

Formarea suprafețelor complexe la Mașini CNC cu 3 – 5 axe

Student:

Zavtoni Afanasie

Conducător:

conf.univ., dr. Toca Alexei

Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi
Departamentul Ingineria Fabricației

Admis la susținere
Șef de departament:
conf.univ., dr. hab. Sergiu Mazuru

”___,” _____ 2023

Formarea suprafețelor complexe la Mașini CNC cu 3 – 5 axe

Teză de master

Programul

Ingineria Produsului și a Proceselor în Construcția de Mașini

Student:

(Zavtoni Afanasie)

Conducător:

(conf.univ., dr. Toca Alexei)

Rezumat

ZAVTONI AFANASIE. Formarea suprafețelor complexe la Masini CNC cu 3 – 5 axe. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricației; 2022. Teză de master: pag. 59, desene – 33, surse bibliografice – 52.

In lucrare sunt analizate utilajele, sculele si metodele de prelucrare a suprafețelor complexe de forma libera. Sunt analizate principiile si metodele de generare a traseelor frezelor pentru conditiile 3 si 5 axe in conformitate cu conceptul prelucrarilor la viteze mari. Se arata ca elaborarile recente a sistemelor CAM sunt pe masura sa asigure formarea suprafețelor libere la precizie inalta si cu o rugozitate mica.

Summary

ZAVTONI AFANASIE. Formation of complex surfaces on CNC machines with 3 - 5 axis. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transports; Department of Manufacturing Engineering, 2022. Master thesis: page 59; drawings – 33, bibliographic sources - 52

In the paper, the machines, tools and methods of machining of the complex free-form surfaces are analyzed. The principles and methods of generating milling paths for 3 and 5 axis conditions are analyzed in accordance with the concept of high speed machining. It is shown that the recent developments of CAM systems are able to ensure the formation of free surfaces with high precision and with a low roughness.

Cuvinte cheie. metodele de prelucrare, suprafețe complexe de formă liberă, metode de generare, formarea suprafețelor libere.

Keywords. and methods of machining, the complex free-form surfaces, methods of generating, the formation of free surfaces.

	Cuprins	pag
1. Introducere		7
2. Piese de prelucrat cu suprafete complexe profilate		8
2.1. Procesul de fabricație și tehnologiile implicate		10
3. Masini-unelte, scule si regimuri de formare a suprafetelor complexe		11
3.1. Tipuri de prelucrari CNC		11
3.2. Geometria frezelor pentru suprafete complexe		16
3.3. Prelucrarea cu viteze mari		17
3.4. Regimuri de aschiere la frezarea de mare viteză		21
3.5. Forțele de aschiere		22
3.6. Precizia de prelucrare		23
3.7. Rugozitatea suprafetei prelucrate		26
4. Generarea traseului sculei pentru frezarea suprafețelor de formă		26
4.1. Principiile generării traiectoriei sculei de aschiere		27
4.2. Strategii inteligente pentru frezarea suprafețelor cu pereti verticali		35
4.3. Traiectorii trohoidale de frezare a suprafețelor complexe		41
5. Rolul sistemelor CAM la programarea prelucrării suprafețelor complexe		46
6. Generalizari si concluzii		56
Bibliografie		57

Introducere

Astăzi, multe produse sunt proiectate folosind suprafețe cu formă liberă (sculpturată), nu numai în industria auto, aerospațială și construcții navale, ci și în industria matrițelor/formelor de injecție pentru diferite piese prelucrate. Suprafețele cu formă liberă sunt utilizate în principal pentru a îmbunătăți designul și/sau pentru a îmbunătăți cerințele funcționale. Cele mai frecvent utilizate proceduri de prelucrare sunt operațiunile de frezare cu capuri sferice cu 3 sau 5 axe. Acest fapt implică problema generării traseului sculei care impune utilizarea sistemelor CAD/CAM pentru a reprezenta analitic suprafața și, pe baza acesteia, pentru a genera un traseu adecvat al sculei.

Determinarea traseului optim al sculei pentru prelucrarea suprafețelor cu formă liberă necesită îndeplinirea simultană a unui număr de cerințe, cum ar fi cantitatea de date care trebuie stocată în unitatea de control al mașinii-unelte, calitatea și acuratețea suprafețelor prelucrate, forțele de frezare, timpul total de prelucrare și altele asemenea. Forțele de aşchiere sunt principalii factori care guvernează precizia prelucrării, calitatea suprafeței, vibrațiile mașinii-unelte, cerințele de putere și durata de viață a sculei. Capacitatea de a prezice forțele de aşchiere este utilă pentru proiectarea structurilor mașinilor-unelte și a sculelor de aşchiere, precum și pentru controlul și optimizarea proceselor de prelucrare pentru a obține o precizie și productivitate ridicate [5]. Pașii necesari pentru a efectua prelucrarea suprafețelor cu formă liberă sunt de obicei clasificați în operațiuni de prelucrare de degroșare, semifinisare și finisare. La aşchiera de degroșare, cea mai mare parte a materialului este îndepărtată de pe suprafață pentru a genera o formă aproximativă a suprafeței. Geometrii de tip “umeri” lăsați din etapa de degroșare de mașinile-unelte mari sunt îndepărtați în semifinisare pentru a obține o suprafață echidistantă (offset) continuă pentru finisare. În etapa de finisare, suprafața rugoasă este transformată în forma exactă.

La degroșare, cât mai mult posibil material trebuie îndepărtat în cel mai scurt timp posibil, așa că lucrărilor de cercetare extinse sunt dedicate acestui domeniu. Una dintre metodele aplicate este programarea vitezei de avans pentru a menține forța de aşchiere la o valoare constantă, ceea ce are ca rezultat o reducere semnificativă a timpului total de prelucrare în comparație cu metoda menținerii unei adâncimi de aşchiere și a vitezei de avans constante [6]. Folosirea unei astfel de metode de optimizare se justifică doar degroșare, deoarece la finisarea suprafeței adâncimile de

aschiere sunt foarte mici și în consecință forța de aschiere este mică. În plus față de metodele menționate mai sus, au fost dezvoltate și metode de optimizare multicriterială pentru prelucrarea suprafețelor cu formă liberă. Acestea includ soluții matematice care constau în relația fizică dintre forțele rezultante medii, timpul ciclului și înălțimile macroneregularitatilor [7]. Utilizarea optimizării multicriteriale poate fi justificată doar în cazul în care degroșarea este, în același timp, operația de finisare. În cazurile în care este necesară îndepărtarea cât mai mult material posibil în cel mai scurt timp posibil și de preferință într-o singură trecere, este necesar să se elaboreze o strategie de prelucrare în care rugozitatea și toleranțele să fie menținute în limitele prescrise și se evită depășirea limitelor forței de aschiere și/sau supraîncărcarea motorului de servo-antrenare a axului mașinii. Este realizat un algoritm de simulare a procesului de frezare cu capăt sferic cu trei axe pentru obținerea unui traseu al sculei care menține forța de așchiere la un nivel constant prestabilit.

Utilizarea suprafețelor de formă liberă (sculpturată) în procesul de proiectare a produsului se accelerează cu o rată exponențială determinată de cerințele funcționale și estetice. Software-ul CAD/CAM este o necesitate în proiectarea și fabricarea lor. Deși aspectele geometrice ale designului sunt relativ bine acoperite, problemele rămân încă atunci când vine vorba de fabricarea efectivă a suprafețelor cu formă liberă. Problemele majore sunt legate de generarea traseelor adecvate ale sculelor care să asigure calitatea cerută a suprafeței, reducerea la minimum a timpului total de prelucrare, controlul mărimii forțelor de așchiere etc. Una din proceduri algoritmice pentru generarea traseului sculei se bazează pe criteriul menținerii forțelor de așchiere la un nivel predefinit constant pentru procesele de frezare cu scule sferice în 3 axe. În acest scop, un model de predicție a forței de aschiere este necesar de încorporat în algoritmul și software-ul de generare a traiectoriilor de aschiere care este compatibil cu toate sistemele CAD/CAM.

Bibliografie

1. Ikua, B. W., Tanaka, H., Obata, F. and Sakamoto, S.: Prediction of cutting forces and machining error in ball end milling of curved surfaces - I theoretical analysis, Precision Engineering, Vol. 25, Issue 4, pp. 266-273, 2001.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141635901000770>
2. Ehsan Layegh K., Erdimb, H. and Lazoglu, I.: Offline Force Control and Feedrate Scheduling for Complex Free Form Surfaces in 5-Axis Milling, in: Procedia CIRP, Volume 1, 5th CIRP Conference on High Performance Cutting, pp. 96–101, 2012.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827112000169>
3. Manav, C., Bank, H.S., and Lazoglu, L.: Intelligent toolpath selection via multi-criteria optimization in complex sculptured milling, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 24, Issue 2, pp. 349–355, 2011. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-011-0596-3>
4. L. Norberto López de Lacalle and A. Lamikiz. Sculptured Surface Machining. DOI:10.1007/978-1-84800-213-5_8.
https://www.researchgate.net/publication/236213803_Sculptured_Surface_Machining
5. Uliuliuc D., Contribuții teoretice și experimentale la studiul procesului de prelucrare prin electroziune a suprafețelor profilate. Ed. Politehnicum, Iasi, 2011. Uliuliuc, 2011
6. What's the difference between 3-axis, 4-axis & 5-axis. <https://3axis-group.com/whats-the-difference-between-3-axis-4-axis-5-axis-milling/>
7. Bogdan-Gabriel Anită and Cătălin Dumitras. Study upon milling complex surface. Part I: Modelling of milling process. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul LX (LXIV), Fasc. 1, 2014 Secția Construcției de Mașini, pp 57 -64. https://www.cmmi.tuiasi.ro/wp-content/uploads/buletin/2014%20fasc%201/L8%20CM%201_2014.pdf
8. Coifu Iu., Nițulenco T., Bolunduț I.-L., Toca A. Studiul și Ingineria Materialele (materiale metalice). Chișinău U.T.M., 2012. -467 p.
9. Coifu Iu., Nițulenco T., Bolunduț I.-L., Toca A. Simbolizarea materialelor metalice în sistemele de standarde GOST (Rusia), STAS (România) și EN (Uniunea Europeană) Editura Tehnica UTM, Chișinău, 2013. - 256 p.
10. Bogdan-Gabriel Anită and Cătălin Dumitras. Study upon milling complex surface. Part II: High Speed Machining And Machining Errors. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul LX (LXIV), Fasc. 1, 2014 Secția Construcției de Mașini, pp 65 -71. <https://www.cmmi.tuiasi.ro/wp->

content/uploads/buletin/2014%20fasc%201/L8%20CM%201_2014.pdf

11. Stepanov A. High speed milling in modern production.

http://www.cadcamcae.lv/hot/hsm_part2.pdf

12. Mladenovic Goran M., Tanovic Ljubodrag M., Ehmann Kornel F. Tool Path Generation for Milling of Free Form Surfaces With Feedrate Scheduling.

https://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrazivanje/fme/vol43/1/2_gmladenovic.pdf

13. Francis J. 5-Axis Tool Path Generation with Collision Detection for Finish Machining of Freeform Surfaces. Thesis Master of Science in Manufacturing Engineering. Missouri University of Science and Technology, 2012. Francis, 2012.

https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=6134&context=masters_theses

14. Elber, G., and Cohen, E.: Toolpath generation for freeform surface models, Computer-Aided Design, Vol.26 No.6, pp. 490–496, 1994.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0010448594900701>

15. Lin, R.S. and Koren, Y.: Efficient tool-path planning for machining free-form surfaces, Journal of Engineering for Industry, ASME Transactions, Vol.118 No.1, pp. 20–28, 1996.

<https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article-abstract/118/1/20/393131/Efficient-Tool-Path-Planning-for-Machining-Free?redirectedFrom=fulltext>

16. Smart Strategies for Steep/Shallow Milling. A Technical Overview.

<https://files.solidworks.com/partners/pdfs/65-27->

[ESPRIT_Steep_Shallow_Milling_Strategies_White_Paper_en.pdf](https://files.solidworks.com/partners/pdfs/65-27-ESPRIT_Steep_Shallow_Milling_Strategies_White_Paper_en.pdf)

17. Kamil Waszczuk. Influence of the Trochoidal Tool Path Generation Method on the Milling Process Efficiency. Advances in Science and Technology Research Journal. Volume 14, Issue 3, September 2020, pages 199–203. <https://doi.org/10.12913/22998624/122198>.

<http://www.astrj.com/pdf-122198-54168?filename=Influence%20of%20the.pdf>

18. Hoffmann Group. https://www.hoffmann-group.com/GB/en/houk/assortment/21022188_en_GB-en-GB

19. Toca A., Nitulenco T., Ciuperca R. Analiza sistemica si functionala. –Chisinau: Tehnica UTM, 2022.- 280 p.

20. Waszczuk K., Karolczak P., Wiśniewska M. and Kowalski M. Influence of the path type on selected technological effects in the trochoidal milling. Advances in Science and Technology Research Journal, 11(1), 2017, 147–153. [http://www.astrj.com/pdf-66501-](http://www.astrj.com/pdf-66501-7305?filename=INFLUENCE%20OF%20THE%20PATH.pdf)

[7305?filename=INFLUENCE%20OF%20THE%20PATH.pdf](http://www.astrj.com/pdf-66501-7305?filename=INFLUENCE%20OF%20THE%20PATH.pdf).

21. Sergiu Mazuru. Bearing capacity of precessional transmissions with gear change . Thesis for: Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.
22. 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.
23. 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.;
24. 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.;
25. 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.;
26. 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 revive* volume XX no.2/2016 (2016). Timisoara Romania pp . 23-29, ISSN: 2359-8646;
27. 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.
28. 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.
29. 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*.
30. Bostan I., Mazuru Sergiu. Influence of the grinding parametrs on the characteristics of gears teeth outerlayer. Second part. *Proceedings of The 13th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Inovation IASI & Chisinau ModTech 2009*.
31. Mazuru S. System reliability and optimization processing parametrs for its accuracy of elements. First part. *The 14th International Conference Modern Tehnologies, Quality and Innovation. ModTech 2010, 20-22 May, 2010 Slănic Moldova Romania*.

32. Mazuru S. Mechanism of training component kinematics error gears in operation technology hardening chemical – heat. Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVI (LX). Fasc. 2a 2010
33. Slătineanu, L., Gonçaves-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. Mazuru S., Scaticailov 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.
35. Mazuru S., Scaticailov 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.
36. Mazuru Sergiu and Scaticailov S 2018 Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate Univ. Tehn A Moldovei (Chișinău: Tehnica-UTM)
- 37.. 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
38. Sergiu Mazuru, Metode și procedee de fabricare aditivă: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – 144 p.
39. Adrian BUT, Sergiu MAZURU, Serghei Scaticailov Fabricația asistată de calculator: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – 179 p.
40. Roman Somnic, Sergiu Mazuru. Analiza importanței și structura industriei constructoare de mașini. Tehnica UTM. 2013 pp. 378-380.
41. Mazuru Sergiu, Casian M and Scaticailov S 2017 Adv. Mat. Res. 112 01026
42. Vlase A Mazuru Sergiu, and Scaticailov S 2014 Tehnologii de prelucrare pe mașini de danturat (Chișinău: Tehnica-UTM)
43. Mazuru Sergiu and Scaticailov S 2018 Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate Univ. Tehn A Moldovei (Chișinău: Tehnica-UTM)
44. 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

45. Bostan I, Dulgheru V, Glușco C and Mazuru Sergiu 2011 Antologia invențiilor Vol 2 Transmisii planetare precesionale (Chișinău: Bons Offices)
46. Mazuru S 2010 Mechanism of training component kinematics error gears in operation technology hardening chemical – heat (Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVI (LX) Fasc 2a)
47. Bostan I, Mazuru S and Botnari V 2011 Kinetic process of teeth grinding (The 15 th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation Vadul lui Voda Moldova România)
48. Bostan I, Mazuru S, Vaculenco M and Scaticailov S Issues technology manufacturing precessional gears with nonstandard profile generating IX international congress “Machines Technologies Materials 2012” Varna Bulgaria Vol I.
49. Sergiu Mazuru. Technological processes generating non-standard profiles of precessional gear. Thesis for: Doctor of Technical Sciences. 2019, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.19477.76005
50. Iașchevici Vadim, Mazuru, Sergiu. Mechanisms for stimulating innovation and technology transfer in the Republic of Moldova. Revista ”Intellectus” nr. 3/2014.
51. Sergiu Mazuru, Bazele proiectării dispozitivelor: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2001. – 182 p.
52. Sergiu Mazuru. bearing capacity of precessional transmissions with gear change . Thesis for: Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.