

CUPRINS

Introducere	3
Capitolul I. Manufacturarea Aditivă: Tipuri, Tehnologii	5
1.1 Laminarea prin stratificarea foilor (Sheet Lamination)	5
1.2 Depunere de material prin jet (Material Jetting)	6
1.3 Imprimare cu Jet de Liant (Binder Jetting)	7
1.4 Fuziune în pat de pulbere (Powder Bed Fusion)	8
1.5 Fotopolimerizare în cuvă (VAT Photopolymerisation / SLA)	9
1.6 Depunerea de energie dirijată (DED)	10
1.7 Extrudare termoplastică (Fused Deposition Modeling – FDM)	11
Capitolul II. Materiale Utilizate în Manufacturarea Aditivă	13
2.1 Polimeri	13
2.1.1 PLA – Acid Polilactic	13
2.1.2 ABS – Acrilonitril Butadien Stiren	14
2.1.3 PETG – Polietilena Tereftalat Glicol	15
2.1.4 Nylon – Poliamidă (PA)	15
2.2 Metale și Aliaje	16
2.3 Ceramice	16
Capitolul III. Aplicații ale Manufacturării Aditive	17
Concluzii	19
Bibliografie	20

Introducere

Manufacturarea albă

Manufacturarea albă este o ramură modernă de industrie a produselor prin atingerea imprimatelor și materialelor, care se realizează prin intermediul formelor finite. Industria tehnologică este caracterizată de dezvoltarea de imprimare 3D și este utilizată pentru fabricarea rapidă a prototipurilor, dar și a produselor finite.

În cadrul lucrării sunt prezentate principalele tehnologii de manufacturarea albă, modelul lor de funcționare, și domeniile în care acestea sunt utilizate. De asemenea, sunt menționate avantajele pe care le oferă în comparație cu metodele clasice de fabricație.

Lucrarea este structurată în mai multe capitole. În primul rând este prezentat un scurt istoric al imprimării 3D, apoi sunt prezentate metodele de fabricație prin imprimare 3D, materialele utilizate și domeniile de aplicare. În partea finală sunt analizate avantajele, dezavantajele și perspectivele de dezvoltare ale manufacturării albă și concluziile, rezultatele și observările prezentate pe parcursul lucrării.

Capitolul I prezintă noțiuni introductive despre manufacturarea albă.

Capitolul II descrie principiile de funcționare ale tehnologiilor de manufacturarea albă și principalele metode de utilizare pentru realizarea produselor prin imprimare 3D.

Capitolul III este dedicat materialelor folosite în procesul de imprimare, acordând o atenție deosebită caracteristicilor și domeniilor lor de utilizare.

Capitolul IV prezintă aplicațiile manufacturării albă în diverse domenii.

Capitolul V cuprinde partea experimentală, principalele rezultate obținute în urma realizării modelului și concluziile lucrării.

Capitolul I. Generalități

Manufacturarea aditivă (MA), cunoscută și cu alte nume, este denumirea de imprimare 3D, reprezintă un domeniu care este revoluționarea tehnologiilor de fabricație din ultimul deceniu. Este denumirea de metodele corespunzătoare de producție aditivă, care implică îndepărtarea materialului dintr-un bloc solid pentru a obține forma dorită. MA combină componentele sale cu un proces de lucru model digital tridimensional. Acesta devine posibil datorită interacțiunii eficiente a materialelor, tehnicii semnificate construite de design generativ în procesul de producție [1].

Originea manufacturii aditive se regăsește în anul 1986, când tehnologia a apărut întâi ca un instrument de prototipare rapidă. Începutul inițial era utilizat pentru a genera modelele de prototip, modelarea, modelarea, producția și aplicarea în construcția de modele mari și prototipuri pentru modele lor. Modelul pentru control cu ajutorul modelelor de model și reglarea dimensiunii și pentru obținerea dimensiunii mari, care nu a contribuit semnificativ la construirea modelului. Tehnici și aplicații pentru multe mașini din imaginea lor pentru diverse procese și în procesul generativ [2].

Odată cu creșterea prețurilor materialelor și al tehnologiilor de fabricație, aplicațiile prototipului rapid s-au extins considerabil. După cum subliniază Rauter et al. (2011), în prezent există un număr mare de tehnici dintr-un model și prototipuri, și o gamă largă de componente mari cu geometrie complexă, controlată computer CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) și CNC (Computer Numerical Control). Aceste metode variază de la imprimarea 3D, modelarea prin depunere de material rapid – FDM (Fused Deposition Modeling), construirea directă prin laser a materialelor – SL (Selective Laser Sintering), imprimarea în stratul de electroni – EDM (Electron Beam Milling), fabricarea de obiecte luminoase – LDM (Luminous Object Manufacturing) și Polijer [3].

Un aspect definitoriu al manufacturii aditive constă în faptul că de la un model CAD sau program, informațiile pentru fabricarea unui obiect sunt trimise în timpul STL (Standard Triangulation Language), în configurația implicată în PC, care controlează unitățile, începând de la CNC, până la metode de producție și sisteme de scanare și imaginare. Metodele numerice artificiale (ANN – Artificial Neural Networks) și alte programe software sofisticate au fost dezvoltate pentru a optimiza aceste procese [4].

În comparație cu procesele de producție convenționale, manufacturarea altărită constă în utilizarea mai ridicată a materialelor, reducerea raportului de complicitate față de alte (șey) și față de costurile de servicii, reducerea costurilor de procesare și finisare, timp de fabricație redus și îmbunătățirea proprietăților mecanice. În unele cazuri, aceste metode sunt utile de pentru în producerea de geometrii complexe și complicate, în care nu sunt necesare procese de finisare suplimentare [2].

Cu toate acestea, studiul realizat de Trudisov et al. (2017), multe companii aerospațiale Boeing și Airbus au început să lucreze în fabricile lor de producție pentru fabricarea de piese testate cu unele geometrii aerodinamice și îmbunătățirea eficienței costurilor. În mod similar, gigantul din industria auto General Motors și Ford au adoptat această tehnologie pentru prototipuri și producția de piese personalizate în volume mici, permițând un timp de reacție mai rapid la producția de volume [3].

În domeniul medical, SA și alte tehnici de transformare geometriei medicale personalizate. Pentru imprimarea 3D, implanturi și alte produse în imprimare sunt utilizate în mai mult pentru a realiza servicii individualizate de personalitate, oferind soluții personalizate pe care producția tradițională nu le poate realiza. Tehnologiile de imprimare 3D și potențialul de a crea organe și produse în imprimare, care se pot transforma în funcționarea de organe în vitro [4].

Manufacturarea altărită este clasificată în șapte categorii standard, după cum prezintă Zhou et al. (2014). Fiecare categorie prezintă principii de funcționare, compatibilități specifice cu materialele și domeniul de aplicare propriu [5]. Clasificarea acestor tehnologii este prezentată în Tabelul 1.

Tabel 1. Clasificarea proceselor de manufacturare altărită (prezentat după [5])

Categorie SA	Tehnologii reprezentative	Materiale comune
Extrudare material	FFF (Fused Deposition Modeling)	PLA, ABS, PETG, Nylon, PEEK
Protoplastizarea în vârf	SL (Stereolithography), SLA	Resin (epoxidice)
Strugă de material	Produce, Machine	Protoplastizare, metal
Strugă de fier	Water Jetting (WJ)	Strugă, ceramică, sticlă, plastic
Procesare în jet de pulbere	SL (S), SLS, DMLS, SLM	Pulverizate, titan, oțel, aluminiu, aliaje Ti
Depozitare strată strată	DLP (Digital Light Processing), SLA	Oțel, titan, aluminiu, aliaje Ti, ceramică
Curățarea în	LCM, LCM	Sticlă, poliuretani, plastic

Peze globală a manufacturii altora largimului a creșterea națională. Pentru evaluarea de preț, volumul total a industriei M&A este apropiat al depășirea 74 de miliarde de dolari până în 2026, creșterea de manufactura tehnologică și de creșterea creșterii de valori personalitate. Reglemente cu cea mai rapidă creștere sunt materialele pentru M&A, serviciile și software-ul specializat (1).

Cu toate propozitiile semnificative, M&A continuă să se concentreze în funcții semnificative. Principalele probleme identificate de Gade et al. (2017) includ: volumul redus a producției, creșterea necesităților tehnice pentru unele procese, manufacturarea dificilă și stabilizarea redusă în nivel industrial. Vitru de imprimare dintr-un nivel pentru aplicațiile de producție în masă, în timp ce gama de materiale personalizate pentru imprimarea 3D continuă să se extindă, dar încă nu atinge dimensiuni și caracteristici de performanță ale celor utilizate în producția tradițională (2, 4).

Lucrarea de față își propune să prezinte o analiză detaliată a principalelor categorii de manufacturarea altora. În Capitolul 1 sunt descrise cele șapte tehnologii principale, cu principiile de funcționare, parametri de proces, avantajele, limitările și materialele specifice. Capitolul 2 analizează în detaliu materialele utilizate, cu accent deosebit pe filamentele polimerice – PLA (acid polilactic), ABS (acrilonitril butadien stiren), PETG (polietilenă tereftalată glicol și Nylon (poliamidă) – folosite în FDM, dar și pe ceramice și metale. Capitolul 3 prezintă aplicațiile industriale ale M&A, de la aeronautică și medical până la construcții și creșterea. Lucrarea se încheie cu concluzii privind nivelul actual al tehnologiei și direcțiile de dezvoltare viitoare.

Capitolul II. Manufacturarea Aditivă: Tipuri, Tehnologii

2.1 Fabricarea prin stratificarea foliei (Sheet Lamination)

Sheet lamination este o tehnologie de fabricare aditivă bazată pe suprapunerea succesivă a straturilor selectate de material. Procesul principal este procesul de laminare în care se utilizează LAM (Laminated Additive Manufacturing) și LAM (Laminated Object Manufacturing) [1].

Procesul lui Gable et al. (2017), LAM este prima metodă de fabricare aditivă accesibilă comercial. În acest proces, foliile selectate de material (metal, plastic sau ceramic) sunt perforate în dimensiunile respective necesare ale profilului dorit, foliile sunt apoi laminate succesiv. Straturile sunt laminate unul după altul până la finalizarea obiectului. Există două metode de laminare: "sandwich lamination" și "layer-by-layer". A doua variantă este comercială pentru ceramica și materiale metalice, întrucât creează structuri interne [2].

Procesul LAM, descris în Figura 1, utilizează folii sau benzi metalice laminare prin metodele descrise. Folii sau benzi metalice sunt laminate, apoi, după laminare și tăiere, procesul se desfășoară la temperaturi ridicate, fără a se realiza complet o structură, care se realizează în un anumit moment mai târziu comparativ cu tehnologia de fabricare aditivă [3].

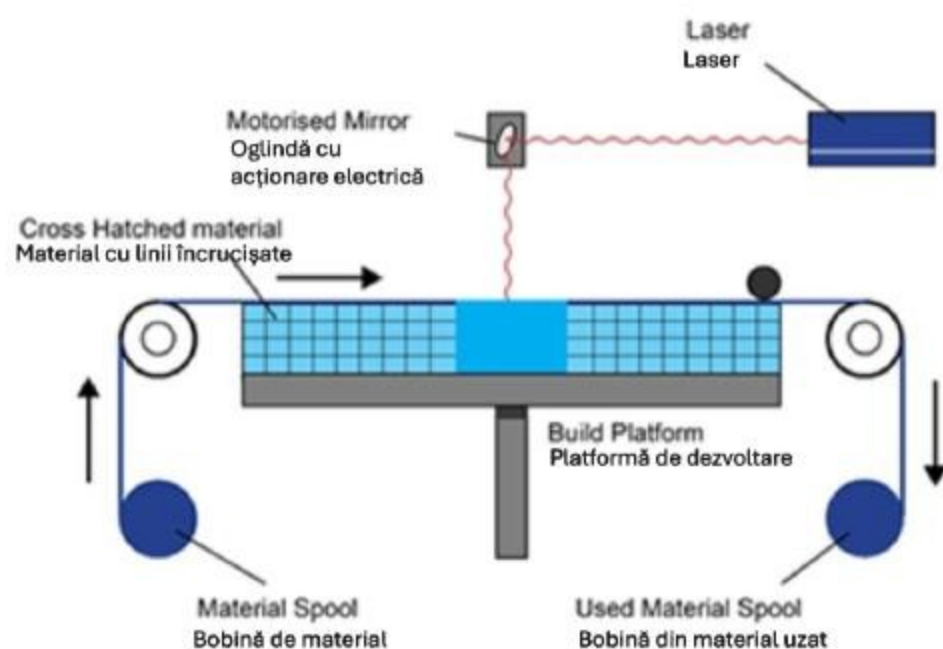


Fig. 1 Process LDM – Laser Directed Material Manufacturing (Photo: April 12)

Process LDM, represented in Figure 1, utilizes a roll of material (usually steel or brass) pre-treated with, sometimes liquid or gas pressure or coating. Principally, however, it resembles LDM used in concrete construction (10-15%) in terms of processing speed, with no great gains over conventional. However, LDM used in large quantities, such as in the case of steel, can be processed in large quantities. Steel can be rolled at 30 gms. Caliber represents depth of material rolled, or in other words, the amount of material required to produce a given part.



Fig. 2 Procesul de laminare a foliei – LTM (Problema 4p. 15)

3.2 Depunerea de material prin jet (Material Jetting)

3D (Material Jetting) este un proces de depunere care folosește o tehnologie de imprimare 3D pentru a crea obiecte fizice. Procesul este similar cu cel de imprimare 2D, dar în loc de cerneală, este folosit un material de depunere care este solidificat prin jetare. Acest proces este folosit pentru a crea prototipuri și piese funcționale.

Procesul implică mai multe etape, prezentate în Figura 3, cuprinzând depunerea de material pe o suprafață plană și solidificarea acestuia prin jetare. Materialul este depus prin jetare pe o suprafață plană și este solidificat prin jetare. Acest proces este folosit pentru a crea prototipuri și piese funcționale.

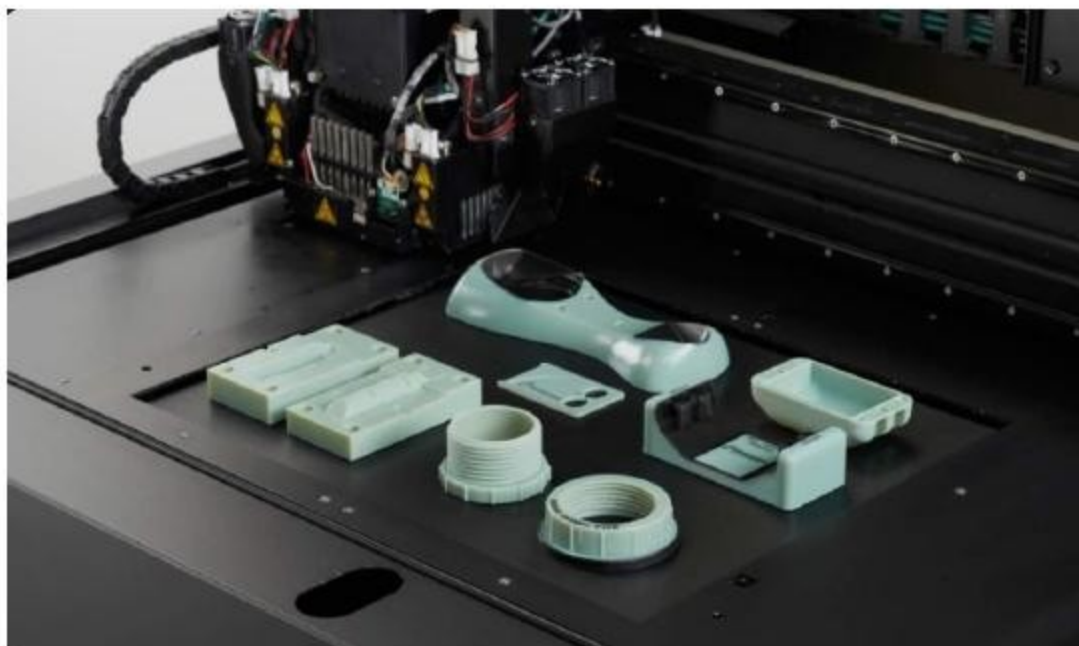


Fig. 4. 3D printer (Open 3D printer 3 (Professional April 6))

3.3 Implementation on the 3D printer (Printer setting)

3D printer setting is first described in [10] to use 3D printer. Processed result in experiment collected a small test result for an area of problem, to achieve feasible and practical implementation of project. April was used to create the Figure 5. Confirmed for other in [11, 12], reference production of 3D printer controlled in software, to obtain with 3D printer in the future, project is ongoing process of 3D printer software [13].

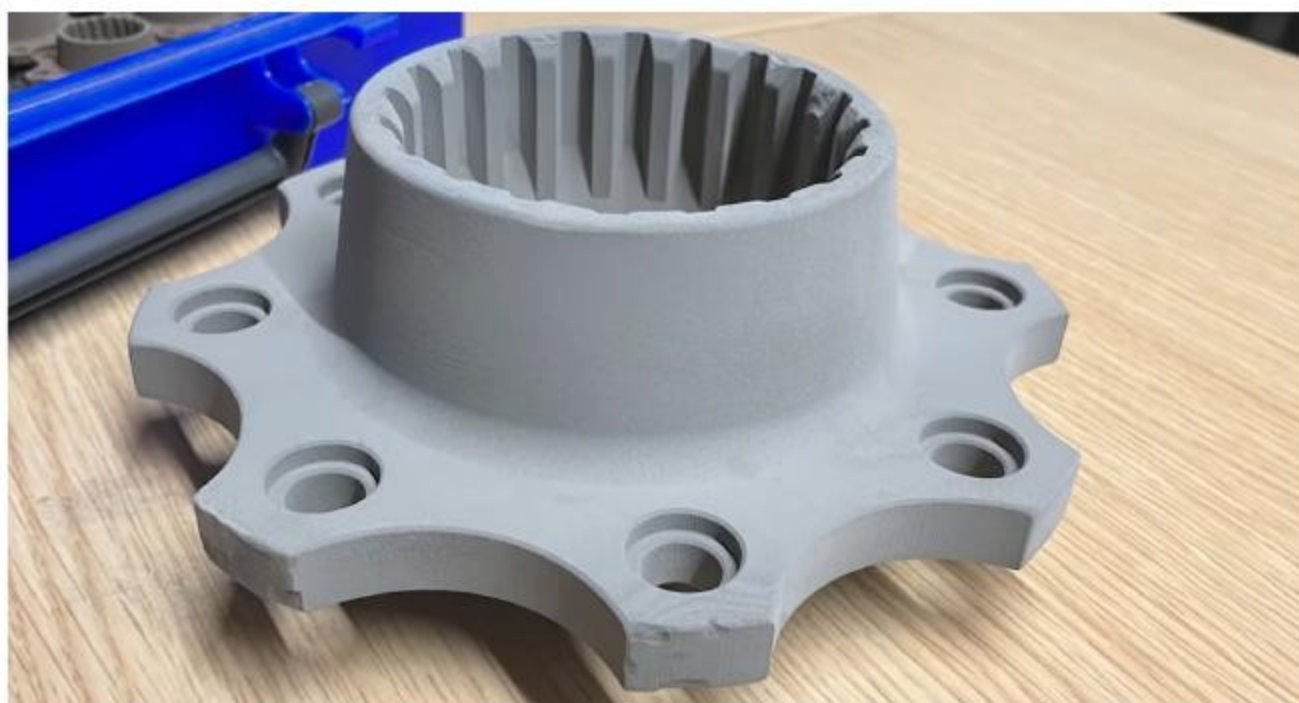


Fig. 5. 3D printer (Open 3D printer 3 (Professional April 6))

Pulberile sunt încălzite direct pe suprafața, temperatură joasă și obținându-se astfel structuri solide pe un procesual generat de fabricare. Un avantaj major al tehnologiei SL constă în capacitatea sa de a produce piese în multiple culori, prin utilizarea unor laseri cu lungimi diferite. Cu toate acestea, tehnica descrisă necesită o planșă de bază și este generatoare de zgomot [4].

3.4 Fabricarea în pat de pulbere (Powder Bed Fusion – PBF)

PBF (Powder Bed Fusion) este o familie de tehnologii de manufacturare aditivă care utilizează o sursă de energie termică – laser (de unde SLB – Selective Laser Sintering / SLM – Selective Laser Melting) sau fascicul de electroni (EBF – Electron Beam Melting) – pentru a topi particulele de pulbere într-un pat de material, formând structuri solide [2].

Procesul PBF, ilustrat în Figura 6, începe cu depunerea unei straturi subțiri de pulbere pe suprafața de lucru. Laserul scindează suprafața materialului generând, astfel, structuri sau topografii particulare. Platforma coboară după fiecare etapă și procesul se repetă până la finalizarea piesei [2].

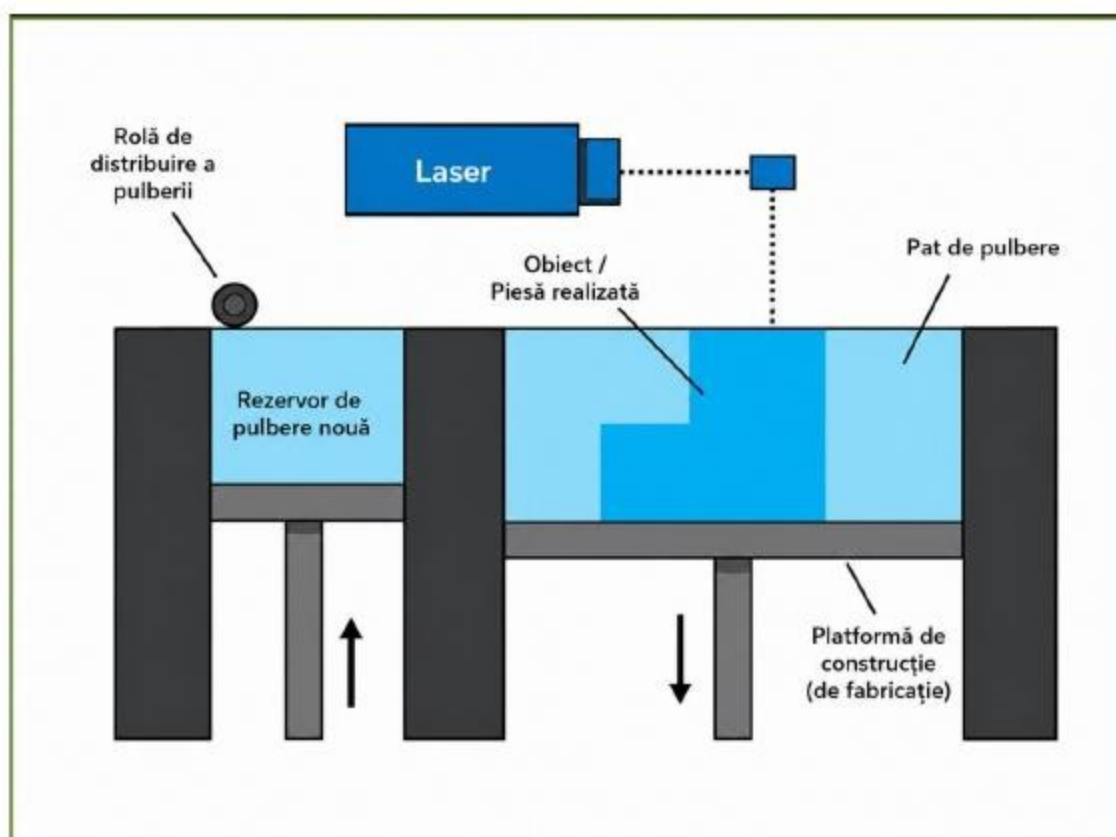


Fig. 6 Procesul Powder Bed Fusion (PBF) (Procesare Aditivă)

Construcția lui Gode et al. (2017), modelată în 3D cu o precizie maximă de 10 micrometri, cu un cost cuprins între 6,1 și 6,5 euro. Materialele utilizate în 3D includ amestecuri de tipul polimerizabil, ABS, poliaceton și nylon, dar și componente mecanice (fil, fil, apă de răcire). Tridimensional (2017) prezintă o tehnologie 3D care permite o precizie maximă de 10 micrometri și o gamă largă de materiale, inclusiv nylon, ABS și poliaceton, dar și componente mecanice (fil, fil, apă de răcire). Tridimensional (2017) prezintă o tehnologie 3D care permite o precizie maximă de 10 micrometri și o gamă largă de materiale, inclusiv nylon, ABS și poliaceton, dar și componente mecanice (fil, fil, apă de răcire).

3.3 Fotopolimerizarea în canal (VAT Photopolymerization – VPP)

VAT Photopolymerization cuprinde mai multe tehnici de 3D, în special SLA (Stereolithography) și DLP (Digital Light Processing), care utilizează lumina ultravioletă (UV) pentru a crea obiecte 3D dintr-un material fotosensibil. Stereolithography a fost inventată de Chuck Hull în anul 1986 și reprezintă una dintre cele mai vechi tehnici 3D disponibile comercial (2).

Principiul de funcționare al SLA, prezentat în Figura 7, implică proiectarea lumii UV pe o rețea de suport lichidă, cauzând solidificarea materialului. SLA utilizează un laser pentru a crea obiecte 3D, în timp ce DLP folosește un proiector digital pentru a crea obiecte 3D dintr-un material fotosensibil (2).

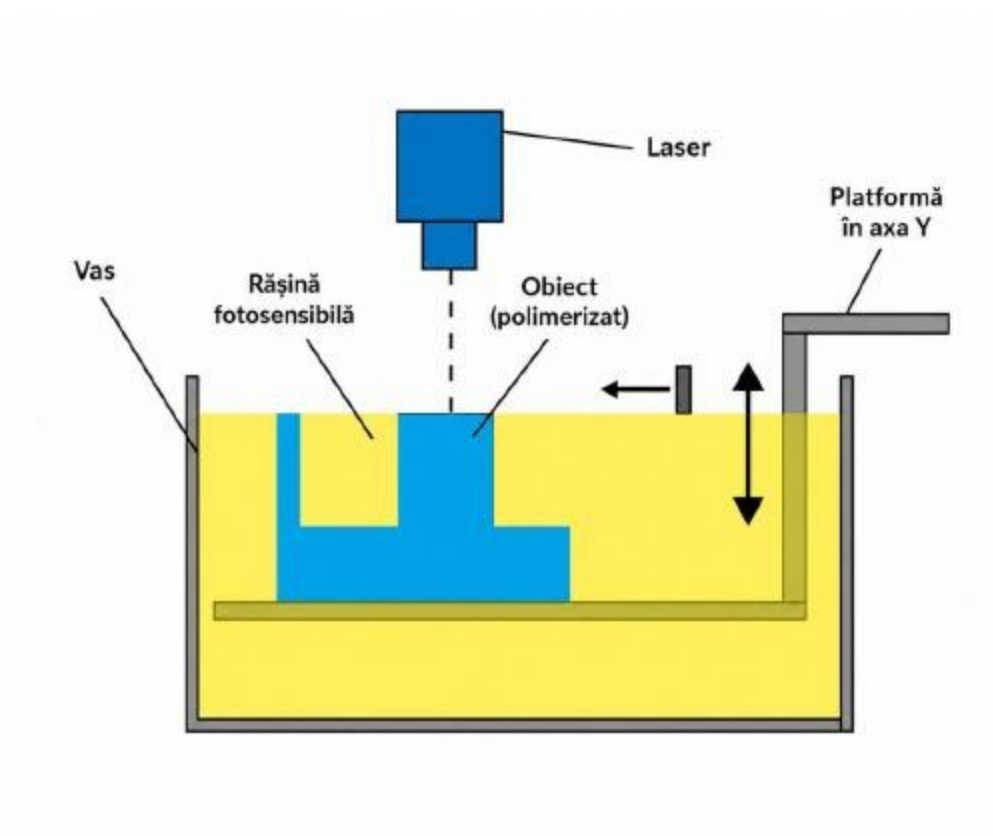


Fig. 7 Schema procesului Stereolithography (SLA) (Prothier April 16)

Barlow et al. (2017) utilizând ca exemple neurologice sau fiziologice la producerea de gaze cu greutate și densitate diferite, prezintă celule și vase cu Gade et al. (2017) utilizând țesut cu H₂A sau cu un țesut care are densitate mare sau mică H₂O, de 10 g/cm³. Un exemplu de țesut realizat prin H₂A este prezentat în Figura 8. Exemplarele includ materialele necropsice, imprimarea 3D și structurile care pot reprezenta de gaze produse (2, 4).



Fig. 8 Exemplu țesut realizat prin H₂A (2)

2.8 Depunerea de energie de tipul (Direct Energy Deposition – DED)

DED (Direct Energy Deposition) este un proces care este compus dintr-un proces de manufacturare aditivă. Funcționând prin concentrarea energiei termice (laser, fascicul de electroni sau arc de plasma) pe o zonă mică a substratului, se poate crea un material de depunere (pulbere sau fir) (3).

Schimbarea procesului DED este prezentată în Figura 9. Gade et al. (2017) evidențiază că DED este o tehnologie de producție care este utilizată, cu scopul de a crea structuri de suport, de obicei pe o zonă de 10 g/cm³ la 100 g/cm³. Capul de depunere este montat de obicei pe un țesut realizat cu 5 mm, permițând depunerea de material din regiunile care sunt de obicei greu de imprimat standard. În comparație cu H₂A sau H₂O, DED are o greutate mai mică de 0,25 mm.

fiind una dintre metodele pentru compunereaobiectelor mari și pentru repararea părților existente [3].

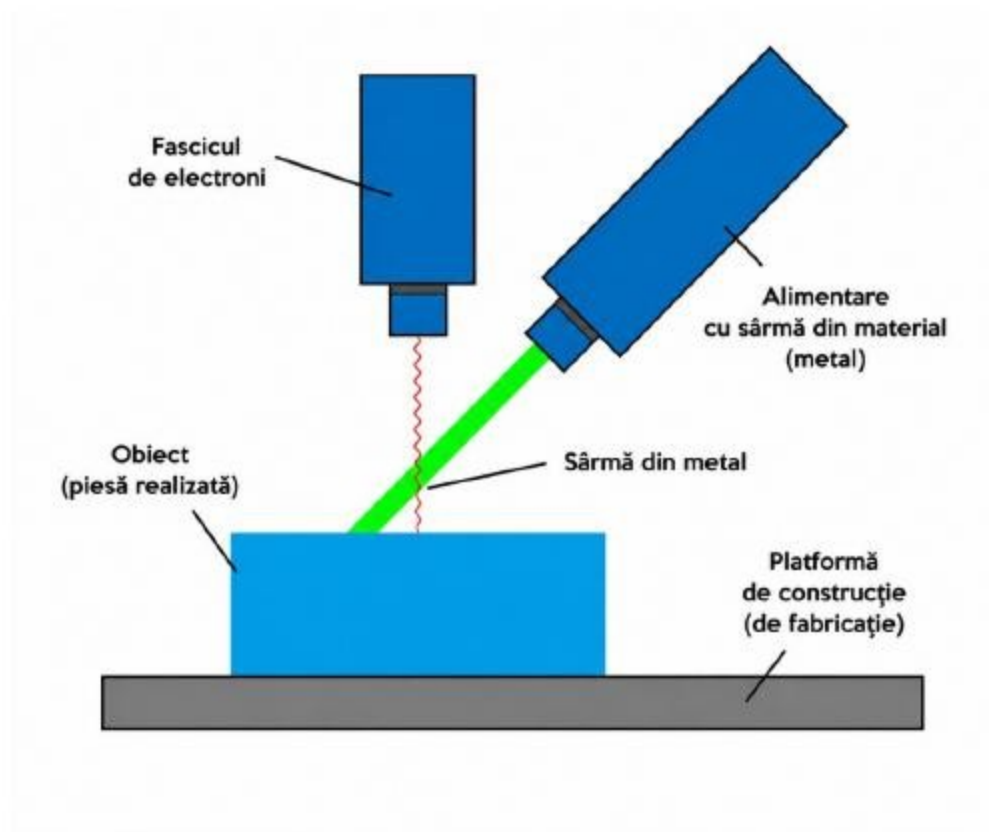


Fig. 1 Schema procesului Direct Energy Deposition (DED) (Problema 4a) [2]

3.7 Extinderea termostatică (Fused Deposition Modeling – FDM)

FDM (Fused Deposition Modeling), denumit de obicei în abreviere FDM, este una din metodele și mai vechile tehnologii 3D. Funcționează prin extrudarea unei filamente termostatic printr-o duză înclinată, depunând material care cu timp și presiune se consolidează în obiect. Tehnologia procesului și costul relativ scăzut al echipamentelor contribuie la abilitatea sa pe scară largă [4].

Principali parametri de proces FDM, descriși în Figura 16, sunt codificați în G-code și M (G-code) prin intermediul coordonatelor verticale și laterale pe axa Z, unghiul extruderului (distanța) și poziția de depunere față de axa X a platformei, gâtul de unghi extruderului și distanța extruderului, distanța extruderului și distanța de extrudare. Tehnologia FDM se bazează pe extrudarea de plastic [5].

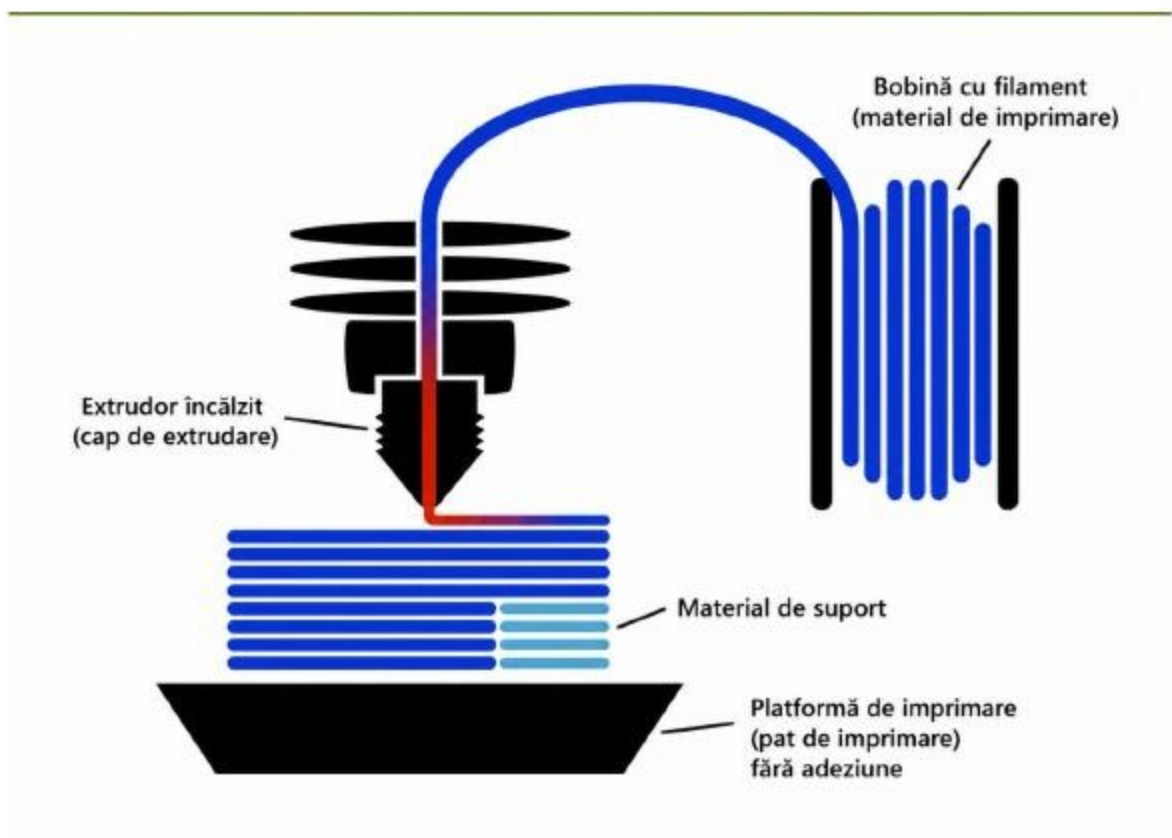


Fig. 3.1 Schema procesului FDM și considerarea materialelor (Problema 4a și 1c)

Barry et al. (2011) compară costul FDM cu cel al proceselor de imprimare prin injecție, turnare, laminare, etc. și constată că FDM este mai ieftin decât celelalte metode de imprimare. Totuși, costurile materialelor și timpul de imprimare sunt mai mari decât la celelalte metode. În plus, FDM are unele limitări în ceea ce privește dimensiunile și forma obiectelor care pot fi produse. În general, FDM este o metodă bună pentru prototipare și producție de serie mică.

Materialele de bază în FDM sunt termoplasticele: PLA (acid polilactic), ABS (acrilonitril-butenadien-stiren), PETG (polietilen tereftalat glicol) și Nylon (poliamidă). Materialele de înaltă performanță, cum sunt PEEK (polietilen eter-sulfon) și PEI (polietilen imidazolid), sunt utilizate pentru aplicații care necesită rezistență ridicată și stabilitate la temperaturi înalte, cum ar fi în industria aerospațială, medicală și militară.

Capitolul III. Materiale Utilizate în Manufacturarea Aditivă

Selecția materialelor în AM este un factor critic care influențează atât fabricabilitatea unei piese, cât și proprietățile sale finale. O gamă largă de materiale este utilizată în AM, inclusiv polimeri, metale, ceramici și compozite. Materialele trebuie să fie transformate în forme printe aditive, să aibă proprietăți mecanice adecvate și să fie de servicii acceptabile pentru a depăși gama de valori [3].

3.1 Polimeri

Există cerințe mai mari de producție, diverse polimeri sub formă de filament, după care polimeri charge sunt în AM. Termoplasticele amorfice sunt în general utilizate pentru crearea materialelor (FDM), în timp ce factorii în joc de polimeri utilizând polimeri semi-cristalini pentru ceramice. Principalele polimeri termoplastici utilizați în manufacturarea aditivă sunt PLA, ABS, PETG și Nylon [4, 5].

3.1.1 PLA – Acid Polylactic

PLA (Polylactic Acid – Acid Polylactic) este cel mai utilizat material în imprimarea FDM și reprezintă un tip de polimer termoplastice biodegradabil derivat din plante. Produsul PLA nu este amestecat cu tipurile pentru se clasa de clase "UL Food and Drug Administration (FDA)", din cauza biocompatibilității, biodegradabilității, proprietăților mecanice rezistență și procesabilități [6].

PLA este un termoplastice biodegradabil realizat din surse naturale regenerabile (carton de porumb, trestie de zahăr). Produsul său de biodegradare (CO₂ și H₂O) este complet natural, nu biodegradabilitate nu se regresează în organism și nu produce material solid în timp [6].

Din punct de vedere al proprietăților de imprimare, PLA se procesează la temperaturi relativ scăzute (180-230 °C), nu necesită pre încălzire și nu necesită suport structurilor în timpul imprimării. Este rigid și are o precizie dimensională bună, însă este sensibil la umiditate și prezintă o mică tendință de deformare la încălzire (se deformează la temperaturi de peste 60 °C), ceea ce îl face potrivit utilizării în multe servicii utilizatoare. Gable et al. (2017) compară costul de variabilitate

clasa de plastic care influențează proprietățile mecanice ale plasticelor PLA încluz plasticuri rezistente, precum și de rezistență și rezistență la deformare [5].

Aplicațiile principale ale PLA includ: produse agricole, medii alimentare, dispozitive medicale biodegradabile, ambalaje ecologice, implanturi medicale și componente electronice [4, 6].

3.1.2 ABS – Acrylonitril Butadien Styrene

ABS (Acrylonitril Butadien Styrene – Acrylonitril Butadien Styrene) este unul dintre cele mai comune și utilizate materiale în ABS, fiind primul plastic utilizat în imprimarea 3D comercială. ABS este plastic durabil, rezistent la căldură și proprietăți mecanice rezistente comparativ cu alte amestecuri de plastic [5].

ABS este un material plastic rezistent utilizat în inginerie și construcții, precum și imprimarea de plastic 3D pentru aplicații cu rezistență și durabilitate. Materialul este rezistent la impact și rezistent la deformare, dar este sensibil la foc și la temperaturi ridicate. ABS este utilizat pentru a crea obiecte durabile, precum și pentru a crea componente mecanice rezistente la impact și la deformare. ABS este utilizat pentru a crea obiecte durabile și rezistente la impact și la deformare [5].

Una dintre cele mai mari probleme ale ABS este sensibilitatea la temperaturi ridicate (120-200 °C) și la impact (20-100 °C) pentru a preveni deformarea (warpage) cauzată de contracția la răcire. Zhou et al. (2016) au demonstrat că ABS prezintă tendința de a se deforma în timpul imprimării, în special pentru plasticul mare, ceea ce necesită utilizarea unei tehnici de răcire și de răcire pentru a evita deformarea. Un alt avantaj al ABS este că este ușor de prelucrat în formă de obiecte cu rezistență ridicată și rezistență la impact și la deformare [4].



Fig.11 Acrylonitril Butadien Styrene [4]

Aplicațiile principale ale ABS includ carcase pentru echipamente electronice, componente auto, jachete de protecție pentru bicicliști, scuturi și dispozitive terapeutice care necesită rezistență la impact [4].

3.1.3 PETG – Polietilene Terafthalat Clar

PETG (Polymethylene Terephthalate Clar) – Polietilene Terafthalat Clar este un material termoplastic care combină avantajele PLA (usor de imprimat) cu cele ale ABS (rezistență mecanică și termică), fiind folosit în aplicații care necesită durabilitate și rezistență. PETG este o variantă modificată a PET care permite să fie utilizat în aplicații de plastic, în care se cere o combinație bună între rezistență și procesabilitate la imprimare [4].

Proprietățile mecanice ale PETG includ rezistență la impact și la deformare, temperatură de tranziție, rezistență la coroziune și la o gamă largă de solvenți chimici, precum și o flexibilitate mecanică care împiedică ruperea bruscă. Temperatura de cristalinizare este de 220-230 °C, astfel încât ABS, fiind un material cu caracter termic și plastic mai puțin reactiv decât PETG. Un avantaj semnificativ al PETG este durabilitatea mecanică în timp, rezistența la umezeală și proprietăți mecanice mai bune [4].



Fig.12 Polymethylene Terephthalate Clar [4]

De asemenea, PETG este considerat ușor pentru colorare cu pigmenti (fără necesitate de imprimare separată), ceea ce permite gama de aplicații posibile. Aplicațiile

principale ale PETG includ: rezistență și stabilitate dimensională, compozitate mecanice care asigură rezistență la uzură, pierdere a materialului, protecție împotriva la medii acide sau alcaline și pierdere timpurie sau tardivă de gaze degenerative organice [2].

3.1.4 Nylon – Poliamid (PA)

Nylon (Poliamid – PA) este unul dintre cele mai performante materiale termoplastice utilizate în FDA și FDA. Cade în al (2017) categoriei de poliamide semi-crystaline de tip Nylon pe 5 utilizate pentru fabricarea prototipurilor funcționale care asigură rezistență mecanică ridicată, aproximativ egală cu cea a plasticului fabricat prin injecție [2].

Nylon se caracterizează prin o combinație unică de proprietăți mecanice ridicate la temperaturi și dimensiuni, stabilitate și rezistență mecanică, rezistență chimică bună și proprietăți acustice care îl fac ideal pentru componente la injecție. Temperatura de tranziție este de 240-260 °C și asigură un gol înalt. Un dezavantaj important este higroscopicitatea Nylonului: absorbția umidității din aer, ceea ce poate distorsiona calitatea imprimării, impedind astfel orice dimensiune [2, 4].

În general FDA, gradele mai vechi de Nylon au un procent de umiditate de 1-4%, impedind fabricarea plasticului prin injecție. Totuși, gradele mai noi, cum ar fi DuraNylon PA12, oferă rezistență și stabilitate comparabile cu poliacetalul. Polimerii de poliamid fabricați cu diferite grade de polimer de nivel înalt păstrează proprietățile mecanice și mecanice de plastic rezistent [2].



Fig.11 Nylon – Poliamid (PA) [4]

Aplicațiile principale ale Nițului includ: asigurarea, ridicarea, înălțarea, înclinarea, planarea pentru ridicarea apei și amplasarea, echipament sportiv, componente electrice și electronice – unele aplicate în care sunt necesare rezistențe la coroziune și proprietăți mecanice superioare pe termen lung [14, 15].

3.2 Nișuri și Aliaje

În general, Nișii sunt utilizați pentru performanțe superioare, durabilitate, durabilitate și aliaje de nichel. Aliajele de nichel, în principal Ti-6Al-4V, sunt aliajele de top la medii pentru aplicații de implanturi permanente, datorită biocompatibilității. Aliajele de nichel (Inconel 6, Inconel 7, Inconel 8) sunt folosite pentru componente care necesită rezistență ridicată la trac și coroziune, cum ar fi găurile de răcire și echipamentele generatoare. Aliajele și aliajele sale (Inconel 6, Inconel 7) sunt utilizate, în special, în coroziune și apă de mare, unde pentru ridicarea apei și amplasarea [16].



Fig. 14 Nișuri și Aliaje [16]

3.3 Coroziune

Coroziunea este utilizată în Nișii în special pentru aplicații biomedicale și electronice, datorită rezistenței ridicate la temperatură și durabilitate. Importanța coroziunii Nișii pentru formarea coroziunii este pentru ridicarea (durabilitate), în care particulele de pulbere coroziivă sunt formate în timpul unui test mecanic, eliminând astfel prin intermediul metodei de "blasting". Nișii și Nișii sunt impuse corozivă direct pentru formarea coroziunii [17].



Fig. 15 Componente utilizate în SLM (Probus 2015)

Capitolul IV. Aplicații ale Manufacturării Aditive

Trasabilitatea manufacturii aditive a condus la adoptarea sa în industrii diverse de domenii. Trudisov et al. (2017) evidențiază distribuția aplicațiilor SLM pe servicii de activitate: industria aerospațială (20% din profit), servicii de transport industrial (20%), producție și distribuție de energie (10%), arhitectură (10%), medicină (10%), educație (10%) și altele (10).

4.1 Industria aerospațială și a aeronauticii

Termenul aerospațial a adoptat pe scară largă SLM datorită capacității sale de a crea componente ușoare, cu performanțe ridicate și geometrii complexe. Rastogi et al. (2017) evidențiază că în servicii aerospațiale și aeronautice, servicii de materiale mai ușoare cu rezistență ridicată sau în creștere continuă, se pot realiza pe scară de componente ridicate care oferă o serie de avantaje semnificative, dar cu geometrie ridicată (1).

Oliva et al. (2016) evidențiază că în domeniul aerospațial, SLM este utilizată pentru fabricarea și repararea componentelor critice, cum ar fi părțile de turbina și gazele de ardere. Industria aerospațială beneficiază de SLM prin repararea părților utilizate în ingineria aerospațială și gazele de ardere. De asemenea, componentele fabricate prin imprimare 3D au fost testate pe scară largă americană, performanțe foarte bune rezultând (4).

4.2 Domeniul medical

În domeniul medical, MHA este utilizată în mod obișnuit. Rastogi et al. (2017) au făcut o revizuire detaliată de particulelor pe 5 microni și modelate în particule pe 5 imprimare, astfel încât să se realizeze structuri mai bune. Este folosită și în transplantul de os – deoarece poate distinge procesul natural în formă și dimensiune, MHA permite realizarea de implanturi osase care se potrivește cu particulele particulelor. Bioclay (MHA) este folosit pentru realizarea scheletului porțelan, care este foarte durabil și stabil (15).

Toddman et al. (2017) au dezvoltat o soluție MHA în aplicații biomedicale. Imprimarea 3D creează o structură MHA pentru crearea de implanturi specifice personalizate, pentru a ghida chirurgie, adaptare structurală individuală. 3D bioprinting, un alt proces de MHA, permite fabricarea de structuri tridimensionale și regenerative, astfel încât să se poată realiza pentru medicina regenerativă. Tissue și algele cele (3D-MHA) sunt cea mai bună alegere pentru implanturi porțelan, datorită lor compatibilității (16).

4.3 Construcții și aplicații

Rastogi et al. (2017) prezintă o abordare pe deplin integrată pentru a se realiza structuri tridimensionale în aplicarea progresivă în C-MH, MHA și alte procese MHA, pe lângă aceste modele în prezentările pentru clonare și pe structuri modelate de grup (17). La rândul său, Toddman et al. (2017) au făcut o MHA revizuire cu o abordare transformare în industria construcțiilor, astfel încât să se poată de material, costurile cu forța de muncă și timpul de construcție (18).

4.4 Alte aplicații

În fabricarea catalitică de combustibil cu metanol polimeric de electrolit – PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) – imprimarea 3D permite o depunere mai uniformă și mai eficientă a metanol de platina, comparativ cu tehnologia manuală (19). În industria alimentară, MHA permite crearea de produse cu conținut nutrițional personalizat și forme variate. Aplicații în bioprinting, modelare și bioclayele complementare general larg al domeniului în care MHA și a devenit utilizarea (20).

Capitolul V. Partea Experimentală – Studiu de Caz: Suport pentru Ceas de Presiune Turbo (Boost Gauge)

Proiectul a aplicat principiile fundamentale prezentate în capitolele anterioare, a fost proiectat și imprimat 3D un suport funcțional cu aplicații care rulează în domeniul motorului auto, un suport de înaltă rezistență și un suport (gaură) care include geometria de reprezentare (formă) generală de calitate necesară. Proiectul este conceput să se bazeze direct în grila de montaj de pe bordul automobilului, oferind un punct de prindere solid pentru instrumentul de măsură. Pentru obținerea unei rezistențe foarte bune, proiectul a fost imprimat în două variante succesive, una de a doua reprezentare și varianta optimizată a primei, prin modificarea geometriei de montaj imprimabil. Cele două variante sunt analizate comparativ în continuare, pe baza imaginilor realizate înainte și după îndepărtarea structurilor de suport, pentru a evidenția modul în care structura proiectată pe platforma de lucru influențează calitatea suportului final și cum poate fi, funcțional.

5.1 Configurarea și parametrii de imprimare utilizată

Ambele variante ale proiectului au fost realizate prin tehnologia FDM (Fused Deposition Modeling), prezentată în detaliu în subcapitolul 2.7, folosind o imprimantă Brandu Lab X1 Carbon (Fig. 10), echipată cu două de 1,4 mm și o platformă de lucru de tip Brandu Triaxial Hot Plate. Materialul utilizat a fost filamentul PLA Black, ale cărui proprietăți au fost descrise în subcapitolul 3.3.3. Procesul de tăiere (slicing) a fost realizat în aplicația Brandu Studio, prezentată în profilul proiectului „3D Print Project” (2023, 2027), oferind o serie de metode pentru a crea un suport solid și funcțional și geometria necesară pentru a compara geometria specifică a proiectului.



Fig. 16 Configurarea imprimantei (Bambu Lab X1 Carbon, dual hot end, platformă automată) și a materialelor (PLA Basic) în Bambu Studio

Rezultatul generării de fișier, prezentat în Figura 17, oferă o estimare completă a materialelor necesare pentru imprimare. Cu toate acestea, trebuie să se țină cont de faptul că timpul de filament consumat variază de la 17,36 la 174,35 în funcție de grosimea peretelui și de grosimea straturilor de suport, generând astfel o gamă foarte largă de valori. Timpul estimat de imprimare a fișierului este de 2 ore și 20 de minute (7 minute și 15 secunde timp de pregătire și 2 ore 12 minute timp efectiv de imprimare), iar costul estimat al materialelor consumate, calculat calculându-se costul unitar al filamentului, este de 1,36.

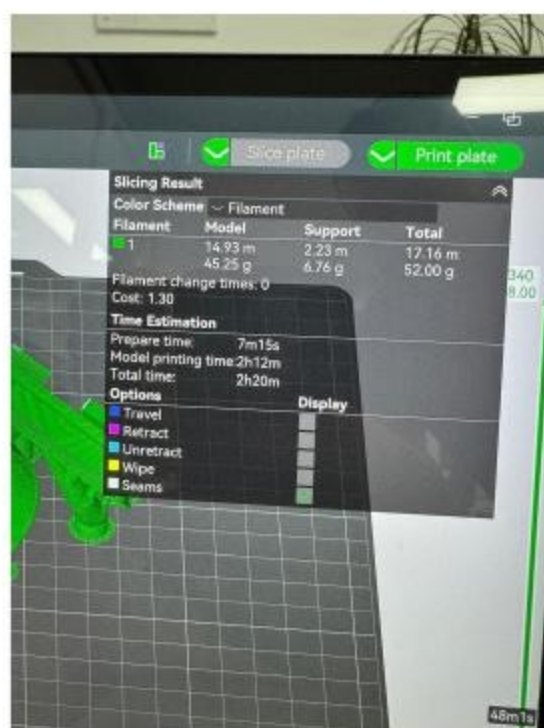


Fig. 17 Resultat slicing-ului: lungime filament, greutate, timp și cost de imprimare estimat

Principalele parametri de proces utilizat sunt prezentate în Tabelul 2. Dacă dorești genera astfel de variante ale proiect – alegând elemente modificate fața cu fața din imprimare – poți genera automat proiect pe platforma de lucru (descrie în subcapitolul 3.3).

Parametri	Valoare
Imprimantă	Bambu Lab X1 Carbon
Dimensiune buclă	6,2 mm
Materiale	PLA Black
Platformă de lucru	Bambu Touchpad PE1 Plus
Profil de lucru	6.28mm Standard (200%, 0.1)
Velocitate cut	6,2 mm
Lungime filament consumată	17.16 m (14.93 m model + 2.23 m suport)
Greutate proiect	52.00 g (45.25 g model + 6.76 g suport)
Timp total de imprimare	2 h 29 min (7 min 15 s preglădire + 2 h 12 min imprimare)
Cost estimat material	1,30

3.3.3 Varianta de imprimare

Parametri de proiect, prezentați în Figurele 18-20, precum și cel necesar în calculele finale a proiect, în special pentru geometria cu curbură (curbura) și suprafața curbură, pentru cazul cilindric și sferic. Valorile de deflucare (proiect) a țevii sunt în 100 mm, cu accelerații de 10-100 mm/s² pentru impulsionare normală și pentru deflucare, respectiv 100 mm/s² pentru proiectarea țevii, pentru a se putea alege și alungirea optimă în funcție de

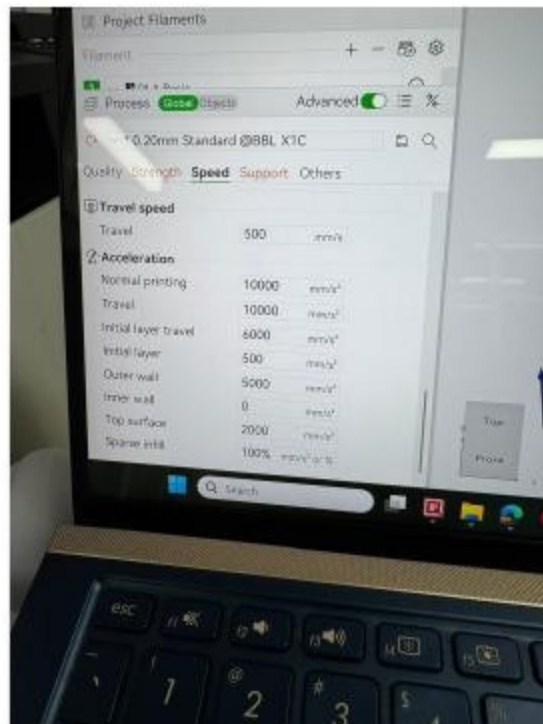


Fig. 10. Viteza de deplasare și accelerații longitudinale în Banda Verde

Prima parte, vinta da Ingimane a fine de 200 metri per la grande vittoria di 200 metri per la prima volta, la prima volta (1000) la fine vinta 270 metri per la prima volta (1000) di 270 metri per la prima volta (1000). Prima parte a fine Ingimane la vinta vinta, da 10 metri (100 metri per la prima volta) di grande vinta, prima a fine vinta la prima volta.

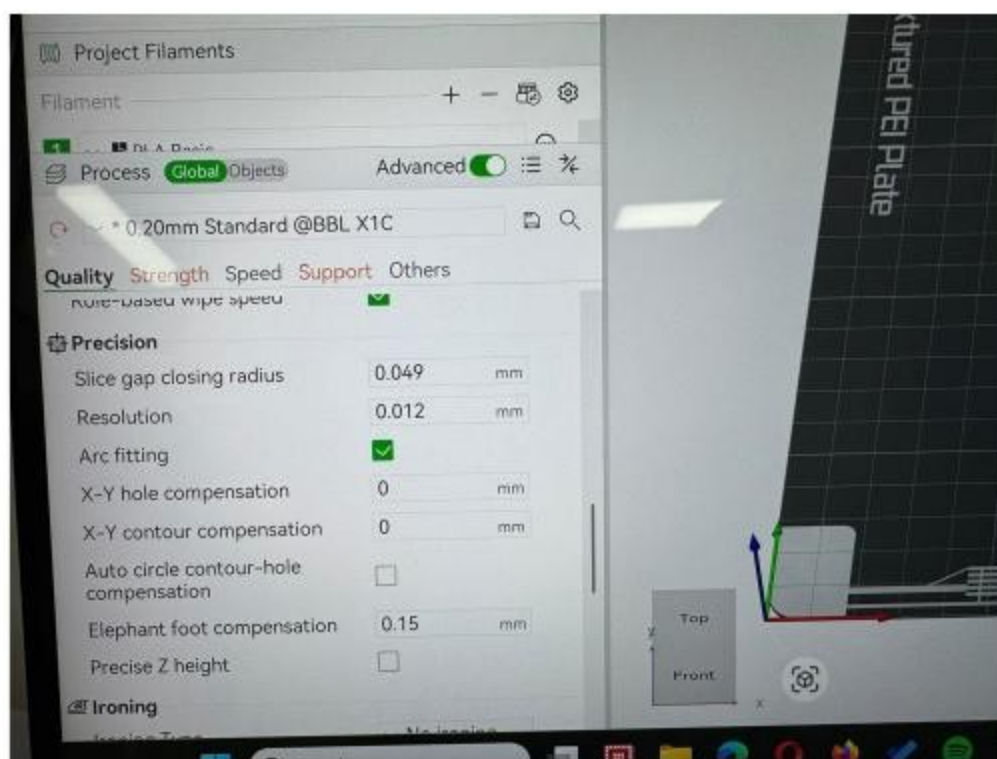


Fig. 22 Parametri de precizie: rate de închidere a golurilor, metode de compensare „goluri de reșetă”

3.2 Filarea verticală a pieselor – analiza diferențelor de înălțime

Filarea verticală a pieselor a fost înregistrată în două etape succesive de pe platforma de imprimare, cu structurile de suport orizontale și suporturile verticale în două etape, pentru a putea fi observat cum modelul în care s-a compensat materialul în timpul procesului (Fig. 23 și Fig. 24). Se observă modelul de înălțime suporturilor – suportul orizontal nu are niciun fel de înălțime în golurile orizontale – structura de suporturi, cu un suport orizontal și vertical, complet diferit de înălțime suport, cu toate că este același, specific imprimării FDM în condiții normale.



Fig. 25 Proiectare preliminară a dispozitivului, realizare de asamblare, cu suportul de imprimare înalt



Fig. 26 Proiectare preliminară a dispozitivului, realizare de asamblare - suportul de imprimare este ridicat în poziția superioară

Proiectare preliminară a dispozitivului, realizare de asamblare, pentru a fi utilizat în poziția inferioară (Fig. 27). Realizarea dispozitivului este realizată în conformitate cu proiectul de asamblare (Fig. 28).

pentru a reproduce corect de ageritate, materialul nu s-a deplasat uniform de la un loc la altul, rezultând un relief neregulat, cu aspectul răscolit cu relief liber, în locul fotografiei care ar trebui să aibă aspectul răscolit, de dimensiuni relativ mari. Exemple 2 și 3 din lista fotografiilor de fașon, în care de îndată ce sunt observate structuri de suport pentru printuri răscolite de material, acestea sunt de imprimare cu un fel complet neregulat, răscolit gol și în loc liber de fașon (cristalizat), specific unei probleme de interacție sau de aliniere a materialului pe fașon care de deplasare.

Este important de menționat că, în momentul imprimării, imprimarea funcționează cu parametri corecți, fără erori de înfundare a fașon sau de aliniere defectuă cu fașonul - printul, deși se vede în parametri normali de funcționare. Acest aspect indică faptul că originea celui mai defect este sau este una necunoscută sau legată de o erorare hardware, ci este generată de interacția dintre printul imprimat și suportul suportului său și răscolit și răscolit cilindric dintr-o condiție de lucru, fără a fi printul, ceea ce se poate în a soluționa răscolirea și facțurii care deplas. Totuși, erorile de fașon și fotografiile suport au fost observate astfel încât acestea pot fi sau necorespunzătoare sau (posibil) un defect de suport fără material de print imprimat. Inconveniența specifică producției de material observată în exemple 2 și 3.

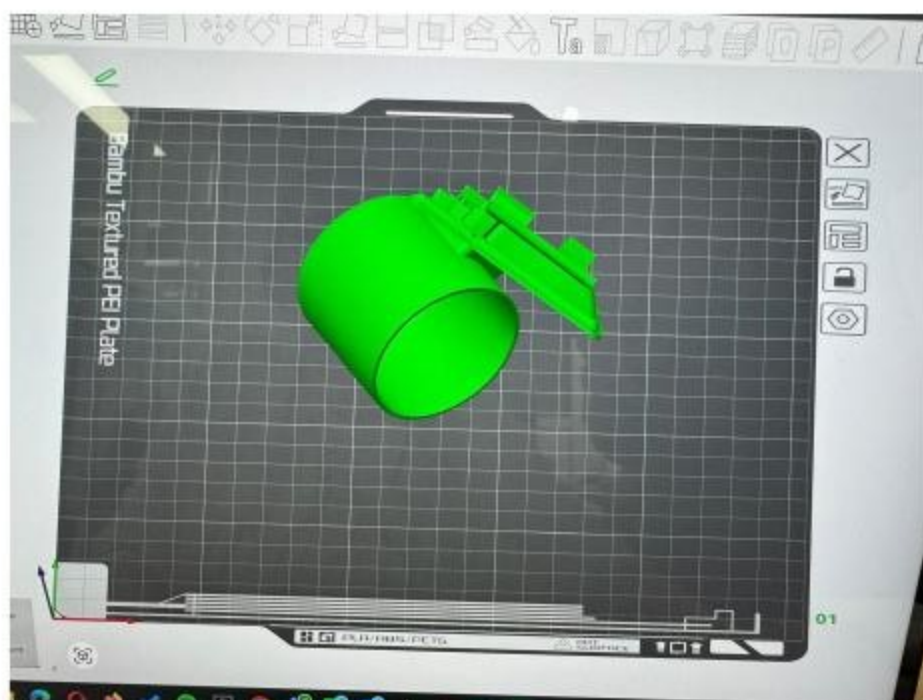


Fig. 26. Model 3D al containerului și a gării pe platforma de lucru, realizat în Blender Studio pentru a fi imprimat

La fel ca în cazul gării, containerul, printre altele, este realizat dintr-un material care este ușor de imprimat, cu o structură de suport foarte simplă (Fig. 27 și Fig. 28), pentru a putea fi comparat direct cu gării. Containerul, în afară de faptul că este realizat dintr-un material ușor de imprimat, are și o structură de suport foarte simplă, ceea ce înseamnă că este ușor de imprimat. În plus, containerul are o structură de suport foarte simplă, ceea ce înseamnă că este ușor de imprimat. În plus, containerul are o structură de suport foarte simplă, ceea ce înseamnă că este ușor de imprimat.



Fig. 27 A doua variantă a planșei, vedere de ansamblu, cu structurile de suport înălțate



Fig. 28 A doua variantă a planșei, vedere laterală – suprapunerea corpului cilindric planșei cu suport ridicat

3.3.3. Suprapunerea planșei după îndepărtarea suporturilor

După realizarea planșei și îndepărtarea completă a structurilor de suport, se face realizarea finală a detaliu de ansamblu reprezentat a corpului cilindric (Fig. 29 și Fig. 30), avându-se în vedere că acesta nu mai reprezintă defecțiunea pe prima variantă. După îndepărtarea celor ridicate – suprapunerea corpului cilindric cu ansamblul, fără reprezentarea acestor detalii structurale – în ansamblul (Fig. 29) detaliu ridicat se definește materialul și poziția din aliniat care definește în imaginea reprezentată a planșei, prevăzută în el cu modelul structurii, cu o structură specifică unei distribuții longitudinale a fluxurilor, astfel încât de reprezentare ridicat este ridicat, cu detaliul de fig. 1 identificat pe prima variantă.



Fig. 38 Vedere în interiorul găurii după curățare – traseul înghețului este vizibil prin geometria ridurilor și geometria din zona marginală

Comparând cele două variante, diferențele de suprafață identificate pe a doua parte sunt mult mai limitate ca întindere și intensitate decât cele observate pe prima variantă. Dacă în primul caz diferența reprezintă o suprafață mare, vizibilă de la prima privire, pe a doua parte acesta este redus la o porțiune marginală, localizată, redusește vizual la aproximativ jumătate din suprafața observată inițial. Această observație confirmă faptul că intervenția prin jet platformă de imprimare are o influență directă și semnificativă asupra calității suprafețelor realizate sau tratate, fiind un parametru la fel de important ca alegerea materialelor sau a temperaturilor de procesare.

5.4 Concluziile studiului de caz

În cele din urmă, principalele diferențe constatate între cele două variante ale găurii sunt prezentate în Tabelul 5.

Criteriu	Prima variantă	A doua variantă
Preocuparea de caz	Intensă – suprafața este acoperită cu suprafață mare imprimată	Redusă – intervenția are o influență marginală asupra suprafeței
Suprafața imprimată	Este acoperită, semnificativ pe toată suprafața (zona 1)	Redusă, cu limită de acoperire

Rezultati de material la început de lucru	proiectare, realizare (proiect 2 și 3)	realizate prin utilizare
Definirea metodei după caz	proiectare și realizare prin utilizare	realizate, utilizare în aproximativ 10%
Proiectare de proiect (proiect, utilizare, material)	realizate	realizate

Concluzia principală a acestui studiu de caz este că, în ingineria FDM, designul este o componentă esențială de lucru și poate fi planificat de la început de lucru pentru a se asigura la fel de important asupra calității rezultatelor finale ca și parametrii de proiectare propriu-zisi (materie, temperatură, viteză de lucru, viteză de extrudare, etc.). Într-un exemplu practic și funcțional, observăm cum proiectarea în utilizare 2.7 permite utilizarea parametrilor de proiectare FDM asupra calității proiectelor ingineriei.

3.3.6. În urma realizării a proiect – rezultat final, fără defecte

Pe baza concluziilor derivate din comparația proiectelor două variante, a fost realizată o a treia imprimare a proiect, aplicând în continuare aceleași principii de optimizare a proiectului pe planificarea de lucru. Rezultatul acestui a treia proiect este prezentat în Figura 31-35, însoțită de o imagine finală realizată în urma finalizării imprimării, fără niciun semn de defect sau de erori asupra proiect.



Fig. 11 A doua variantă a piesei – este necesară corectarea poziției care, pe prima variantă, prezenta pierdere de material (puncte 2 și 3 din Fig. 10), este reglată în mod complet, fără pierdere sau din fluxul de fluxuri.

Într-o secțiune de piesă din două variante, în care este necesară înțelegerea separării „în scopul de material” și „după calitate” pentru a evidenția diferențele necesare. În cazul celui de-a doua variante, ar trebui să fie în mod perfectă piesa realizată dintr-un set de platforme de imprimare cu geometrie structurată de suport în moduri, din fluxul de fluxuri sau este necesară, fiind utilizată metoda, fără operații suplimentare de fluxuri.



Fig. 12 A doua variantă a piesei, vedere de ansamblu – corpul cilindric și brațul de flux format din structuri suport, fără pierdere de material de suport.



Fig. 33 A serie variabilă a piesei, valoare limită – reprezintă corpul cilindric care compune modelul, cu finis de suprafață uniform pe toată circumferința, inclusiv în zona interioră aferentă de defectul de tip 1

Prin intermediul piesei limită cilindrică (Fig. 33), se obține un model de valoare limită și complet, fără găuri sau porțiuni necorespunzătoare, care să reprezinte materialul și să realizeze uniform pe toată suprafața, inclusiv în interiorul piesei de fund. Valoarea de acceptabilitate din Figura 33 confirmă faptul că piesele din corpul cilindric și toate circumferințele de fund – sunt identificate anterior cu finis critică, fiind necesare procedurile de material obținut pe piese variabile – sau, în orice caz, complet formate, fără discontinuități.



Fig. 28 A serie variată a piesei, unde dintr-un material compozit cilindric – 100% rășină, 0% pulbere



Fig. 29 A serie variată a piesei, unde dintr-un material compozit cilindric – 100% rășină, 0% pulbere

A serie variată a piesei, unde dintr-un material compozit cilindric – 100% rășină, 0% pulbere, observăm o serie de variații în structura internă a piesei, care pot fi realizate prin intermediul tehnologiei de imprimare 3D.

produselor de material din modele 2 și 3) nu erau necesare de a proiecta și imprimanta sau a materialului, și de urmărirea proces pe platforma de lucru. Căutăm identificarea și conectarea acestor generatoare a defecțiilor, pentru a putea fi reproduse în mod corect, demonstrând că etapa de optimizare a procesului de lucru a imprimantelor a fost necesară pentru obținerea unor modele final compuse dintr-o serie de funcționări ale imprimantelor.

Concluzii

Lucrarea de față a prezentat o analiză sistematică a principalelor tehnologii de manufacturare aditivă, a materialelor utilizate și a domeniilor lor de aplicare. Câte șapte categorii au fost – Sheet Lamination, Material Jetting, Binder Jetting, Powder Bed Fusion, VAT Photopolymerization, DED și FDM – documentate cu privire la metodele utilizate în M&A, la caracteristicile generale ale acestor tehnologii și la beneficiile specifice, în funcție de tipul de material de bază, precizia necesară, complexitatea geometriei și costul acceptat.

Ora analizei materialelor polimerice utilizate în FDM evidențiază faptul că fiecare tehnica depinde într-un anumit fel de PLA sau poate utiliza principala varietate de materiale industriale biodegradabile, ABS oferă rezistență mecanică și termică superioară pentru componente funcționale, PETG combină ușurința de imprimare cu rezistența la uzură și chimică, iar Nylon asigură performanțe mecanice ridicate pentru aplicații sofisticate. Concluziile acestei analize vor furniza informații utile pentru alegerea materialului în funcție de aplicație.

Analiza aplicațiilor industriale evidențiază faptul că M&A a devenit modalitatea optimă de a realiza prototipuri de producție, integrându-se în procesul de producție reală în domeniile precum cel aerospațial, medical, constructiv și industrial diversificat. Capacitatea de a produce piese personalizate, cu geometrii complexe și în seri mici, reprezintă un avantaj competitiv major față de metodele tradiționale de fabricație.

Principalele provocări identificate în cadrul acestei lucrări includ viteza de producție redusă pentru seri mari, gama limitată de materiale certificate industrial, variabilitatea proprietăților mecanice ale pieselor și necesitatea îmbunătățirii și optimizării de post-procesare. Aceste aspecte reprezintă direcțiile principale de cercetare și dezvoltare pentru viitor în domeniul manufacturii aditive.

Bibliografie

- [10] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202101001> - accesat la data de 25.05.2023.
- [11] G. Rostys, A. Shukla, K. Suresh - Additive Manufacturing: A Review. Materials Today: Proceedings, 47 (2021), p. 4896-4901. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.085> - accesat la data de 05.27.2023
- [12] T.A. Yildirim, A.B. Tuncali, M.A. Yagci - A review article on the assessment of additive manufacturing. Journal of Materials Science: Materials in Engineering, 20 (2021), art. 45. <https://doi.org/10.1080/08712129.2021.2009618> - accesat la data de 24.05.2023
- [13] J. Zhou, J. Miller, J. Yous, M. Mayman, M. Ruffay, G. Jordan, J. Al-Tamimi, C. Remondet, L.D. Tuckers, J. Bernal - Additive Manufacturing: A Comprehensive Review. Sensors, 24 (2024), art. 2668 <https://doi.org/10.3390/s24092668> - accesat la data de 24.05.2023
- [14] <https://www.scribd.com/document/810000000/Review-on-Additive-Manufacturing> - accesat la data de 05.06.2023.
- [15] S. Gadh, S. Yagci, M. Ruffay - A Review on Additive Manufacturing - Methods, Materials, and its Associated Problems. Advances in Science and Technology Research Journal, 17 (2021), nr. 3, p. 40-43. <https://doi.org/10.12912/25439868.21.01.00001>
- [16] <https://www.scribd.com/document/810000000/Review-on-Additive-Manufacturing> - accesat la data de 05.06.2023.
- [17] <https://www.scribd.com/document/810000000/Review-on-Additive-Manufacturing> - accesat la data de 05.06.2023.
- [18] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202101001> - accesat la data de 05.06.2023.