

CERCETĂRI PRIVIND APLICAREA TEHNOLOGIILOR ADITIVE FDM LA OBTINEREA PROTOTIPURILOR FUNCȚIONALE DIN DOMENIUL MECANIC

FRĂȚILĂ¹ Laura-Mihaela¹

¹Facultatea:IMST, Specializarea:TCM, Anul de studii IV, e-mail: laura.m.fratila@gmail.com

Conducător științific: Șef lucr. Dr. Ing. Ec. **Mihaela Elena ULMEANU**, Prof.Dr.Ing.Ec. **Cristian DOICIN**

REZUMAT: Lucrarea are ca principal scop proiectarea și realizarea fizică a unui prototip din domeniul mecanic, mai exact a unui echipament de fabricare pentru operația de strunjire a piesei capac pompă PCX-03, utilizând tehnologiile aditive, în special procedeul de printare prin depunere de filamente de material, FDM. În decursul lucrării, sunt evidențiați atât parametrii de printare cum ar fi grosimea stratului depus, viteza de printare, densitatea structurii suport interioare, cât și problemele care apar în cazul asamblărilor filetate. Modelarea virtuală a ansamblului s-a realizat cu ajutorul programului Autodesk Inventor Professional 2016, iar printarea s-a realizat prin intermediul imprimantelor 3DKreator.

CUVINTE CHEIE: FDM, DfAM, Optimizare structuri suport, tehnologicitate

1. Introducere

Fabricarea aditivă este o denumire generică care cuprinde mai multe tehnologii bazate pe depunerea de straturi cât mai subțiri de material, cu scopul de a realiza piese, a căror formă este stabilită într-un program de proiectare [1]. Spre deosebire de tehnologiile convenționale care pentru a realiza piesa se pornește de la un semifabricat, iar prin procedee de prelucrare (strunjire, frezare, gaurire, etc.) se realizează reperul dorit, fabricarea aditivă nu necesită semifabricat, piesa realizându-se prin adăugare de material. Pentru a realiza produsul final, procesul implică utilizarea unui calculator, a unei imprimante 3D și a unui software CAD special care poate transmite modelul virtual către mașina de printat [2].

Schema de principiu a procedurii de fabricare aditivă este reprezentată în Fig.1

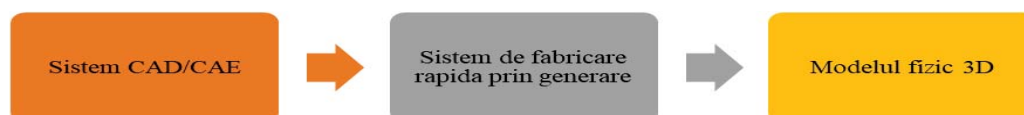


Fig.1 Schema de principiu a procedurii de fabricare aditivă [3]

Unul dintre principalele avantaje ale fabricării aditive este reprezentat de gama largă de forme care pot fi produse. Formele geometrice complexe care nu pot fi fabricate printr-un sigur procedeu de prelucrare clasică, pot fi realizate ușor și rapid prin intermediul tehnologiilor aditive. De asemenea, fabricarea aditivă impune numeroase avantaje cum ar fi: costuri energetice mai mici în comparație cu tehnologiile clasice; nu necesită scule și dispozitive speciale; gama de materiale este extinsă, se pot utiliza atât materiale alimentare, plastice cât și materiale cu o duritate mai ridicată, metalice.

Ca toate celelalte tehnologii, pe lângă avantaje, fabricarea aditivă impune câteva limite și dezavantaje precum: timpi de prelucrare mari în comparație cu procesele tehnologice convenționale în producția de serie mare și de masă [4]; nu se pot obține rugozități ridicate, de aceea sunt necesare prelucrări ulterioare pe mașini convenționale.

2. Stadiul actual

Fabricarea aditivă reprezintă o tehnologie care în ultimul deceniu a cunoscut o dezvoltare ridicată, încurajând cercetarea și creativitatea. Primul sistem care utilizează tehnologia fabricării aditive a

fost stereolitografia (SLA), sistem dezvoltat de către 3D System în 1987 [5]. Inițial tehnologia a fost cunoscută sub numele de prototipare rapidă conform brevetului prezentat de către Dr. Kodama, în anul 1980, însă acesta nu a fost depus în termen de un an, iar după 6 ani Chuck Hull a inventat și brevetat stereolitografia [6].

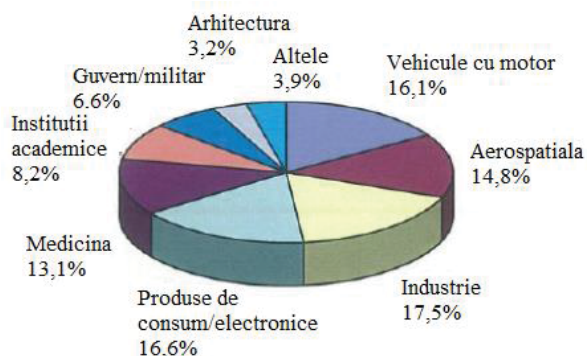


Fig. 2. Domenii de utilizare a tehnologiei de fabricare aditivă [5]

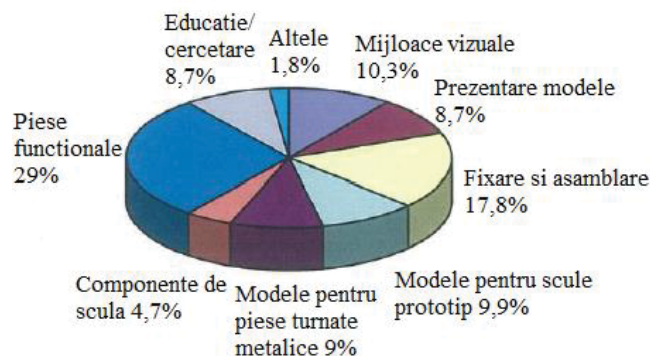


Fig. 3. Aplicațiile ale tehnologiei de fabricare aditivă [5]

Dupa cum se poate observa în Fig.2 și 3 atât domeniile de utilizare cât și cele de aplicație sunt foarte răspândite în ceea ce privește utilizarea tehnologiei aditive. Dupa cum se vede în Fig. 4 cel mai larg domeniu de utilizare se regăsește în USA, aceasta fiind și țara de origine a acestei tehnologii industriale.

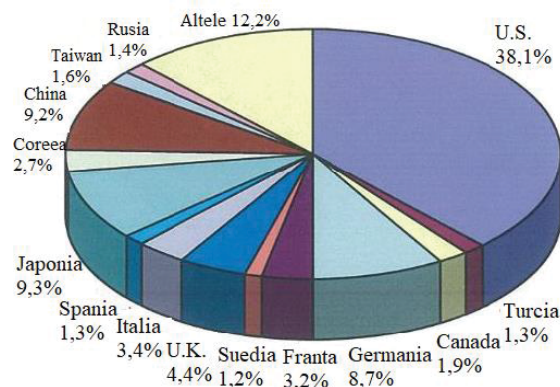


Fig. 4. Aplicabilitatea tehnologiei de fabricare aditive pe regiuni [5]

În momentul de față, fabricarea aditivă este împărțită în 6 categorii, în funcție de tehnologiile și de tipurile diferite de materiale utilizate, cele mai importante fiind: stereolitografia; fabricare prin depunere de straturi de material topit; sintetizarea selectivă cu laser. Dintre toate acestea, cea mai accesibilă este fabricarea prin depunere de straturi de material topit, FDM, fiind și cea mai ușor de utilizat. Materialele ce se pot utiliza pentru această tehnologie se regăsesc sub formă de filamente și sunt materialele plastice, care au un grad de deformare ridicat (PLA, ABS, PC, etc.). Polimerii și metalele sunt cele mai frecvente tipuri de materiale utilizate în producția aditivă deoarece pot fi utilizate pentru a produce elemente mecanice funcționale. Utilizând tehnologia FDM, se poate obține o precizie de +/-0,178 mm și o acuratețe a suprafeței de până la 0,5% [5].

3. Metode

Pentru realizarea fizică a prototipului s-au urmat etapele de fabricare specifice procedurii de printare prin depunere de filamente de material, FDM, prezentate în Fig. 5.



Fig. 5. Etapele procedurii de printare FDM

Cu ajutorul programului Autodesk Inventor Professional 2016 se proiectează modelul virtual al dispozitivului în format 3D, mai exact se proiectează fiecare piesă în parte, după care fișierul este convertit în format STL. și deschis cu ajutorul programului Cura, unde piesele sunt feliate în secțiuni transversale numite straturi, se setează parametri și se alege poziția optimă de printare.

Odată ce s-au stabilit parametrii regimului de lucru, se pot transmite datele către mașina de printat, 3DKreator din laborator de Tehnologii de Fabricare Aditivă, din facultatea IMST. Pentru printarea prototipului s-a utilizat materialul PLA în diferite nuanțe. S-a optat pentru acest material datorită costurilor scăzute.

Schema de principiu pentru funcționarea imprimantei este prezentată în Fig. 6. Filamentul din material plastic trece prin capul de extrudare pentru a fi încălzit până ajunge la temperatura de topire, după care urmează printarea pe masa mașinii. Capul de extrudat realizează modelul 3D prin depunerea materialului topit în straturi subțiri. Pe tot parcursul procesului masa mașinii stă încălzită la o temperatură de 60°.

Dispozitivul este alcătuit din 3 plăci principale și una intermediară care are rolul de a poziționa centrul găurii de strunjit cu axa arborelui principal al strungului, prelund și 3 grade de libertate. Pe lângă aceste plăci, dispozitivul mai este format dintr-un con de centrare și 2 mecanisme cu bridă L, centrate în bușe și antrenate cu piuliță și prezon, ajutând la prinderea piesei.

Pentru a prelua celelalte grade de libertate se utilizează cu bolț cilindric și un bolț frezat. De asemenea, ca oricare alt ansamblu se mai utilizează organe de asamblare (știfturi și șuruburi). Modelul CAD al dispozitivului se regăsește în Fig. 7.

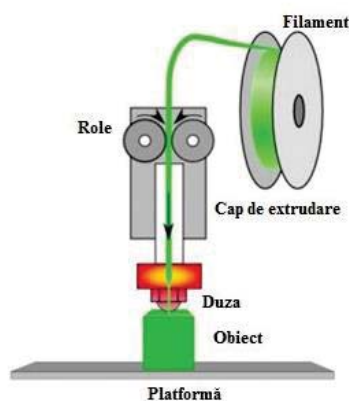


Fig. 6. Schema de principiu a fabricării aditive utilizând FDM [1]

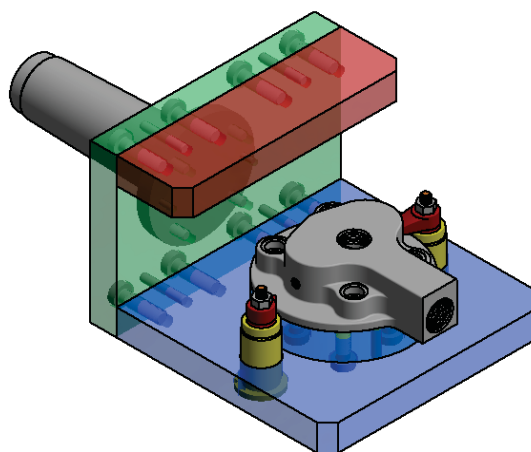


Fig. 7. Modelul CAD al dispozitivului de prindere pentru piesa PCX-03

Toate elementele folosite sunt standardizate, majoritatea fiind descărcate după Norem [7]. Placa de bază și placa laterală, datorită dimensiunilor de gabarit care depășesc dimensiunile plăci mașinii de printat, acestea au fost proiectate cu o dimensiune mai mică cu 30 mm. Placa superioară are rolul de a echilibra dispozitivul, în cazul de față nu respectă această condiție, rolul prototipului printat fiind acela de vizualizare.

Înainte de a se realiza printarea propriu-zisă a echipamentului de fabricare, s-au realizat numeroase teste privind asamblările mecanice șurub-piuliță, prezentate în Fig. 8.

În urma testelor, s-a observat faptul că nu se poate asambla un șurub cu o piuliță care au același metric, mai exact piulița trebuie sa fie mai mare decât șurubul, iar diferența dintre acestea fiind influențată atât de diametrul șurubului/ piuliței, cât și de grosimea stratului depus.



Fig. 8. Asamblări șurub-piuliță

Un șurub de M10 (pasul= 1; grosimea stratului depus = 0,2mm/ 0,4mm) se poate asambla cu o piulița de Ø11 (pasul = 1; grosimea stratului depus= 0,2mm/ 0,4mm) diferența dintre șurub și piuliță fiind de 1 mm. S-a mai încercat sa se asambleze cu o piuliță de Ø10,5; Ø10,75;

De asemenea, un șurub de M6 (pasul= 1; grosimea stratului depus = 0,2mm/ 0,4mm) se poate asambla cu o piuliță de Ø6,5 (pasul= 0,5; grosimea stratului depus = 0,2mm/ 0,4mm). S-a mai încercat să se asambleze cu o piuliță de Ø6,25; Ø6,5;

4. Interpretarea rezultatelor

Placa de bază are rolul de a susține toate celelalte componente ale echipamentului. Pe această placă se asamblează atât placa intermediară și placa laterală cu ajutorul șuruburilor și știfturilor, cât și 2 bușe prin presare. Între placa de baza și bușe se asamblează prin presare 2 știfturi cu rolul de a orienta bușă.

Aceasta se poziționează pe platforma mașinii de printat astfel încât să nu necesite structuri suport, de aceea se așează cu gaurile nestrăpunse înspre capul de printat, așa cum este prezentat în Fig. 9. Pentru a economisi material, s-a optat pentru o densitate a structuri suport interioare a piesei de 20 %.



Fig. 9. Placa de baza ; Placa laterală; Placa superioară

De asemenea, s-a adoptat o viteză de printare de 60 mm/s și o grosime a stratului depus de 0.2 mm datorită gaurilor filetate, iar grosimea stratului depus în jurul acestora este de 1 mm pentru o rezistență mai bună. Datorită dimensiunilor mari și a parametrilor adoptați, printarea acestei plăci a durat în jur de 14 h. Utilizând aceiași parametri a fost printată atât placa laterală, cât și placa superioară. Datorită contracțiilor materialului și a dimensiunilor mari ale plăcilor, acestea au suferit o deformare, tinzând să se desprindă de pe masa mașinii de printat.

Pe placa intermediară se assemblează prin presare bolțul cilindric și bolțul frezat și are rolul de a proteja placa de bază de uzură. S-au adoptat următorii parametri: Grosimea stratului depus: 0,2 mm; Densitatea structurii suport interioare: 20 %; Viteza de printare: 60 mm/s; Timp de printare: 4 h 11 min; Grosimea stratului depus în jurul gaurilor: 1 mm. Piesa s-a orientat conform Fig. 10. S-a adoptat această orientare în funcție de forma geometrică, de dimensiuni și de găuri, astfel încât să se evite structurile suport.

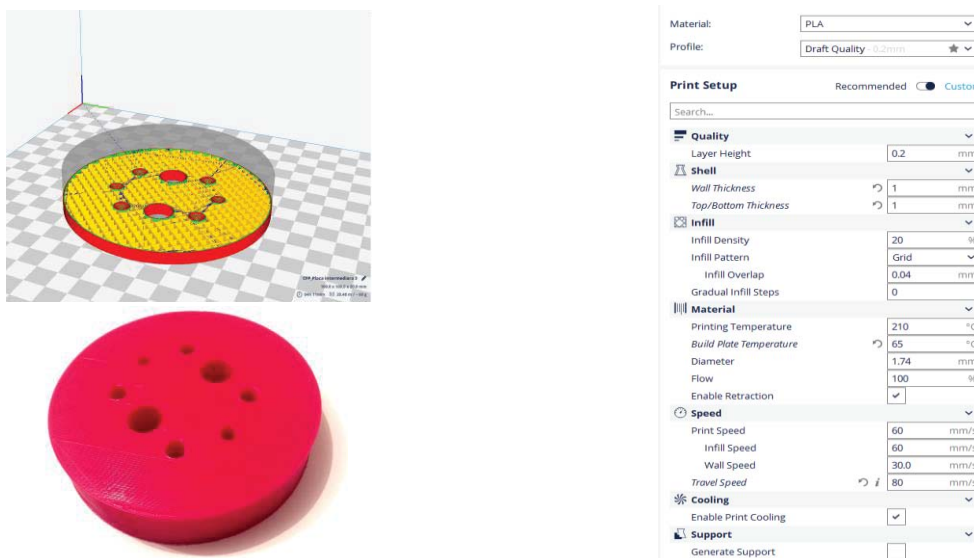


Fig. 10. Placa intermediara

Bolțul cilindric și bolțul frezat se assemblează prin presare în placa intermediară și au rolul de a orienta piesa, mai exact bolțulu cilindric preia 2 grade de libertate, iar bolțul frezat preia 1 grad de libertate. Pentru aceste elemente s-au adoptat următorii parametri de printare: Grosimea stratului depus: 0,1 mm; Densitatea structurilor suport interioare: 20 %; Viteza de printare: 60 mm/s; Timp de printare: 20 min; Pozitionarea s-a efectuat astfel încât să se evite structurile suport, de aceea bolturile s-au poziționat cu baza înspre capul de printat (Fig.11.).

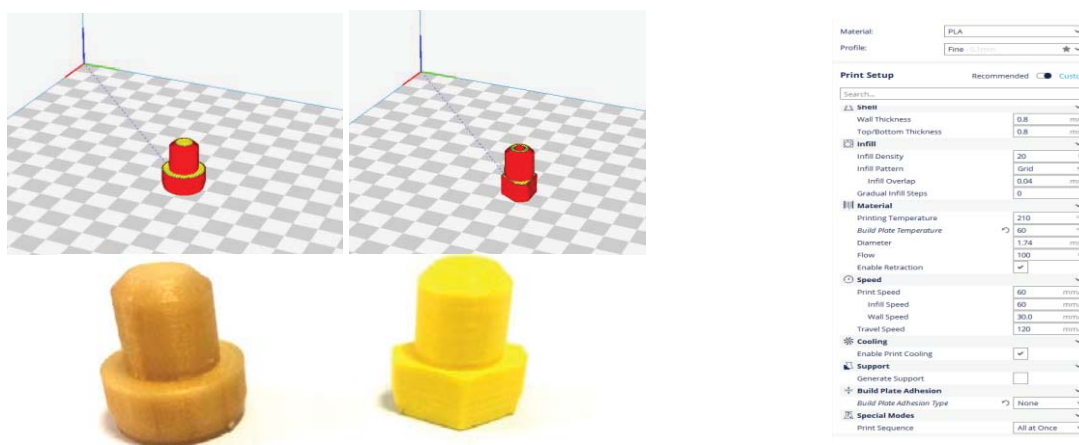


Fig. 11. Bolț cilindric, Bolț frezat

Capac pompă PCX-03, reprezintă piesa pentru care se realizează dispozitivul de prindere, iar datorită formei de gabarit, a complexității și a poziției suprafețelor componente, reperul face parte din clasa carcaselor și are rolul de a proteja și de a permite operatorului accesul la mecanismul pompei.

Parametrii utilizați la printarea reperului sunt următorii: Grosimea stratului depus: 0,2 mm, Densitatea structurii suport interioare: 40 %; Viteza de printare: 60 mm/s; Timp de printare: 6 h 49 min; Grosimea stratului depus în jurul găurilor: 1 mm;



Fig. 12. Capac pompă PCX-03

Bucșele au rolul de a centra bridele de prindere. Acestea sunt prevăzute cu o jumătate de gaură filetată de M4 în care se înfiletează un știft filetat cu rolul de a bloca prezonul. Datorită vitezi de printare mari și a grosimii stratului depus, filetul nu s-a putut realiza din prima încercare, de aceea a fost necesară modificarea parametrilor inițiali: Grosimea stratului depus: 0,1 mm (initiala); 0,06 mm (finala); Densitatea structurii suport interioare: 20%; Viteza de printare : 50 mm/s (initiala); 40 mm/s (finala); Timp de printare: 3h 10 min.

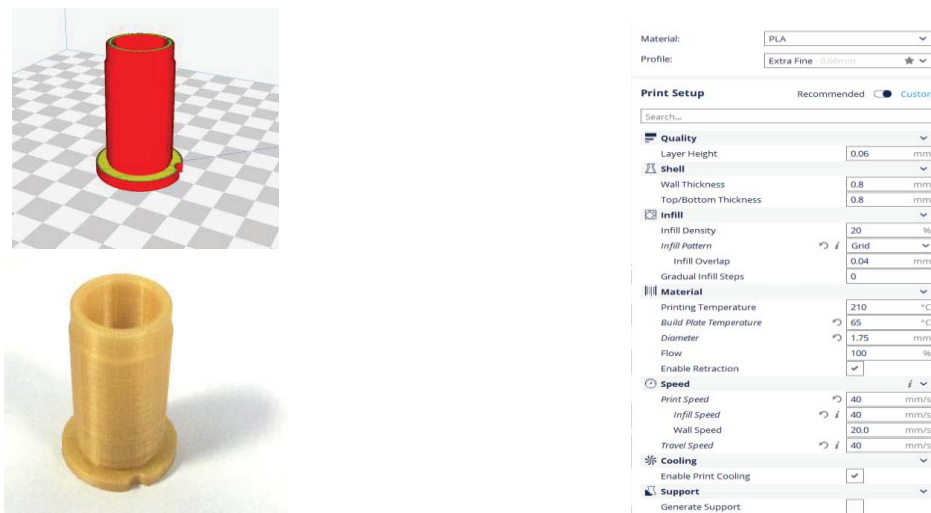


Fig. 13. Bucșe

Corpul de bridă are rolul de a prinde piesa. Datorită geometriei, aceasta se poziționează cu baza înspre capul mașini (Fig. 14.) de printat pentru a nu genera structuri suport. Parametrii de printare pentru

corpurile de brida sunt urmatorii: Grosimea stratului depus: 0,1 mm; Densitatea structurii suport interioare: 50 %; Viteza de printare: 50 mm/s; Timp de printare : 1 h.

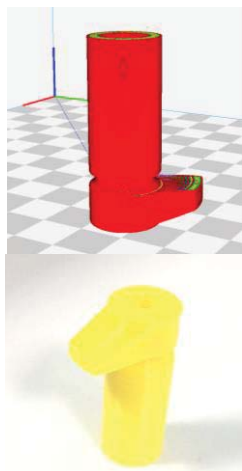


Fig. 14. Brida

Prezonul alături de piuliță are rolul de a antrena brida în mișcare de rotație.

Poziționarea prezonului s-a realizat conform Fig.15., iar pentru o mai bună stabilitate printarea s-a realizat cu structură suport de tip Brim de 2 mm la celălalt capăt al piesei. In Fig.15. se pot observa urmele lasat de structura suport.

La printarea acestui element s-a ținut cont de grosime, aceasta având un diametru de M6, de înălțime și de filet. În funcție de aceste caracteristici s-au adoptat urmatorii parametri: Grosimea stratului depus: 0,06 mm; Densitatea structurii suport interioare: 100 %; Viteza de printare:40 mm/s; Timp de printare: 1h 26 min;

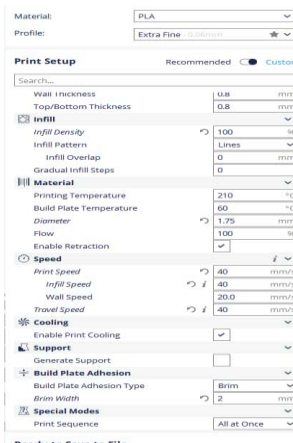
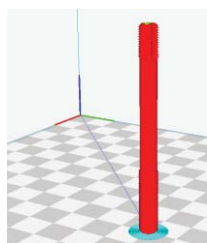


Fig. 15. Prezon

Conul de centrare este susținut de placa laterală prin intermediul știfturilor și șuruburilor și are rolul de fixa dispozitivul pe mașina de strunjit.

Poziționarea conului s-a realizat coform Fig. 16., aceasta fiind orientarea optimă astfel încât sa nu fie generată structura suport. Parametrii de printare pentru conul de centrare sunt următorii: Grosimea stratului depus: 0,2 mm; Densitatea structurii suport interioare: 40%; Viteza de printare: 40 mm/s; Timp de printare: 10h 25 min.

La alegerea parametrilor de printare s-a ținut cont de dimensiuni, de găurile pentru știfturile de Ø4 și de găurile pentru șuruburile M6 x 1 .

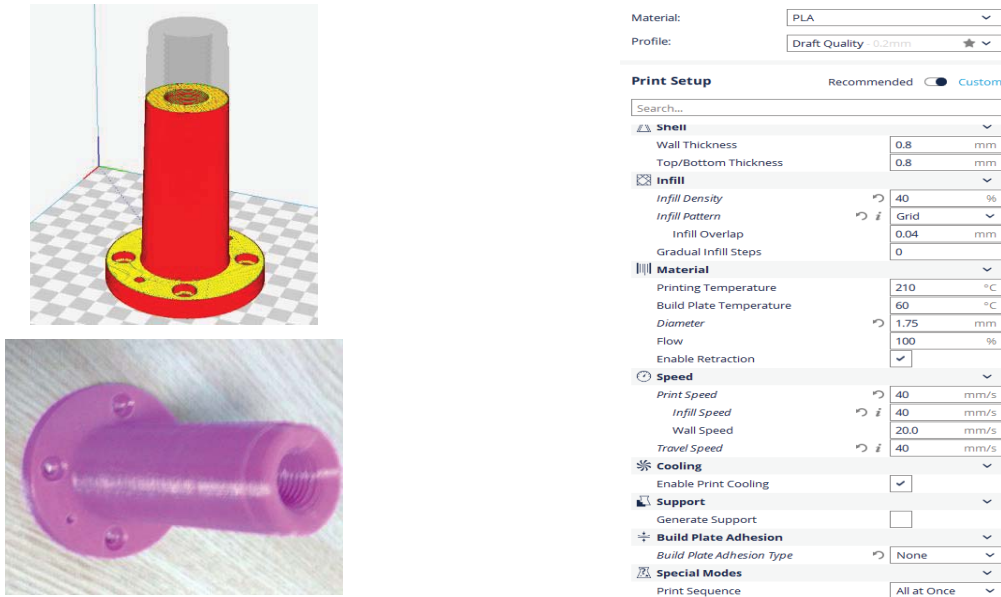


Fig. 16 Con de centrare

Știfturile și șuruburile au rolul de orientare și fixare. Șuruburile au fost poziționate cu baza pe masa mașini de printat, aceasta fiind poziția optimă astfel încât să nu fie necesară structura suport, iar știfturile au fost poziționate conform Fig. 17 , acestea necesitând structură suport de tip Brim de 2 mm.

În cazul șuruburilor, datorită filetelor este necesar să se adopte atât viteza de printare cât și grosimea stratului despus în funcție de dimensiunile acestuia, iar proiectantul trebuie să țină cont de contracția materialului și de jocul dintre șurub și gaură. Spre deosebire de șuruburi, știfturile, datorită dimensiunilor mici, în cazul printării acestor elemente este necesar pe lângă viteza de printare mică să se adopte o densitate a structurii suport interioare cât mai mare .

În funcție de aceste observații, parametrii de printare pentru știfturi sunt următorii: Grosimea stratului despus: 0,1 mm; Densitatea structurilor suport interioare: 100 %; Viteza de printare: 10 mm/s (stift Ø4) și 40 mm/s (stift Ø 6). Parametrii pentru șuruburi sunt următorii: Grosimea stratului despus în jurul gaurilor: 1 mm.



Fig. 17. Știft

Știftul filetat M4 x 0,7 are rolul de a bloca prezonul. Datorită vitezei de printare mari, a densității structurilor suport interioare scăzute, a lipsei structurii suport de tip Brim și a grosimi stratului depus mare, știftul nu s-a putut realiza, de aceea a fost necesară modificarea parametrilor inițiali:

- Grosimea stratului depus: 0,1mm (initial); 0,06 mm (final);
- Densitatea structurilor suport interioare: 70 % (initial); 100% (final);
- Viteza de printare: 40 mm/s (initiala); 10 mm/s (finala);
- Timp de printare: 8 min.

In Fig. 18. Se poate observa știftul filetat cu structura suport de tip Brim.

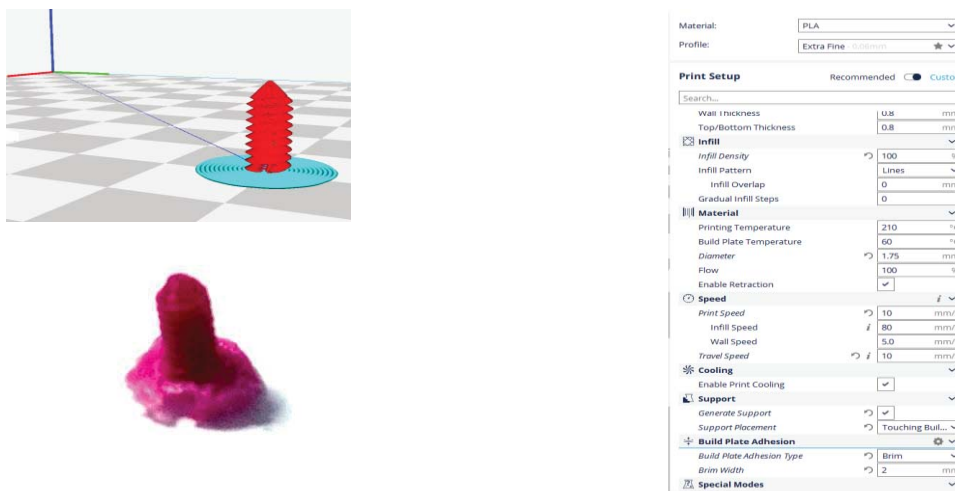


Fig. 18. Știft filetat M4 x 0.70 X 8 mm

În Fig. 19. este reprezentat dispozitivul de fabricare pentru operația de strunjire cu toate elementele printate.



Fig. 19. Dispozitiv de fabricare pentru operația de strunjire

5. Concluzii

În prezenta lucrare de cercetare s-a urmărit dezvoltarea unui dispozitiv pentru operația de strunjire corespunzător piesei capac pompă PCX-03 și s-a cercetat o metodologie de fabricare a prototipului inițial al acestuia. În vederea realizării acestui scop s-a dezvoltat o metodologie alcătuită din 5 pași. Principalele rezultate ale cercetării sunt după cum urmează:

- Proiectarea pentru fabricație aditivă (DfAM) a celor 22 de reperi unici;
- Fabricarea a 22 de piese diferite utilizând tehnologia FDM;

- Realizarea unor teste de fabricație aditivă pentru asamblări filetate, variindu-se grosimea stratului depus, dimensiunea metricului, pasul filetelor și viteza de printare 3D;
- Realizarea unor teste de fabricație aditivă pentru elemente de orientare de tip știft și de tip prezon, variindu-se următorii parametri de lucru: grosimea stratului depus, viteza de printare, tipul materialului și gradul densității structurilor suport interioare.

În urma efectuării cercetărilor s-au constatat următoarele aspecte privind fabricarea prototipurilor funcționale din domeniul mecanic:

- Calitatea și funcționalitatea asamblărilor filetate este influențată în principal de 3 parametri: gradul de contractie al materialului, grosimea stratului depus și dimensiunea nominală.
- Calitatea și funcționalitatea asamblărilor cu elemente de tip știft și prezon au fost influențate în principal de 3 parametri: viteza de printare, grosimea stratului și densitatea structurilor suport interioare.
- Cele 3 plăci principale din construcția dispozitivului au prezentat delaminări față de placa de printare în una sau mai multe extremități, din cauza dimensiunilor acestora care sunt la limita maximă a dimensiunilor de gabarit ale plăcii de printare.
- Setarea unui regim de lucru optim al piesei capac pompa PCX-03 a condus la fabricarea filetelor interioare paralele cu placa de printare fără necesitatea proiectării structurilor suport, necesare în mod obișnuit, păstrând astfel o calitate ridicată a suprafețelor filetate.
- Calitatea și omogenitatea filamentului folosit influențează nemijlocit imprimarea 3D a oricărui tip de reper.

6. Bibliografie

- [1]. Cirtu D., (2011) „Prelucrarea aditivă: O nouă revoluție industrială ???”, disponibil la <https://www.ttonline.ro/revista/masini-unelte/prelucrarea-aditiva-o-noua-revolutie-industriala>, accesat la 06.05.2018;
- [2]. ***, (2015), „Additive Manufacturing – a definition”, disponibil la <https://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-a-definition/> accesat la 10.05.2018;
- [3]. Opran C., (2014), „Tehnologii de injecție în matrite”, Curs format electronic, IMST-TCM Universitatea Politehnică din București; România, disponibil la <http://imst.curs/pub.ro/2014/>;
- [4]. Popescu Diana, (2014), „Fabricarea aditivă prin depunere de filamente de material. Aspecte generale (I)”, disponibil la <https://www.ttonline.ro/revista/fabricatie-aditiva/fabricatia-aditiva-prin-depunere-de-filamente-de-material-aspecte-generale-i> , accesat la 06.05.2018;
- [5]. Doicin C., Ulmeanu Mihaela. (2017), „Tehnologii de fabricare aditivă”, Curs format electronic, IMST-TCM Universitatea Politehnică din București; România, disponibil la <http://imst.curs/pub.ro/2017/>;
- [6]. ***, (2015) „Istoria Imprimării 3D”, disponibil la <http://prototipare3d.ro/istoria-imprimarii-3d/> , accesat la 10.05.2018;
- [7]. ***, Norelem, disponibil la <https://www.norelem.com/us/en/Home.html> , accesat la 10.05.2018

7. Notații

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

DfAM = Design for Additive Manufacturing;

FDM = Fused Deposition Modeling;

SLA = Stereolithography;

CAD = Computer-aided Design;

PLA = PoliLactic Acid;

ABS = Acrilonitril Butadien Stiren;

PC = Policarbonat.