

Eficiența acoperirii sculelor prin tehnologii PVD și CVD

Student:

Leahu Vasile

Conducător:

conf. dr. Alexei Toca

Chișinău – 2021

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. dr. hab. Sergiu Mazuru

„_” _____ **2021**

Eficiența acoperirii sculelor prin tehnologii PVD și CVD

Teză de master

Programul
Ingineria Produsului și a Proceselor în Construcția de Mașini

Student: _____ (Leahu Vasile)

Conducător: _____ (Alexei Toca)

Chișinău – 2021

Rezumat

LEAHU VASILE. Eficienta acoperirii sculelor prin tehnologii PVD si CVD. Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi; Departamentul Ingineria Fabricatiei; 2021. Teză de master: pag. 59, desene – 38, surse bibliografice – 61.

In lucrare au fost analizate tehnologiile de acoperire cu straturi rezistente la uzura a insertiunilor si sculelor aschietoare prin tehnologii CVD (Chemical Vapor Deposition), PVD (Physical Vapor Deposition) si variatiile lor hibride. Se arata ca atat depunerea CVD cat si PVD permit sporirea substantiala a durabilitatilor sculelor aschietoare. In acelasi timp tehnologia PVD permite depunerea unor straturi mai subtiri in structuri mai complexe. Pentru fiecare tip de acoperire exista domenii si regimuri de utilizare. Sunt analizate acoperiri din nitrururi TiN, TiAlN, CrN, ZrN, TiSiN, TiAlSiN, CrAlN, TiAlCrN, cBN si carburi TiC, CrC și WC.

Summary

LEAHU VASILE. Tool coating efficiency through PVD and CVD technologies. Technical University of Moldova, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial Engineering and Transports; Department of Manufacturing Engineering, 2021. Master thesis: page 59; drawings – 38, bibliographic sources - 61

The paper analyzed the coating technologies with wear-resistant coatings of inserts and cutting tools using CVD (Chemical Vapor Deposition), PVD (Physical Vapor Deposition) technologies and their hybrid variations. It is shown that both CVD and PVD deposition allow a substantial increase in the durability of cutting tools. At the same time, PVD technology allows the deposition of thinner layers in more complex structures. For each type of coverage there are areas and regimes of use. Coatings of nitrides TiN, TiAlN, CrN, ZrN, TiSiN, TiAlSiN, CrAlN, TiAlCrN, cBN and carbides TiC, CrC and WC are analyzed.

Cuvinte cheie. Depunere fizică din vapori, depunere chimică din vapori, scule aşchietoare, durabilitate, uzare, strat, substrat, adeziune

Keywords. Physical vapor deposition, PVD, chemical vapor deposition, CVD, cutting tools, durability, wear, coating, substrate, adhesion

Cuprins	pag
Introducere	5
1. Procedee de depunere a acoperirilor pe insertiuni si scule	6
1.1. Tehnologii de acoperire prin depunere de vapori pentru inserții si scule de aschiere	10
2. Evoluții în tehnologia de acoperire CVD	12
2.1. Dezvoltarea substraturilor de carbură adaptate pentru acoperirea CVD	12
2.2. Dezvoltarea tehnologiei de acoperire CVD	12
2.3. Evoluții în tehnologia de acoperire PVD	15
2.4. Tehnologie de acoperire super nanomultistrat	15
2.5. Procese de nanoacoperire prin PVD și PECVD	17
2.6. Acoperiri pentru scule de frezat	22
2.7. Dezvoltarea tehnologiei de tratare a suprafețelor post-acoperire	28
2.8. Acoperiri. Evoluții viitoare	28
3. Proprietati tribologice si uzarea sculelor acoperite	29
3.1. Proprietăți tribologice îmbunătățite prin tehnologia de acoperire lubrifiantă	30
3.2. Mecanisme de uzură a sculelor acoperite	31
4. Durata de viata a sculelor acoperite	43
4.1. Influența structurii acoperirii asupra duratei de viață a sculei	48
4.2. Comportamentul sculelor acoperite în condiții avansate de aschiere și lubrifiere	50
Rationamente finale si concluzii	53
Bibliografie	57

Introducere

Industria de prelucrare mecanică a cunoscut o creștere semnificativă în ultimii cinci - șase ani și se estimează că va fi o industrie de 100 de miliarde de dolari până în 2025. Acest lucru se datorează în primul rând cererii în creștere pentru produse de calitate superioară și mașini de control numeric computerizat (CNC), care permit producătorilor să dezvolte aceste produse de înaltă calitate și complexitate ridicată la viteze mai mari.

Carbura metalică este un material compozit realizat din ceramică și metal, ale căror ingrediente principale tipice sunt carbura de wolfram (WC) și cobaltul (Co). Componenta principală a carburii cimentate, wolframul este un material strategic extrem de important din mai multe perspective economice. Acest metal provine în principal din China. Prețul său este excepțional de instabil, fiind supus unor fluctuații violente în funcție de climatul politic global. Datorită acestor factori, producătorii de inserții din carbură au studiat cu atenție utilizarea fără sau a unei cantități reduse de wolfram în carbura metalică.

Un rezultat al eforturilor lor este dezvoltarea inserțiilor de carbură cu suprafețele lor acoperite prin depunerea în fază de vapori a unui film ceramic subțire. Inserțiile acoperite prezintă atât duritatea substratului de carbură, cât și rezistența ridicată la căldură și uzură a acoperirii ceramice și servesc ca inserții extrem de versatile în condiții de funcționare adecvate. În consecință, în ultimii ani, acestea au fost utilizate în mod eficient în mod specific în aplicații de aschiere de mare viteză și avans mare, adică de înaltă eficiență.

Inserțiile de carbură acoperite au ajutat foarte mult la reducerea costurilor de prelucrare și au îmbunătățit precizia de prelucrare a pieselor mecanice. Sunt foarte importante cele mai recente inovații tehnologice, materiale noi și dezvoltări viitoare.

În ultimul timp, s-a acordat o atenție deosebită mașinii CNC cu șase axe, posibilitatea de a transforma barele metalice brute într-un produs complex finit fiind destul de aplicabilă în industria de prelucrare, în special pentru producerea de forme extrem de complexe, de la început până la sfârșit într-o singură operație.

Bibliografie

1. Haruyo FUKUI. Evolutional History of Coating Technologies for Cemented Carbide Inserts - Chemical Vapor Deposition and Physical Vapor Deposition. SEI Technical Review, Number 82, April 2016, pp. 39 – 45. Disponibil la: <https://global-sei.com/technology/tr/bn82/pdf/82-07.pdf>
2. M. Chudou et al., Evolutional History of Coating Technologies for Cemented Carbide Inserts — Chemical Vapor Deposition and Physical Vapor Deposition. Sei Technical Review, 128 (1986) pp100. Disponibil la: <https://global-sei.com/technology/tr/bn82/pdf/82-07.pdf>
3. Y. Okada et al., Development of New Coated Carbide Grade Ace Coat AC405K/415K for Cast Iron Turning. Sei Technical Review, 64 (2007), pp68. Disponibil la: https://sumitomoelectric.com/sites/default/files/2020-12/download_documents/75-02.pdf
4. H. Takeshita et al., Sei Technical Review, 80 (2015), pp91.
5. Mitsunori Kobayashi, Yoshihiko Doi. TiN and TiC coating on cemented carbides by ion plating. Thin Solid Films, Volume 54, Issue 1,2 October 1978, Pages 67-74. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004060907890278X>
6. M. Setoyama et al., Sei Technical Review, 146 (1995), pp92.
7. H. Fukui et al., Sei Technical Review, 169 (2006), pp.60.
8. S. Veprek, J. The search for novel, superhard materials. Journal of Vacuum Science & Technology A 17, 2401 (1999); <https://doi.org/10.1116/1.581977>, pp2401. Disponibil la: <https://avs.scitation.org/doi/pdf/10.1116/1.581977>
9. Y. Carlin Calaph, K Manikanda Subramanian, P. Michael Joseph Stalin and N. Sadanandam. Experimental and theoretical analysis of tool life between plasma enhanced CVD and PVD multilayer nanocoated cutting tools. Materials Research Express 7 (2020). Disponibil la: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/ab69d2/meta>
10. Inspektor A and Salvador P A 2014 Architecture of PVD coatings for metalcutting applications: A review Surf. Coat. Technol. 257, 138–53. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263436805001708>
11. Kalss W, Reiter A, Derflinger V, Gey Cand Endrino J L 2006 Modern coatings in high performance cutting applications Int. J. Refract. Met. Hard Mater 24, 399–404. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897214007786>
12. Schmidtova T, Souček P, Kudrle Vand Vašina P 2013 Non-monotonous evolution of hybrid PVD–PECVD process characteristics on hydrocarbon supply Surf. Coat. Technol. 232 283–9. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897213004428>

13. Zhang S, Zheng L, Wei G, Guo L, Li J, Tu R, Zhang L, Goto T and Ohmori H 2019 Structural investigation of Al₂O₃ coatings by PECVD with a high deposition rate *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* 16 1356–63. Disponibil la:
https://www.researchgate.net/publication/331649451_Structural_Investigation_of_Al2O3_Coatings_by_PECVD_with_a_High_Deposition_Rate
14. Muthuraja A, Naik S, Rajak D K and Pruncu CI 2019 Experimental investigation on chromium-diamond like carbon (Cr-DLC) coating through plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD) on the nozzle needle surface *Diamond Relat. Mater.* 100, 107588. Disponibil la:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925963519306752>
15. Mihailov Elena, Mihailov Alexandr, Nagit Gheorghe, Paraschiv Dragos, Alexei Toca, Nedelcu Dumitru, Some particularities on the deposition of vacuum ionic-plasma coatings on internal cylindrical surfaces, *Microcad 2008-Miscoltz-Ungaria, Internacional Scientific Conference 20-21 martie 2008*, ISBN 978-963-661-812-4 0; ISBN 978-963-661-823-0, pag. 111-114. 16. Yoo YH, LeDP, Kim JG, Kim S Kand Van Vinh P 2008 Corrosion behavior of TiN, TiAlN, TiAlSiN thin films deposited on tool steel in the 3.5 wt% NaCl solution *Thin Solid Films* 516 3544–8. Disponibil la:
https://www.researchgate.net/publication/240395035_Corrosion_behavior_of_TiN_TiAlN_TiAlSiN_thin_films_deposited_on_tool_steel_in_the_35_wt_NaCl_solution
17. Vitor F. C. Sousa and Francisco J. G. Silva. Recent Advances on Coated Milling Tool Technology - A Comprehensive Review. *Coatings* 2020, 10, 235. Disponibil la:
<https://www.mdpi.com/2079-6412/10/3/235>
18. Gabiccini, M.; Bracci, A.; Battaglia, E. On the estimation of continuous mappings from cradle-style to 6-axis machines for face-milled hypoid gear generation. *Mech. Mach. Theory* 2011, 46, 1492–1506. Disponibil la:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X11000851>
19. Popa S., Pricop C., Paraschiv D., Antonescu I., Popa V., Burlibasa C., Alexei Toca. Experimental analysis of titanium coated bearing elements for gas purged liquid *Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов 19 международной научно-технической конференции. Том 3. Donetsk, 2012, с. 172 - 174*
20. Popa S., Pricop C., Paraschiv D., Antonescu I., Popa V., Burlibasa C., Alexei Toca. Theoretical considerations on surface analysis of titanium coated bearing elements for gas purged liquid *Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов 19 международной научно-технической конференции. Том 3. Donetsk, 2012, с. 206 - 209*

21. Chemical Vapor Deposition vs. Physical Vapor Deposition. Disponibil la:
<https://documents.indium.com/qdynamo/download.php?docid=1958>
22. Caliskan, H.; Panjan, P.; Kurbanoglu, C. 3.16 Hard Coatings on Cutting Tools and Surface Finish. *Compr. Mater. Finish.* 2017, 230–242. Disponibil la:
https://www.researchgate.net/publication/303748297_Hard_Coatings_on_Cutting_Tools_and_Surface_Finish
23. Klocke, F.; Krieg, T. Coated Tools for Metal Cutting – Features and Applications. *CIRP Ann.* 1999, 48, 515–525. Disponibil la:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607632314>
24. Martinho, R.P.; Silva, F.J.G.; Baptista, A.P.M. Cutting forces and wear analysis of Si₃N₄ diamond coated tools in high speed machining. *Vacuum* 2008, 82, 1415–1420. Disponibil la:
https://www.researchgate.net/publication/256911862_Cutting_forces_and_wear_analysis_of_Si3N4_diamond_coated_tools_in_high_speed_machining
25. K. Rokosz, T. Hryniewicz, Ł. Dudek, K. Pietrzak, S. Raaen, W. Malorny and Rodion Ciuperca, SEM, EDS and XPS studies of AC & DC PEO coatings obtained on titanium substrate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 564 (2019) 012043 IOP Publishing DOI:10.1088/1757-899X/564/1/012043.
26. Alexei Toca. About the mutual influence of design and technological dimensional structures at creation of the optimum technological processes to machining. *Proceedings of the 14th International Conference “Modern Technologies, Quality and Innovation – ModTech 2010”*, Slanic Moldova, Romania, 2010, ISSN 2066 – 3919, pp. 623 – 626
27. Iurie Ciofu, Tatiana Nițulenco, Ioan-Lucian Bolunduț, Alexei Toca. *Studiul și Ingineria Materialelor (materiale metalice)*. Chișinău U.T.M., 2012. -467 p.
28. Iurie Ciofu, Tatiana Nițulenco, Ioan-Lucian Bolunduț, Alexei Toca. *Simbolizarea materialelor metalice în sistemele de standarde GOST (Rusia), STAS (România) și EN (Uniunea Europeană)* Editura TEHNICA UTM, Chișinău, 2013
29. Iurie Ciofu, Tatiana Nițulenco, Ioan-Lucian Bolunduț, Alexei Toca. *Studiul și Ingineria Materialelor (materiale nemetalice)*. Sticla. Chisinau, Editura UTM, 2014, 256 pag.
30. Mazuru Sergiu and Scaticailov S 2018 Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate Univ. Tehn A Moldovei (Chișinău: Tehnica-UTM)
31. 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

32. Sergiu Mazuru, Metode și procedee de fabricare aditivă: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – 144 p.
33. Adrian BUT, Sergiu MAZURU, Serghei Scaticailov Fabricația asistată de calculator: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2021. – 179 p.
34. Roman Somnic, Sergiu Mazuru. Analiza importanței și structura industriei constructoare de mașini. Tehnica UTM. 2013 pp. 378-380.
35. Mazuru Sergiu, Casian M and Scaticailov S 2017 Adv. Mat. Res. 112 01026
36. Vlase A Mazuru Sergiu, and Scaticailov S 2014 Tehnologii de prelucrare pe mașini de danturat (Chișinău: Tehnica-UTM)
37. Mazuru Sergiu and Scaticailov S 2018 Tehnologii și procedee de danturare a roților dințate Univ. Tehn A Moldovei (Chișinău: Tehnica-UTM)
38. 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
39. Bostan I Dulgheru V Glușco C and Mazuru Sergiu 2011 Antologia invențiilor Vol 2 Transmisii planetare precesionale (Chișinău: Bons Offices)
40. 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)
41. Bostan I, Mazuru S and Botnari V 2011 CINETIC process of teeth grinding (The 15 th International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation Vadul lui Voda Moldova România)
42. 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.
43. 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
44. Iațhevici Vadim, Mazuru, Sergiu. Mechanisms for stimulating innovation and technology transfer in the Republic of Moldova. Revista ”Intellectus” nr. 3/2014.
45. Sergiu Mazuru, Bazele proiectării dispozitivelor: Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău: Tehnica-UTM, 2001. – 182 p.
46. Sergiu Mazuru. Bearing capacity of precessional transmissions with gear change . Thesis for:Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.

47. Sergiu Mazuru. Bearing capacity of precessional transmissions with gear change . Thesis for:Doctor degree..1996, UTM. DOI: 10.13140/RG.2.2.36211.35366.
48. 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.
49. 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.;
50. 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.;
51. 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.;
52. 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 revive* volume XX no.2/2016 (2016). Timisoara Romania pp . 23-29, ISSN: 2359-8646;
53. 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.
54. 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.
55. 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*.
56. 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*.
57. 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*.

58. 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
59. 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.
60. 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.
61. 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.