



Universitatea Tehnică a Moldovei

Tehnologii aditive cu materiale plastice

Masterand: Ghereg Victor

Conducător: Alexei Toca, conf. univ. dr.

Chișinău, 2020

REZUMAT

GHEREG VICTOR. Tehnologii aditive cu materiale plastice. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricației; 2020. Teză de mașter: pag. 63, desene - 37, surse bibliografice - 17.

Fabricarea aditivă (AM) este aproape de a deveni o tehnică de producție care va schimba modul de fabricație a pieselor în viitor. Complexitatea îmbunătățită și caracteristicile personalizate sunt un factor decisiv. Așteptările din AM pentru viitor sunt foarte, deoarece o bună parte din piese tradițional fabricate din aliaje metalice acum pot fi cu succes fabricate din materiale plastice, ceramica și compozite. Stereolitografia (SLA), Modelarea prin depunere Fuzionată (DFM), Sintetizarea Selectivă cu Laser (SLS) ca tehnologii de procesare a materialelor plastice în forma de lichide, filamente și pulberi sunt componentă a tehnicilor de producție aditivă, care sunt considerate ca unele dintre cele mai promițătoare pentru produsele finale funcționale din zona AM. Cu tehnologiile aditive pot fi recomandate materiale plastice: PEK (Polieter cetonă); PEEK (Polieter eter cetonă); PEKK (Polieter cetonă cetonă), PEI (Polieterimida); MC Nylon (Poliamida); ABS (Acrilonitril butadien styren); PLA (Acid polilactic) etc.

SUMMARY

GHEREG VICTOR. Additive technologies with plastic materials. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transports; Department of Manufacturing Engineering, 2020. Master thesis: page 63; drawings - 37, bibliographic sources - 17

Additive manufacturing (AM) is about to become a production technique that will change the way parts are manufactured in the future. Improved complexity and custom features are a deciding factor. AM's expectations for the future are very high, as much of the traditional parts made of metal alloys can now be successfully made of plastics, ceramics and composites. Stereolithography (SLA), Fusion Deposition Modeling (DFM), Selective Laser Sintering (SLS) as the processing technologies for plastics in the form of liquids, filaments and powders are part of the additive production techniques, which are considered as some of the more promising for functional end products in the AM area. With additive technologies, plastics can be recommended: PEK (Polyether ketone); PEEK (Polyether ether ketone); PEKK (Polyether ketone ketone), PEI (Polyetherimide); MC Nylon (Polyamide); ABS (Acrylonitrile butadiene styrene); PLA (Polylactic acid) etc.

Cuvinte-cheie: Fabricarea aditivă, materiale plastice, modelare, , materie primă, structuri, întreprindere, artefact, industrie, strategii.

Keywords: Additive manufacturing, plastics, modeling, , raw material, structures, enterprise, artifact, industry, strategies.

Introducere

Ca parte a industriei și tehnologiei, fabricația aditivă există de mai bine de treizeci de ani ca o tehnologie rapidă de prototipare - metodă rapidă și rentabilă pentru crearea de prototipuri pentru dezvoltarea produselor în industrie. Deși este disponibilă de ani de zile, abia recent tehnologia de imprimare 3D și-a găsit drumul pe piețe, ceea ce a ajutat-o să devină un alt curent tehnico-tehnological al secolului 21. Tehnologia aditiva este acum utilizată în prototipare și producție distribuită cu aplicații de la arhitectură la modă, de la tehnologia aerospațială la tehnologia dentară și altele.

Aproape în fiecare an, lumea introduce din ce în ce mai multe inovații în domeniul imprimării 3D, astfel încât se constată o dezvoltare exponențială și un entuziasm în jurul imprimării 3D, iar piața devine una dintre cele mai promițătoare piețe pentru anii următori. Aceasta stare de lucruri poate fi explicată și prin faptul scaderii rapide a costurilor în producerea aditivă și a creșterii investițiilor atât a tehnologiilor și proceselor cât și a materialelor utilizate care devin tot mai accesibile. Într-adevăr, prețurile mărfurilor scad, rezultând din prețuri mult mai ieftine pentru imprimantele 3D, care permit o cerere semnificativ mai mare.

Pe de altă parte, evoluția tehnologiei oferă posibilitatea de a produce într-un ritm mult mai rapid o cantitate mult mai mare de produse. Mai mult, imprimarea 3D a depășit limitele permițând tehnologiei să își extindă capacitățile și aplicațiile.

	pag
Cuprins	
Introducere	7
1. Tehnologii de producere aditiva	7
2. Materiale plastice utilizate pentru producerea pieselor functionale	10
3. Procese si materiale plastice pentru producerea aditiva	16
3.1. Alegerea corecta a procesului de productie din materiale plastice	16
3.2. Materiale plastice pentru producerea aditiva	17
4. Tehnologia stereolitografie (Stereolytography - SLA)	18
4.1. Materiale uzuale pentru tehnologia SLA	20
4.2. Procesul de producere aditiva SLA	22
4.2.1. Abordarea SLA cu suprafata libera si limitata	24
4.2.2. Laser-stereolitografie	24
4.2.3. Polimerizare cu doi fotoni (TPP)	26
4.2.4. Solidificare precisa	28
4.2.5. Litografie in profunzime	28
4.2.6. Stereolitografie cu prelucrarea digitala a luminii	28
4.2.7. Productia continua a interfetei lichide	29
4.2.8. Stereolitografie cu afisaj cu cristale lichide	30
4.2.9. Rasini in tehnologia stereolitografiei	30
4.2.10. Aplicatii specifice SLA	32
5. Tehnologia FDM	34
5.1. Materiale procesate cu FDM	37
5.2. Module constructiv-tehnologice la FDM	38
5.3. Consolidarea pieselor tiparite FDM prin armarea cu fibre	40
6. Tehnologia SLS	44
6.1. Polimeri de baza in tehnologia SLS	46
7. Compararea tehnologiilor SLA, FDM si SLS	50
8. Bune practici de utilizare a tehnologiilor additive pentru piese functionale din materiale plastice	52
Concluzii	61
Bibliografie	62

Bibliografie

1. Manfred Schmid, Konrad Wegener. Additive Manufacturing: Polymers applicable for Laser Sintering (LS). International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM 2016, 6-10 June 2016, Nový Smokovec, Slovakia. Procedia Engineering 149 (2016) 457 – 464. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816312073>
2. Fredrick Madaraka Mwema, Esther Titilayo Akinlabi. Fused Deposition Modeling Strategies for Quality Enhancement. Disponibil la: <https://www.springer.com/gp/book/9783030482589>
3. Guide to Manufacturing Processes for Plastics. Disponibil la: <https://formlabs.com/blog/guide-to-manufacturing-processes-for-plastics/>
4. Carlota V. All you need to know about PEEK for 3D printing. Disponibil la: <https://www.3dnatives.com/en/peek-3d-printing-060420204/>
5. Design of plastic gears. Disponibil la: https://khkgears.net/new/gear_knowledge/gear_technical_reference/design-of-plastic-gears.html
6. Kukhar V. Anishchenko O. Grushko A. Vishtak I. Prysiashnyi A. and Balalayeva E. Yu 2019 *Materials Science Forum* 945 531–537
7. Sushil Naikwadi, Prof. G. M. Lonare. Design & Analysis of Helical Gear of Washing Machine Transmission System. 2018, International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology. Volume 4, Issue 1. Print ISSN: 2395-1990, Online ISSN : 2394-4099, pp. 1185 – 1188. Disponibil la: https://www.academia.edu/37069822/Design_and_Analysis_of_Helical_Gear_of_Washing_Machine_Transmission_System
8. The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D printing. Disponibil la: https://archive-media.formlabs.com/upload/SLA_Guide.pdf
9. Christina Schmidleithner and Deepak M. Kalaskar. Stereolithography. Disponibil la: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.78147>
10. Вишняков В В., Мазуру С. Г. Самоцентрирующийся патрон. А. С. №1346346 (URSS) Б.И.-1987. №20.
11. Bostan I., Mazuru Sergiu. Procedeu de prelucrare a dinților angrenajului precesional. Brevet nr.2120 MD . I.Cl.: B23 F9/06. Publ. BOPI 2003 nr. 3.
12. Bostan I., Mazuru Sergiu. Dispozitiv pentru rodarea prin electroeroziune a elementelor conjugate ale mașinilor. Brevet nr.2494 MD. I.Cl.: B23 H1/00. Publ. BOPI 2004 nr. 7.
13. Bostan I., Mazuru Sergiu. Procedeu de prelucrare a dinților bombați. Brevet nr.483 MD. I.Cl.: B23 F9/00. Publ. 31.10.96, BOPI nr. 10/96.

14. Bostan I., Mazuru Sergiu. Metodă de îndreptare a pietrei de rectificat fasonate. Brevet nr.555 MD. I.Cl.:F16 H15/52. Publ. 30.11.1996, BOPI nr.11/96.
15. Amit Prajapati, Nirmal panchal, Mahesh Chudasama, R I Patel. Review on fiber reinforcement in parts manufactured by fused deposition modeling. 2018 Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), December 2018, Volume 5, Issue 12, pp. 544-547. Disponibil la: www.jetir.org (ISSN-2349-5162)
16. Fuda Ning, Weilong Cong, Junhua Wei, Shiren Wang, Meng Zhang. Additive manufacturing of CFRP composites using fused deposition modeling: effects of carbon fiber content and length. Proceedings of the ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2015, June 8-12, 2015, Charlotte, North Carolina, USA. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836815003777>
17. P.T.Edirisinghe. Material Testing Of Various 3D Printed Models. Disponibil la: https://www.academia.edu/39984421/Material_Testing_of_Various_3D_Printed_Models
18. Slătineanu L., Coteață M., Pop N., Mazuru S., Coelho A., Beșliu I. Impact phenomena at the abrasive jet machining. Nonconventional technologies Review , nr. 1, 2009, p.96-99.
19. Mazuru S. and Casian M., *Theoretical and experimental aspects concerning elastic behavior in the grinding technological system*, Advanced Materials Research, Vol. 1036 (2014) pp 286-291.;
20. Casian M. and Mazuru S., *A study concerning the workpiece profile after grinding process of precessional gear wheels*, Advanced Materials Research, Vol. 1036 (2014) pp 292-297.;
21. Chereches T, Lixandru P., Mazuru S., Cosovschi P. and Dragnea D. Numerical Simulation of Plastic Deformation Process of the Glass Mold Parts. Applied Mechanics and Materials Vol. 657 (2014) pp 126-132.;
22. Stanislav DUER, Radoslav DUER, Sergiu MAZURU. "Determination of the expert knowledge base on the basis of a functional and diagnostic analysis of a technical object" . Nonconventional Tehnologies revieve volume XX no.2/2016 (2016). Timisoara Romania pp . 23-29, ISSN: 2359-8646;
23. Bostan I, Mazuru S. Vaculenco M and Scaticailov S Processes generating non-standard profiles variable convex- concav of precessional gear. Journal of Engineering Sciences and Innovation. Volume 5, Issue 2 / 2020, pp. 111-122.
24. Slatineanu L., Toca A., Mazuru S., Dodun O., & Coteata M. Theoretical Model of the Surface Roughness at the End Milling with Circular Tips Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of

- the 19th International DAAAM Symposium, , Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2008, pp.1273-1274.
25. Berce P., Caizar C. Balc N.. Tehnologii de producere prin adaugare de material si aplicarea lor. Bucuresti, 2014. – 387 p.
 26. Kukhar V V, Grushko A V and Vishtak I V 2018 *Solid State Phenomena* 284 408–415
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.284.408>
 27. Joseph J. Beaman, Clint Atwood, Theodore L. Bergman, David Bourell, Scott Hollister. WTEC Panel Report on Additive/Subtractive Manufacturing Research and Development in Europe. Disponibil la: www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA466756
 28. Matthew Jaster. The Additive Advantage. How 3-D Printing is Changing the Powder Metal Performance Game. Disponibil la: [https://www.geartechnology.com/articles/0919/The Additive Advantage/](https://www.geartechnology.com/articles/0919/The_Additive_Advantage/)
 29. Aita Rohit, Govindavajjula Sai Sasank, Penubarthi Venkata Rakesh Chandra Kishore. Design and fabrication of spur gear using 3D printing technology. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. e-ISSN: 2395-0056. Volume: 07 Issue: 06, June 2020, p. 454 – 463
 30. P. Naresh, Aman Raj, J. Tarun, Ejazur Rahman, G. Bharat. Design and Development of Spur Gear by using Three Dimensional Printing. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*. Volume: 3, Issue: 3, Mar-Apr 2019. Available Online: www.ijtsrd.com e-ISSN: 2456 - 6470
 31. Tanmay Kotkar, Prashant Masure, Pundalik Modake, Chirag Lad, Basanagouda Patil. Modelling and Testing of Spur Gear made of Different 3D Printed Materials. 2018, *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. Volume 4, Issue 4, Print ISSN: 2395-1990, Online ISSN : 2394-4099. Themed Section: Engineering and Technology, pp. 1389 – 1394. Disponibil la: https://www.academia.edu/37082559/Modelling_and_Testing_of_Spur_Gear_made_of_Different_3D_Printed_Materials
 32. Sergiu Mazuru. Bearing capacity of precessional transmissions with gear change . Thesis for:Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.
 33. Slătineanu L., Coteață M., Pop N., Mazuru S., Coelho A., Beșliu I. Impact phenomena at the abrasive jet machining. *Nonconventional technologies Review* , nr. 1, 2009, p.96-99.

34. Mazuru S. and Casian M., *Theoretical and experimental aspects concerning elastic behavior in the grinding technological system*, Advanced Materials Research, Vol. 1036 (2014) pp 286-291.;
35. Casian M. and Mazuru S., *A study concerning the workpiece profile after grinding process of precessional gear wheels*, Advanced Materials Research, Vol. 1036 (2014) pp 292-297.;
36. Chereches T, Lixandru P., Mazuru S., Cosovschi P. and Dragnea D. Numerical Simulation of Plastic Deformation Process of the Glass Mold Parts. Applied Mechanics and Materials Vol. 657 (2014) pp 126-132.;
37. Stanislav DUER, Radoslav DUER, Sergiu MAZURU. "Determination of the expert knowledge base on the basis of a functional and diagnostic analysis of a technical object" . Neconventional Tehnologies revieve volume XX no.2/2016 (2016). Timisoara Romania pp . 23-29, ISSN: 2359-8646;
38. Bostan I, Mazuru S. Vaculenco M and Scaticailov S Processes generating non-standard profiles variable convex- concav of precessional gear. Journal of Engineering Sciences and Innovation. Volume 5, Issue 2 / 2020, pp. 111-122.
39. Slatineanu L., Toca A., Mazuru S., Dodun O., & Coteata M. Theoretical Model of the Surface Roughness at the End Milling with Circular Tips Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, , Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2008, pp.1273-1274.
40. Bostan I., Mazuru Sergiu. Influence of the grinding parametrs on the characteristics of gears teeth outerlayer. First part. Proceedings of The 13th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Inovation IASI & Chisinau ModTech 2009.
41. Bostan I., Mazuru Sergiu Aprecierea calității organelor de mașini la etapa de pregătire tehnologică a producției. Buletinul Institutului Politehnic Iași tomul LIV Fascicula Vc Iași 749–752.
42. Bostan I., Mazuru S. Cercetări experimentale ale angrenajelor precesionale cu modivicare de profil privind precizarea calculului de rezistență la contact. / "INTELECTUS", AGEPI, Chișinău – 1999. Nr.2.
43. Scaticailov S., Bostan I., Mazuru S. Обработка профиля зубьев методом обкатки прецессирующим инструментом. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. Выпуск 13. Донецк, 2000, с. 156 - 159.

44. Scaticailov S., Bostan I., Mazuru S. Modelul de calcul a componentei radiale a forței de aşchiere la rectificarea angrenajelor//Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. Vol. 3. Materialele Conferinței internaționale, Tehnica-Info, Chișinău, 2001, p. 280-283.
45. Scaticailov S., Toca A., Bostan I., Mazuru S. Unele particularități de rectificare a suprafețelor întrerupte//Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. Vol. 3. Materialele Conferinței internaționale, Tehnica-Info, Chișinău, 2001, p. 284-287.
46. Scaticailov S., Toca A., Mazuru S. Sporirea preciziei de danturare prin alegerea corectă a dinților lirei de divizare//Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare. Vol. 3. Materialele Conferinței internaționale, Tehnica-Info, Chișinău, 2001, p. 368-272.
47. Bostan I., Mazuru S. , Vaculenco M. Method, standards and the equipment for energetic indexes research of the rectification process. Buletinul institutului politehnic Iași, tomul XLVIII, Supliment I, Iași, 2002, p. 37 – 40.
48. Scaticailov S., Toca A., Mazuru S. L'efficacitate de la rectification de la force et de la vitesse. Buletinul institutului politehnic Iași, tomul XLVIII, Supliment I, Iași, 2002, p. 237 – 240.
42. Bostan I., Mazuru S. Планетарный механизм. А.С. №1551898 (URSS) Б.И.-1990. №11
43. Bostan I., Mazuru S. Способ правки фасонного шлифовального круга. /Патент РФ №1646818. 16.06.95.
44. Bostan I., Oprea A.,Mazuru S. Botezatu A.Perspectivile utilizarii transmisiilor precesionale in utilaj tehnologic. Tehnologii, calitate, mașini, Materiale. A III-a conferinta de dispozitive de prelucrare, control, asamblare. Bucuresti, 1995.
45. Bostan I., Țopa M.,Mazuru S. Modificarea profilului dintilor angrenajului procesional. Depozitat la ICSITE din Moldova. Certificat N.1361-M94. 1995.
46. Мазуру С. Г. Математическое моделирование кинематики процесса зубошлифования. Машиностроение и техносфера XXI века Том 5. Donetsk, 2006.
47. Bostan I., Mazuru S., Contribuții la studiul stratul superficial în urma rectificării danturii (partea I.) Buletinul institutului politehnic Iași, Tomul LII, Fascicula Va, Secția Construcția de Mașini, Iași.
48. Bostan I., Mazuru S., Contribuții la studiul stratul superficial în urma rectificării danturii (partea II.) Buletinul institutului politehnic Iași, Tomul LII, Fascicula Va, Secția Construcția de Mașini, Iași.
49. P. Topala, V. Besliu, R. Surugiu, D. Luca, S. Mazuru. Applying graphite pellicles formed by electrical discharges in impulse to improve the exploitation performances of metal surfaces – FIZICĂ ȘI TEHNICĂ: Procese, modele, experimente, nr. 2, 2012.

50. Kukhar V Balalayeva E Prysiashnyi A Vasylevskyi O and Marchenko I 2018 *MATEC Web of Conferences* 178 02003, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817802003>