



Universitatea Tehnică a Moldovei

Considerații privind proiectarea produsului în condițiile fabricării aditive

Masterand: Dumitraș Victor

Conducător: Sergiu Mazuru, conf. univ. dr.

Chișinău, 2020

REZUMAT

DUMITRAS VICTOR. Considerații privind proiectarea produsului în condițiile fabricării aditive. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricației; 2020. Teză de mașter: pag. 63, desene - 33, surse bibliografice - 52.

În lucrare sunt analizate aspectele de proiectare constructivă ce asigură competitivitatea tehnologiilor aditive: geometrii complexe și personalizate; complexitatea materialului (multimaterialitatea); reproiectarea funcțională a pieselor, ansamblurilor și produselor; reducerea numărului de piese într-un ansamblu și/sau transformarea ansamblului în piesă; complexitatea macrostructurii interne; complexitatea ierarhică; complexitatea funcțională hibridă; complexitatea funcțională prin asamblarea directă la fabricare etc. Se arată că proiectarea pentru fabricarea aditivă (Design for Additive Manufacturing - DFMA) ca și proiectarea pentru fabricare (Design for Manufacturing - DFM) și proiectarea pentru asamblabilitate (Design for Assembly - DFA) este un proces continuu și dinamic și se dezvoltă odată cu evoluția metodelor de prelucrare respective. Proiectarea pentru fabricarea aditivă are un potențial foarte mare, deoarece se referă la fabricarea directă din calculator (Direct Manufacturing) și se poate manifesta atât la structura internă a componentelor fabricate, cât și la cea internă.

SUMMARY

DUMITRAS VICTOR. Product design considerations under additive manufacturing conditions. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transports; Department of Manufacturing Engineering, 2020. Master thesis: page 59; drawings - 33, bibliographic sources - 52.

The paper analyzes the aspects of constructive design that ensure the competitiveness of additive technologies: complex and customized geometries; material complexity (multimateriality); the functional redesign of parts, assemblies and products; reducing the number of parts in an assembly and / or transforming the assembly into a part; the complexity of the internal macrostructure; the hierarchical complexity; the hybrid functional complexity; the functional complexity by direct assembly to manufacturing etc. It is shown that Design for Additive Manufacturing (DFMA) as well as Design for Manufacturing (DFM) and Design for Assembly (DFA) is a continuous and dynamic process and develops with the evolution of the respective processing methods. Design for Additive Manufacturing has a great potential, because it refers to Direct Manufacturing and can manifest both the internal structure of the manufactured components and the internal one.

Cuvinte-cheie: produs, fabricare aditivă, structură, materie primă, proces, creșterea prețurilor, întreprindere, management, structura de conducere, industrial, strategii.

Keywords: product, additive manufacturing, structure, raw material, process, price increase, enterprise, management, management structure, industrial, strategies.

	Cuprins	pag
Introducere		7
1. Fabricatia sustractiva vs fabricatia aditiva		10
2. Proiectarea pentru fabricatia conventionala (substractiva) vs proiectarea pentru fabricatia aditiva		13
2.1. Proiectarea pentru fabricația convențională		13
2.2. Proiectare pentru fabricatia aditivă		13
3. Doua strategii de proiectare pentru fabricatia aditiva		20
4. Concepte și obiective de bază ale proiectarii pentru fabricabilitatea aditiva		21
4.1. Geometrii complexe si personalizate		24
4.2. Complexitatea materialului		27
4.3. Re-proiectarea pentru fabricatia aditiva		30
4.4. Reducerea numărului de piese într-un ansamblu si/sau transformarea ansamblului in piesa		33
4.5. Compexitatea macrostructurii interne		34
4.6. Complexitatea ierarhică		39
4.7. Complexitatea funcțională hibrida		41
4.8. Complexitatea funcțională prin asamblarea directa la fabricare		42
5. Asigurarea calitatii in fabricatia aditiva		44
5.1. Orientarea piesei		45
5.2. Structuri de suport si eliminarea lor		46
5.3. Elemente caracteristice de interblocare pentru integrare		47
6. Domenii de aplicare a fabricatiei aditive care nu implică modelarea CAD initiala		48
7. Proiectarea produselor pentru fabricatia aditiva		49
7.1. Concepte care stau la baza abordării		51
7.2. Definiția structurilor componentelor		53
7.3. Definirea geometriei componentelor		58
Concluzii		61
Bibliografie		62

Introducere

Pentru a utiliza avantajele fabricatiei aditive este necesar să se identifice piesele dintr-un produs în care beneficiile fabricatiei aditive creează cea mai mare valoare pentru client. Companiile își dezvoltă continuu produsele pentru a-și menține poziția pe piață. Obiectivul din spatele îmbunătățirilor sau optimizărilor produsului poate varia. Exemple tipice sunt o creștere a performanței, o eficiență mai bună sau reducerea costurilor.

O cale posibilă către un produs îmbunătățit este schimbarea tehnologiei de producție. Fabricatia aditivă este o tehnologie de producție tânără despre care se consideră că oferă noi modalități de dezvoltare a produselor. Astăzi procesele de fabricație aditivă sunt tehnologii de fabricație dovedite pentru produsele de serie pentru aplicații industriale și pentru utilizatorii finali [1].

Proiectanții ar trebui să ia în considerare utilizarea avantajelor fabricatiei aditive pentru a crea o valoare adăugată pentru utilizatorul produsului lor.

Studierea cazurilor de piese AM de succes și analiza beneficiilor sale ar putea inspira proiectanții pentru noi modele, dar nu oferă îndrumări în găsirea aplicațiilor potrivite pentru fabricatia aditivă în portofoliul de produse al unei companii. Un proiectant s-ar putea simți chiar copleșit de multitudinea de posibilități și este clar pentru el să folosească cazurile descrise de aplicații de succes pentru a rezolva o sarcină specifică. Acest lucru este valabil mai ales pentru primul pas pe drumul către o piesă fabricată aditiv: selectarea corectă a piesei a unui anumit produs care urmează să fie fabricată prin AM fie fără modificări, fie după o reproiectare. Această decizie este și mai dificilă pentru numărul mare de companii, care nu au folosit încă fabricatia aditivă și, prin urmare, nu au experiență din proiectele AM anterioare.

Identificarea pieselor ce pot fi fabricate aditiv se face de către proiectanți, deoarece aceștia sunt experții în sisteme și au cunoștințe detaliate despre funcțiile componentelor, precum și despre provocările aplicației. Principiul îndrumător grupează beneficiile potențiale ale fabricării aditive în patru criterii de selecție bazate pe obiectivul principal al proiectării pentru fabricatia aditivă [1]:

- ✓ proiectare integrată,
- ✓ individualizare,
- ✓ design liber și ușor,
- ✓ design eficient.

Scopul criteriilor de selecție este de a reduce multitudinea de beneficii potențiale la patru criterii ușor de înțeles și memorat.

Cele patru criterii de selecție au fost diseminate pentru a demonstra aplicarea criteriilor în procesul de selecție și pentru a oferi industriei o inspirație pentru proiectarea unei piese fabricate aditiv cu succes în compania lor. Criteriile de selecție i-au condus pe proiectanți către piese și ansambluri în care o schimbare a tehnologiei de producție oferă o libertate suplimentară în proiectare pentru a face față provocărilor. În aceste scenarii, numărul de piese în companii este limitat, iar persoanele implicate în proiectul de dezvoltare sunt familiare cu proiectarea, prin urmare au putut efectua un proces de selecție manuală.

În alte proiecte, sarcina poate să se refere la examinarea întregului portofoliu de produse al unei companii mici sau mijlocii. Mai multe persoane pot fi implicate în aceste proiecte și numărul de piese în domeniu poate fi mai mare. Pentru a face față unui proces de selecție la această scară sarcina este transmisă departamentelor pentru a reduce domeniul de aplicare pentru fiecare grup implicat în proiect.

Un grup de experți în fabricație aditivă a evaluat profilurile și le-a clasificat în patru grupuri de piese [1]:

- ✓ un design pentru fabricația aditivă va aduce un beneficiu,
- ✓ riscurile și beneficiile preconizate ale fabricării aditive necesită o evaluare mai atentă,
- ✓ piesa nu poate fi fabricată prin AM în viitorul apropiat din cauza dimensiunilor, costurilor sau a altor restricții,
- ✓ piese fără beneficii preconizate.

Ultima categorie de piese fără beneficii este de obicei anulată după evaluare. Prin urmare, este inclus aici mai ales pentru completitudine.

Experiența dobândită din proiectele de selecție arată în mod clar că criteriile de selecție sunt potrivite pentru proiectele mici și mijlocii, unde accentul este pus pe rezolvarea unei probleme cu avantajele fabricației aditive.

Pentru a îmbunătăți procesul de selecție, căutarea trebuie să devină mai sistematică și criteriile trebuie să fie mai detaliate.

Tehnologia AM se îmbunătățește continuu cu capacitatea de a imprima piese funcționale și produse pentru utilizatorii finali, utilizând diverse materiale, inclusiv produse metalice și nemetalice. Fabricația aditivă are multe avantaje față de procesele de fabricație tradiționale. Avantajele majore sunt prezentate în Tabelul 1 [2].

Bibliografie

1. Christoph Klahn, Bastian Leutenecker, Mirko Meboldt. Design Strategies for the Process of Additive Manufacturing. CIRP 25th Design Conference Innovative Product Creation. Procedia CIRP 36 (2015) 230 – 235. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115008938>
2. Benjamin Durakovic. Design for Additive Manufacturing: Benefits, Trends and Challenges. Periodicals of Engineering and Natural Sciences. Vol.6, No.2, December 2018, pp. 179~191. ISSN 2303-4521. Disponibil la: <https://core.ac.uk/download/pdf/229563148.pdf>
3. D. Bourell, J. P. Kruth, M. Leu, G. Levy, D. Rosen, A. M. Beese and A. Clare, "Materials for additive manufacturing," CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2017.
4. Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer, 2010. Disponibil la: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4419-1120-9>
5. B. Duraković and H. Bašić, "Textile Cutting Process Optimization Model Based On Six Sigma Methodology In A Medium-Sized Company," Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, vol. 16, no. 1, pp. 107-110, 2012.
6. T. C. Kuo, S. H. Huang and H. C. Zhang, "Design for manufacture and design for 'X': Concepts, applications, and perspectives," Computers and Industrial Engineering, 2001.
7. FDM Helps Acist Medical Pursue perfection. Disponibil la: <http://usglobalimages.stratasys.com/Case%20Studies/Medical/CS-FDM-Med-AcistMedical-EN-03-15-Web.pdf?v=635708250049307509>.
8. P. O'Regan, P. Prickett, R. Setchi, G. Hankins and N. Jones, "Metal Based Additive Layer Manufacturing: Variations, Correlations and Process Control," *Procedia Computer Science*, vol. 96, pp. 216-224, 2016. Disponibil la: https://www.researchgate.net/publication/307914611_Metal_Based_Additive_Layer_Manufacturing_Variations_Correlations_and_Process_Control
9. M. Schmid and G. Levy, "Quality Management and Estimation of Quality Costs for Additive Manufacturing with SLS," in Direct Digital Manufacturing Conference (Ed.), Direct Digital Manufacturing Conference, 2012. Disponibil la: <https://www.semanticscholar.org/paper/Quality-management-and-estimation-of-quality-costs-Schmid-Levy/ac41baf2643a4871f1440f8eb82b92d6ebbe23c4>
10. M. Schmidt, M. Merklein, D. Bourell, D. Dimitrov, T. Hausotte, K. Wegener, L. Overmeyer, F. Vollertsen and G. N. Levy, "Laser based additive manufacturing in industry and academia," CIRP

Annals, 2017. Disponibil la:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850617301506>

11. Germain Sossou, Frédéric Demoly, Ghislain Montavon, Samuel Gomes. An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies. *Journal of Computational Design and Engineering* 5 (2018), pp 3–18. Disponibil la:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2288430017300659>

12. Bostan Viorel, Bostan Ion, Dulgheru Valeriu, Ciupercă Rodion, Mazuru Sergiu și alții. *Non-conventional digital gear manufacturing technologies with non-standardized profiles from precessional transmissions*. http://www.euroinvent.org/cat/E2020_Posters_1_international.pdf. p. 96
13. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Vaculenco Maxim, Scaticailov Serghei. *Process for forming the micro-relay regularly on the surface of the gear teeth*. http://www.euroinvent.org/cat/E2020_Posters_1_international.pdf, p. 109.
14. Vaculenco Maxim, Mazuru Sergiu, Lealin Stanislav, Bostan Ion. *Wheel – satellite*. http://www.euroinvent.org/cat/E2020_Posters_1_international.pdf. p.108.
15. Trifan Nicolae, Mazuru Sergiu. *Toothpick hardening device*. http://www.euroinvent.org/cat/E2020_Posters_1_international.pdf, p.107.
16. Trifan Nicolaie, Mazuru Sergiu, Mazuru Alexandru. *Thermogazocyclic nitration process*. http://www.euroinvent.org/cat/E2020_Posters_1_international.pdf, p. 106.
17. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Vaculenco Maxim, Scaticailov Serghei. *Gear Proceeing procedure. Inventica 2020*. <http://ini.tuiasi.ro/salon/wp-content/uploads/sites/3/2020/07/Volum-inven%C8%9Bii.pdf> p.410.
18. Trifan Nicolaie, Mazuru Sergiu, Alexandru Mazuru. *Scula abraziva. Inventica 2020*. <http://ini.tuiasi.ro/salon/wp-content/uploads/sites/3/2020/07/Volum-inven%C8%9Bii.pdf>, p.411.
19. Trifan Nicolaie, Mazuru Sergiu, Alexandru Mazuru. *Wet pressing process of metal Powder. Inventica 2020*. <http://ini.tuiasi.ro/salon/wp-content/uploads/sites/3/2020/07/Volum-inven%C8%9Bii.pdf> p.412.
20. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Vaculenco Maxim, Scaticailov Serghei. *Bevel gear wheels execution procedure*. <https://proinvent.utcluj.ro/img/catalogs/2020.pdf>, p. 355.
21. Toca Alexei, Mazuru Alexandru, Trifan Nicolae, Mazuru Sergiu. *Process for bevel gear manufacturing*. <https://proinvent.utcluj.ro/img/catalogs/2020.pdf>, p.353.
22. Trifan Nicolaie, Mazuru Sergiu, Alexandru Mazuru. *Drying plant for fruit and vegetables*. <https://proinvent.utcluj.ro/img/catalogs/2020.pdf>. p.354.
23. Maxim Vaculenco, Sergiu Mazuru, Serghei Scaticailov, Ion Bostan. *Process for machining of gearwheels consists*, <http://www.euroinvent.org/cat/e2019.pdf>, p.179.
24. Pavel Cosovschi, Sergiu Mazuru, *Device for glassware moulding by vacuum suction method*. <http://www.euroinvent.org/cat/e2019.pdf>, p. 180.
25. Alexei Toca, Alexandru Mazuru, Sergiu Mazuru. *Procedure for making conical gears*. <http://www.euroinvent.org/cat/e2019.pdf>, p. 179.
26. Lialin Stanislav, Mazuru Sergiu, Vaculenco Maxim și Bostan Ion. *SATELLITE WHEEL* <https://proinvent.utcluj.ro/img/catalogs/2019.pdf>, p.356.
27. 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.
28. 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.

29. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Scaticailov Serghei, Casian Maxim. Transmisie precesională. Brevet de invenție de scurtă durată nr. 1116, BOPI Nr. 1/2017.
30. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Scaticailov Serghei, Casian Maxim, Procedeu de reglare a jocului axial în angrenajul conic, Brevet de invenție de scurtă durată B.I. 1217. BOPI nr. 12/2017.
31. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Scaticailov Serghei, Casian Maxim, Roată-satelit, Brevet de invenție de scurtă durată B.I. 4731. BOPI nr. 3/2019.
32. Bostan Ion, Mazuru Sergiu, Scaticailov Serghei, Casian Maxim. Procedeu de prelucrare a dinților angrenajului precesional. Brevet de invenție B.I. 4700. BOPI nr. 07/2020.
33. Topala Pavel, Mazuru Sergiu, Cosovschi Pavel . Procedeu de durificare a suprafețelor metalice. B.I. 4184. BOPI nr. 11/2012.
34. Botnari Vlad, Mazuru Sergiu, Mazuru Alexandru. Sculă abrazivă. B.I. 622. BOPI nr. 05/2011. scurtă durată. Int. CI: B24D5/06, B24D5/14.
35. Bostan I., Mazuru S., Casian M., Method of axial adjustment for precessional transmissions. MATEC Web of Conferences 178:06024, . DOI: [10.1051/matecconf/201817806024](https://doi.org/10.1051/matecconf/201817806024), 2017.
36. Scaticailov S. , Mazuru S., Stingaci I. Grinding of the gears with high depth processing. MATEC Web of Conferences 112:01019. DOI: [10.1051/matecconf/201711201019](https://doi.org/10.1051/matecconf/201711201019), 2017.
37. Scaticailov S. ,Mazuru S., Casian M. The processing accuracy of the gear. MATEC Web of Conferences 112:01026. DOI: [10.1051/matecconf/201711201026](https://doi.org/10.1051/matecconf/201711201026), 2017
38. Botnari Vlad, Mazuru Sergiu, Scaticailov Serghei și Mazuru Alexandru. Sposob i ustroistvo dlia uprociniaiușei obrabotchi s naneseniem pocrıtii poverhnostnogo sloia yubiev yubcatih coles. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XX международной научно-технической конференции. Том 2, 2013, Донецк.
39. Scaticailov S. , Mazuru S., Mazuru A. Some aspects of the nitriding process of parts in machine construction. Conference: 11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies. Bucuresti, Romania IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1018 012011.
40. Scaticailov S., Mazuru S. The role of the friction process in abrasive grain micro cutting technology. Conference: 11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies. Bucuresti, Romania IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1018 012010.
41. Toca Alexei, Mazuru Sergiu. CADRUL CALIFICĂRIILOR ÎN DOMENIUL DE FORMARE PROFESIONALĂ. 521-INGINERIE ȘI TEHNOLOGII INDUSTRIALE. Partea II. În Cul. CȘI Iași-Chișinău „Tehnologii Moderne Calitate Restructurare”, 31 mai-3 iunie 2007.
42. Scaticailov S. , Mazuru S., Casian M. One of the methods for grinding a gear ring and changing the design of the precessional transmission. Conference: International Workshop on Surface Engineering & 5th International Workshop on Applied and Sustainable Engineering At: <http://www.workshop.tu.koszalin.pl/2018/abstracts.html>.
43. Скатикайлов 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,
44. 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,
45. 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, Донецк, 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.

46. 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.
47. Mardari Alexandru, Mazuru Sergiu. *Procedeu de presare umedă a pulberilor metalice*. Brevet de invenție de scurtă durată nr. 452, 2016.04.20, 2017.03.31.
48. Mardari Alexandru, Mazuru Sergiu. *Formă de presarea pulberilor metalice*. Brevet de invenție de scurtă durată nr. 676, 2013.09.30, 2014.04.30.
49. Botnari V., Mazuru S. Perie circulară cu pereți din metal. Brevet de invenție de scurtă durată nr. 494. 2012.03.31 . B24D31/10.
50. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M. Dispozitiv de măsurare a forțelor dezvoltate de un mecanism. Brevet nr.2920 MD. I.Cl.: G01 L3/16. Publ. 2004.02.20, BOPI nr.11/2005.
51. Bostan I., Mazuru S. Dispozitiv de moletare a profilelor dințate pe semifabricate inelare. Brevet nr.2704 MD. I.Cl.: B21 H5/00, 1/06. Publ. 2004.11.30, BOPI nr.11/2004.
52. Bostan I., Mazuru S., Vaculenco M. Procedeu de prelucrare prin electroeroziune a suprafețelor roților dințate ale transmisiei presecionale. Brevet nr.2609 MD. I.Cl.: B23 H1/00. Publ. 2004.02.29, BOPI nr.2/2004.