

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00893

(22) Data de depozit: 13/12/2019

(41) Data publicării cererii:
29/05/2020 BOPI nr. 5/2020

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE
AEROSPAȚIALĂ "ELIE CARAFOLI"-
I.N.C.A.S. BUCUREȘTI, BD. IULIU MANIU
NR. 220, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• RUSU BOGDAN, STR.J.M.ELIAS, NR.567,
COMUNA SASCUT, BC, RO

(54) PROCEDEU DE REALIZARE A UNUI MATERIAL COMPOZIT
CU MIEZ IMPRIMAT 3D DIN RĂȘINĂ POLIETERIMIDĂ
ȘI ÎNVELIȘURI REALIZATE DIN RĂȘINĂ EPOXY
RANFORSATĂ CU FIBRĂ DE CARBON

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de realizare a unui material compozit de tip sandwich, cu miez format prin imprimare 3D din material de tip polimer amorf și învelișuri realizate din material compozit, bazat pe matrice din rășină epoxidică ranforsată cu fibră de carbon. Procedeu conform invenției constă în obținerea, în primă fază, a miezului materialului compozit dintr-un material de tip rășină Polieterimidă, cu ajutorul imprimării 3D, miezul fiind rezistent la temperaturi de peste 200°C și presiuni de 6 atm, imprimarea 3D realizându-se cu un adaos necesar așezării sacului de vid, a rampelor de vidare și a senzorilor de temperatură, după care miezul este introdus într-o autoclavă unde i se vor aplica învelișuri realizate din rășini armate cu fibre de carbon care pot fi unidirecționale sau sub formă de țesătură, preimpregnate cu rășină epoxidică, așezarea pe miez realizându-se în straturi succesive pe direcții preferențiale în funcție de direcția sarcinilor care urmează a fi preluate, fibrele unidirecționale se pot aplica în benzi, utilizându-se sisteme automate de așezare, iar între primul strat și miez se utilizează un film adeziv compatibil cu rășina de impregnare, care poate fi eliminat prin aplicarea primului strat de fibră cu rășină în exces.

Revendicări: 4
Figuri: 7

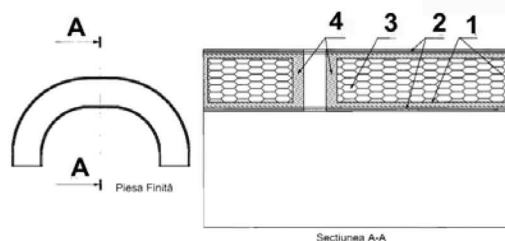
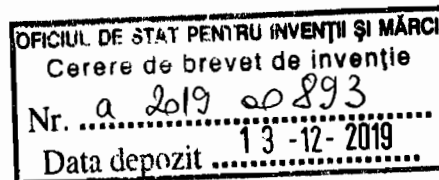


Fig. 6

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





DESCRIEREA INVENȚIEI

Procedeu de realizare a unui material compozit cu miez imprimat 3D din rășină Polieterimidă și învelișuri realizate din rășină epoxy ranforsată cu fibră de carbon

Invenția face referire la un procedeu de obținere a unei structuri compozite de tip sandwich cu miez realizat prin tehnologie de imprimare 3D cu material de tip rășină Polieterimidă (PEI), material de tip polimer amorf, caracterizat prin proprietăți termice și chimice ridicate, bună stabilitate dimensională, cu capacitatea de întârziere a flamabilității și învelișuri realizate din material compozit, bazat pe matrice din rășină epoxidică ranforsată cu fibră de carbon. Este bine cunoscut faptul că aceste materiale compozite sunt renumite pentru raportul rigiditate – greutate foarte ridicat, rezistență foarte bună la compresiune și au aplicații în numeroase domenii industriale.

Domeniul de aplicare al invenției este în principal industria aerospațială, dar poate fi extins și la alte domenii precum industria autovehiculelor sau industria navală.

Imprimarea 3D este cunoscută sub mai multe denumiri precum fabricația aditivă (AM – additive manufacturing), fabricația rapidă (RM – rapid manufacturing) sau prototipare rapidă (RP – rapid prototyping) și reprezintă un proces de obținere a obiectelor solide tridimensionale prin adăugarea de straturi de material. Obiectele fizice sunt produse realizate în urma prelucrării unui model digital 3D de tip CAD (Computer Aided Design). În momentul de față sunt dezvoltate noi materiale și tehnologii pentru imprimare 3D, iar echipamentele pentru imprimarea 3D sunt disponibile atât pentru producția industrială cât și pentru publicul larg.

Referindu-ne la contextul actual al domeniilor de aplicabilitate ale acestei tehnologii, pe lângă educație, industria medicală, industria alimentară, arhitectură, industria auto, imprimarea 3D a dezvoltat aplicații în industria aerospațială, fiind realizate piese utilizate pentru structurile de aviație și spațiale în cadrul unor tehnologii specifice.

Se cunosc mai multe procedee de obținere a obiectelor prin imprimare 3D.

Unul dintre procedeele cele mai cunoscute este FDM – Fused Deposition Modeling^[4] – Modelare prin extrudare termoplastică (depunere de material topit) fiind cea mai utilizată modalitate de fabricare aditivă datorită simplității și accesibilității acesteia. Cu ajutorul unei aplicații software dedicate, modelul 3D dorit este "feliat" inițial în secțiuni transversale numite straturi (layere). Tehnologia de printare constă în trecerea unui filament din material plastic printr-un extrudor ce îl încălzește până la punctul de topire, aplicându-l apoi uniform (prin extrudare) strat peste strat, cu mare acuratețe pentru a realiza fizic modelul 3D în conformitate cu fișierul CAD. Dezavantajele acestui procedeu sunt viteza de imprimare scăzută și acuratețe slabă pentru piese mici și detalii fine.

Un alt procedeu este SLA – Stereolithography^[4] – Stereolitografia reprezentând o prototipare rapidă utilizată la scară largă în mediul industrial pentru realizarea matritelor, modelelor și chiar a componentelor funcționale. Aceasta mai este cunoscută și sub denumirea de foto-solidificare sau fabricare optică, stereografia implică utilizarea unui fascicul laser cu lumină ultravioletă pentru solidificarea unei rășini fotopolimerice lichidă aflată în cuva de construcție a imprimantei. Dezavantajele acestui procedeu sunt

INCAS Director General Dr. Ing. Catalin NAE



rezistența medie la prelucrări mecanice și necesitatea unor operațiuni deranjante de post-procesare (uneori cu substanțe chimice posibil periculoase).

Un alt procedeu este Slective Laser Sintering^[4] – Sinterizarea Laser Selectivă, tehnologie de prototipare rapidă patentată la sfârșitul anilor '80. Această tehnologie implică utilizarea unui fascicul laser de mare putere pentru topirea (sinterizarea) anumitor pulberi în straturi succesive obținându-se astfel obiectul 3D dorit. În timpul imprimării, modelul 3D este în permanență acoperit cu pulberea de construcție, ceea ce permite realizarea unor geometrii extrem de complexe fără utilizarea unui material suport. Pulberea rămasă în cuva de construcție poate fi reutilizată la viitoarele procese de imprimare. Obiectele rezultate prin sinterizarea laser sunt poroase și nu necesită finisare decât dacă se dorește o durificare mecanică. Dezavantajul acestei tehnologii sunt costurile ridicate, dimensiunile mari ale dispozitivului de imprimare, materiale de imprimare scumpe, detaliile medii în ceea ce privește finețea (spre deosebire de tehnologia SLA) și necesitatea unor prelucrări ulterioare pentru durificarea suprafețelor.

În ceea ce privește miezul materialelor compozite de tip sandwich, de-a lungul timpului au fost dezvoltate diverse miezuri care prezintă diferite proprietăți mecanice și chimice.

Cel mai cunoscut miez este de tip "fagure" (honeycomb)^[6] și este utilizat în numeroase aplicații în industriile aeronautică și auto. Avantajele acestui tip de miez sunt greutatea volumică foarte mică și faptul că prezintă o gamă largă de materiale din care poate fi confecționat precum aluminiul, carbonul, hârtia etc. Dezavantajele acestui tip de miez sunt costurile foarte ridicate pentru realizarea lui și o rezistență scăzută la coroziune.

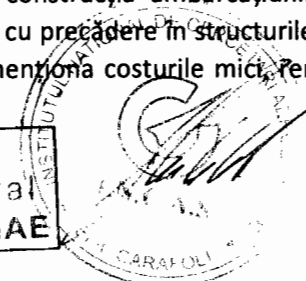
Un alt tip de miez este cel sub formă de "spumă" (foam)^[6] și este conceput sub formă de celule rigide închise. Acest lucru conduce la modalitatea înmagazinării gazului în interiorul fiecărei celule constituind astfel o aplicabilitate majoră în industria marină (prevenind imersiunea în apă). Spumele pot fi fabricate dintr-o gamă largă de materiale precum Polistirenul, Poliuretan, PVC (Polyvinyl Chloride – Policlorura de Vinil) sau PMI (Polymethacrylimide - Polimetacrilimida). Toate aceste materiale prezintă caracteristici fizice și chimice diferite, putând fi atinse densități foarte mici.

Polistirenul^[6] este obținut din petrol și este utilizat la scară largă în întreaga lume. Acesta poate fi de tipul termoset sau termoplast. Odată ce obiectele confecționate din acest material sunt sigilate cu rășină epoxy obțin o durată de viață mai mare și emit mult mai puține gaze toxice. Avantajele acestui material sunt greutatea specifică mică și costurile de achiziție foarte mici. Dezavantajele sunt acelea că materialul este inflamabil, fragil, cu rezistență slabă la solvenți și reprezintă un material cu caracter poluant, necesitând un timp îndelungat pentru a se descompune.

Poliuretanul^[6] este un material spumos cu structuri celulare închise și foarte utilizat în industria compozitelor, care conține un gaz cu conductivitate scăzută în mare parte de natură a hidroclorofluorocarburiilor (HCFC). Avantajul acestui material este gama largă de aplicații în care poate fi utilizat putând fi dur precum fibrele, protejant precum un lac de protecție sau aderent precum un adeziv, fiind totodată flexibil și durabil. Dezavantajele sunt coeficientul termic R-Value scăzut și emisiile chimice de-a lungul timpului.

Policlorura de Vinil^[6] este utilizată pe scară largă mai ales în construcția ambarcațiunilor datorită capacității scăzute de absorbție a apei. Acest material este utilizat cu precădere în structurile compozite de tip sandwich datorită proprietăților sale printre care putem menționa costurile mici, rentabilitatea,

INCAS
Director General
Dr. Ing. Catalin NAE



durata lungă de viață, proprietățile electrice și de izolare bune, caracteristicile bune de prelucrare, rezistența la solvenți și la majoritatea combustibililor, se autostinge și nu putrezeste. Cu toate acestea, PVC-ul prezintă câteva dezavantaje printre care capacitatea termică limitată, iar miezul de spumă este sensibil la degradarea cu raze UV și la oxidare.

Polimetacrilimida (PMI)^[6] face parte din familia spumelor cu structuri celulare închise se obține din amestecul acidului metacrilic și a monomerilor metacrilonitrili. Datorită proprietăților mecanice bune la temperaturi înalte poate face față presiunii ridicate fără a ceda.

Invenția se referă la stabilirea unui procedeu de obținere a unui material compozit cu **miez realizat prin imprimare 3D**, rezistent la temperaturi de peste 200 °C din PEI și **învelișuri** realizate din rășini armate cu fibră de carbon, care respectă standardele FAR 25.853, ABD 0031, OSU 65/65 privind testele de căldura degajată și testele NBS pentru măsurarea densității fumului.

Fibrele de carbon pot fi unidirecționale sau sub formă de țesătură, preimpregnate cu rășina epoxidică. Așezarea pe miez se realizează în straturi succesive pe direcții preferențiale în funcție de direcția sarcinilor ce urmează a fi preluate. Fibrele unidirecționale se pot aplica în benzi utilizându-se sisteme automate de așezare. Între primul strat și miez se utilizează un film adeziv compatibil cu rășina de impregnare. Filmul adeziv poate fi eliminat prin aplicarea primului strat de fibră cu rășină în exces.

Polimerizarea are loc în autoclavă, la temperatură și presiune controlate. Piesa de tip sandwich se introduce în autoclavă în sac de vid. În funcție de forma piesei, miezul este imprimat 3D cu adaos necesar așezării sacului de vid, a rampelor de vidare și a senzorilor de temperatură. Adaosul este utilizat și pentru a oferi sprijin de masa autoclavei piesei pregătite pentru polimerizare.

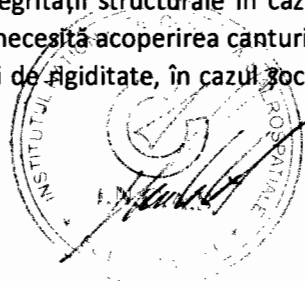
Caracteristicile miezului din PMI permit realizarea componentelor de tip sandwich de calitate prin polimerizare la temperaturi de până la 200°C și presiuni de 6 atm.

Principalele avantaje pe care le aduce această structură sunt: reducerea greutateii structurilor, posibilitatea creșterii dimensiunilor panourilor datorate unei rezistențe și stabilități ridicate, obținerea unei precizii dimensionale ridicată, emisii foarte scăzute de substanțe gazoase, rezistență chimică ridicată împotriva fluidelor hidraulice și combustibililor, procesabilitate excelentă cu o reproductibilitate foarte bună a pieselor.

Un alt avantaj pe care metoda îl introduce este scutirea timpului de fabricație al miezului cu structură de tip **hollow**. Dacă până în prezent realizarea unui miez cu acest tip de geometrie necesita fabricarea unor matrițe realizate din metal sau lemn pe mașina cu comandă numerică, iar apoi materialul era atașat matrițelor pentru a se obține forma finală, cu ajutorul imprimării 3D se poate realiza miezul într-o singură etapă și totodată se pot realiza rigidizări în jurul găurilor de trecere prin miez pentru organele de asamblare.

Alt avantaj este acela că **structura imprimată 3D** a miezului poate fi realizată cu **fețele exterioare total acoperite de material** având bune contribuții la păstrarea integrității structurale în cazul șocurilor pe canturile corpurilor și asigurarea etanșeității. Miezurile actuale necesită acoperirea canturilor cu material de protecție, îngreunând uneori structura și datorită diferenței de rigiditate, în cazul șocurilor, daunele structurale apar în zonele de colț.

INCAS
Director General
Dr. Ing. Catalin NAE



Un alt avantaj pe care îl prezintă fabricarea miezului cu ajutorul imprimării 3D este acela că se poate stabili geometria internă a miezului în funcție de direcțiile solicitărilor exterioare.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Procedeele de obținere este simplu și poate fi automatizat
- Procedeele de obținere presupun costuri relativ scăzute
- Procedeele permit obținerea unor materiale compozite hibride cu proprietăți mecanice ridicate, inclusiv rezistența la șocuri mai bună
- Procedeele scurtează timpul total de fabricație uzual al compozitelor de tip sandwich
- Costuri de fabricație mai mici
- Utilizarea miezului imprimat 3D elimină necesitatea utilizării unor matrițe, care de regulă sunt realizate prin prelucrări mecanice
- Precizia dimensională mai bună
- Posibilitatea rigidizării structurii pe direcțiile forțelor ce sunt aplicate în exploatare
- Emisii mai mici de substanțe gazoase
- Rezistență chimică mai bună a miezurilor
- Potețial ridicat în abordarea fabricării componentelor cu șanse nule a risipei de material în comparație cu tehnologiile clasice convenționale

Invenția prezintă următoarele elemente de noutate:

- Utilizarea unei structuri imprimate 3D pentru aplicații în materialele compozite hibride
- Obținerea unui material compozit cu miez închis
- Posibilitatea adaptării geometriei miezului la condițiile impuse de domeniul de exploatare al piesei

Aplicațiile sunt direcționate spre componente importante în domeniul aerospațial cum sunt palele de elicopter, suprafețele de comandă, învelișuri de fuselaj etc. Un exemplu va fi prezentat în continuare.

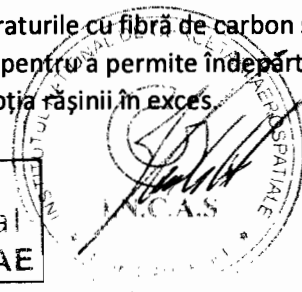
Exemplul 1.

Un exemplu de aplicare al procedeei pentru realizarea unui panou curbat este prezentat în continuare. Realizarea piesei finite se face în două etape. Prima etapă constă în imprimarea miezului împreună cu adaosul de material ce va oferi suport în așezarea pe gabarit și montarea instalației pentru vidare și a bandei de etanșare. În Figura 1 este ilustrată aplicarea învelișului exterior pe miezul imprimat 3D. Ansamblul este introdus în autoclavă la temperatură și presiune controlate.

Modul de asamblare al materialelor sub sacul de vid este figurat în Detaliul A din Figura 2. Liniile de separare indică limita utilă pentru piesa finită. Îndepărtarea materialului de adaos se poate face mecanic sau cu ajutorul dispozitivelor de debitare cu laser.

În continuare se vedează incinta de sub sac la -0.8 atm. Pe lângă straturile cu fibră de carbon se vor adăuga și două materiale auxiliare, primul prevăzut cu orificii fine utilizat pentru a permite îndepărtarea rășinii în exces, iar al doilea cu o structură poroasă pentru a ajuta la absorbția rășinii în exces.

INCAS
Director General
Dr. Ing. Catalin NAE



A doua etapă constă în întoarcerea piesei pentru realizarea învelișului interior. Procedura este similară și constă în închiderea celui de-al doilea sac și vidarea la -0.8 atm ca în Figura 3.

În Figura 4 este prezentat detaliul B care prezintă materialele constitutive situate sub sacul de vid. Se poate observa că învelișul exterior format din straturi de fibră de carbon a rămas atașat de structura miezului.

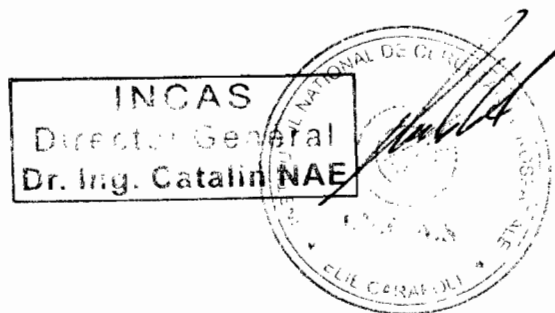
Ciclul de polimerizare în autoclavă depinde de forma piesei și de rășina utilizată. Nu este necesar să se depășească temperatura de 200 °C și presiunea de 6 atm pentru obținerea unei piese structurale de calitate.

În ceea ce privește geometria de construcție a interiorului miezului ^[5], aceasta se poate adapta cerințelor de exploatare ținând cont de direcția și de mărimea solicitărilor. Un parametru esențial este reprezentat de gradul de umplere (infill) al materialului, acesta putând varia de la valori mici de sub 10 procente și până la 100 de procente, în funcție și de capacitățile imprimantei 3D.

În Tabelul 1 sunt ilustrate câteva aranjamente de umplere a materialului uzuale în aplicațiile imprimării 3D și care pot fi preluate în cadrul aplicațiilor precum miezurile compozitelor de tip sandwich.

De remarcat este faptul că aceste structuri sunt fabricate din materiale care au fost testate în conformitate cu normele de testare ASTM și ISO 294, iar rezultatele au arătat tensiuni de rupere cu valori de până la 120 MPa ^[3].

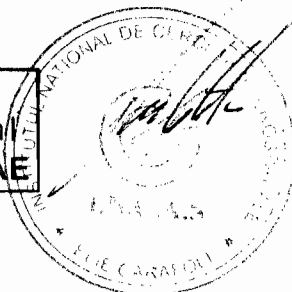
În Figura 5 este prezentată piesa finită, iar în Figura 6 este prezentată o secțiune longitudinală pentru evidențierea elementelor constitutive ale piesei, unde se poate observa și zona rigidizată pentru instalarea organelor de asamblare.



Revendicări

1. Tehnologie pentru obținerea de materiale compozite de tip sandwich constând din învelișuri realizate din rășini armate cu fibră de carbon și miez obținut din rășină PEI prin imprimare 3D, **caracterizată prin aceea că** procedura de obținere a compozitului elimină necesitatea de utilizare a unor matrițe realizate anterior prin alte procedee tehnologice.
2. Tehnologie pentru obținerea de materiale compozite de tip sandwich constând din învelișuri realizate din rășini armate cu fibră de carbon și miez din rășină PEI obținut prin imprimare 3D, **caracterizată prin aceea că** procedeul de obținere a compozitului oferă posibilitatea polimerizării rășinii aplicate pe straturile din fibră de carbon direct pe suprafața miezului în interiorul unei autoclave în condiții de temperatură și presiune controlate până la 200 °C și 6 atm, fără a afecta integritatea miezului.
3. Tehnologie pentru obținerea de materiale compozite de tip sandwich constând din învelișuri realizate din rășini armate cu fibră de carbon și miez obținut din rășină PEI prin imprimare 3D, **caracterizată prin aceea că** miezul este realizat precum un singur corp cu structură interioară de tip hollow cu fețe complet acoperite.
4. Tehnologie pentru obținerea de materiale compozite de tip sandwich constând din învelișuri realizate din rășini armate cu fibră de carbon și miez obținut din rășină PEI prin imprimare 3D, **caracterizată prin aceea că** structura miezului permite rigidizari pe direcțiile de efort și în zonele de asamblare în cadrul procedurii de imprimare 3D.

INCAS
Director General
Dr. Ing. **NAE**



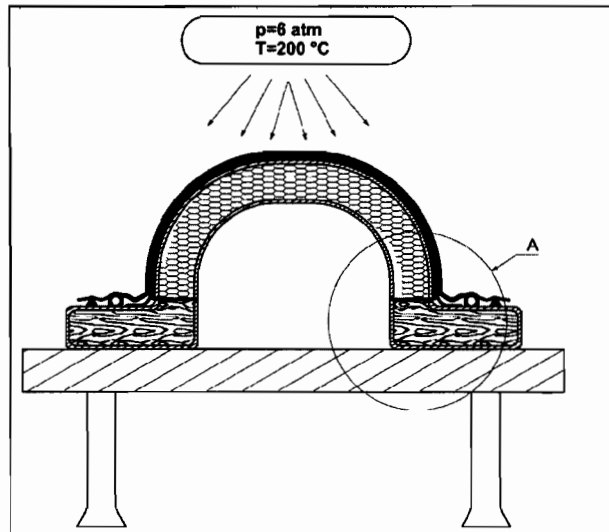
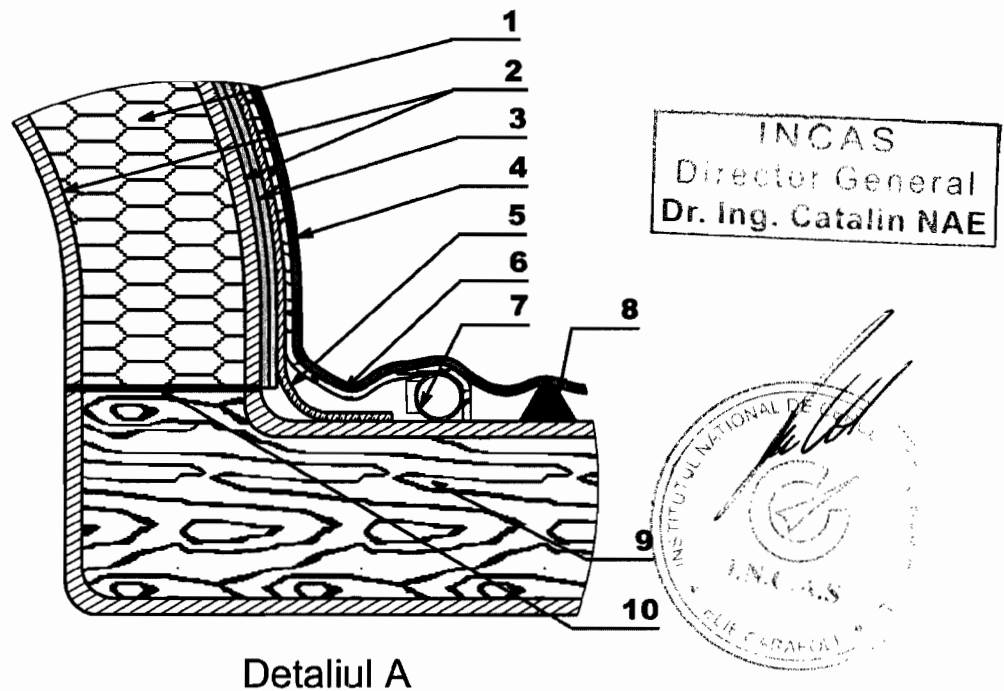


Figura 1. Formarea învelișului exterior pe miezul imprimat 3D



Detaliul A

Figura 2. Detaliul A indicând așezarea materialelor învelișului exterior sub sacul de vid

Legendă

- | | |
|--|---|
| 1. Miez (imprimare 3D) | 6. Strat prevăzut cu o structură poroasă pentru a ajuta la absorbția rășinii în exces |
| 2. Fețele Miezului (imprimare 3D) | 7. Instalație de vidare |
| 3. Straturi de Fibră de Carbon | 8. Bandă de etanșare |
| 4. Sac de vid | 9. Adaos de prelucrare (imprimare 3D) |
| 5. Strat prevăzut cu orificii fine utilizat pentru a permite eliminarea rășinii în exces | 10. Linie de separare a adaosului |

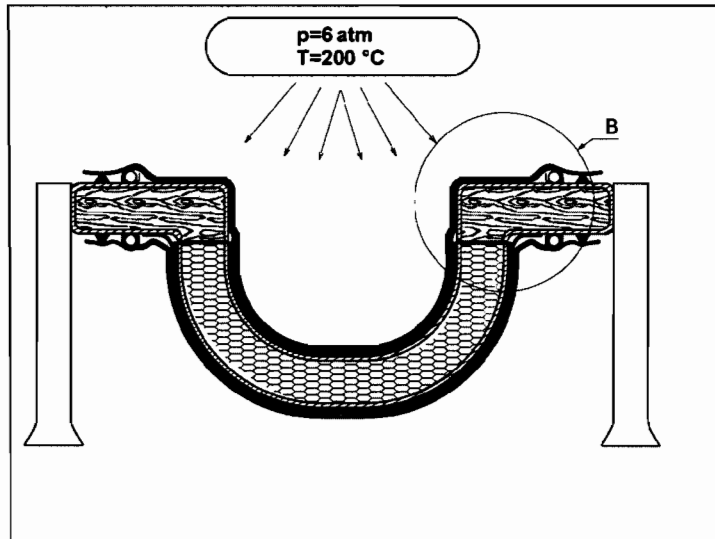
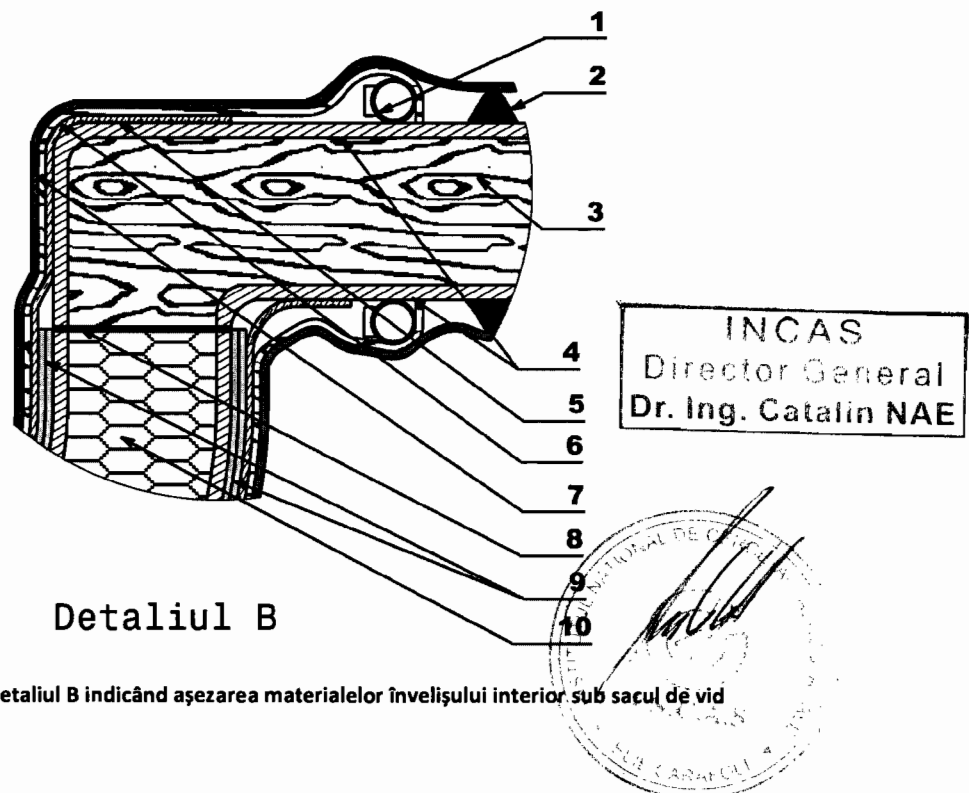


Figura 3. Formarea învelișului interior pe miezul imprimat 3D



Detaliul B

Figura 4. Detaliul B indicând așezarea materialelor învelișului interior sub sacul de vid

Legendă

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Instalație de vidare 2. Bandă de etanșare 3. Adaos de prelucrare (imprimare 3D) 4. Fețele miezului (imprimare 3D) 5. Strat prevăzut cu orificii fine utilizat pentru a permite îndepărtarea rășinii în exces | <ol style="list-style-type: none"> 6. Strat prevăzut cu o structură poroasă pentru a ajuta la absorbția rășinii în exces 7. Sac de vid 8. Linie de separare a adaosului 9. Straturi de Fibră de Carbon 10. Miez (imprimare 3D) |
|---|---|



Figura 5. Panou curbat cu miez imprimat 3D și învelișuri de fibră de carbon

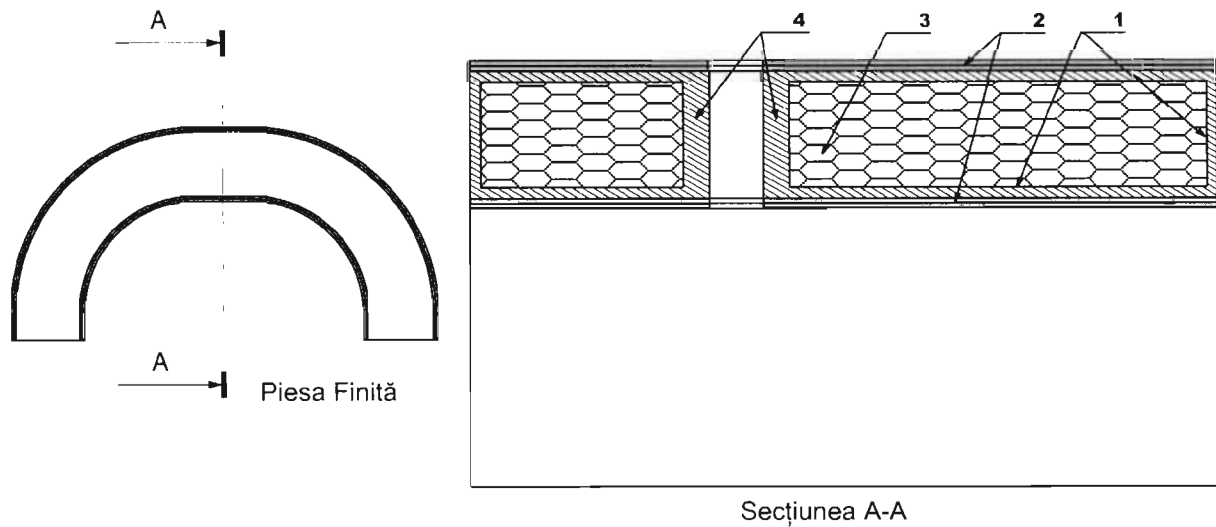
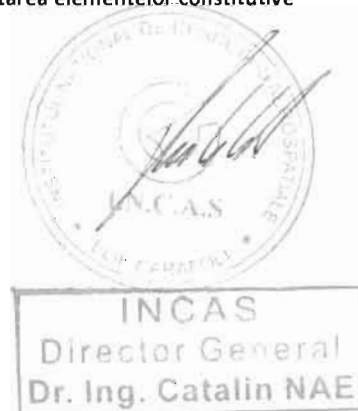


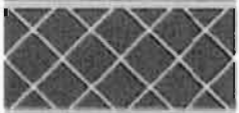

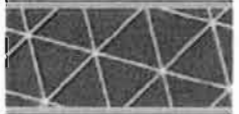

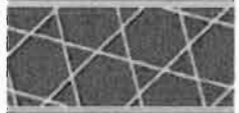

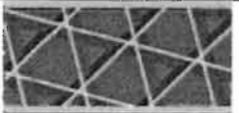
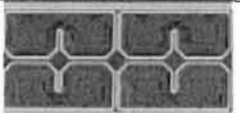


Figura 6. Secțiune longitudinală în piesa finită. Reprezentarea elementelor constitutive

Legendă

1. Fețele miezului (imprimare 3D)
2. Straturi de Fibră de Carbon
3. Miez (imprimare 3D)
4. Zonra rigidizată pentru organele de asamblare



Tabelul 1. Tipuri de aranjamente de umplere pentru structurile imprimate 3D ^[5]

Rețea		Octet	
Triunghiuri		Quarter Cubic	
Tri-Hexagon		Încrucișat	
Cubic		Încrucișat 3D	
Cubic Subdivision		Giroid	

INCAS
Director General
Dr. Ing. Catalin NAE

