

# MATERIALE COMPOZITE CERAMICE PENTRU SCUTUL TERMIC AL NAVETELOR SPATIALE

**IONITA Valentina, LUNGU Alexandru, NICULAE Georgiana**

**Conducător științific: Dr. Ing. Vasile Moga**

**Dr.Ing. Marius Dumitras**

**Rezumat:** În condițiile dezvoltării tehnologice actuale, criza de materii prime și energie la nivel mondial, precum și creșterea agresiunii oamenilor față de mediul înconjurător, au condus la elaborarea unor materiale noi și a unor tehnologii neconvenționale. Aviația, precum și industria aeronautică în general, ca și majoritatea mijloacelor de transport exercită un impact negativ asupra mediului, generând poluare fonică și emisii de gaze, impact care trebuie drastic redus.

Materialele compozite reprezintă, fără îndoială, un teritoriu fascinant. Domenii de vârf (nuclear, militar, aerospațial s.a.) au impulsivat activitatea de cercetare, proiectare și producție, impunând performanțe extrem de înalte, fapt justificat de competiția acerbă din aceste domenii. Materialele compozite dispun de atuuri importante în raport cu materialele tradiționale și aduc numeroase avantaje funcționale: greutate scăzută, rezistența mecanică și chimică, costuri de întreținere reduse, libertatea și dinamica design-ului.

Paleta foarte largă de procese de fabricație, aplicațiile cu totul inedite, problemele ridicate de optimizarea procesului de fabricație și reducerea poluării, constituie factori care fac din materialele compozite un domeniu de vârf al științei și tehnicii actuale.

**Cuvinte cheie:** compozit, ceramic, aerospațial, navete

## 1) INTRODUCERE

Considerat de către numeroși specialiști ca fiind epoca materialelor compozite, sfârșitul secolului XX a fost marcat în mare măsură de schimbările în concepția tehnologică din producția industrială. Necesitatea elaborării unor materiale noi și a unor tehnologii neconvenționale a fost determinată nu numai de motive economice și sociale, dar și de faptul că în condițiile dezvoltării exponențiale a producției, a apărut o criză foarte puternică de surse de materii prime și energetice. Materialele ceramice se definesc ca fiind materiale solide nemetalice, de natură organică, greu solubile în apă, obținute pe cale naturală sau artificială la temperaturi și presiuni ridicate. Materialele ceramice tehnice sunt caracterizate prin proprietăți fizico-mecanice superioare celor ale materialelor dure și extradure prin un material de bază, matricea, în care se află dispersat un material complementar sub forma de fibre sau particule, obținându-se astfel proprietăți sub

oformă îmbunătățită: rezistență la uzură, duritate mare, densitate redusă, stabilitate dimensională, o capacitate de amortizare a vibrațiilor

Aceste materiale cu proprietăți programabile superioare materialelor tradiționale au pătruns în domeniile tehnicii de vârf, cum ar fi: tehnologiile aerospațiale, microelectronica, tehnica nucleară, tehnica de construcție medicală a implanturilor, dar și în industria de automobile, de nave, industria chimică, a mobilei, în construcții, în industria materialelor sportive.

## 2) STADIUL ACTUAL

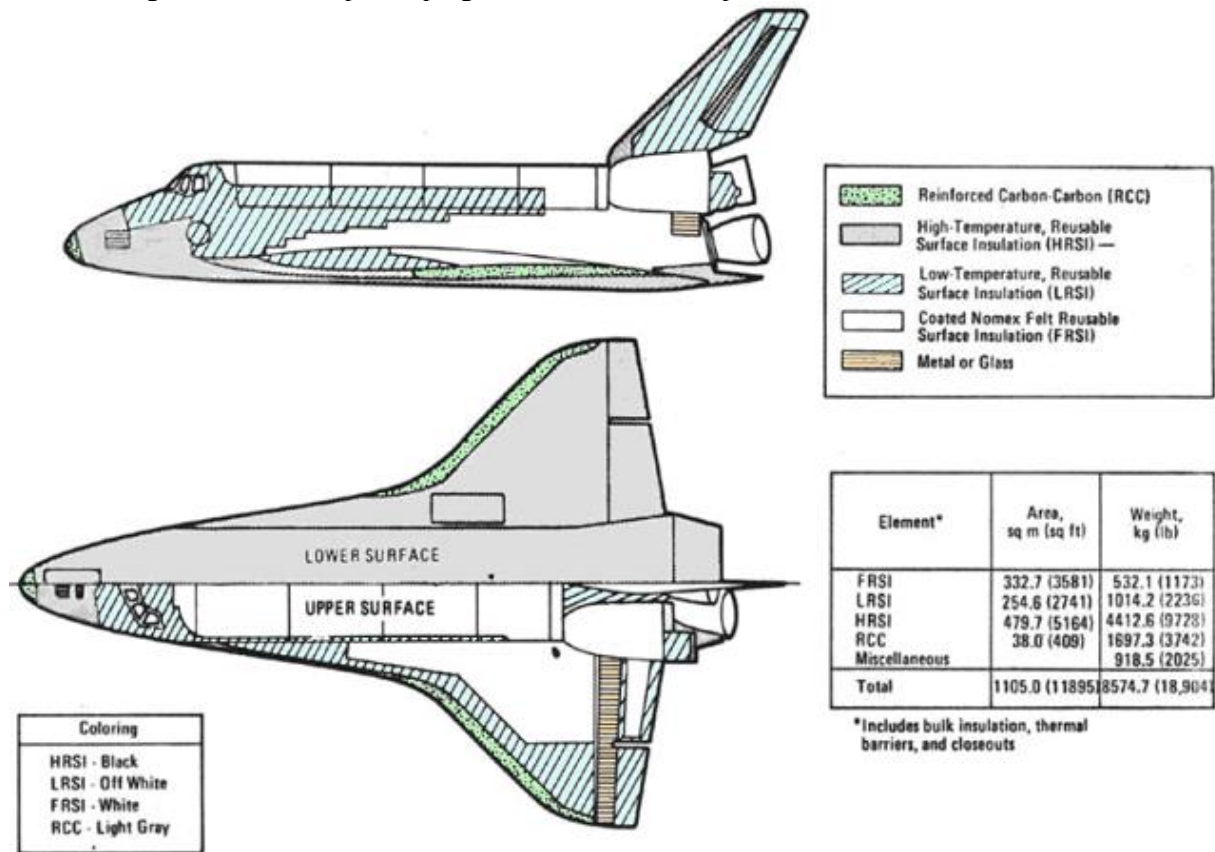
Scutul termic este o barieră ce protejează naveta spațială atât în timpul intrării în atmosferă, când temperaturile pot ajunge la 1,650° C, cât și față de variația de temperatură (de la -121 până la 1649) la care este supusă în timpul orbitării. Structura de aluminiu a navei nu poate rezista temperaturilor la peste 175° C fără

deformări structurale. În timpul intrării în atmosferă, temperaturile măsurate la nivelul fuselajului ar depăși mult acest prag, prin urmare este nevoie de un izolator eficient.

Este format din diferite tipuri protective, ele fiind impartite in doua categorii de baza :scuturi formate din placi si scuturi unitare.

Temperatura extrema de pe botul navetei cat si de pe bordul de atac la aripii necesita materiale mult mai sofisticate ce pot opera intr-un spectru larg de medii inconjuratoare in timpul lansarii ,ascensiunii operatiilor orbitare, reintrarii in atmosfera si aterizarii. Armatura carbon-carbon este un compozit ceramic non-oxidic, prin conservarea tesaturii de grafit care a fost pre-impregnat cu

rasina fenolica fixata intr-o matrita complexa. Dupa ce excesul a fost inlaturat, rasina polimerica este transformata in carbon prin intermediul pirolizei. Piesa e impregnata cu alcool furfurilic si supus pirolizei pentru a-i mari densitatea, ceea ce dupa imbunatatirea proprietatilor mecanice. Deoarece carbonul oxideaza la temperaturi inalte, un strat acoperit de siliciu este folosit pentru a proteja substratul de carbon. Orice oxidare a substratului afecteaza in mod direct rezistenta materialelor, prin urmare trebuie limitata cat mai mult posibil pentru a asigura performante ridicate in timpul multiplelor misiuni. Stratul de silicon este format prin transformarea a doua straturi exterioare ale materialului carbon-carbon prin procesul de acoperire rezultand un invelis rezistent.



Thermal Protection System, Orbiter 102

Ca un rezultat al formatiunii silicon-carbit ce apare la temperaturi de 1648 C, la racire ,apar crapaturi in strat datorita diferentei de coeficient de expansiune termica. Impregnand frictiunea de carbon cu tetraetil ortosilicat si aplicand o perie de etansare asigura o protectie aditionala impotriva interferarii dintre oxigeni carbon din crapaturi . Ortosilicatul tetraetilic este aplicat prin intermediul unei impregnari in vid cu scopul de a umple porozitatile ramase in cadrul componentei. Odata ce ortosilicatul si-a facut efectul , un rezid de dioxid de silicon

acopera peretii porilor astfel inband oxidarea, dupa ce procesul ortosilicatului este complet ,un etansant de silicat de sodiu este periat pe suprafata pentru a ranforsa structura carbon-carbon.

Etansatorul intra in crapaturi si odata intrat formeaza o sticla. Crapaturile se inchid la temperaturi mari si materialul etansant va iesi la suprafata .Datorita vascozitatii suficiente, materialul etansant va ramane pe piesa. Cand structura carbon carbon se raceste, sticla revin in interiorul crapaturilor.

Funcționalitatea armaturii carbon carbon este extinsă datorită abilității de a respinge căldura prin radiația externă și cea transversală. Ceea ce este transferul de căldură internă a armaturii între structurile inferioare și superioare. Armatura carbon carbon este un excelent izolator și poate respinge căldura radiind în spațiu similar cu celelalte sisteme de protecție.

Din ce în ce mai mult, materialele ceramice devin lider pe piață din cauza diversității compoziționale, a tehnologiilor de procesare și nu în ultimul rând a proprietăților deosebite. Ceramicile neoxidice sunt materiale cu proprietăți excelente în ceea ce privește rezistența față de condițiile extreme de ostile de lucru cum sunt temperaturile ridicate, mediul coroziv, solicitările mecanice. Ele au la bază materiale cu microstructură controlată și cu un înalt grad de stabilitate a proprietăților lor. De asemenea, în procesarea unui material ceramic neoxidic un rol important îl au condițiile complexe de fabricație precum și prețul de cost redus. Pentru a fi utilizată, o ceramică termomecanică trebuie să răspundă unor criterii de care vor depinde caracteristicile intrinseci ale materialului, cât și caracteristicile principale de funcționare. Realizarea acestor criterii tehnice și implicit a proprietăților, depinde în principal de macro și microstructura materialelor ceramice, adică de morfologie, natura fazelor prezente, structura cristalografică, calitatea suprafeței, etc. Controlând aceste caracteristici pot fi favorizate anumite proprietăți sau comportamente ale produselor ceramice. Gama de materiale ceramice care îndeplinesc în parte sau în totalitate aceste caracteristici este relativ mare.

Avantajul esențial al materialelor ceramice compozite constă în posibilitatea modelării proprietăților, obținându-se astfel o gamă foarte variată de materiale, a căror utilizare se poate extinde în aproape toate domeniile de activitate tehnică. Proprietățile lor sunt puse în valoare prin metode construcționale particulare ale materialului, rezultând materiale cu proprietăți deosebite: rezistență specifică ridicată și rigiditate, rezistență la temperaturi înalte, rezistență la uzură, creșterea eficienței greutateii totale a mașinilor, mijloacelor de transport, a diferitelor construcții sau a aparatelor de zbor. Carbura de siliciu este recunoscută de mult ca un material ideal pentru aplicații acolo unde sunt foarte importante proprietățile mecanice superioare cum ar fi duritatea, modulul Young, rezistența la încovoiere, precum și rigiditatea și rezistența la oxidare la temperaturi înalte, conductivitatea termică mare (120W/mK), coeficient de dilatare termică scăzut ( $4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ), și rezistența ridicată la uzură și abraziune.

Ceramicile avansate rezistente la solicitare mecanică severe utilizabile în sectoare industrial de varf cu aplicații în domeniile Aeronautice și militare pot fi ceramicile neoxidice (boruri, nitruri, carburi și siliciuri) și ceramicile oxidice. De la caz la caz la sistemul elementar atomic binar (de referință) se pot practica o serie de adaosuri pentru modificarea unor proprietăți în sensul dorit.

În următorul tabel se indică principalii compuși care prezintă interes pentru domeniul ceramicilor rezistente la solicitări mecanice severe. Compușii prezentați în table sunt caracterizați de temperatură de topire foarte ridicată.

Combinatii chimice de interes pentru domeniul de ceramici rezistente la solicitari mecanice severe  
Chemical combinations of interest for the field of advanced ceramics that are used in severe mechanical applications

	B	C	Si	N	O
B	-	B <sub>4</sub> C	-	(BN) <sub>x</sub>	-
Al	-	-	-	(AlN) <sub>x</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
C	-	Diamant	SiC	-	-
Si	SiB <sub>3</sub> ; SiB <sub>6</sub>	SiC	-	SiN; Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ; Si <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Ti	TiB; TiB <sub>2</sub>	TiC	TiSi <sub>2</sub>	TiN	TiO <sub>2</sub>
Zr	ZrB; ZrB <sub>2</sub>	ZrC	ZrSi <sub>2</sub>	ZrN	ZrO <sub>2</sub>
Hf	HfB <sub>2</sub>	HfC	-	HfN	HfO <sub>2</sub>
V	VB <sub>2</sub> ; V <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	VC	VSi <sub>2</sub>	VN; V <sub>2</sub> N	VO <sub>2</sub> ; V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Nb	NbB <sub>2</sub>	NbC	NbSi <sub>2</sub> ; NbSi <sub>4</sub>	NbN; Nb <sub>2</sub> N	NbO <sub>2</sub>
Ta	TaB <sub>2</sub>	TaC	TaSi <sub>2</sub>	TaN	Ta <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Cr	CrB; CrB <sub>2</sub>	-	CrSi <sub>2</sub>	CrN; Cr <sub>2</sub> N	CrO <sub>2</sub> ; CrO <sub>3</sub> ; Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mo	MoB; MoB <sub>2</sub>	MoC; Mo <sub>2</sub> C	MoSi <sub>2</sub>	MoN; Mo <sub>2</sub> N	MoO <sub>2</sub> ; MoO <sub>3</sub>
W	WB; W <sub>2</sub> B	WC; W <sub>2</sub> C	WSi <sub>2</sub>	WN; W <sub>2</sub> N	WO <sub>2</sub> ; WO <sub>3</sub>

În marea majoritate a cazurilor acestea sunt peste 2000°C. câteva excepții se înregistrează pentru CrSi<sub>2</sub> (1570 °C), MoSi<sub>2</sub> (1870°C) sau TiO<sub>2</sub> (1825°C). În plus în multe cazuri

temperaturile de topire depășesc 3000°C, uneori apropiindu-se de 4000°C.

Asociată cu temperaturile de topire, duritatea acestor materiale este foarte ridicată. Pe scara Mohs duritatea nitrurilor și borurilor este

8-9, iar pentru carburi valorile utilizate se plasează în intervalul 8-10 (cu puține excepții și unele carburi de Mo și W). De remarcat că  $B_4C$  și BN pot să depășească valorile maxime (10) ale scării Mohs, atribuite diamantului, deoarece îl poate zgăria.

*Stabilirea formei constructive a produselor din ceramică* trebuie făcută în strânsă corelație cu rolul său funcțional, modul de solicitare și condițiile de lucru și cu natura materialului, respectiv, procedeul de obținere și de prelucrare ulterioare a produsului semifabricat. Spre deosebire de piesele realizate din fontă sau oțeluri, în cazul prelucrării produselor din materiale ceramice trebuie să se aibă în vedere că: materiale ceramice sunt casante și predispuse la ruperi fragile sub acțiunea solicitărilor mecanice prin șoc; sunt caracterizate prin valori reduse ale rezistenței la încovoiere, în raport cu cele de compresiune; dispersia caracteristicilor la solicitări mecanice depinde în mod direct de particularitățile materialului ceramic, felul procedurii și a tehnologiei de obținere, precum și de compoziția inițială a materialului de bază. Procedeurile de obținere a produselor din ceramică, în raport cu domeniul de utilizare, sunt:

*FORMAREA MANUALĂ* prezintă un interes scăzut pentru scopuri tehnice în raport cu celelalte metode de formare a produselor din ceramică;

*FORMAREA PRIN RULARE* a produselor din ceramică este folosită pe scară largă la fabricarea obiectelor geometrice cu ajutorul unei generatoare sau directoare. Procedeul permite realizarea unor produse de tip farfurie, oală, castron și este specific industriei porțelanului și olăritului. Etapele procedurii de prelucrare constau în prepararea amestecului, dozarea și plastifierea acestuia, modelarea cu ajutorul unui șablon cu configurație negativă geometriei produsului de executat și tratarea termică (arderea);

*FORMAREA PRIN LAMINARE* se folosește în cazul fabricării profilelor, tablelor, barelor, plăcilor din ceramică, folosindu-se în acest scop instalații specifice de dozare, amestecare, laminare și tratare termică a produselor laminate;

*FORMAREA PRIN PRESARE DIRECTĂ UMEDĂ* (crudă ori verde) se caracterizează prin faptul că amestecul ceramic de formare conține 8 – 12% apă. Dacă însă amestecul respectiv conține mai puțin de 8% apă (umiditate), presarea este directă – USCATĂ. Prin formarea

directă – umedă sau uscată – pot fi realizate produse cu configurații complicate și precize dimensional și cu forme geometrice variate. *FORMAREA PRIN EXTRUDARE* se realizează cu ajutorul unor instalații specifice de extrudat în care se produce dozarea amestecului ceramic, plastifierea și refularea lui prin filiera de extrudat, după cum urmează aplicarea tratamentului termic prescris. Procedeul permite obținerea de profile cu secțiuni plină sau cu pereți cu grosimi diferite și o gamă largă de configurații cerute de domeniile de utilizare; *FORMAREA PRIN PRESARE IZOSTATICĂ* este folosită cu rezultate deosebite în cazul fabricării produselor de forma bușelor cu pereți subțiri sau cu cavități cu configurație complicată care nu pot fi realizate prin presare directă, extrudare sau alte procedee.

*FORMAREA PRIN PRESARE LA CALD* a produselor din materiale ceramice se bazează pe fenomenele combinate ale procesului de formare prin sinterizare și presare.

*FORMAREA PRIN TURNARE ÎN STARE SEMIFLUIDĂ* (păstoasă) este folosită în cazul materialelor ceramice sub formă de noroi (suspensie de granule ceramice într-un procent de 30...35%  $H_2O$ ). În acest caz, produsele ceramice se realizează prin turnare în forme de ghips. Procesul de formare se bazează pe fenomenul de absorbție a apei de către forma din ghips și depunerea granulelor ceramice împreună cu liantul de legătură pe pereții calității formei. Forma din ghips poate fi reutilizată dacă, după un ciclu de formare, este manevrată cu atenție și uscată în mod corespunzător.

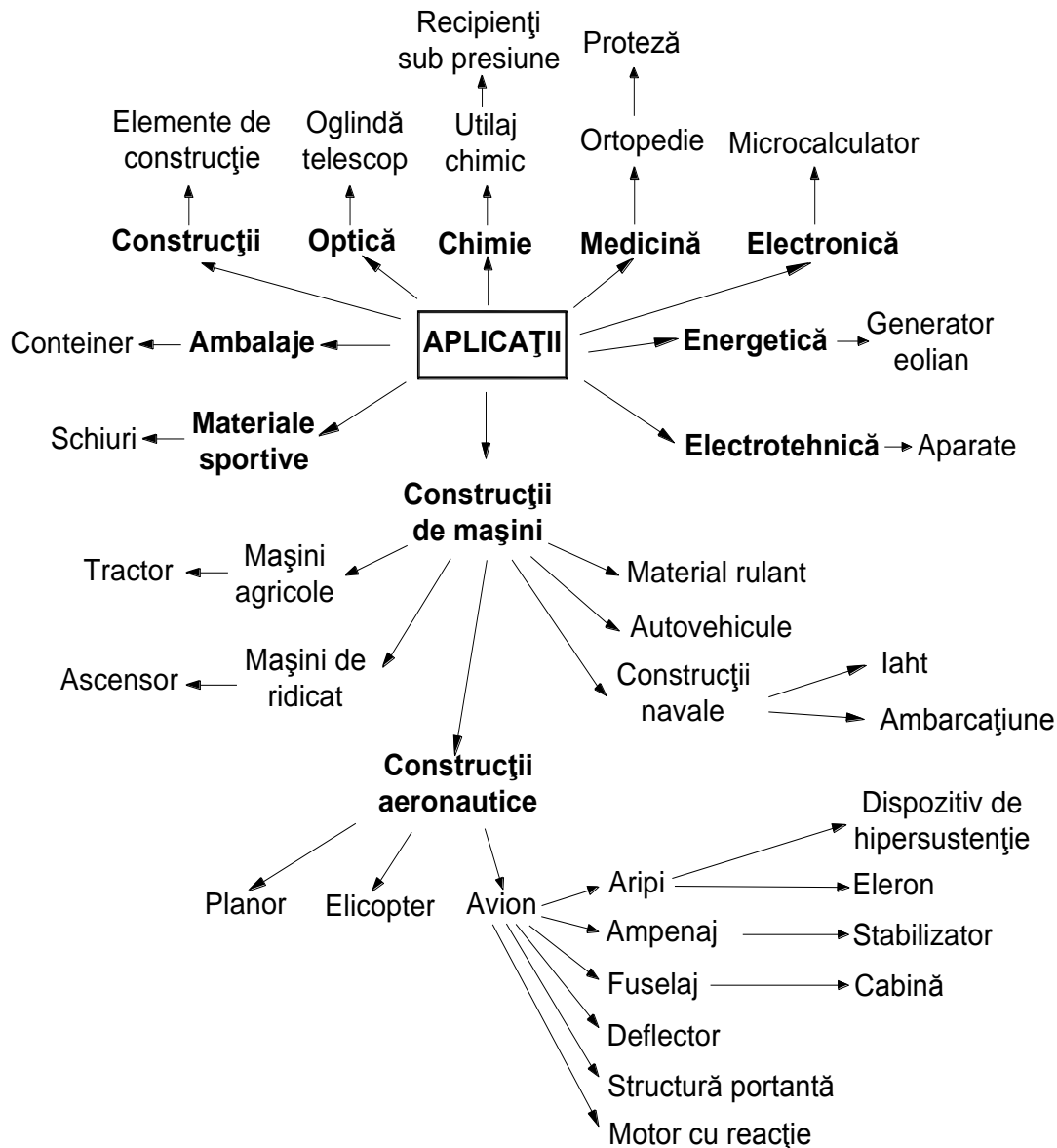
*FORMAREA PRIN TURNARE CONTINUĂ* este folosită în cazul fabricării produselor ceramice sub formă de plăci, table, foi și/sau profile. Procedeul constă în topirea amestecului ceramic într-un cuptor în care temperatura capătă valori între 2000...28000 C. După ce amestecul de ceramică dozat în mod corespunzător se topește, topitura respectivă este trecută prin instalația de formare continuă, în care se produce formarea, solidificarea sau răcirea – debitarea la lungime a produsului ceramic și îndepărtarea acestuia din zona de formare. Întregul proces de formare se desfășoară în ciclu automat, ceea ce face ca productivitatea să fie ridicată iar costul de fabricație scăzut

*FORMAREA PRIN INECȚIE ÎN MATRIȚĂ* este folosită la scară industrială în cazul fabricării produselor din materiale ceramice fine, cu dimensiuni reduse și configurații complicate. În

acest caz, amestecul de formare este constituit din pulbere ceramică și un conținut de până la 20% liant organic (termo sau duroplastic. În scopul evitării obținerii unor produse cu defecte (zgârieturi, fisuri, ciobituri), materialul plastic care îndeplinește rolul de liant de legătură, după injecție în cavitatea matriței va fi supus unei încălziri la temperaturi mari, încălzirea realizându-se cu o viteză extrem de mică.  
**FORMAREA PRIN TURNARE ÎN FORME** constă în topirea amestecului ceramic la

temperaturi  $\theta > 20000 \text{ C}$ , realizate în cuptoare încălzite cu arc electric, urmată de turnarea în forme refractare, procedeul este folosit, de obicei, numai în cazul ceramicilor oxidice, care la temperaturi înalte nu intră în reacție cu oxigenul din atmosferă.

### 3) DOMENII DE UTILIZARE ALE MATERIALELOR COMPOZITE



Aceste materiale cu proprietati programabile superioare materialelor traditionale au patruns în domeniile tehnicii de vârf, cum ar fi: tehnologiile aerospatiale, microelectronica,

tehnica nucleara, tehnica de constructie medicala a implanturilor, dar si în industria de automobile, de nave, industria chimica, a mobilei, în constructii, în industria materialelor sportive.



#### 4) APLICATII IN INDUSTRIA AEROSPATIALA

În domeniul aerospacial, în care s-au aplicat prima dată, prezintă o rată de utilizare foarte mare, fie sub formă de fibre de carbon, de bor și de siliciu, ca atare, fie ca materiale de ranforsare în matrici din rasini epoxidice, în general pentru

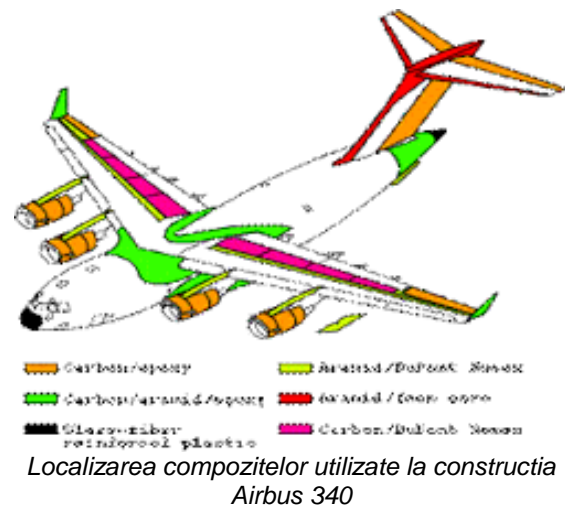
structuri de aeronave și de nave spațiale, fie sub formă de ceramice și metale.



Prin calitățile lor, compozitele conduc la simplificarea structurilor aerospaciale, cu consecințe favorabile asupra economicității și fiabilității aeronavelor în producție și în exploatare. Astfel, dacă piesele mecanismului de direcție al avionului comercial Airbus 340 ar fi executate din materiale tradiționale (metale), ar fi necesare 7.015 piese fundamentale și 600 piese secundare. În timp ce executate din materiale compozite cifrele se reduc la 4.800 și respectiv 425.

Similar, pentru cabina pilotului confecționată din structura tip fagure din foi de rasina epoxidică întărită cu fibre de carbon, numărul componentelor s-ar reduce de la 2.076 la 96. Aceste avantaje conduc la situația că în viitor foarte puțini polimeri să mai fie utilizați ca atare, marea majoritate fiind înglobați în materiale compozite.

La avionul european Airbus 340 este încorporată o mare cantitate de compozite (cca. 40% din greutate) sub formă de compozite cu radom în aramida (rasina) sau de compozit hibrid (frâne aerodinamice, aripioare, trapele trenului de aterizare, ampenajul orizontal și profundorul, deriva și direcția), acesta din urmă placat cu câteva straturi de aramida pentru a mari rezistența la socuri. Multe componente de interior sunt confecționate din materiale compozite cu fibre de siliciu.



Fibrele de carbon au o rezistență la rupere superioară oțelului (de ~ 14,5 ori mai mare) și rezistență la temperaturi ridicate (3000 C), fapt ce a determinat utilizarea lor în construcția motoarelor de turboreactoare și rachete.

De data mai recentă sunt fibrele de bor și bor-aluminiu, care fiind mai scumpe, se utilizează numai în aeronautică și tehnica aerospațială. În etapa actuală, întreaga industrie prezintă „sindromul uzurării” ceea ce a generat materiale mai ușoare, vehicule mai ușoare, consumuri energetice mai mici, confort sporit, poluare redusă, satisfacții depline. Materialele compozite răspund acestor cerințe.

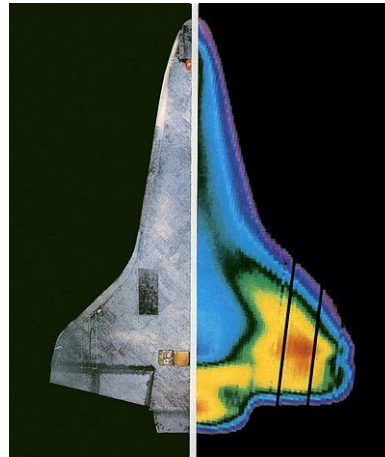
Greutate scăzută, rigiditate ridicată, coeficient de dilatare termică scăzut și stabilitate dimensională în timpul duratei de viață, reprezintă câteva din cerințele uzuale pe care trebuie să le îndeplinească aplicațiile militare. Se cunosc trei mari categorii de asemenea aplicații :

- sisteme de proiectile-rachetă tactice;
- sisteme de proiectile-rachetă strategice;
- sisteme de proiectile-rachetă defensive.

Componentele structurale ale primei categorii sunt de obicei ușoare și mici iar în timpul funcționării trebuie să reziste la accelerații foarte mari și la vibrații în condiții de lucru foarte severe (umiditate ridicată, nisip, sare și substanțe chimice). Carcasele motoarelor acestor rachete trebuie să funcționeze la presiuni ridicate și să aibă o rigiditate axială mare. De aceea, majoritatea componentelor rachetelor tactice sunt realizate din metal, materialele compozite fiind doar înlocuitori ai metalelor.

*Rachetele strategice* au în general componentele de dimensiuni foarte mari, nu lucrează la temperaturi ridicate iar carcasa motorului funcționează la presiuni scăzute. Datorită gabariturii lor aceste componente sunt realizate în mod obișnuit din filamente de carbon înfășurate, cu scopul reducerii greutateii.

Componentele *rachetelor defensive* trebuie să fie ușoare și rezistente la variații mari de temperatură. În plus, acestea sunt supuse unor accelerații foarte mari la lansare, precum și unor solicitări de șoc, vibrații etc. Una dintre cele mai severe cerințe ale acestor rachete este aceea de a rezista la radiațiile nucleare și de a corespunde din punct de vedere structural și aerodinamic atunci când sunt supuse presiunilor ridicate datorate exploziilor nucleare. Datorită acestor cerințe cea mai mare parte a componentelor rachetelor defensive sunt realizate din materiale compozite.



Protecția termică joacă un rol foarte important, cu precădere la intrarea în atmosferă a navelor spațiale. La naveta aerospațială NASA (USA) se utilizează garnituri din compozit carbon – carbon, siliciu – siliciu și piese structurale din bor - aluminiu. Temperatura de utilizare este de 300 °C, dar poate ajunge și la 600 °C.

Partea centrală este protejată de plăcuțe din compozite ceramice siliciu – siliciu, care constituie un scut termic radiant. Ele sunt separate printr-un perete dintr-un aliaj ușor sau un stratificat bor – aluminiu dar și printr-un sandwich din fetru și naylon neinflamabil (silicon – fagure de albină).

În ceea ce privește fibrele, o largă utilizare în această industrie o au fibrele de sticlă (sticla E și S), fibrele aramide și cele de carbon - grafit.

Sticla E este folosită la izolații iar sticla S la confecționarea carcaselor motoarelor rachetelor.

Fibrele aramide introduse în aplicații pentru prima dată la începutul anilor '70, sunt utilizate la fabricarea carcaselor motoarelor rachetelor strategice și tactice ca și pentru rezervoarele sub presiune ale navetelor spațiale și ale sateliților.

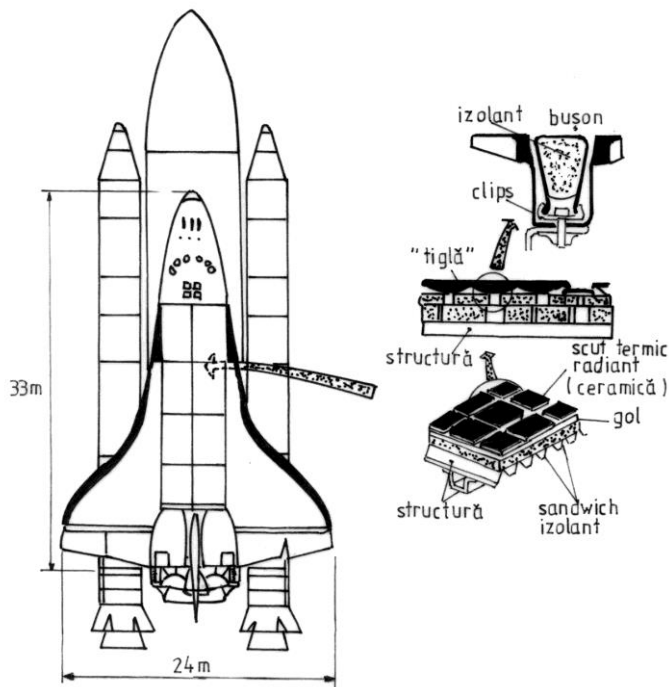


Fig 1.0 Componente ale navetei spațiale NASA realizate din materiale compozite

#### Bibliografie:

- <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=11443>  
[http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584728main\\_Wings-ch4b-pgs182-199.pdf](http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584728main_Wings-ch4b-pgs182-199.pdf)  
[http://amsdottorato.unibo.it/383/1/Biasetto\\_Tesi.pdf](http://amsdottorato.unibo.it/383/1/Biasetto_Tesi.pdf)  
[http://www.inginerie-electrica.ro/acqu/pdf/2008\\_11.pdf](http://www.inginerie-electrica.ro/acqu/pdf/2008_11.pdf)  
<http://www.scrigroup.com/tehnologie/tehnica-mecanica/Domenii-de-utilizare-a-materia95761.php>

#### CONCLUZII

Materialele compozite sunt primele materiale a caror dispunere structurala interna o concepe omul, atât prin înlantuirea lor moleculara, cât si prin directii preferentiale, conferindu-le în acest fel rezistențe favorabile, net superioare celor ale componentelor lor. Într-o epoca în care este prezenta o criza a materiilor prime si energetice, materialele compozite reprezinta o necesitate.