



Universitatea Tehnică a Moldovei

Evaluarea capacității tehnologiilor aditive

Masterand: Boboc Radu

Conducător: Ivan Rușica, conf. univ. dr.

Chișinău, 2020

Rezumat

BOBOC RADU. Evaluarea capacitatii tehnologiilor aditive. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricației; 2020. Teză de master: pag. 62, desene - 32, surse bibliografice - 49.

In lucrare sunt analizate caile de creare a sistemelor de asigurare a calitati la fabricarea aditiva si dezvoltarea artefactelor pentru testarea tehnologiilor aditive. Implementarea fabricației additive pentru pre-producție și producția de serie de scurtă depinde de repetabilitatea proprietăților de rugozitate a suprafețelor ale pieselor. Trebuie efectuate cercetări practice de capacitate atat a procesului AM cat si a utilajului AM pentru un răspuns adecvat beneficiarilor industriali. Prin tehnici de proiectare parametrica a fost definită o familie de artefacte ce se potrivesc diferitelor dimensiuni ale sistemului AM și pentru a satisface nevoile mai multor clienți. Performanța proceselor AM poate fi cu success stabilita prin testarea artefactelor: posibilitatea de generare a formei piesei, precizia, rugozitatea, distorsionari, rezistenta mecanica etc.

Summary

BOBOC RADU. Capacity evaluation of additive technologies. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transports; Department of Manufacturing Engineering, 2020. Master thesis: page 62; drawings - 32, bibliographic sources - 49

The paper analyzes the ways to create quality assurance systems for additive manufacturing and artifact development for testing additive technologies. The implementation of additive manufacturing for pre-production and short series production depends on the repeatability of the surface roughness properties of the parts. Practical capacity research of both the AM process and the AM machine must be performed for an adequate response to the industrial beneficiaries. Parametric design techniques have defined a family of artifacts that fit the different dimensions of the AM system and to meet the needs of several customers. The performance of AM processes can be successfully established by testing the artifacts: the possibility of generating the part shape, accuracy, roughness, distortion, mechanical strength, etc.

Cuvinte-cheie: mediul extern, tehnologii, aditiv, materie primă, rentabilitate, creșterea prețurilor, întreprindere, artefact, structura de conducere, industrial, strategii.

Keywords: external environment, technologies, additive, raw material, profitability, price increase, enterprise, artifact, management structure, industrial, strategies.

Introducere

Fabricarea aditivă (AM), cunoscută și sub denumirea procese aditive, tehnici aditive, fabricarea stratului aditiv, fabricarea stratului și fabricarea formei libere etc. este definită ca procesul de îmbinare a materialelor pentru a realiza obiecte din datele modelului tridimensional (3D), de obicei strat după strat, spre deosebire de metodologiile de fabricare extractive bine cunoscute.

Fabricarea aditivă a câștigat importanță la începutul anilor 1990 ca fabricare în straturi sau prototipare rapidă (RP). Stereolitografia (SLA) a fost primul proces RP aditiv, urmat în timp îndeaproape de modelare prin depunere fuzionată (Fused Deposition Modelling –FDM), fabricarea obiectului din foi prin laminare (Laminated Object Manufacturing – LOM) și sinterizarea selectivă cu laser (Selective Laser Sintering - SLS). Pe măsură ce AM s-a maturizat, au intrat pe piață multe alte procese, precum tipărirea tridimensională (Three-Dimensional Printing - 3DP) și imprimarea polyjet. Utilizatorii care doresc să beneficieze de avantajele RP au trebuit să aleagă care dintre procesele se potrivesc cel mai bine aplicației lor.

Fabricarea aditivă a componentelor funcționale a crescut de la capacitățile inițiale pentru prototipare rapidă (RP), unde partea rezultată, de obicei fabricată strat după strat, a fost utilizată pentru studierea formei, a potrivirii și / sau pentru testare funcțională. Procesele de fabricare aditivă demonstrează un potențial semnificativ cu o capacitate revoluționară și rapidă de la o piesă la alta pentru realizarea de piese de valoare ridicată, complexe și individual personalizate. Procesele aditive promit capacitatea de a fabrica piese care sunt dificil sau imposibil de realizat cu tehnici de fabricare convenționale, de exemplu, piese cu geometrii complexe, porozitate proiectat sau structuri de rețele ordonate sau mai puțin ordonate. Cu toate acestea, adoptarea pe scară largă a proceselor aditive este în prezent împiedicată de deficiențele în precizia pieselor, calitatea suprafețelor, materialele necesare și proprietățile materialelor, viteza mică a procesului și insuficiența de standarde reglementatorii.

Literatura de specialitate demonstrează o varietate de activități de cercetare de evaluare comparativă a preciziei geometrice pentru mai multe procese AM proeminente. Aceste studii se concentrează pe aspecte precum repetabilitatea, viteza de construcție sau fezabilitatea dimensiunii minime a caracteristicii pentru a compara procesele și mașinile disponibile. Pe lângă aceste studii, investigațiile specifice procesului privind abaterile geometrice care apar și conceptul de optimizare a preciziei sunt cunoscute și reprezintă un interes major.

Scopul acestei teze de master este de a evalua direcțiile de stabilire a capacităților tehnologiilor aditive și în special: limitele dimensionale ale elementelor caracteristice pieselor reale, precizia dimensională, abaterile de forma, rugozitatea suprafețelor etc. prin metodele de imprimare 3D utilizate în producție. Pentru aceasta este necesar să se fabrice și se testeze artefacte comune ca construcție dar scalate, adică de diferite dimensiuni, tipărite prin metodele respective utilizate. Pentru a obține imagini de model real, se pot folosi scanere fără contact și scanere cu contact.

Pe fiecare dintre imprimantele numite sunt create câteva modele în condiții diferite pentru a stabili parametrii optimi ai procesului, apoi câteva modele în condiții similare pentru a stabili repetabilitatea și a forma statistici adecvate. Drept urmare, se poate analiza cât de multă influență asupra parametrilor pieselor printate o au setările procesului și elementele caracteristice ale artefactelor final tipărite.

	pag
Cuprins	
Introducere	7
1. Elaborarea unui sistem de asigurare a calitatii in fabricarea aditiva	8
2. Standardizări in fabricația aditivă	15
3. Artefacte de testare a proceselor AM	16
3.1. Artefacte de testare la prelucrarea mecanica	17
3.2. Artefacte de testare la fabricarea additiva	20
3.3. Artefact nou de testare la fabricarea additiva	26
3.3.1. Artefactul de testare fabricat prin tehnologia SLM	28
3.3.2. Măsurarea artefactului	36
4. Artefacte de testare in scopul stabilirii preciziei dimensionale	44
4.1. Artefact de testare a preciziei dimensionale	45
5. Artefacte de testare in scopul stabilirii rugozitatii	49
5.1. Artefact de testare optimizat pentru evaluarea calității suprafețelor fabricate aditiv	53
5.2. Metodologie de evaluare a calității suprafeței în fabricarea aditiva	54
5.3. Măsurări de rugozitate a suprafetelor platourilor de artefact	58
Concluzii	59
Bibliografie	61

Bibliografie

1. A.I Khaimovich, V.V. Kokareva, V.G. Smelov, A.V. Agapovichev, A.V. Sotov. Development of an Additive Manufacturing Quality System for Gas Turbine Engine Part Production. Disponibil la: <https://www.mssoftware.com/sites/default/files/development-of-an-additive-manufacturing-quality-system-for-gas-turbine-engine-part-production.pdf>
2. Shawn Moylan, April Cooke, Kevin Jurrens, John Slotwinski, M. Alkan Donmez. A Review of Test Artifacts for Additive Manufacturing. Disponibil la: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.7858>
3. ISO 10791-7:2020. Test conditions for machining centres - Part 7: Accuracy of finished test pieces. Disponibil la: <http://docs.cntd.ru/document/1200146048>
4. J. P. Kruth, Material Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques, CIRP Annals - Manufacturing Technology. 40 (2), 603-614 (1991).
5. M. Mahesh, Y. Wong, J. Y. H. Fuh and H. T. Loh, Benchmarking for comparative evaluation of RP systems and processes, Rapid Prototyping J. 10 (2), 123-135 (2004).
6. F. Xu, Y. S. Wong and H. T. Loh, Toward generic models for comparative evaluation and process selection in rapid prototyping and manufacturing, Journal of Manufacturing Systems. 19 (5), 283-296 (2000).
7. E. P. Gargiulo, Stereolithography process accuracy: user experience, Proceedings of the 1st European Conference on Rapid Prototyping, University of Nottingham. 187-207 (1992).
8. Shawn Moylan, John Slotwinski, April Cooke, Kevin Jurrens and M. Alkan Donmez. An Additive Manufacturing Test Artifact. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. Volume 119 (2014), pp 429 – 459. Disponibil la: <http://dx.doi.org/10.6028/jres.119.017>
9. Razvan Udroi, Ion Cristian Braga and Anisor Nedelcu. Evaluating the Quality Surface Performance of Additive Manufacturing Systems: Methodology and a Material Jetting Case Study. Disponibil la: https://www.researchgate.net/publication/331998582_Evaluating_the_Quality_Surface_Performance_of_Additive_Manufacturing_Systems_Methodology_and_a_Material_Jetting_Case_Study
10. Strano, G.; Hao, L.; Everson, R.M.; Evans, K.E. Surface roughness analysis, modelling and prediction in selective laser melting. J. Mater. Process. Technol. 2013, 213, 589–597. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013612003366>
11. Moylan, S. Progress toward standardized additive manufacturing test artifacts. In Proceedings of the ASPE 2015 Spring Topical Meeting Achieving Precision Tolerances in Additive Manufacturing, Raleigh, NC, USA, 26–29 April 2015; pp. 100–105. Disponibil la:

https://www.researchgate.net/publication/283226705_Progress_toward_standardized_additive_manufacturing_test_artifacts

12. Townsend, A.; Senin, N.; Blunt, L.; Leach, R.K.; Taylor, J.S. Surface texture metrology for metal additive manufacturing: A review. *Precis. Eng.* 2016, 46, 34–47. Disponibil la:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141635916300721>
13. T. Lieneke, T. Künneke, F. Schlenker, V. Denzer, D. Zimmer. Manufacturing Accuracy In Additive Manufacturing: A Method To Determine Geometrical Tolerances. Disponibil la:
<https://www.euspen.eu/knowledge-base/AM19129.pdf>
14. F. Knoop, V. Schoepner. Geometrical accuracy of holes and cylinders manufactured with fused deposition modeling. *Solid Freeform Fabrication 2017: Proceedings of the 28th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference*. pp. 2757 – 2776. Disponibil la:
<http://utw10945.utweb.utexas.edu/sites/default/files/2017/Manuscripts/GeometricalAccuracyofHoleandCylindersManufa.pdf>
15. Bostan I., Oprea A., Mazuru S. Botezatu A. Perspectivele utilizării transmisiilor precesionale în utilaj tehnologic. Tehnologii, calitate, mașini, Materiale. A III-a conferința de dispozitive de prelucrare, control, asamblare. București, 1995.
16. Bostan I., Țopa M., Mazuru S. Modificarea profilului dinților angrenajului procesional. Depozitat la ICSITE din Moldova. Certificat N.1361-M94. 1995.
17. Мазуру С. Г. Математическое моделирование кинематики процесса зубошлифования. *Машиностроение и техносфера XXI века Том 5*. Donetsk, 2006.
18. Bostan I., Mazuru S., Contribuții la studiul stratului superficial în urma rectificării danturii (partea I.) *Buletinul institutului politehnic Iași, Tomul LII, Fascicula Va, Secția Construcția de Mașini, Iași*.
19. Bostan I., Mazuru S., Contribuții la studiul stratului superficial în urma rectificării danturii (partea II.) *Buletinul institutului politehnic Iași, Tomul LII, Fascicula Va, Secția Construcția de Mașini, Iași*.
20. 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.
21. Bostan I., Mazuru S., Toca A., Casian M. Axial adjustment method for precessional transmissions. *Tehnomus Journal. new technologies and products in machine manufacturing technologies*. Nr. 1. 2017 p. 30 -36.

22. 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.
23. Bostan I., Trifan N, Mazuru S. Metode constructive de asigurare a calității pieselor de tip roată dințată. *Buletinul institutului politehnic Iași*, tomul LIV, Fascicula Vc, Iași, 2004, p. 757–760.
24. Bostan I., Mazuru S. Aprecierea calității organelor de mașini la etapa de pregătire tehnologică a producției. *Buletinul institutului politehnic Iași*, tomul LIV, Fascicula Vc, Iași, 2004, p. 749–752.
25. Bostan I., Dulgheru V., Țopa M., Mazuru S. Dentiton de l’engrenage preecesional a profil modifie. *Buletinul Institutului Politehnic din Iași*, tomul XLVI (L), supliment I, pag. 17-22. 2000.
26. Bostan I., Vaculenco M, Mazuru S. 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.
27. Bostan I., Vaculenco M., Mazuru S. Method and the equipment at the research of the rectification process temperature. *Buletinul institutului politehnic. Iași*, tomul XLVIII, Supliment I, Iași, 2002, p. 41 – 44.
28. Scaticailov S. Mazuru S. L’efficatite de la rectification de la force et de la vitesse. *Buletinul institutului politehnic Iași*, tomul XLVIII, Supliment I, Iași, 2002, p. 237 – 240.
29. Bostan I., Toca A., Scaticailov S., Mazuru S. Cercetarea variației secțiunii transversale teoretice a așchiilor dintre sculă și roată dințată conică recesională la rectificare și frezare. *Buletinul Institutului Politehnic Iași*, tomul LIV, Fascicula Vc, Iași, 2004, p. 753 – 756, ISSN 1011-2855, ISSN 1011-2855.
30. Mazuru Sergiu. Contribuții la studiul stratului superficial în urma rectificării danturii (Partea I). *Buletinul Institutului Politehnic Iași*, Tomul LII, Fascicula V- a, Secția Construcția de Mașini, Iași.
31. Vadim IAȚCHEVICI, Sergiu MAZURU. Mechanisms for stimulating innovation and technology transfer in the Republic of Moldova. *Revista Intellectus*. 3/2014, p. 68-72.
32. Topală, V. Besliu, R. Surugiu, D. Luca, S. Mazuru. Applying graphite pellicles formed by electrical discharges in impulse to improve the Republic of Moldova.. *Revista Intellectus*. 3/2014, p.68-72.
33. Slătineanu, L., Gonçalves-Coelho, A., Coteață, M., Uliuliuc, D., Grigoraș (Beșliu), I., **Mazuru, S.** Teaching students the basics of designing experimental research equipment. ICAD 2011. Proceedings of the 6th International Conference on Axiomatic Design. Editor: Mary Kathryn Thompson, KAIST, Daejeon, Republic of Korea, pag. 195-203,

34. Скатицайлов С.В., Мазуру С.Г., Ботнаръ. В. А. Моделирования процесса шлифования с оценкой производительности, стойкости инструмента и качества обработки. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVII международной научно-технической конференции. Том 2, 2010, Донецк, .
35. Bostan I., Mazuru S., Botnari V. Cinetic process of teeth grinding. The 15th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Innovation. ModTech 2011, 25-27 May, 2011, Vadul lui Voda, Moldova – România,
36. Скатицайлов С.В., Мазуру С.Г., Мазуру А. С. Экспериментальные исследования поверхностного слоя зубьев зубчатых колес в зависимости от условий шлифования, стойкости инструмента и качества обработки. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции. Том 2, 2012, Донецк,
37. Мазуру С.Г., Метельский В. Обеспечение точности базирования интегрированием погрешностей технологической базы. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции. Том 2. 2011, Донецк,
38. Мазуру С.Г. Механизм образования составляющих кинематической погрешности зубчатого колеса при химико-термической обработке. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции. Том 2. 2011, Донецк, ISSN 966-7907-20-1.
39. Бостан И., Мазуру С.Г., Касиан М. С. Оптимизация параметров точности элементов технологических систем операций зубообработки. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции. Том 1 2012, Донецк.
40. Casian M., Mazuru S., Scaticailov S. Contributions to increase safety of operating equipment tehnology gear. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции. Том 3 2012.
41. Metelski V. Mazuru S., Constructive metods to ensure the accuracy of tehnological-quality indicators gears. The 16th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Innovation. ModTech 2012, 24-26 May, 2012, Sinaia, Romania.
42. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M., Scaticailov S. Issues technology manufacturing precessional gears with nonstandard profile generating. IX international congress “Machines, Technologies, Materials 2012”, Varna, Bulgaria, 2012, Vol. I. .

43. Botnari Vlad, Mazuru Sergiu, Scaticailov Serghei și Mazuru Alexandru. Sposob i ustroistvo dlia uprociniaiușei obrabotchi s naneseniem pocrîtii poverhnostnogo sloia yubiev yubcatih coles. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XX международной научно-технической конференции. Том 2, 2013, Донецк.
44. Maxim Vaculenco, Sergiu Mazuru, Serghei Scaticailov, Ion Bostan. Process for machining of gearwheels consists, <http://www.euroinvent.org/cat/e2019.pdf>, p.179.
45. Pavel Cosovschi, Sergiu Mazuru, Device for glassware moulding by vacuum suction method. <http://www.euroinvent.org/cat/e2019.pdf>, p. 180.
46. Alexei Toca, Alexandru Mazuru, Sergiu Mazuru. Procedure for making conical gears. <http://www.euroinvent.org/cat/e2019.pdf>, p. 179.
47. Lialin Stanislav, Mazuru Sergiu, Vaculenco Maxim și Bostan Ion. SATELLITE WHEEL <https://proinvent.utcluj.ro/img/catalogs/2019.pdf>, p.356.
48. Topala Pavel, Mazuru Alexandru, Toca Alexei, Scaticailov Serghei, Mazuru Sergiu, Lubricant-coolant fluid, https://depmus.000webhostapp.com/inventica/PDF/Volum_INVENTICA_2019.pdf, p. 300.
49. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Vaculenco Maxim, Ciotu Andrei, Process for shaving of precession gear teeth, https://depmus.000webhostapp.com/inventica/PDF/Volum_INVENTICA_2019.pdf, p. 301.

