

# SOLUȚII ACTUALE DE FABRICAȚIE ADITIVĂ

Andrei PLATON

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Rezumat:** În zilele noastre dezvoltarea tuturor tehnologiilor de fabricație existente, cât și celor noi, se realizează cu pași rapizi. Odată cu implementarea și aplicarea acestora pe scară largă în producere în diverse domenii (segmente de piață) de importanță majoră pentru societatea modernă, tehnologiilor aditive (TA) li se atribuie o perspectivă bună pentru viitorul apropiat. Deși sunt cunoscute de mai mult timp (prototiparea rapidă, imprimarea 3D - mai mult de 20 ani), totuși sunt în aparență alte tipuri, mai noi, de tehnologii respective, cu elemente constructiv-funcționale specifice, orișicare dintre ele, în urma evoluției și dezvoltării tehnologice, automatizare, ascendenții calității și reducerii costurilor, ar putea realiza o revoluție grandioasă în ingineria fabricației și, în același timp, ar aduce un gradient pozitiv economiei naționale.

**Cuvinte cheie:** tehnologie aditivă (TA), rășină, pulberi, liant, lumină laser ultraviolet, cap de printare, jet.

Printarea 3D reprezintă o tehnologie relativ nouă de fabricație a pieselor, de regulă, cu configurație complexă, în baza datelor informaționale ale calculatorului, prin intermediul unui sistem robotizat de fabricație aditivă (imprimanta 3d), cu utilizarea de materiale plastice, rășini, pulberi metalici printr-un proces de depunere de material în straturi rând pe rând. [1, 2]

## Avantajele TA [5, 3, 4]:

1. Prototiparea rapidă a contribuit la obținerea machetelor, modelelor, probelor, primelor produse pentru testare, într-un timp mai redus.
2. Sunt posibile modificări rapide în proiectare, la necesitate, în urma testării prototipurilor, ce pot fi produse din start multiplicat (mai multe) cu mici particularități geometrice.
3. TA pot fi utilizate la producții de serii mici și de unicate, datorită economiei de resurse materiale, legate de lipsa matrițelor pentru prototipuri, produselor de test, turnătoriilor, etc. și de resurse de timp.
4. TA pot fi utilizate și la producția în serii mari de produse, la care se pot aplica unele modificări individualizate (la calculator) în corespundere cu cerințele aparente a consumatorilor.
5. Utilizarea TA permite stocarea produselor în formă electronică (virtual) în calculator un timp nelimitat, alegerea și utilizarea lor, chiar și când nu mai sunt disponibile pe piață (dar apare o cerere), eliminând necesitatea de depozite, de produse stocate în acestea care se învechesc cu timpul, de muncitori, de cheltuieli de întreținere.
6. Prin utilizarea TA pot fi produse ansambluri de piese similar tehnologiilor tradiționale de producere, dar cu posibilitatea de reducere a componentelor din ansamblu până la una, cu aplicarea de geometrii complexe care nu necesită ajustarea la asamblare.



Fig. 1. Fabricația aditivă la Institutul Fraunhofer 08.12.2017 [5]

Apare problema de a alege tipurile de tehnologii aditive optime, din marea lor diversitate, pentru un anumit tip de produs, conform cerințelor specifice, particularizate și determinate de: materialul, dimensiunile, precizia dimensională și de formă, calitatea suprafețelor, rezistența mecanică, culoarea, textura, cost etc. În afară de aceasta, lucrurile se complică și mai mult, având în vedere faptul că nu doar tipul procedurii influențează caracteristicile finale ale obiectului fabricat, dar și setările parametrilor specifici de proces,

orientarea piesei, post-procesarea, chiar și poziția din spațiul de lucru al mașinii în care se construiește obiectul. [5, 2, 1]

**La etapa actuală sunt cunoscute următoarele tipuri de fabricație aditivă: [5, 3, 4]**

### **1. FDM – Fused Deposition Modeling. (Modelarea prin depuneri de termoplastice).**

Este o tehnologie sigură, simplă, accesibilă la un preț avantajos. Fibra (fir) de masă plastică solidă trece prin extrudor, ce are posibilitate să se deplaseze în plan, în care materialul se topește și se depune în straturi pe masa de lucru, care la rândul ei se poate deplasa vertical, conform programei din softul CAM. Masa de lucru (aparatajul, utilajul) se assemblează înăuntrul unei camere care este încălzită la o temperatură mai ridicată, pentru evitarea de răcire bruscă în urma căreia pot apărea abateri de la forma inițială. Viteza de lucru este mică cu o rezoluție mică, iar precizia cu care lucrează astfel de sisteme se consideră a fi una medie cu necesitatea ulterioară de lucrări de finisare, impermeabilitate redusă.

### **2. SLA – Stereolithography (Stereolitografie).**

Este o tehnologie bazată pe depunerea strat cu strat, pe masa de lucru cu avans vertical scufundată în rășina lichidă (fotopolimerică) în rezultatul acționării cu o lumină laser ultraviolet în plan. După finalizarea operațiilor de stratificare, obiectul se pune într-o baie chimică specială pentru sporirea durabilității. Este o tehnologie disponibilă la prețuri relativ mari (de la aproximativ 50 000 EUR). Precizia și viteza de prelucrare de prelucrare este foarte bună, dar produsele nu sunt prea trainice, mai ales în rezultatul acțiunii asupra produselor a luminii de zi.

### **3. DLP – Digital Light Processing (Procesarea digitală a luminii).**

Este o tehnologie bazată pe depunerea strat cu strat a unei rășini lichide (polimerice, fotoreactive) și solidificare prin acționarea cu lumina ultravioletă, radiată de un set de oglinzi speciale și focalizată de o lentilă. Masa de lucru orientată cu fața în jos, se deplasează până la nivelul lichidului din cuvă și inițial doar îl atinge, apoi după solidificarea primului strat, se mișcă pe verticală, îndepărtându-se sau apropiindu-se de suprafața masei lichide. Fiecare oglindă generează pixeli pentru planul modelului proiectat în mod automatizat. Este o tehnologie disponibilă la prețuri medii (de la aproximativ 20 000 EUR). Viteza de prelucrare este bună, iar precizia foarte bună. Se obțin produse cu o rezistență a structurii bună și geometrii complexe.

### **4. SLS – Selective Laser Sintering (Sinterizare selectivă cu laser).**

Este o tehnologie bazată pe sinterizarea (topirea) a stratului de pulbere de pe masa de lucru, care se deplasează pas cu pas pe verticală în jos la formarea fiecărui strat, prin intermediul unui laser de putere mare. Între etapele vecine de formare a straturilor un tăvălug (cilindru, tambur) din cuva vecină, unită prin intermediul unui platou (platforme, plan), aduce (împinge, alimentează) un adaos de material, formând un strat nou subțire, nivelat, întins uniform, de pulbere deasupra suprafeței deja prelucrate și neprelucrate. La finele procesului, produsul se află scufundat integral în această masă de pulbere (*infiltrare*). Este o tehnologie disponibilă la prețuri mari (de la aproximativ 100 000 EUR). Viteza de prelucrare este medie, iar precizia este bună. Se obțin produse cu geometrii extrem de complexe, rezistente la temperaturi ridicate, fără utilizarea materialelor de suport și care nu necesită finisarea ulterioară.

### **5. SLM – Selective Laser Melting (Topire selectivă cu laser).**

Este o tehnologie asemănătoare SLS, bazată pe topirea și sudarea stratului de pulberi metalici prin intermediul unui laser. Procesul are loc într-o cameră cu gaz inert (N<sub>2</sub> sau Ar) separată de mediu exterior. Este o tehnologie disponibilă la prețuri mari (de la aproximativ 100 000 EUR). Viteza de prelucrare este medie, iar precizia este bună. Se obțin produse cu geometrii extrem de complexe, ușoare.

### **6. 3DP (Three-Dimensional Printing) inkjet printing (Printare inkjet trei-dimensională).**

Este o tehnologie bazată pe lipirea particulelor din stratul de pulberi de pe masa de lucru care se mișcă pe verticală pas cu pas la formarea fiecărui strat, cu ajutorul unui liant injectat prin duza capului de printare care execută mișcări în plan. Între etapele vecine de formare a straturilor un tăvălug (cilindru, tambur) din cuva vecină, unită prin intermediul unui platou (platforme, plan), aduce (împinge, alimentează) un adaos de material, formând un strat nou subțire, nivelat, întins uniform, de pulbere deasupra suprafeței deja prelucrate și neprelucrate. Piesa finală se obține după îndepărtarea prin suflare a particulelor de pulbere din adâncituri, goluri și cavități. Este o tehnologie disponibilă la prețuri mari (de la aproximativ 150 000 EUR).

Viteza de prelucrare este foarte bună, iar precizia este medie. Se obțin produse cu rezistență medie, dar cu geometrii extrem de complexe, rezistente la temperaturi ridicate, fără utilizarea materialelor de suport și care nu necesită finisarea ulterioară.

### **7. LOM – Laminated Object Manufacturing (Fabricare obiectelor prin laminare).**

Este o tehnologie bazată pe lipirea cu ajutorul unui adeziv a foilor subțiri (straturilor) din masă plastică sau celuloză (hârtie), tăiate de un laser sau un cuțit conform geometriei stratului respectiv proiectat în aplicația CAM. Suprafața stratului din afara conturului piesei este tăiată mărunț pentru îndepărtarea ulterioară. Este o tehnologie disponibilă la prețuri mari (de la aproximativ 10 000 EUR), cu costuri mici la consumabile. Viteza și precizia de prelucrare este medie.

### **8. PJP – PolyJet Printing (Printare PolyJet).**

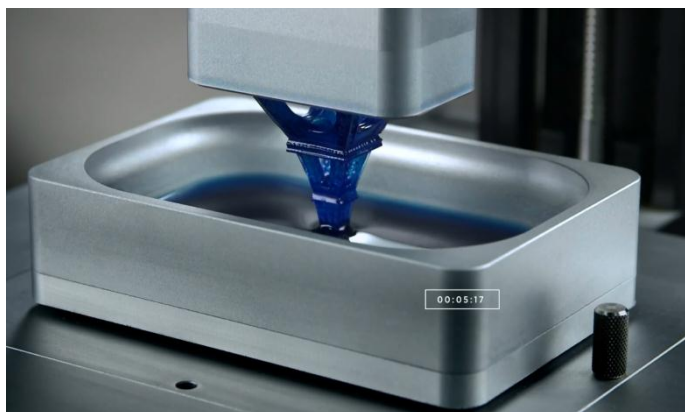
Este o tehnologie asemănătoare cu SLA și Inkjet, cu fotopolimeri lichizi. Deosebirea constă în ceea ce lumina de laser ultraviolet nu acționează strat cu strat fotopolimerul lichid din cuva plină cu acesta, dar stratul de pe masa de lucru cu geometria deja formată prin injectare de către capul de printare. Această tehnologie permite (de la cuvântul PolyJet) printarea cu capuri multiple cu utilizarea de materiale diferite. Este o tehnologie disponibilă la prețuri mari (de la aproximativ 100 000 EUR). Precizia de prelucrare este foarte bună, iar viteza este medie spre bună.

### **9. EBMT - Electron Beam Melting Technology (Tehnologia de topire cu fascicule de electroni).**

Este o tehnologie asemănătoare SLM, doar că topirea și sudarea stratului de pulberi metalici se realizează prin intermediul fasciculelor de electroni.

### **10. Continuous Liquid Interface Production CLIP Technology (Tehnologia CLIP). [5, 1]**

Specialiștii companiei Carbon3D, eminentă în domeniul fabricației aditive, lansată în 2013, au reușit să elaboreze o nouă tehnologie CLIP cu un proces tehnologic radical nou care ar permite producerea pieselor cu proprietăți mecanice mai bune și cu viteze de 25-100 de ori mai rapide decât tehnologiile disponibile actualmente. În câteva luni această companie a reușit să atragă investiții de 50 mil. \$ prezentând în acțiune tehnologia CLIP (Continuous Liquid Interface Production).



**Fig. 2. Producerea pieselor prin tehnologii aditive CLIP, prin deplasarea mesei de lucru verticală[5]**

Este o tehnologie asemănătoare SLA, bazată pe solidificarea strat cu strat a unei rășini lichide (fotopolimerică) în rezultatul acționării cu o lumină laser ultraviolet. Deosebirea constă în utilizarea unui agent care împiedică solidificarea rășinei care nu trebuie prelucrată, a oxigenului ( $O_2$ ), care pătrunde în rășină formând un strat subțire a câteva zeci de micrometri, datorită căruia solidificarea este imposibilă. În plus această tehnologie prevede utilizarea a unei sticle speciale transparente (străvezie) și permeabilă atât pentru lumină cât și pentru oxigen, se aseamănă cu o lentilă de contact. Dozarea necesară de  $O_2$  și timpul de depunere a acestuia în rezervor se reglează automat cu exactitate mare.

*De exemplu, aceeași piesă care se poate produce prin intermediul tehnologiei SLA timp de 690 minute (11,5 ore), prin intermediul tehnologiei SLS în 210 minute (3,5 ore), prin tehnologia Polyjet - 180 minute (3 ore), iar prin intermediul CLIP în doar 6 minute.*

Aceeași companie Carbon3D a declarat disponibilitatea a două materiale noi pentru fabricație aditivă, rășina epoxidică EPX 82 și poliuretanul elastomeric EPU 41 cu rezerve bune la proprietățile mecanice, ce permite de a trage atenția mai mult asupra proiectării și nu asupra limitelor reale și posibilităților metodelor de producere. Materiale cu care spre exemplu au de gând să producă încălțăminte sportivă Futurecraft 4D a companiei Adidas prin tehnologii aditive, cu care sunt într-o colaborare strânsă.

Materialul EPX 82 are proprietăți mecanice similare cu materialele termoplastice umplute cu particule de sticlă cu ar fi GF-Nailon sau GF-PBT. Își poate păstra proprietățile până la temperatura de  $125^{\circ}C$ . Poate fi folosit în proiecte unde este necesar un echilibru între densitate, durabilitate și rezistență bună, spre exemplu pentru diverse elemente de fixare, de asamblare, pentru producerea caroseriei (corp, carcasă) automobilelor,



*palelor aerodinamice elicoidale de orice complexitate a geometriei profilului turbinelor eoliene cu ax vertical.* Piesele obținute au proprietăți mecanice mai superioare decât cele produse prin turnare sub presiune.

Materialul EPU 41 este un elastomer cu proprietăți plastice și elastice foarte bune. Posedă o rezistență sporită la rupere, se comportă bine la întindere (stare energetică interioară rentabilă chiar și la temperaturi joase). Materialul este ideal pentru absorbția șocurilor și amortizare.[5, 1]

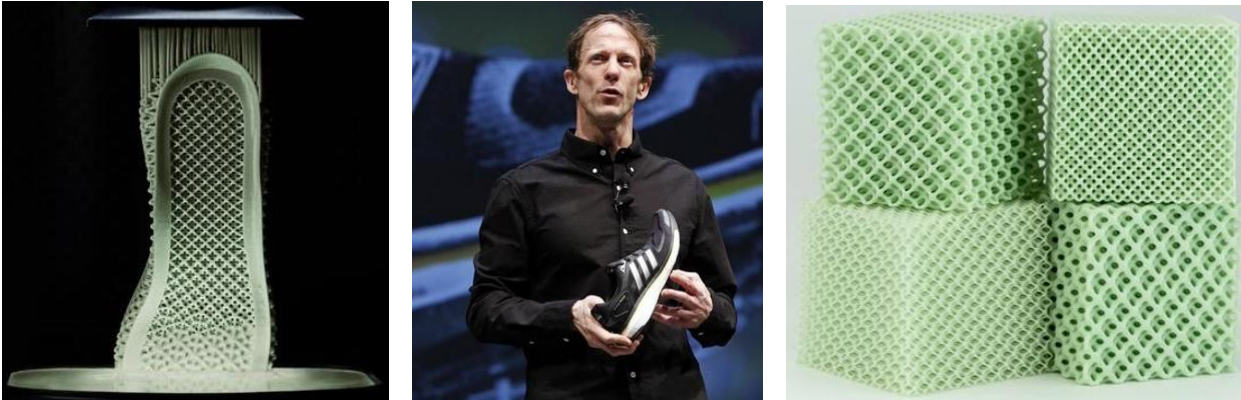


Fig. 3. Prezentarea încălțămintei sportive Futurecraft 4D a companiei Adidas produsă prin TA.[5]

### Concluzie:

Tehnologiile aditive sunt în pragul unei revoluții în domeniul ingineriei fabricației.

Astfel, companiile mari cum ar fi: 3D Systems, Stratasys, Voxeljet, ExOne și altele, sunt preocupate în dezvoltarea de noi tehnologii sau îmbunătățirea celor vechi și se pregătesc de un nou val impresionant de inovații în direcția fabricației aditive.

Pentru fabricația prin intermediul TA, trebuie să putem determina avantajele și limitele fiecărui tip de prelucrare și performanțele minime a mașinilor de fabricație aditivă pentru producția unei anumite piese.

În cadrul Universității Tehnice a Moldovei a fost elaborat, fabricat **cu succes** și cercetat experimental în tunelul aerodinamic G.U.N.T. Hamburg, un model fizic al rotorului eolian cu ax vertical, tripal, cu geometrie elicoidală și profil NACA—0018, produs la o 3D-imprimantă fabricată de către UTM prin metoda de Tehnologie Aditivă **FDM** (tipul 1).



Fig. 4. Rotorul eolian cu ax vertical, tripal, cu geometrie elicoidală și profil NACA—0018 (UTM)

### Bibliografie:

1. I. Bostan, V. Dulgheru, I. Sobor, V. Bostan, A. Sochirean, Sisteme de Conversie a Energiilor Regenerabile, ISBN 978-995-63-076-4, UTM, -Ch.: „Tehnica-Info”, 2007 (Tipografia Bons Offices).
2. Viorel BOSTAN, „MODELE MATEMATICE ÎN INGINERIE. Probleme de contact. Modelări și simulări numerice în aero-hidrodynamică, edit. „Bons Offices”, Chișinău 2014, ISBN 978-9975-80-831-6
3. L. Jyothish Kumar, Puiak M. Pandey, David Ian Wimpenny, 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies, ISBN 978-981-13-0304-3, © Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019.
4. Sharlotte Kramer, Jennifer L. Jordan, Helena Jin, Jay Carroll, Alison M. Beese, Mechanics of Additive and Advanced Manufacturing, Volume 8, ISBN 978-3-319-95082-2, © The Society for Experimental Mechanics, Inc. 2019.