespund conditiilor de serviciu cuprinse intre  $-73^{\circ}\text{C}$  si  $180^{\circ}\text{C}$ .

Rasinile poliamidice si rasinile termoplastice, utilizate in constructia componentelor compozite, pot fi utilizate pana la  $260^{\circ}\text{C}$ , in ciuda faptului ca matricile poliamidice se proceseaza mai greu. Utilizarea matricilor termoplastice este de data relativ recenta, impunandu-se datorita costurilor de fabricatie mai scazute si caracteristicilor fizico-mecanice compatibile cu ale matricelor termoreactive.

#### **d) Aplicatiile la temperaturi ridicate**

Polimerii rezistenti la temperaturi ridicate sunt utilizati in tehnica aerospatiale, industriile electrice si electrotehnica, precum si in alte domenii care reclama proprietati mecanice adecvate pentru functionarea la temperaturi ridicate. Marea majoritate a polimerilor utilizati in aceste domenii se prezinta sub forma de: adezivi, captuseli, fibre, filme, spume, izolatii, laminate si pulberi.

Majoritatea polimerilor organici au punctul de inmuiere sub  $204^{\circ}\text{C}$ , ceea ce a determinat extinderea unor cercetari, dupa anul 1960, in vederea sintetizarii unor polimeri cu puncte de topire mai ridicate, care sa permita utilizarea materialelor compozite pana la  $500^{\circ}\text{C}$ .

Noul tip de polimeri poliimidici, realizati de N.A.S.A. se bazeaza pe conceptul potrivit caruia fibrele de armare sunt impregnate cu un amestec de monomeri dizolvati in alcool etilic sau metilic. Printre primele componente fabricate prin acest procedeu din poliimide si fibre de grafit se pot aminti paletele turbinelor de reactie, cu o grosime de circa 13 mm. La aceasta grosime, structura materialului compozit este formata din 77 de pliuri de material cu orientare variabila a fibrelor de armare.

### **B.2. Matrici metalice**

Materialele compozite cu matrice metalica reprezinta o mare familie de materiale aparute in scopul de a realiza si spori combinatiile de proprietati. Deoarece matrice poate fi

orice metal sau aliaj, s-a aratat un mare interes pentru metalele cu structuri cat mai usoare, in majoritatea cazurilor principalul obiectiv constituindu-l imbunatatirea proprietatilor mecanice ale acestora.

Pana in prezent, motivul principal ce a stat la baza dezvoltarii materialelor compozite cu matrice metalica l-a constituit realizarea cresterii rezistentei si a tenacitatii componentelor. Alte importante imbunatatiri ale valorilor unor caracteristici cum ar fi capacitatea de amortizare, greutate specifica, rezistenta la uzura, coeficientul de dilatare termica, cat si capacitatea de exploatare la tem,peraturi inalte pot fi realizate prin combinatii avantajoase ale materialelor de adaos.

In acelasi timp, este de preferat sa poata fi mentinute unele proprietati specifice ale metalelor, cum ar fi un proces relativ simplu de fabricatie, ductilitatea coeficienti mari de conductivitate electrica si termica etc. Se impune insa ca proprietatile combinatiilor dorite sa fie obtinute la un cost minim, fiind obligatoriu sa se realizeze o optimizare.

Multitudinea combinatiilor posibile a matricilor metalice si a diverselor forme sub care se gasesc materialele de adaos, conduc la necesitatea existentei unei mari banci de date in scopul asigurarii complete a proprietatilor cerute pentru aceste tipuri de materiale compozite.

In tabelul 17 este prezentata lista matricilor si a materialelor de adaos care au fost luate in considerare pentru realizarea diverselor combinatii de materiale compozite. Este de dorit in mod deosebit folosirea intariturilor ceramice, deoarece ele conduc in general la o reducere a densitatii materialului, cat si la o crestere a valorilor caracteristicilor mecanice.

***Tabelul 17 - Tipuri de matrici metalice si intarituri utilizate pentru obtinerea de materiale compozite***

<b>Matrici metalice</b>	<b>Intarituri</b>	
	<b>nemetalice</b>	<b>sarme</b>
Aliaje de Al	Alumina, aluminiura de Ti	Mo
Aliaje de Magneziu	Bor (carbura de B, nitrura de B, borura de Ti)	Oteluri inox
Aliaje de Titan	Grafit	W
Aliaje de Cupru	Carburi (de Nb, de Ta, de Ti, de V, de W, de Zr)	Ti
Aliaje de Nichel	Bioxid de Si, de Zr	Etc.
Fier si oteluri aliate		
Aliaje de Zinc		
Aliaje de Niobiu		

Materialele compozite reprezinta o categorie de materiale ce ofera avantaje potentiale semnificative, functie de utilizarea specifica, in comparatie cu alte clase de materiale. Principalele avantaje si dezavantaje sunt prezentate sintetic in continuare:

- **In comparatie cu metalele neintarite:**

Avantaje:

Rezistenta specifica ridicata;  
Cresterea rezistentei la fluaj la temperaturi inalte;  
Imbunatatirea rezistentei la uzura;

Dezavantaje:

Tenacitate si ductilitate scazute;  
Procedee de productie mai complicate si mai scumpe;

- **In comparatie cu materialele compozite cu matrici polimerice:**

Avantaje:

Rezistenta mai mare la forfecare;  
Rezilienta crescuta;  
Fiabilitate mai buna;  
Rezistenta sporita la uzura;  
Conductivitate termica si electrica ridicate;  
Rezistenta in exploatare la temperaturi ridicate;

Dezavantaje:

Tehnologie de fabricare mai putin dezvoltata;  
Cost mai ridicat;

- **In comparatie cu materialele compozite cu matrici ceramice**

Avantaje:

Tenacitate si ductilitate mai bune;  
Usurinta fabricatiei;  
Cost mai scazut;

Dezavantaje:

Rezistenta mai scazuta in exploatarea la temperaturi ridicate;

## **1. Materiale compozite cu matrice de aluminiu**

Matricile de aluminiu sau aliaje ale acestuia constituie categoria de materiale metalice cea mai folosita la obtinerea materialelor compozite cu matrice metalica. Aceasta popularitate a materialelor pe baza de Al in vederea utilizarii ca matrice este datorata in deosebi costului relativ scazut, in comparatie cu cel al altor materiale usoare (magneziu sau

titan), folosirii cu prioritate in aplicatiile aerospatiale, introducerii cu succes pe piata producatorilor de motoare de autovehicule, posibilitatilor de imbunatatire a proprietatilor a proprietatilor generale ale compozitului rezultat si nu in ultimul rand usurintei fabricatiei. Folosirea intariturilor devine interesanta datorita faptului ca acestea confera proprietati superioare materialelor realizate pe baza de aluminiu sau aliaje ale acestuia.

Ca faza de armare pentru compozitele cu matrice de aluminiu se utilizeaza toate formele existente si anume: macroparticule, mustati, fibre continue si lamele. Ca tipuri de materiale utilizate in acest sens amintim: fibre de bor, SiC, B<sub>4</sub>C, grafitul, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, fibre de Kevlar.

Tabelul 18 indica principalele proprietati fizico-mecanice ale unor materiale compozite cu matrice de aluminiu:

*Tabelul 18 – Proprietatile catorva materiale compozite cu matrice de aluminiu*

Tipul fibre de armare	$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	$R_m$ MPa	$E$ GPa	$R_m/\rho$ km	$E/\rho$ 10 <sup>3</sup> km	$T_{max}$ , °C
<b>C</b>	2,1 – 2,3	850/70	360/35	90	20	500
<b>B</b>	2,6	1800/330	250/140	70	10	540
<b>SiC</b>	2,85 – 2,9	1600/350	230/140	56	7	300
<b>B.SiC</b>	2,7 – 2,8	1400/320	220/180	50	-	-
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,4	1200	260/140	34	7	-

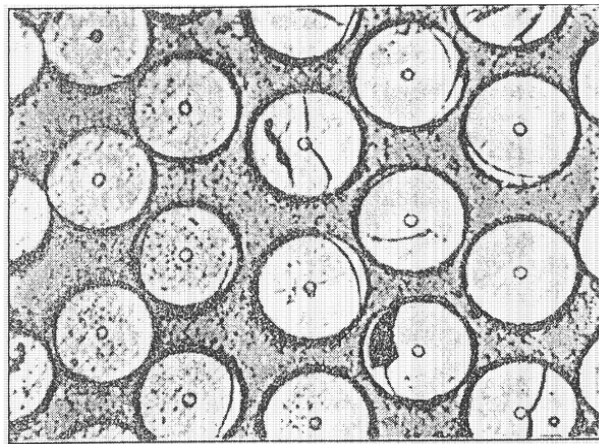
\* - valori longitudinale / valori transversale ale caracteristicilor

In figura 22 este aratata componenta unui material compozit sub forma de banda cu o grosime de 0,5 mm, armat cu fire de bor intr-o matrice de aluminiu. Pentru acest tip de material compozit se inregistreaza o imbinare foarte buna a matricei cu faza de armare, a proprietatilor ridicate de rezistenta a fibrelor de bor cu plasticitatea matricei de aluminiu, fapt ce duce la valori foarte bune de tenacitate ale materialului in ansamblu, coroborate cu o siguranta constructiionala si tehnologica foarte buna a produselor din acest material.

In ciuda acestor avantaje deosebite, raman totusi cateva obstacole in perspectiva utilizarii pe arii extinse a compozitelor din Al / B:

- reactiile rapide ce pot apare intre Al si B;
- ca rezultat al acestor reactii, apare degradarea severa a proprietatilor mecanice (la temperaturi ce depasesc 480°C);
- punctul 2 limiteaza posibilitatea folosirii lor la temperaturi inalte si impiedica incercarea de fabricare a acestora prin turnare;

Figura 22



Tehnologiile de productie se bazeaza in general pe presarea la o temperatura de aproximativ 450°C, in conditiile in care au fost luate toate masurile de protectie necesare pentru diminuarea reactiilor dintre fibre. Este folosita pe scara larga acoperirea fibrelor de bor cu carbura de siliciu.

Cu toate aceste obstacole privind folosirea acestui tip de material compozit, el a fost totusi utilizat la realizarea structurii de rezistenta a navetelor spatiale, conducand la reducerea greutatii acestora cu 44% fata de proiectul original. In plus, fibrele de bor asigura protectia fata de radiatiile neutronice din spatiul cosmic.

Compozitele de tipul Al / B sunt utilizate si ca radiatoare pentru circuitele integrate. Aceasta aplicatie este posibila datorita faptului ca a fost asigurat un coeficient de dilatare termica foarte apropiat de cel al circuitelor integrate.

Alumina ( $Al_2O_3$ ) este folosita pentru realizarea intariturilor aliajelor de aluminiu (faza de armare) datorita faptului ca acesta nu interactioneaza cu Al, cat si a inaltei sale rezistente la oxidare. Degradarea acestei faze de armare atat in timpul procesului de productie ce are loc la temperaturi inalte, cat si al exploatarei este limitata.

Problema care apare in acest caz este data de slaba umectare a oxidului de aluminiu de catre Al. De aceea, acoperirea suprafetei materialului compozit de forma Al- $Al_2O_3$  sau alierea matricii metalice sunt realizate in general prin procedee de productie ce asigura agitarea baii de lichid.

## **2. Materiale compozite cu matrice de magneziu**

Pentru obtinerea unor materiale compozite cu o densitate si mai mica se utilizeaza drept matrice magneziul. Aceste materiale sunt cu 30% mai usoare decat aliajele pe baza de

aluminiu, proprietati de rezistenta foarte bune, un coeficient de dilatare liniara stabil intr-un interval larg de temperaturi ce poate fi reglat in functie de conditiile concrete de exploatare.

Aceste materiale pot fi obtinute in forma turnata sub diferite forme, sau prin alte procedee curenate de obtinere a materialelor compozite.

Magneziul este un metal foarte usor care practic nu interactioneaza cu fibrele de carbon, bor sau SiC. Sistemul Mg / fibre de C prezinta cele mai bune caracteristici specifice:

$$E / \rho = 23,5 \times 10^3 \text{ km}; R_m / \rho = 115 \text{ km}.$$

In tabelul 19 sunt indicate cateva proprietati ale materialelor compozite cu matrice pe baza de magneziu.

*Tabelul 19 – Proprietatile materialelor compozite cu matrice pe baza de magneziu*

Proprietatea	Aliaje de Mg	Fibre de armare		
		C	B	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	1,74-1,83	1,9-1,95	2,15	2,5-2,9
$R_m$ , MPa	200-280	825	550	530
$E$ , GPa	43-45	352	150	210
$R_m/\rho$ , km	15,5	115	25	20
$E/\rho$ , 10 <sup>3</sup> km	2,5	23	7	8
$T_{max}$ , °C	-	300-320	-	-

Sistemele Al / fibre de C si Mg / fibre de C prezinta perspectiva cea mai larga de utilizare in industria aviatiei si cea aerospatuala, datorita valorilor ridicate ale rezistentei specifice, ale tenacitatii, a coeficientului de dilatare termica liniara foarte scazut si a conductibilitatii termice ridicate.

### **3. Materiale compozite cu matrice de titan**

Metalele cu plasticitate si rezistenta ridicata se combina cu succes cu fibre dure cu densitate si plasticitate scazute, formand materiale compozite usoare si cu tenacitate ridicata. Un exemplu de astfel de combinatie este si titanul armat cu fibre de B sau SiC.

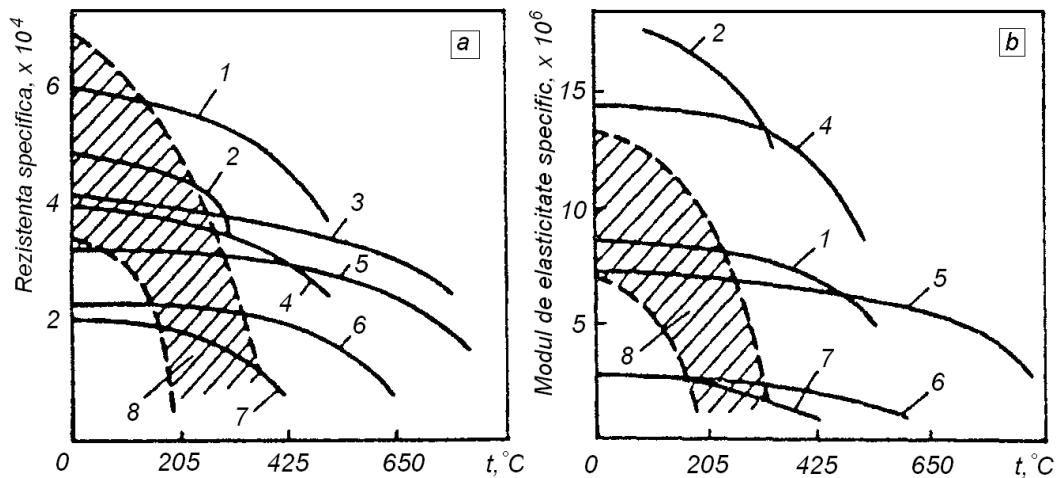
Din pacate, aceste sisteme au o rezistenta la oboseala scazuta datorita tensiunilor remanente si datorita interactiunilor chimice dintre fibre si matrice la temperaturile ridicate de obtinere utilizate. In plus, prelucrarea mecanica a acestor materiale compozite cu matrice de titan ridica probleme suplimentare. Tabelul 20 indica cateva proprietati mecanice importante ale acestor tipuri de materiale.

*Tabelul 20 – Proprietatile materialelor compozite cu matrice de titan*

Proprietatea	Aliaje de Ti	Fibre de armare		
		B	SiC	B.SiC
$\rho, \text{g/cm}^3$	4,5	3,3-3,5	3,8-4,0	3,7-3,9
$R_m, \text{MPa}$	500-1200	1500/550	1720/650	1400/550
$E, \text{GPa}$	113	230	250/200	290/200
$R_m/\rho, \text{km}$	27	43	46	37
$E/\rho, 10^3 \text{km}$	2,6	6,5	7,5	7,5
$T_{max}, ^\circ\text{C}$	490	650	700	-

In figura 21 se arata influenta temperaturii de incercare asupra rezistentei specifice si asupra modului de elasticitate specific pentru diferite materiale compozite.

*Figura 21 – Dependenta dintre rezistenta specifica (a) si modulul de elasticitate specific (b) al materialelor compozite si temperatura: 1 – B/Al; 2 – YB/Mg; 3 – B/Ti; 4 – YB/Al; 5 – SiC/Ti; 6 – Ti; 7 – Al; 8 – zona hasurata – material compozit cu matrice polimerica armat cu fibre de carbon;*



In figura 22 sunt aratate variatiile valorilor rezistentei mecanice si a modului de elasticitate in functie de procentul fazei de armare pentru un material compozit cu matrice din aluminiu armat cu fibre de bor. Zonele hasurate reprezinta datele a diferite lucrari cu rapoarte in aceasta directie.

Cum este si normal, valorile inregistrate in directie longitudinala sunt mai ridicate decat cele din directie transversala. Din figura se observa de asemenea faptul ca aceste valori cresc odata cu cresterea procentului de fibre de bor. S-a constatat faptul ca, pe langa aceasta crestere a rezistentei mecanice si a modului de elasticitate, are loc de asemenea si o crestere a

rezistentei la lovituri prin soc odata cu cresterea procentului de fibre de armare in materialele compozite.

*Figura 22 – Dependenta rezistentei mecanice (a) si a modulului de elasticitate (b) a unui material compozit Al/B in functie de continutul volumic de fibra de bor; (1) in longitudinal, (2) in transversal;*

Pentru temperaturi de lucru foarte ridicate, cum ar fi de exemplu cele din camera de ardere ale motoarelor cu reactie, se utilizeaza sisteme compositionale care contin fibre de molibden sau wolfram in matrici din aliaje de titan sau din superaliaje.

O rezistenta deosebita in acest sens ( $R_m \sim 2,2$  GPa) la temperatura de  $1093^\circ\text{C}$  o are sarma din aliajul W – Re – Hf – C, care depaseste de 6 ori rezistenta superaliajelor pe baza de nichel sau cobalt la aceleasi temperaturi.

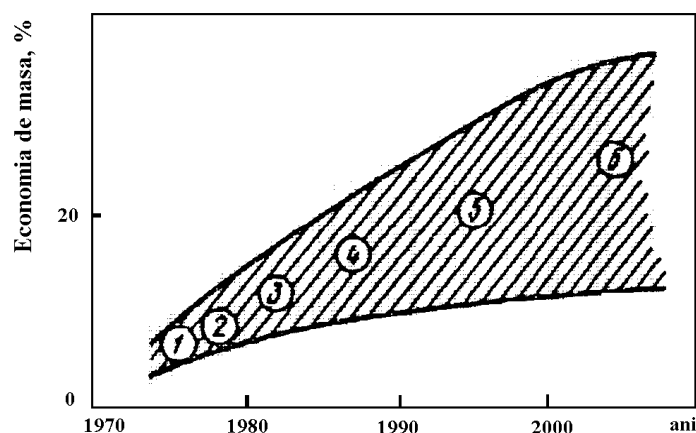
Perspective largi sunt oferite de procedeele de armare tridimensionala a materialelor compozite cu matrice metalica. Castigul substantial rezida in cresterea valorilor rezilientei la incovoiere prin soc. Sistemul  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / Al armat tridimensional poate acumula aceeasi energie la soc ca si metalul pur. Acest tip de armare previne ruperea si propagarea fisurilor.

Principalul dezavantaj al materialelor compozite cu matrice metalica este acela al costului ridicat cat si al tehnologiei de obtinere destul de dificila. Costul acestor materiale il depaseste la ora actuala cu cateva ordine de marime pe cel al materialelor compozite cu matrice polimerica. Perfectionarea tehnologiilor de obtinere si simplificarea acestora va permite scaderea costurilor materialelor compozite cu matrici metalice, ele de fapt fiind de neinlocuit din punct de vedere tehnologic in multe situatii constructionale.

În aviație și tehnica aero-spatială cel mai mult sunt utilizate materialele compozite armate cu fibre de bor. Firme precum “Lokhid”, “Boeing”, “General Dynamics” au în vedere atât compozite cu fibre de bor cu matrici metalice cât și cu matrici polimerice (vezi subcapitolul B.1. referitor la matrici polimerice).

Domeniile de utilizare ale materialelor compozite sunt în continuă ramificare. Pe lângă o economie de masă de aproape 20 – 30%, materialele compozite cu matrice metalică asigură și o îmbunătățire indiscutabilă a caracteristicilor tehnologice. Aliajele Al-Li realizează aceste îmbunătățiri într-o proporție de 10 – 15% (vezi figura 23).

*Figura 23 – Economia potențială de masă a elementelor constructive din aviație și industria aero-spatială prin folosirea a diferite materiale de construcție: 1,2 – aliaje de Al; 3 – Ti-10Al-2V-Fe; 4 – Al-Li; 5 – materiale obținute prin metalurgia pulberilor; 6 – materiale compozite cu matrice metalică*



Referitor la potențiala economie de masă realizată de materialele compozite cu matrice metalică, compozitele Al/B utilizate pentru obținerea de piese masive pentru rachetele “Apollon”, “Schuttle” au permis reducerea de masă cu 20-50%. Acest fapt permite creșterea masei utile, iar în cazul avioanelor militare prelungirea duratei de zbor, sau creșterea încărcăturii de luptă a acestora. În cazul avionului de vânătoare F-15 reducerea masei de zbor cu 6%, sau exprimat în unități de masă cu 1100 Kg, a permis creșterea duratei de zbor cu aproximativ 15%.

Firma japoneză “Toyota” a utilizat în 1982 pentru prima dată materialele compozite cu matrice metalică în construcția de piese din industria automobilelor. Aluminiul a fost armat cu un amestec de fibre scurte de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  și  $\text{SiO}_2$  (cu un diametru de 3  $\mu\text{m}$  și lungime de 10  $\mu\text{m}$ ) în diferite proporții volumice. Odată cu creșterea proporției masice de fibre de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  crește rezistența și modulul de elasticitate, iar prin creșterea proporției de fibre de  $\text{SiO}_2$  crește

rezistenta la uzura. Acest material a fost utilizat in locul aliajelor de nichel in fabricarea pistoanelor, ceea ce a permis cresterea temperaturii in camera de ardere a motorului si deci crestrea puterii acestuia. Astfel, garantia de functionare a acestor piese a crescut pana la aproape 300 de mii de km. Productia acestor materiale compozite va deschide in opinia specialistilor japonezi tehnologia de masa a viitorului din acest domeniu.

Alegerea corecta a materialelor in scopul economiei de masa a aparatelor de zbor joaca un rol hotarator. Pretul de constructie reprezinta aproximativ 40% pentru avioanele militare, 68% pentru avioanele comerciale, 19% pentru aparatele cosmice, 50% pentru o naveta spatiala de tip "Schuttle". In tehnica aero-spatiala, economia de masa se apreciaza prin pretul scoaterii pe orbita a 1 kg din masa, cu luarea in considerare a numarului de lansari. Considerand ca raportul masei utile la masa pusa pe orbita terestra reprezinta 100:1, aceasta valoare poate atinge si 30 de mii de \$ / kg.

Utilizarea compozitelor in constructia navei cosmice "Schuttle" a permis scaderea masei acesteia cu 1402 kg, dintre care 410 kg datorita utilizarii compozitului cu matrice polimerica armat cu fibre de bor si 82 kg cu compozitul Al/B. O asemenea economie de masa a permis scaderea cheltuielilor de scoatere pe orbita a navei cu cateva milioane de dolari, ceea ce din capul locului scade cheltuielile cu elementele constructive din aceste materiale.

#### **4 - Materiale compozite tip sandwich**

Cele mai interesante si mai promitatoare modalitati de obtinere a materialului compozit format din rasini polimerice si fibre de sticla sunt structurile tip sandwich. Fetele structurii de tip sandwich pot fi materiale metalice (aliaje de aluminiu sau otel inoxidabil) si nemetalice (lamine polimerice cu fibre de sticla sau cu fibre de carbon).

In tabelul 21 se prezinta proprietatile mecanice ale fetelor materialelor de tip sandwich executate din polimeri ranforsati cu fibre de sticla, in comparatie cu materialele metalice.

Materialele sandwich cu fete din polimeri termorigizi ranforsati cu fibre de sticla se folosesc pe scara larga pentru aplicatii in care solicitarea principala este flexiunea. Un material sandwich ideal are fete subtiri rigide, cu rezistenta inalta, un miez cu densitate mica si un pret de cost redus.

Pentru aplicatii speciale in domeniul constructiilor de avioane sau constructiilor navale, unde prioritar este raportul rezistenta/greutate, se folosesc materiale sandwich cu miez in forma de fagure. In aceste materiale, miezul poate fi realizat din hartie preimpregnata cu rasina si mai ales din aliaje de aluminiu sau polimeri ranforsati cu fibre de sticla.

*Tabelul 21 – Proprietatile mecanice ale fetelor materialelor de tip sandwich*

Material	Rezistenta, MPa	Modul de elasticitate, GPa	Greutatea structurii cu suprafata de 1 m <sup>2</sup> si grosimea de 1 mm, kg
<b>Compozit cu fibre de sticla si:</b>			
Rasina poliesterica	769	56	1,92
Rasina epoxidica	1009	56	1,83
Rasina fenolica	769	56	1,81
<b>Aluminiu:</b>			
2024 – T3	800	160	2,69
5052 – H 34	416	160	2,69
6061 – T6	560	160	2,69
7075 – T6	1169	160	2,69
<b>Otel inoxidabil:</b>			
316	961	480	7,68
17-7	3200	480	7,68
<b>Aliaj de titan Ti-6Al-4V</b> tratat termic	2290	269	4,42

Fagurii nemetalici si metalici introdusi in tehnologiile neconventionale de la sfarsitul anilor '60 au revolutionat performantele materialelor compozite. Ei reprezinta structuri celulare hibride, asemanatoare fagurilor naturali (Figura 24), avand urmatoarele caracteristici:

- greutate specifica extrem de redusa (sub 100 kg/m<sup>3</sup>);
- buna rezistenta la flexiune si la compresiune stabilizata;
- excelente proprietati in domeniile izolarii termice si fonice;

Fagurii metalici se executa din folie de aluminiu avand o grosime de 10-80  $\mu$ , in timp ce pentru variantele nemetalice se foloseste hartie speciala ignifugata. Se obtin faguri metalici/nemetalici avand diferite dimensiuni ale celulei de baza (4,7; 6,3; 9,5; 12,7 mm etc.), in functie de greutatea specifica si rezistenta pieselor cerute.

Fagurii metalici se obtin in doua moduri diferite:

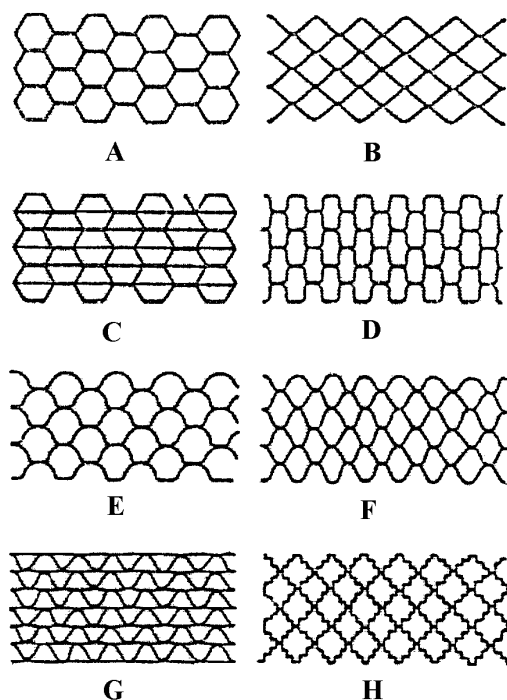
- prin profilare;
- prin bloc – lipire;

In Figura 25 este prezentat schematic fluxul tehnologic de obtinere a fagurilor metalici prin procedeul de bloc-lipire.

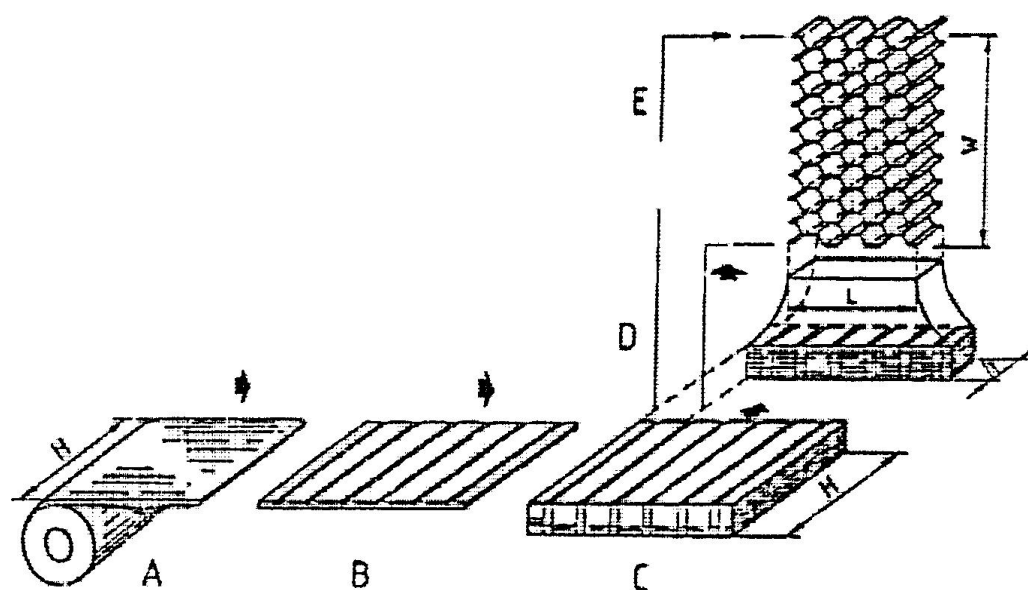
Folia de aluminiu este desfasurata continuu de pe rola A, apoi degresata cu solventi organici, decapata chimic intr-o baie alcalina, spalata cu apa distilata si uscata intr-un cuptor – tunel in care temperatura nu trebuie sa depaseasca 50°C. Dupa acest tratament preliminar de

conditionare, folia este imprimata cu benzi transversale si echidistante de adeziv epoxidic monocomponent, cu reticulare la temperaturi de peste 170°C.

*Figura 24 - Structuri hibride de faguri metalici: A-hexagonala; B-rombica; C-hexagonal ranforsata; D-rectangulara; E-flexibila; F-sinusoidala; G-multistrat; H-rombic ondulata;*



*Figura 25 - Asezarea in matrita a foliilor de aluminiu impregnate; A-rola cu folie de aluminiu; B-foaie imprimata; C-pachet de imprimate; D-bloc termoformat; E-fagure expandat;*



Dupa eliminarea solventilor organici prin traversarea unui cuptor-tunel avand o temperatura maxima de 130°C, folia este taiata cu un dispozitiv de tip ghilotina, conform dimensiunilor matritei de termoformare, ajungand in stadiul B. Foile astfel rezultate sunt asezate in matrita de termoformare in asa fel incat benzile de adeziv ale uneia sa fie echidistant intercalate. Dupa suprapunerea a 100-300 de foi se ajunge in stadiul C. Pachetul se introduce intr-o presa cu platane calde, la o temperatura de 170-210°C si o presiune de 150-300 daN/mm<sup>2</sup>. Se ajunge astfel in stadiul de bloc neexpandat. Blocul rezultat este apoi taiat longitudinal folosind freze speciale, fara utilizarea fluidelor de racire/lubrifiere, la viteze reduse ale masinii (in scopul evitarii aparitiei microsudurilor intre foliile de aluminiu componente). Mentionam ca latimea bucatilor taiate constituie inaltimea viitorilor faguri. Blocurile astfel rezultate (stadiul D) sunt suflate cu aer comprimat de 4-6 atm pana ce se realizeaza desprinderea foliilor una de alta in zonele nelipite. Apoi se realizeaza expandarea finala folosind un dispozitiv de tragere orizontala cu o viteza de 3-4 mm/min (stadiul E).

Marele avantaj al acestei tehnologii este constituit de faptul ca fagurii pot fi transportati sub forma de blocuri compacte, realizandu-se astfel o mare economie de spatiu si evitandu-se totodata deteriorarea celulelor, operatiunile de preexpandare si expandare putandu-se efectua direct de catre beneficiar.

Tehnologia de obtinere a fagurilor din hartie sau carton este asemanatoare, locul operatiilor de degresare / decapare fiind luat de impregnarea materialului cu rasini ignifugate. De asemenea, mentionam ca operatia de termoformare este condusa la temperaturi mai mici (max. 140°C), pentru a evita degradarea materialului celulozic. In figura 26 este prezentata schematic asezarea elementelor intr-un ansamblu “sandwich” cu fete nemetalice.

*Figura 26 – Structuri hibride de tip sandwich cu fete nemetalice*

