

Imprimarea 3D pe Baza Principiului de Extrudarea Termoplastică

Sorin BOTNARU, Irina COJUHARI, Ion FIODOROV

Universitatea Tehnică a Moldovei

sorin.botnaru@ati.utm.md, irina.cojuhari@ati.utm.md, ion.fiodorov@ati.utm.md

Abstract — În lucrarea este descris sistemul de formare a pieselor de dimensiuni mici din polimere, pe baza principiului de extrudare termoplastică. Sistemul elaborat are ca scop formarea pieselor cu volumul maxim de 20535 mm³ și ca modul de comandă s-a folosit Arduino Mega 2560 și o extensie Ramps 1.4, iar dirijarea motoarelor pas cu pas s-a realizat în baza drivere-lor A4988, iar ca module constructive s-au folosit două CD-ROM-uri și un Floppy driver.

Index Terms — imprimarea 3D, principiul de extrudare termoplastică, Arduino Mega 2560.

I. INTRODUCERE

Imprimarea 3D a devenit o tehnologie revoluționară, ea permite expunerea obiectului 3D dintr-o formă electronică într-o formă fizică fără a avea nevoie de utilaje costisitoare și spații special amenajate [1].

Ca rezultat al schimbării considerabile ale modalităților de fabricație al pieselor, această tehnologie s-a răspândit pe larg în diferite domenii cum ar fi medicină, educație, industrie aerospațială, industria constructoare de mașini, industria militară, arhitectură etc.

În medicină imprimarea tridimensională se utilizează în chirurgie pentru proiectarea unor replici ale organelor care necesită o intervenție chirurgicală urgentă. Organul este scanat și imprimat, ca ulterior medicii să poată analiza minuțios și să reducă practic la zero eroarea unei intervenții chirurgicale. Protezele sunt tot mai mult create pe baza imprimării tridimensionale din motiv că timpul de proiectare și imprimare ale acestora poate dura minim 24 de ore, pe când protezele tradiționale pot fi elaborate în perioade mai îndelungate.

În industria aerospațială se folosește tehnologia de imprimare tridimensională pentru prototipuri, scule și fabricarea pieselor. Se lucrează cu termoplastice de înaltă performanță inclusiv ULTEM 9085, pentru a construi dispozitive de fixare, dispozitive de verificare, manometre. Specialiștii NASA consideră că imprimantele tridimensionale reprezintă o metodă eficientă de producție a instrumentelor și pieselor de schimb necesare pentru aplicabilități spațiale. Inginerii NASA au început să doteze navele sale spațiale cu astfel de imprimante deoarece ele sunt capabile să imprime sub gravitație zero [2].

II. CLASIFICAREA IMPRIMANTELOR

Imprimarea tridimensională a devenit populară ultimii 7 ani ca rezultat al scăderii considerabile al prețului acestora, câteva companii au început pe larg producerea imprimantelor tridimensionale accesibile și practice pentru consumatorii. Această tehnologie de imprimare 3D a devenit populară din simplul motiv că oferă consumatorilor posibilitatea de a construi obiectele personalizate în mod simplu și rapid, fapt ce schimbă considerabil modalitățile de fabricație ale pieselor.

Imprimantele 3D se clasifică în dependență de utilizare și

principiului de funcționare.

În dependență de utilizare, imprimantele 3D sunt [1-3]:

- **Consumător** este tipul de imprimante care este dedicat, în general, pentru uz personal. Imprimantele se livrează sub formă de constructor sau deja asamblate. Marea majoritate a modelelor de imprimante de acest tip sunt produse pe baza proiectelor RepRap open source.

- **Personal** sunt imprimante de clasa medie care se folosesc pentru uz personal, dar în același timp fac parte din imprimante industriale pentru afaceri. Acestea au multe în comun cu imprimantele din clasa de consum, dar posedă o calitate superioară și precizie înaltă la imprimare concurează cu imprimantele profesionale. De asemenea astfel de imprimante sunt simple în utilizare și sunt potrivite pentru utilizarea în birouri. Cu toate acestea zgomotul înalt, temperatura înaltă creează incomodități, de aceea se recomandă plasare acestora într-o zonă special rezervată.

- **Profesionale** sunt imprimante care nu mai au dimensiuni compacte, dimensiunea lor este similară unui frigider mare. Aceste imprimante sunt bazate pe tehnologia 3D de imprimare care include toate realizările și oportunitățile disponibile industriei. Scopul acestor sisteme profesionale poate fi diferit, de la crearea prototipurilor până la producție în cantități mari a pieselor.

- **De producere** reprezintă mașinile, care au o acuratețe și calitate de imprimare profesională, zonă mare de imprimare, nivel ridicat de automatizare și control al proceselor. Pe ele, precum și pe imprimantele profesionale este posibilă imprimarea nu numai a prototipurilor dar de asemenea a unui produs final de consum. Acestea nu sunt destinate utilizatorilor obișnuiți, dar utilizatorilor bine instruiți.

În dependență de principiul de funcționare imprimantele 3D sunt:

- **FDM (Modelarea prin extrudarea termoplastică)** este cea mai răspândită metodă de imprimare 3D accesibilă simplului utilizator. Firul termoplastic este încălzit și extrudat printr-un cap de extrudare care depozitează plasticul topit în coordonatele X, Y, Z formând obiectul.

- **SLA (Stereolithografie)** este cea mai veche tehnologie de imprimare 3D fiind inventată de Chuck Hull în 1983. Este o tehnologie de prototipizare rapidă utilizată la scară largă în mediul industrial pentru realizarea

prototipurilor, modelelor și chiar a componentelor funcționale. Cunoscută și sub denumirea de foto-solidificare sau fabricare optică, stereolitografia implică utilizarea unui fascicul laser cu lumină ultravioletă pentru solidificarea unui lichid fotopolimeric aflat în cuva de construcție a imprimantei. Sub acțiunea luminii laser ultraviolet se solidifică în straturi succesive obținându-se astfel modelul solid 3D.

- **SLS (Sinterizarea laser selectivă)** implică folosirea unui fascicul laser de mare putere (ex. un laser CO₂) pentru topirea (sinterizarea) unor pulberi în straturi succesive obținându-se astfel modelul 3D dorit.

- **SLM (Sinterizarea directă laser a metalelor)** este o subramură a tehnologiei SLS cu un procedeu de fabricație similar. Tehnologia mai poartă numele de DMLS (Direct Metal Laser Sintering) sau LaserCusing. Spre deosebire de Sinterizarea Laser Selectivă, tehnologia SLM utilizează pulberi metalici drept material de construcție care sunt topite și sudate împreună cu ajutorul unui laser de mare putere. Straturile subțiri de pulbere metalice atomizate sunt succesiv topite și solidificate la nivel microscopic în interiorul unei camere de construcție închisă ce conține gaz inert (argon sau azot) în cantități controlate strict, la un anumit nivel de oxigen.

- **Imprimarea inkjet tridimensională (3DP)** reprezintă tehnologia favorită în domenii precum arhitectura și designul. Această tehnologie permite imprimarea 3D color. Imprimarea tridimensională 3DP implică utilizarea tehnologiei de imprimarea injket pentru solidificarea unei pulberi introdusă în camera de construcție (fabricare) a imprimantei prin lipirea particulelor cu ajutorul unui material liant.

III. PĂRȚILE COMPONENTE ALE IMPRIMANTELOR 3D

Platforma de imprimare este suprafața pe care sunt imprimate obiectele. Sarcina acestei platforme este de a se deplasa pe axa *Y*, astfel trebuie să fie fixată bine, să amortizeze și să nu aibă o greutate mare, ca să nu fie suprasarcină asupra motorului. În mod obișnuit aceasta constă dintr-o foaie de sticlă, un element de încălzire și o anumită suprafață care ajută la lipirea plasticului de platformă. Ca material de contact pentru obiectul printat se folosește banda albastră, care este lipicioasă și rezistentă la temperaturi înalte. Un alt material care poate fi folosit la acoperirea platformei de imprimare este bandă de tip kapton. Adesea materialul pentru suprafața de imprimare se alege în dependență de tipul materialului printabil, de exemplu dacă se folosește materialul PLA, care este mai elastic, și se lipește bine chiar și de sticlă, fără a avea necesitatea de a fi încălzită platforma. În cazul materialului ABS este necesară o suprafață lipicioasă și o anumită temperatură de deformare a plasticului care ar permite lipirea acestuia de platformă, în caz contrar plasticul nu se lipește și imprimarea este imposibilă [1-3].

Extruderul este nucleul unei imprimante 3D, este locul unde plasticul este tras, topit și împins. Este în esență, un pistol de lipici fierbinte, care este mic și este locul în care se poziționează cea mai mare parte a tehnologiei imprimantei. Extruderul este alcătuit din două părți: capătul fierbinte și capătul rece. Capătul rece are un motor care trage filamentul și îl împinge. Capătul fierbinte este locul

unde filamentul se topește și este împins afară. Există diferite tipuri de extrudere, de diferite dimensiuni. Dimensiunea părții prin care se elimină materialul afară asigură grosimea stratului. Dacă stratul este mai subțire atunci piesa se obține mai dură, cu o suprafață netedă. Mai există extrudere care prindează piese în diferite culori, fără a schimba filamentul. Ca element al unui sistem automat, extruderul, mai mult motorul acestuia conectat la controler asigură fluxul de material topit. Procesul are loc cu ajutorul unei roți dințate care în contact cu filamentul îl împinge în partea fierbinte al acestuia. Cele mai utilizate motoare pentru 3D imprimante sunt Nema 17, care se aleg în dependență de mărimea imprimantei.

Hot-end radiator asigură ca temperatura de la partea fierbinte să nu se transmită către radiator. În caz că se transmite, filamentul se deformează ceea ce duce la blocarea acestuia în extruder și imprimarea devine imposibilă. Pentru o răcire mai eficientă a radiatorului se utilizează un ventilator de dimensiuni mici, care asigură ventilarea continuă și previne transmiterea temperaturii mai departe de partea fierbinte. Ventilatorul se pornește doar la anumite temperaturi prestabilite de program, sau în dependență de materialul folosit la imprimare.

Cărțușul de încălzire încălzește plasticul, este un rezistor de mare putere. Aproape toate imprimantele moderne folosesc încălzitoare de cartușe, dar multe imprimante vechi au folosit ca încălzitoare bobine de sârmă de nicrom.

Termistorul este folosit ca senzor de temperatură. Există o varietate de senzori care măsoară temperatura cum ar fi termocuplu, care se folosește la măsurarea temperaturilor înalte. Termistoarele sunt cele mai utilizate în cadrul imprimantelor 3D deoarece majoritatea materialelor folosite se topesc la temperaturi de maxim 270° C, de aceea este suficient ca un termistor să depisteze așa temperaturi.

Nozzle este o bucată de metal cu o gaură pentru ieșirea filamentului topit. Nozzle-urile sunt interschimbabile și sunt de diferită dimensiune, unde 0.4 este mărimea standard, în timp ce este posibilă utilizarea unor dimensiuni mai mici pentru detalii mai fine, sau dimensiuni mai mari pentru imprimarea rapidă.

Tije filetate sunt folosite în 3D imprimante pentru axele *X*, *Y*, *Z*, ele forțază deplasarea Hotend-ului pe axa *Z* și *X* și deplasează platforma pe care se prindează piesa. În dependență de mărimea tijelor, depinde și mărimea obiectului printat. Ele joacă un rol esențial în imprimare, deoarece cu ajutorul motoarelor care aplică forță asupra tijelor și în baza de G-code, tije se rotesc deplasând axele și printând.

Motoarele pas cu pas sunt pe larg utilizate în industria imprimării pieselor 3D. Majoritatea imprimantelor utilizează motoarele pas cu pas de modelul Nema 17 cu 200 de pași pe o rotație. Însă mai pot fi utilizate și diferite modele de motoare pas cu pas, în dependență de dimensiunea imprimantei și sarcina aplicată asupra motorului. În cazul unor imprimante mici se pot folosi motoare de tipul PL15S-020.

Placa de bază este creierul unei imprimante 3D, aceasta primește comenzile de la calculator sub forma unui G-code și monitorizează executarea lor. Placa de bază conține un controler și toate circuitele necesare pentru rularea motoarelor pas cu pas, citirea senzorilor și comunicarea cu calculatorul. Există diferite tipuri de plăci de bază, ele se

clasifică în dependență de microcontroler, memorie și compatibilitate cu frimware. În afară de aceste plăci imprimantele 3D pot utiliza pentru comandă și plăci de dezvoltare Arduino.

Drive pentru motoare pas cu pas sunt responsabile pentru rularea motoarelor, trag bobinele motoarelor în ordine, determinându-le ca ele să deplaseze în trepte. Multe plăci de bază sunt construite cu driverele încapsulate în placă, de asemenea unele au module unde pot fi conectate driverele. Prin balansare curentului la fiecare bobină, driverele sunt capabile să împartă pașii. De asemenea driverele controlează curentul necesar pentru alimentarea motoarelor.

Interfața om-mașină este folosită pentru controlul direct al imprimantei și informare a utilizatorului despre starea imprimării, cum ar fi temperatura, procesul de imprimare, viteza de rotație a ventilatorului, viteza de imprimare, erori, poziția axelor. La fel permite controlarea și deplasarea axelor manual la poziția inițială sau la poziția dorită de către utilizator. Unele interfețe sunt dotate și cu un slot SD, ceea ce permite imprimarea fără calculator, doar se înscrie pe cardul SD un obiect în formatul STL și imprimanta îl printează.

Pentru durabilitatea piesei printate se folosesc diferite tipuri de filamente în dependență de destinația și mediul de funcționare al produsului final. Cele mai accesibile materiale sunt PLA (polylactide), ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) și PETG (Polyethylene terephthalate glycol-modified), enumerate în funcție de gradul de durabilitate [1-3].

IV. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE A IMPRIMANTEI 3D

Imprimantele 3D sunt mașinile care produc modelele fizice 3D din date digitale prin imprimarea strat după strat, care au fost proiectate sau prin CAD (Computer Aided Design) programe, sau scanate prin 3D scanere [1]. Formatul obiectelor scanate sau proiectate prin CAD este STL (Stereolithography), pentru imprimare este nevoie de transformarea acestui format printr-un program numit „slicer”, care convertește modelul într-o serie de straturi fine și produce un G-code care conține instrucțiunile adaptate la diferite imprimante 3D. Acest G-code poate fi utilizat de către diferite soft-uri de imprimare, care încarcă G-cod-ul și îl folosesc în timpul procesului de imprimare. Rezoluția imprimării determină grosimea stratului, un strat tipic are grosimea în jur 100 μm, unele mașini pot imprima și mai subțire.

Principiul de imprimare este următorul: încălzitorul se deplasează pe axele X, Z, iar platforma pe axa Y, în dependență de G-code-ul, la rândul său hotend-ul și platforma se deplasează, filamentul se topește formând mai multe straturi succesive ale obiectului. Principiul de funcționare a unei imprimante 3D este prezentat în figura 1.

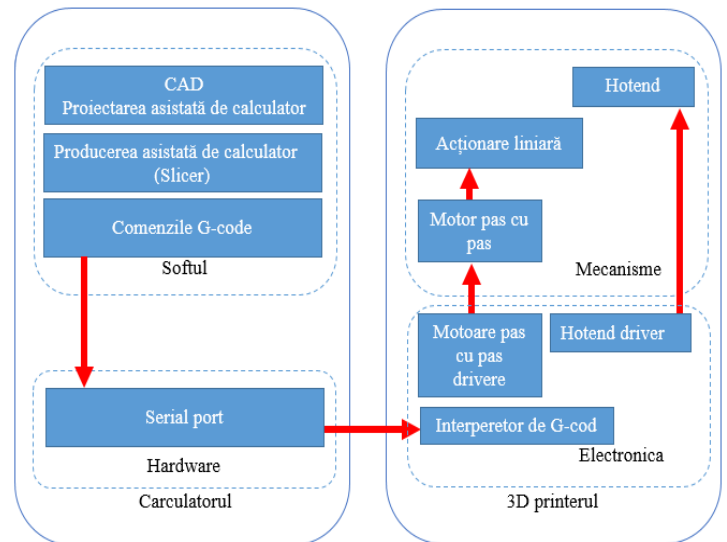


Fig. 1. Principiul de funcționare al unei imprimante 3D.

III. DESCRIEREA SISTEMULUI PROIECTAT

Imprimanta 3D a fost proiectată pe baza plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560 și unui shield Ramps 1.4. Ca axe pentru deplasarea elementului de încălzire și a platformei de imprimare au fost folosite axele a două CD-ROM-uri și axa unui Floppy Driver. Ca elemente de execuție au fost folosite motoarele de la CD-ROM-uri de modelul PL15S-020. Pentru extrudarea termoplastului a fost folosit un mecanism cu o roată dințată și ca element de execuție pentru extruder a fost folosit un motor pas cu pas de modelul Nema17. Pentru a direcționa extrudarea termoplastică s-a propus de a folosi un tub din teflon care permite lunecarea ușoară a filamentului prin el, astfel direcționându-l către încălzitor. Carcasa imprimantei 3D a fost asamblată din carcasa a două CD-ROM-uri fixate bine pentru a preveni vibrațiile, care ar influența calitatea imprimării. Pentru a alimenta tot dispozitivul s-a folosit un bloc de alimentare de la un calculator vechi de 600 W, care asigură funcționarea normală a tuturor componentelor. Pentru informarea utilizatorului despre procesul de imprimare, erori, temperatura încălzitorului, temperatura platformei de imprimare, starea ventilatorului, la fel și pentru controlul manual al motoarelor s-a propus de a utiliza un display LCD Ramps.

Ca interpretor de G-Code, s-a folosit Marlin frimware, care este instalat pe microcontroler. Misiunea lui este de a gestiona toate activitățile în timp real al mașinii. Acesta coordonează încălzitoarele, senzorii, luminile, afișajul LCD, butoanele. Monitorizează portul USB și poate citi fișierele de pe SD cardul, interpretând și executând orice comandă.

Modulele constructive, care stau la baza imprimantei elaborate sunt prezentate în figura 2.

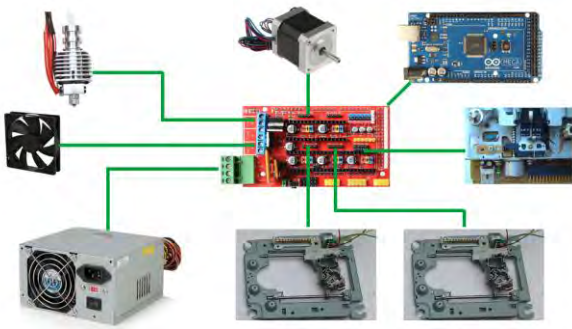


Fig. 2. Module constructive folosite la asamblarea imprimantei.

Tot procesul de imprimare este dirijat cu ajutorul unui microcontroler Mega2560 care primește instrucțiunile în format G-Code, gestionează motoarele prin intermediul driverelor de modelul A4988 și transmite comenzi pentru deplasarea cu anumiți pași, cu scopul de formarea obiectului 3D strat după strat. Pentru a seta temperatura se folosește un mosfet. Ca senzor pentru detectarea temperaturii se folosește un termistor ai cărui rezistență variază în dependență de temperatură.

Caracteristici esențiale ale imprimantei sunt:

- PID regulator pentru controlul temperaturii.
- LCD Display.
- SD card slot.
- Microcontroler Atmega2560.
- Volumul maxim 20535 mm³.
- Modul de extensie Ramps 1.4.
- Driver motor pas cu pas A4988.
- Firmware Marlin RC3 1.1.0.

În figura 3 este prezentată imprimanta elaborată.

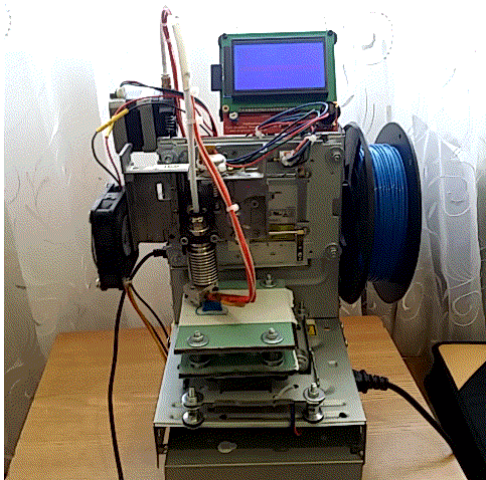


Fig. 3. Imprimanta 3D.

III. CONCLUZII

În această lucrare este descris sistemul proiectat de imprimare a pieselor de dimensiuni mici din polimer pe baza principiului de extrudare termoplastică. A fost studiat tipul de materie primă folosită în procesul de imprimare și proprietățile fizice ale acestora. În mod practic s-au stabilit factorii care afectează calitatea imprimării: cum ar fi răcirea rapidă a radiatorului, prin care se extrudează termoplastul, unde ca rezultat al răcirii rapide are loc blocarea acestuia.

Ca modul de comandă s-a folosit Arduino Mega 2560 și o extensie Ramps 1.4, iar dirijarea motoarelor pas cu pas are loc cu ajutorul driverelor A4988, ca axe pentru deplasarea elementului de încălzire și a platformei de imprimare au fost folosite axele a două CD-ROM-uri și axa unui Flopy Driver, iar ca element de execuție au fost folosite motoarele de la CD-ROM-uri de modelul PL15S-020. Pentru extrudarea termoplastului s-a folosit un mecanism cu o roată dințată și ca element de execuție pentru extruder a fost folosit un motor pas cu pas de modelul Nema17.

Ca soft, interpretor de G-Cod s-a folosit Marlin Firmware, care a fost setat și ajustat în dependență de dimensiunea axelor, microcontrolerului, extruderului și senzorului de temperatură.

BIBLIOGRAFIE

- [1] A. Pîrjan, D.-M. Petroșanu, "The Impact of the 3D Printing Technology on the Society and Economy," In Journal of Information Systems and Operations Management, V. VII, 2013, pp. 360-370.
- [2] M. Vukicevic, B. Mosadegh, J. K. Min, S. H. Little, "Cardiac 3D Printing and its Future Directions," In JACC: Cardiovascular Imaging, 2017, pp. 171-184.
- [3] R. Arjum, "Print a new world using 3D printer," Cochin University of Science and technology, Kerala, 2014.