

6. Aizenshtein, M., Froumin, N., Frage, N. (2014). Experimental Study and Thermodynamic Analysis of High Temperature Interactions between Boron Carbide and Liquid Metals. *Engineering*, 06 (13), 849–868. doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2014.613079>

7. Prysyzhnyuk, P. M., Shihab, T. A., Panchuk, V. H. (2016). Formation of the Structure of Cr₃C₂–MNMts 60-20-20 Cermets. *Materials Science*, 52 (2), 188–193. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9942-0>

8. Lyamar, O., & Marchenko, D. (2022). Prospects for the application of restoring electric arc coatings in the repair of machines and mechanisms. In *Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES 2022)*. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005709>.

9. Marchenko, D., Matvyeyeva, K., Kurepin, V. (2024). Increasing the wear resistance of plunger pairs of high-pressure fuel pumps using extreme pressure additives. *Problems of Tribology*, 29(4/114), 24–31. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-114-4-24-31>

Анотація. У дослідженні розглянуто питання підвищення довговічності деталей машин за рахунок зростання їх опору зношуванню та корозійному руйнуванню шляхом використання полімерних композиційних покриттів. Сформовано склади композицій на основі реакційноздатних олігомерних систем, зокрема епоксидної смоли ЕД-20 та карбамідоформальдегідної смоли, до яких введено дисперсні модифікуючі компоненти – трепел, кременисті матеріали, графіт і фторопласт. Також запропоновано спосіб формування покриттів, що базується на технології нанесення із застосуванням занурення. Для аналізу особливостей будови сформованих шарів використано методи інфрачервоної спектроскопії та рентгеноструктурного дослідження. Окрім цього, проведено оцінювання експлуатаційно важливих характеристик, зокрема адгезійної міцності, ударної в'язкості, здатності до водопоглинання та трибологічних показників. Отримані результати свідчать, що введення наповнювачів не супроводжується формуванням нових хімічних сполук у полімерній матриці, однак спричиняє підвищення впорядкованості її структури, що проявляється у зростанні ступеня кристалічності. Встановлено, що додавання фторопласту позитивно впливає на адгезійні та ударні властивості покриттів, тоді як використання інших модифікаторів призводить до їх певного погіршення. У процесі трибологічних випробувань зафіксовано зниження коефіцієнта тертя до рівня близько 0,2 при введенні кременистих компонентів і трепелу. Практична цінність одержаних результатів полягає у можливості їх використання як альтернативи існуючим технологіям формування покриттів на шліцьових з'єднаннях приводних валів, що сприятиме покращенню їх робочих характеристик та підвищенню ресурсу.

Ключові слова: композиційні покриття, зносостійкість, корозійна стійкість, полімерні матеріали, епоксидна смола, карбамідоформальдегідна смола, модифікатори, фторопласт, трибологічні властивості, коефіцієнт тертя, адгезія.

UDC 621.91:621.78.

Increasing the wear resistance of cemented carbide tools in turning of stainless steel X20CR13 (EN 1.4021) using tin coatings

Lyamar O.O.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Agricultural Machinery, Operation and Technical Service, Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. This paper presents the results of experimental studies on the influence of wear-resistant titanium nitride (TiN) coatings on the durability of ISO K10 and ISO K20 multi-faceted, non-regrindable cemented carbide inserts during turning of stainless steel X20Cr13 (EN 1.4021). Experiments were carried out on a

CNC lathe model 16K20F3 over a wide range of cutting conditions. It was found that applying coatings reduces the friction coefficient, decreases the contact area between the chip and the tool, and alters the wear mechanism, providing an almost twofold increase in tool life. The results confirm the effectiveness of using coated tools for machining difficult-to-cut materials.

Keywords: stainless steels; X20Cr13; EN 1.4021; difficult-to-cut materials; cemented carbide inserts; ISO K10; ISO K20; TiN coating; tool life; turning; wear; CNC; cutting tool

Currently, machining heat-resistant and corrosion-resistant steels, which are classified as difficult-to-cut materials, remains a pressing challenge. These materials are mainly processed on flexible automated systems, automated machine complexes, and CNC machines. The cutting tool used under such conditions must have high reliability and wear resistance. Frequent tool replacement and subsequent readjustment lead to equipment downtime and increased machining costs. The high toughness, hardness, strength, and heat resistance of heat-resistant stainless steels significantly complicate the mechanical processing, classifying them as difficult-to-machine materials.

For machining such materials, cutting tools equipped with multi-faceted, non-regrindable inserts have gained wide use. One of the main directions in tool development is the use of inserts with wear-resistant coatings. The effectiveness of such tools depends both on the coating properties and on the rational selection of tool material depending on machining conditions. The aim of this study is to increase the durability of cutting tools during turning of difficult-to-machine stainless steels.

Experimental studies were carried out during longitudinal turning on a CNC lathe model 16K20F3. It was found that applying wear-resistant coatings to cemented carbide inserts significantly increases tool life. The experimental samples were pentagonal, non-regrindable cemented carbide inserts of ISO K10 and ISO K20 grades, characterized by high hardness and wear resistance. Machining was performed on stainless steel X20Cr13 (EN 1.4021) over a wide range of cutting parameters.

The inserts were coated with a single-layer titanium nitride (*TiN*) coating obtained by physical vapor deposition (PVD) with ion bombardment on a vacuum unit such as Bulat-3T. During the experiments, it was observed that at cutting speeds $V \geq 150$ m/min, uncoated inserts experienced significant adhesion of the machined material on the rake face. The subsequent detachment of the adhered layer led to crater formation, accelerating wear of the cutting edge. Uncoated tools were subjected to intensive abrasive-mechanical wear under adhesive interaction with the chip.

The application of *TiN* coatings substantially modified the conditions of contact interaction. The width of the contact area decreased by 2–3 times, which reduced the friction coefficient and decreased the degree of chip deformation. Additionally, the coating changed the wear pattern of the tool's working surfaces, reducing abrasive-mechanical wear and adhesion of the material, thus ensuring a more stable cutting process.

As a result of the studies, it was established that during turning of stainless steel X20Cr13 (EN 1.4021) under identical cutting conditions, tools equipped with multi-faceted inserts with *TiN* coating exhibit nearly twice the tool life compared to uncoated tools. Therefore, the use of ISO K10 and ISO K20 cemented carbide inserts with wear-resistant coatings is an effective way to increase machining productivity and reduce operational costs when turning difficult-to-machine corrosion-resistant steels.

List of sources used:

1. Vignesh, S., & Ramya Devi, G. (2023). Performance analysis of novel TiN coated and uncoated carbide tool in CNC wet turning of Super Duplex Stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 79(Part 1), 155–158. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.420>
2. Dong, Z., Zhang, L., Chen, W. (2012). Evaluation of Cu-Cr₃C₂ composite with interpenetrating network. *Materials Science and Engineering: A*, 552, 24–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.04.101>
3. Callegari, F., Filice, L., & Umbrello, D. (2017). Tool life and wear mechanism analysis of carbide tools used in the machining of martensitic and supermartensitic stainless steels. *Tribology International*, 105, 102–117. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.09.035>
4. Ropyak, L., Schuliar, I., Bohachenko, O. (2016). Influence of technological parameters of centrifugal reinforcement upon quality indicators of parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (79)), 53–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.59850>
5. Zawada-Michałowska, M., Pieśko, P., & Józwick, J. (2019). Tribological aspects of cutting tool wear during the turning of stainless steels. *Materials*, 13(1), 123 (PMCID: PMC6981806). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6981806/>
6. Aizenshtein, M., Froumin, N., Frage, N. (2014). Experimental Study and Thermodynamic Analysis of High Temperature Interactions between Boron Carbide and Liquid Metals. *Engineering*, 06 (13), 849–868. doi: <https://doi.org/10.4236/eng.2014.613079>
7. Kairov, A. S., Iskanderov, R. A., Lyamar, O. O., Oshovskyi, V. Y., Kapura, I. A., & Bakhshiyev, I. I. (2024). Effect of composite nanocoatings on wear-resistance and productivity of socket mills. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 16(4), 77–84.
8. Lyamar, O., & Marchenko, D. (2022). Prospects for the application of restoring electric arc coatings in the repair of machines and mechanisms. In *Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES 2022)*. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005709>.
9. Mema, O., Jojic, E., Laze, P., Khramov, M., & Lyamar, O. (2024). Application of analytical hierarchical process in assessing the suitability of land for growing grain crops. *Scientific Horizons*, 27(12), 79–89. <https://doi.org/10.48077/scihor12.2024.76>
10. Karpechenko A., Bobrov M., Lyamar O. Electric Arc Coatings with a Complex of Improved Properties for Repairing And Hardening of Mining Machine Parts // *Геоінженерія*. 2022. Вип. 7. С. 62-73. DOI: 10.20535/2707-2096.7.2022.267607

Анотація. У роботі наведено результати експериментальних досліджень впливу зносостійких покриттів на основі нітриду титану (TiN) на довговічність багатограних неперетачуваних тврдосплавних пластин ISO K10 та ISO K20 при точінні корозійностійкої сталі X20Cr13 (EN 1.4021). Експерименти проводились на токарному верстаті з ЧПУ моделі 16K20Ф3 у широкому діапазоні режимів різання. Встановлено, що нанесення покриттів зменшує коефіцієнт тертя, скорочує площу контакту стружки з інструментом та змінює механізм зношування, забезпечуючи майже дворазове збільшення ресурсу інструмента. Отримані результати підтверджують ефективність застосування покритих інструментів при обробці важкооброблюваних матеріалів.

Ключові слова: корозійностійкі сталі; X20Cr13; EN 1.4021; важкооброблювані матеріали; тврдосплавні пластини; ISO K10; ISO K20; покриття TiN; ресурс інструмента; точіння; зношування; ЧПУ; ріжучий інструмент.