

## ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРУКТУРНО-ФАЗОВИЙ СТАН ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІТРИДІВ W ТА Cr

Говорун Т. П., Дядюра К. О., Пилипенко О. В.,  
Перерва В. І., Вареник С. В., Осічев Д. Р.  
Сумський державний університет

***Анотація.** У роботі розглянуті методи отримання зносостійких покриттів на основі нітридів металів W та Cr, охарактеризовані їх переваги та недоліки. Підібрані режими конденсації таких покриттів із різним співвідношенням компонент у магнетронній системі з постійними магнітами. Проведені дослідження мікроструктури та структурно-фазового складу. Досліджено мікротвердість отриманих покриттів та проаналізовані отримані результати.*

***Ключові слова:** різальний інструмент, зносостійкі покриття, поверхневе зміцнення.*

### Вступ

На сьогодні важливе значення мають світові тенденції щодо збільшення швидкості виробництва і використання більш легких і менш коштовних матеріалів. Невпинне зростання вимог до швидкостей і навантаження на машини та інструмент робить ще більш актуальним вирішення проблеми зношування матеріалів [1–3].

### Аналіз публікацій

Дослідження зносостійких покриттів на основі нітридів Ti, Zr, Mo, W і Cr показують їх високу твердість і відмінні трибологічні характеристики. Такі покриття є перспективними матеріалами для широкого застосування, наприклад, як захисні покриття від швидкого зношування інструменту [4–11].

Стійкість до зносу можливо значно покращити за рахунок застосування багатошарових і комплексних покриттів [12]. Широке коло наукових досліджень присвячено вивченню властивостей матеріалів наноструктурованих покриттів з універсальними [13] та високими зносостійкими характеристиками [14–15]. Серед різноманітних покриттів нітридні нанокompatитні або наносарові системи досліджуються досить широко [5–10, 12, 16].

Поряд з цим, структура і трибологічні властивості покриттів W-N мало досліджені. Всі вище перераховані покриття на основі Ti-N, Zr-N, Mo-N, Cr-N та W-N фаз чутливі до парціального тиску  $N_2$ , використовуваного під час осадження. При недостатньому парціальному тиску реактивного газу в камері осадження, можливе формування міжатомних зв'язків з низькою хімічною і термічною стабільністю.

Нітриди перехідних металів розглядаються, як захисні покриття, завдяки їх відмінним властивостям за твердістю, зносостійкістю та корозійною стійкістю. Система нітрид хрому (CrN) є перспективною для покриттів з високою твердістю, відмінними антиокислювальними властивостями та гарною стійкістю до корозії та зносу [4, 12, 17]. Вольфрам, у металічній формі, є іншим матеріалом, який часто використовується через високу температуру плавлення і високу твердість [17]. Покриття нітриду вольфраму застосовують у оптичних та мікроелектронних приладах, таких як бар'єрні шари та електроди. Тим не менше, можна виявити обмежену літературу щодо його механічних властивостей. Зроблено висновок, що покриття наносарової конфігурації з чистим металом та нітридами металів, мають вищі механічні властивості, ніж одношарові покриття. Тому вибрана тема роботи є актуальною.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є дослідження фізико-механічних властивостей та структурно-фазового стану наносарових покриттів CrWN, осаджених на сталеву підкладку з різною шорсткістю поверхні. Такі наноструктуровані покриття CrWN мають різну концентрацією компонент. Для реалізації окресленої мети необхідно вирішити такі завдання: дослідити поверхневу структуру та стехіометрію CrWN покриттів отриманих магнетронним методом із комплексної мішені; проаналізувати вплив параметрів конденсації та шорсткості поверхні підкладки на механічні властивості покриттів на основі нітридів W та Cr.

### Методика експерименту

Як підкладки використовувались зразки зі швидкорізальної сталі Р6М5, що має фіксований розмір  $15 \text{ мм} \times 15 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$ . Хімічний склад підкладки наведено в табл. 1, він відповідає значенням ДСТУ в межах допустимої похибки. Підкладки були поліровані механічним методом в комбінації з алмазним шліфувальним диском. Різна шорсткість поверхні була досягнута за допомогою оброблення шліфувальним папером із різним розміром зерен (800, 1000, 1200 і 1500) мокрим шліфуванням та шліфуванням на попередній зернистості. Режими проведеного оброблення підкладок подано в табл. 2. Далі підкладки очищали ультразвуком протягом 10 хвилин послідовно в ацетоні та етиловому спирті. Покриття CrWN осаджувались магнетронним методом з постійними магнітами із комплексної мішені, яка складалася з Cr та W та мала різні співвідношення за площею: 95:5, 75:25, 50:50. Потужність розряду становила 500 Вт. Мішень Cr+W попередньо очищали в камері в атмосфері аргону протягом 10 хвилин. Конденсація покриттів відбувалася в камері з базовим тиском  $10^{-3} \div 10^{-4}$  Па.

Таблиця 1 – Хімічний склад підкладки (ваг. %)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co
0,82	0,3	0,44	0,35	0,008	0,027	4,34	4,83	5,91	1,94	0,27

Таблиця 2 – Приготування підкладок

Зразок	Процедура оброблення
1	800 зерен 10 хвилин
2	1000 зерен 10 хвилин
3	1200 зерен 10 хвилин.
4	1500 зерен 10 хвилин

Для якісного та кількісного аналізу складу і структури покриттів використовували рентгенографічний аналіз із застосуванням рентгенівського спектрометра Дрон 4.07 (з випромінюванням  $\text{CuK}_\alpha$ , довжина хвилі дорівнює 0,154 нм).

Осадження покриття відбувалося в атмосфері двох газів Ag та  $\text{N}_2$ , співвідношення яких становило 10 до 1. На рис. 1 наведена можливість варіювання швидкості конденсації, яка була реалізована через подачу різної напруги до мішені і потоком газу, що складала приблизно 1 мкм/год.

Товщина нанесеного покриття контролювалася in-situ-методом кварцового резонатора.

Твердість вимірювали за методом мікроіндентування з чотирикутною алмазною

пірамідою Віккерса з кутом  $136^\circ$ , яку використовують як індентор у разі навантаження 50 гр.

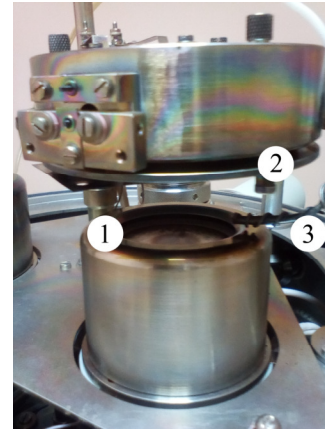


Рис. 1. Зображення пристрою для осадження зразків: 1 – магнетрон; 2 – тримач зразків; 3 – трубка подачі газу в область між тримачем зразків та магнетроном

Дослідження поверхневої структури покриттів здійснювались на сканувальному електронному мікроскопі Tescan VEGA 3. Енергодисперсійні спектри отримані за допомогою додаткових детекторів на цьому ж мікроскопі.

### Результати досліджень та обговорення

Проведені рентгенографічні дослідження демонструють, що до складу отриманого покриття належать фази  $\text{WN}$ ,  $\text{W}_2\text{N}$ ,  $\text{CrN}$  (глибина інформаційного шару складала близько 200 нм) з кубічною (структура типу NaCl) кристалічною решіткою без явно вираженої осі орієнтації зерен. На рис. 2 як приклад наведені рентгенограми, отримані від зразків з покриттями  $\text{Cr}_{75}\text{W}_{1}\text{N}_{24}$  та  $\text{Cr}_{56}\text{W}_{4}\text{N}_{40}$ .

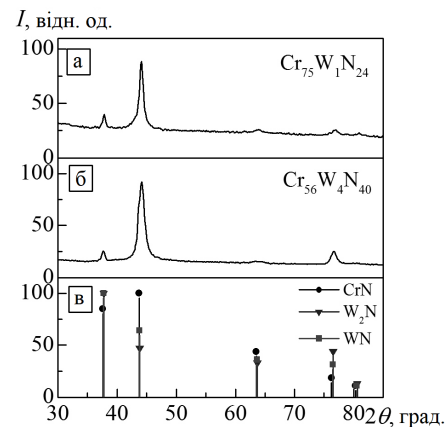


Рис. 2. Рентгенодифракційні спектри покриттів  $\text{Cr}_{75}\text{W}_{1}\text{N}_{24}$  (а)  $\text{Cr}_{56}\text{W}_{4}\text{N}_{40}$  (б) і табличні значення нітридів хрому та вольфраму (в)

На рис. 2 в наведені табличні значення відносно CrN – 01-076-2494, W<sub>2</sub>N – 00-025-1257, WN – 01-075-1012.

Як демонструє рис. 2 (а і б), відбувається модифікація спектра зі зміною концентрації компонент у покритті. Так, для покриття з більшим вмістом W більш істотними стають піки, що відповідають фазам нітридів вольфраму.

Дослідження, отриманих Cr-W-N-покриттів, проведені на сканувальному електронному мікроскопі, демонструють нанокристалічну дрібнодисперсну структуру з розміром зерна до 50 нм та їх рівномірним розподілом вздовж поверхні (рис. 3).

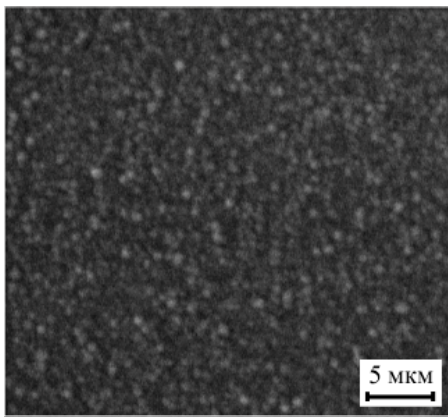


Рис. 3. Типове зображення поверхні зразка з покриттям

Результати роботи роботи [18] з дослідження мікроструктури систем на основі Cr, W та N демонструють тенденцію утворення щільної та дрібнозернистої мікроструктури з вкрапленнями W у Cr-N- покриття. Проте розмір зерна покриття на основі Cr, W та N, оцінений у [18], становив від 10 до 20 нм, що трохи нижче, ніж у цьому дослідженні. Вважаємо, що вплив температури осадження, яка використовується в роботі, порівняно з експериментом у роботі [18], призвів до більш швидкого зростання зерен під час осадження Cr-W-N-покриття.

Із даних аналізу елементного складу покриттів (табл. 3) можемо спостерігати чітку кореляцію між складом мішені та складом отриманого покриття.

Таблиця 3 – Співставлення складу мішені та складу отриманого покриття

	Cr:W	Cr:W	Cr:W
Склад мішені, мас. %	50:50	80:20	95:5
Склад покриття, ат. %	78:22	93:7	99:1

Енергодисперсійні спектри для покриттів на основі Cr, W та N, які характеризують їх стехіометрію та зняті для різних фрагментів, подано на рис. 4.

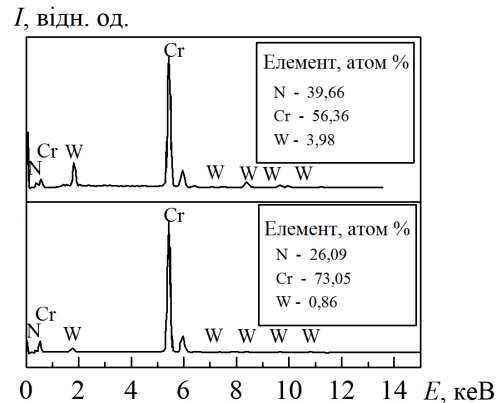


Рис. 4. Енергодисперсійні спектри, зняті для зразків Cr<sub>40</sub>W<sub>56</sub>N<sub>4</sub> та Cr<sub>26</sub>W<sub>73</sub>N<sub>1</sub>

Ці енергодисперсійні спектри додатково підтверджують зростання вмісту нітридів вольфраму в покритті з підвищенням вмісту вольфраму в мішені, що демонструє зростання піків для елементів W та N.

#### Дослідження механічних властивостей покриттів

Головними чинниками, що впливають на величину твердості та зносостійкості покриттів на основі Cr, W та N, є параметри конденсації, а саме: напруга, прикладена до підкладки, температура підкладки, концентрація газів, в яких відбувається осадження, тиск газів і склад мішені.

Результати дослідження механічних властивостей таких покриттів (за найбільш вираженою й універсальною характеристикою – мікротвердість) наведені на рис. 5.

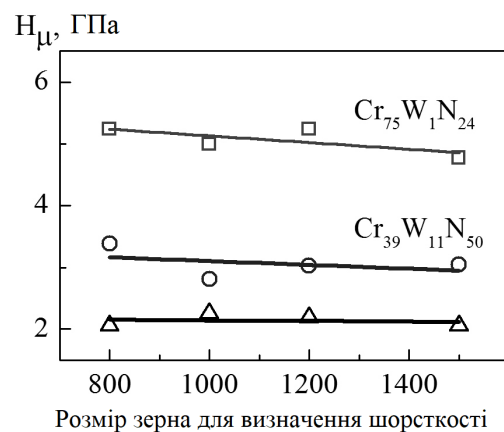


Рис. 5. Залежності мікротвердості від шорсткості поверхні для покриттів на основі Cr, W та N (□, ○) та без покриття (Δ)

Значення мікротвердості наношарованих покриттів складало близько 3 ГПа для покриття  $\text{Cr}_{39}\text{W}_{11}\text{N}_{50}$  та 5 ГПа для покриття  $\text{Cr}_{75}\text{W}_1\text{N}_{24}$ , що узгоджується з даними роботи [18]. Залежності мікротвердості від шорсткості (рис. 5) демонструють спадальний характер величини  $H_\mu$  зі зменшенням шорсткості поверхні.

Тобто таке зменшення призводить до незначного зниження твердості покриття, що свідчить про зниження адгезії на більш гладких підкладках [12]. Максимальне значення мікротвердості можемо спостерігати на зразках, шліфованих абразивом із 1200 зернистістю, що підтверджується результатами роботи [19].

### Висновки

На основі даних, отриманих рентгенографічним методом, та згідно з визначенням мікротвердості в роботі було проаналізовані структурні та механічні властивості зносостійких покриттів на основі Cr, W та N залежно від умов отримання.

Дослідження структурно-фазового стану покриттів Cr-W-N демонструють, що незалежно від складу мішені використання реактивного магнетронного розпилення дозволяє отримувати покриття з рівномірною щільністю структури і гарною адгезією.

Аналіз результатів рентгенографічних досліджень довів, що до складу отриманого покриття належать фази WN,  $\text{W}_2\text{N}$ , CrN із кубічною кристалічною решіткою та середнім розміром зерен 50 нм.

Мікротвердість наношарованих покриттів складала близько 3 ГПа для покриття  $\text{Cr}_{39}\text{W}_{11}\text{N}_{50}$  і 5 ГПа для  $\text{Cr}_{75}\text{W}_1\text{N}_{24}$  та суттєво залежала від шорсткості підкладки. Максимальне значення мікротвердості було досягнуто для всіх типів покриттів на зразках, шліфованих абразивом із 1200 зернистістю.

### Література

1. Тимофеева Л. А., Комарова Г. Л. Підвищення зносостійкості різальних інструментів для обробки залізобуглецевих сплавів. Технологія металів та матеріалознавство: збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків, 2014. Вип. 14. С. 143–149.
2. Затуленко А.С., Заєць С.С. Вплив процесу зношування різального інструменту на точність механічної обробки. XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15–16 травня 2019 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 152–154.

3. Chuangwen X. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / X. Chuangwen, D. Jianming, C. Yuzhen, L. Huaiyuan. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018, Vol. 10(1) P. 100–108. DOI: 10.1177/1687814017750434.
4. Zauylchny Ya. V. Influence of Interatomic Interaction Processes on the Mechanical Properties of Carbide Coatings Based on Ti, V and Cr, Obtained by Diffusion Metallization / Ya. V. Zauylchny, V.G. Hignjak, N.A., Harchenko, T.P. Horvorun et al. *J. Nano-electron. Phys.* 2016. Vol. 8, No 4(1). P. 04008.
5. Горбачова Т. Ю., Говорун Т. П. Зносостійкі покриття для ріжучих інструментів на основі Mo, Cr та N. Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції факультету технічних систем та енергоефективних технологій, 18–21 квітня 2017 р. Ч. 1. Суми: СумДУ, 2017. С. 102–103.
6. Maksakova O. V. Multilayered ZrN/CrN coatings with enhanced thermal and mechanical properties / O.V. Maksakova, S. Simoës, A. D. Pogrebnyak, O. V. Bondar, Y. O. Kravchenko, T. N. Koltunowicz, Z.K. Shaimardanov. *J. Alloy. Compd.* 2019, Vol. 776, P. 679–690.
7. Сметанін Р. С., Надточій К. Ю., Говорун Т. П. Підвищення експлуатаційних властивостей ріжучого інструменту при нанесенні покриттів магнетронним розпиленням. Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції факультету технічних систем та енергоефективних технологій, 18–21 квітня 2017 р. Частина 1. Суми: СумДУ, 2017. С. 98–99.
8. Shayestehaminzadeh S. The properties of TiN ultra-thin films grown on  $\text{SiO}_2$  substrate by reactive high power impulse magnetron sputtering under various growth angles / S. Shayestehaminzadeh, T. K. Tryggvason, L. Karlsson, S. Olafsson, J. T. Gudmundsson – *Thin Solid Films*. 2013. Vol. 548. P. 354–357.
9. Pogrebnyak A. D., Ivasishin O. M., Beresnev V. M. Arc-Evaporated Nanoscale Multilayer Nitride-Based Coatings for Protection Against Wear, Corrosion, and Oxidation. *Usp. Fiz. Met.* 2016. 17, № 1. P. 1–28.
10. Nishat A. Study on Structural, Morphological and Electrical Properties of Sputtered Titanium Nitride Films under Different Argon Gas Flow: *materials Chemistry and Physics*. 2012. № 134. P. 839–844.
11. Gago R., Soldera F., Hübner R. X-ray absorption near-edge structure of hexagonal ternary phases in sputter-deposited TiAlN films. *Journal of Alloys and Compounds*. 2013. Vol. 561. P. 87–94.
12. Tribology and Micromechanics of Chromium Nitride Based Multilayer Coatings on Soft and Hard Substrates / Lackner J. M., Waldhauser W., Majo L., Kot M. *Coatings*. 2014. No 4, P. 121–138.

13. Physical characteristics, structure and stress state of vacuum-arc tin coating, deposition on the substrate when applying high-voltage pulse during the deposition / Sobol O. V., Andreev A. A., Grigoriev S. N. et al. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2011. No 4 (74), P. 174S. N.177.
14. Musil J. Nanocomposit coatings with Enhanced Hardnes. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. 2005. Vol. 18, № 3. P. 433–442.
15. Zhizhchenko A. G. Issledovanie osobennostej strukturoobrazovaniya i napryazhennogo sostoyaniya pokrytij na osnove TiN [Investigation of the features of structure formation and stress state of coatings based on TiN]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]* – Collection of scientific papers, Minsk: FTI NAN Belarusi. 2016. Vol. 2. P. 191–198.
16. Caicedo J. C. Hard coating performance enhancement by using [Ti/TiN]<sub>n</sub>, [Zr/ZrN]<sub>n</sub> and [TiN/ZrN]<sub>n</sub> multilayer system / J.C. Caicedo, C. Amaya, L. Yate, et al: *materials Science and Engineering B*. 2010. No 171. C. 56–61.
17. Structural and mechanical properties of nitrogen-deficient cubic Cr–Mo–N and Cr–W–N systems / Zhou L., Klimashin F.F., Holec D., Mayrhofer P. H. *Scr. Mater.* 2016, 123 P. 34–37.
18. Chen J. S., Duh J. G., Wu F. B. Microhardness and Corrosion Behavior in CrN/Electroless Ni/Mild Steel Complex Coating. *Surface and Coatings Technology*. 2002, 150. P. 239–245.
19. Influence of roughness of the substrate on the structure and mechanical properties of tialn nano-coating condensed by DCMS / Dyadyura K., Hovorun T. P., Pylypenko O. V., Pererva V. I. *NAP* 2017, 1 P. 39–43.

### References

1. Tymofeyeva L. A., Komarova H. L. Pidvyshchennya znosostiykosti rizal'nykh instrumentiv dlya obrobky zalizovuhletsevykh splaviv. *Tekhnolohiya metaliv ta materialoznavstvo: zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT. Harkov, 2014. Vyp. 14 P. 143–149.*
2. Zatulenko A. S., Zayets S. S. Vplyv protsesu znoshuvannya rizal'noho instrumentu na tochnist' mekhanichnoyi obrobky. XII Vseukrayins'ka naukovopraktychna konferentsiya studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Pohlyad u maybutnye pryladobuduvannya», 15-16 travnya 2019 r., KPI im. Ihorya Sikors'koho, m. Kyiv. P. 152–154.
3. Chuangwen X. The relationships between cutting parameters, tool wear, cutting force and vibration / X. Chuangwen, D. Jianming, C. Yuzhen, L. Huaiyuan. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018, Vol. 10(1) P. 100–108. DOI: 10.1177/1687814017750434.
4. Zaulychny Ya. V. Influence of Interatomic Interaction Processes on the Mechanical Properties of Carbide Coatings Based on Ti, V and Cr, Ob-

- tained by Diffusion Metallization / Ya. V. Zaulychny, V. G. Hignjak, N. A., Harchenko, T. P. Hovorun et al. *J. Nano-electron. Phys.* 2016. Vol. 8, No 4(1). P. 04008.
5. Horbachova T. Yu., Hovorun T. P. Znosostiyki pokryttya dlya rizhuchykh instrumentiv na osnovi Mo, Cr ta N. Suchasni tekhnolohiyi u promyslovomu vyrobnytstvi: materialy naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi fakul'tetu tekhnichnykh system ta enerhoefektyvnykh tekhnolohiy, 18–21 kvitnya 2017. *Chastyna 1. Sumy: SumDU, 2017. P. 102–103.*
6. Maksakova O. V. Multilayered ZrN/CrN coatings with enhanced thermal and mechanical properties / O.V. Maksakova, S. Simoës, A. D. Pogrebnyak, O. V. Bondar, Y. O. Kravchenko, T. N. Koltunowicz, Z.K. Shaimardanov. *J. Alloy. Compd.* 2019, Vol. 776, P. 679–690.
7. Smetanin R. C., Nadtochiy K. YU., Hovorun T. P. Pidvyshchennya ekspluatatsiynykh vlastyvostrykh rizhuchoho instrumentu pry nanesenni pokryttiv mahnetronnym rozpylennyam. Suchasni tekhnolohiyi u promyslovomu vyrobnytstvi: materialy naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi fakul'tetu tekhnichnykh system ta enerhoefektyvnykh tekhnolohiy, 18–21 kvitnya 2017. *Chastyna 1. Sumy: SumDU, 2017. P. 98–99.*
8. Shayestehaminzadeh S. The properties of TiN ultra-thin films grown on SiO<sub>2</sub> substrate by reactive high power impulse magnetron sputtering under various growth angles / S. Shayestehaminzadeh, T. K. Tryggvason, L. Karlsson, S. Olafsson, J. T. Gudmundsson – *Thin Solid Films*. 2013. Vol. 548. P. 354–357.
9. Pogrebnyak A.D., Ivasishin O.M., Beresnev V.M. Arc-Evaporated Nanoscale Multilayer Nitride-Based Coatings for Protection Against Wear, Corrosion, and Oxidation. *Usp. Fiz. Met.* 2016. 17, № 1. P. 1–28.
10. Nishat A. Study on Structural, Morphological and Electrical Properties of Sputtered Titanium Nitride Films under Different Argon Gas Flow: *materials Chemistry and Physics*. 2012. № 134. P. 839–844.
11. Gago R., Soldera F., Hübner R. X-ray absorption near-edge structure of hexagonal ternary phases in sputter-deposited TiAlN films. *Journal of Alloys and Compounds*. 2013. Vol. 561. P. 87–94.
12. Tribology and Micromechanics of Chromium Nitride Based Multilayer Coatings on Soft and Hard Substrates / Lackner J. M., Waldhauser W., Majo L., Kot M. *Coatings*. 2014. No 4, P. 121–138.
13. Physical characteristics, structure and stress state of vacuum-arc tin coating, deposition on the substrate when applying high-voltage pulse during the deposition / Sobol O. V., Andreev A. A., Grigoriev S. N. et al. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2011. No 4 (74), P. 174S. N.177.

14. Musil J. Nanocomposit coatings with Enhanced Hardnes. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. 2005. Vol. 18, № 3. P. 433–442.
15. Zhizhchenko A. G. Issledovanie osobennostej strukturoobrazovaniya i napryazhennogo sostoyaniya pokrytij na osnove TiN [Investigation of the features of structure formation and stress state of coatings based on TiN]. *Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]* – Collection of scientific papers, Minsk: FTI NAN Belarusi. 2016. Vol. 2. P. 191–198.
16. Caicedo J. C. Hard coating performance enhancement by using [Ti/TiN]<sub>n</sub>, [Zr/ZrN]<sub>n</sub> and [TiN/ZrN]<sub>n</sub> multilayer system / J.C. Caicedo, C. Amaya, L. Yate, et al: *materials Science and Engineering B*. 2010. No 171. C. 56–61.
17. Structural and mechanical properties of nitrogen-deficient cubic Cr–Mo–N and Cr–W–N systems / Zhou L., Klimashin F. F., Holec D., Mayrhofer P. H. *Scr. Mater.* 2016, 123 P. 34–37.
18. Chen J.S., Duh J.G., Wu F. B. Microhardness and Corrosion Behavior in CrN/Electroless Ni/Mild Steel Complex Coating. *Surface and Coatings Technology*. 2002, 150. P. 239–245.
19. Influence of roughness of the substrate on the structure and mechanical properties of tialn nano-coating condensed by DCMS / Dyadyura K., Horvorn T. P., Pylypenko O. V., Pererva V. I. *NAP* 2017, 1 P. 39–43.

**Говорун Тетяна Павлівна**, к.ф.-м.н., доцент кафедри прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [tatgovorun@gmail.com](mailto:tatgovorun@gmail.com), [hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua),

**Дядюра Костянтин Олександрович**, д.т.н., професор кафедри прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [dyadyura@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:dyadyura@pmtkm.sumdu.edu.ua),

**Пилипенко Олександр Валерійович**, асистент кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики, тел. +38-054-233-56-12, e-mail: [pylypenko.o@gmail.com](mailto:pylypenko.o@gmail.com),

**Перерва Валентина Іванівна**, магістрант кафедри прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [valyapererva18@gmail.com](mailto:valyapererva18@gmail.com),

**Вареник Сергій Володимирович**, магістрант кафедри прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [foxtrot1849101@gmail.com](mailto:foxtrot1849101@gmail.com),

**Осичев Дмитро Романович**, студент кафедри прикладного матеріалознавства та технології конструкційних матеріалів, тел. +38-054-264-09-49, Сумський державний університет, 2, вул. Римського-Корсакова, м. Суми, 40007, Україна.

### Physico-mechanical properties and structural-phase state of individual coatings based on nitrides W and Cr

**Abstract. Problem.** *Ti, Zr, Mo, W and Cr nitride coatings are promising materials because they have high hardness and excellent tribological characteristics and are therefore widely used as a quick-wear protective cutter. At the same time, the structure and tribological properties of W-N coatings are poorly understood. All of the above coatings based on Ti-N, Zr-N, Mo-N, Cr-N and W-N phases are sensitive to the partial pressure of N<sub>2</sub> used during deposition. Coatings with nanolayer configurations of pure metal and metal nitride have higher mechanical properties than single-layer ones. Therefore, the topic of the work and the problems considered are relevant.*

**Goal.** *The aim of this work is to study the physico-mechanical properties and structural-phase state of CrWN nanolayer coatings deposited on a steel substrate with different surface roughness. Such nanostructured CrWN coatings have different component concentrations.*

**Methodology.** *In the work, samples of fixed-speed P6M5 steel of fixed size 15 mm × 15 mm × 5 mm were used as substrates, which were polished by a mechanical method combined with a diamond grinding wheel. Different surface roughness was achieved by grinding paper with different grain sizes by wet grinding, with preliminary grinding on the previous grain size. A target consisting of Cr and W with different area ratios was used: 95: 5, 75:25, 50:50. For the qualitative and quantitative analysis of the composition and structure of coatings, radiographic analysis was used, studies of the surface structure of coatings and obtaining energy dispersion spectra were performed on a scanning electron microscope.*

**Results.** *Radiographic studies show that the obtained coating includes such phases as WN, W<sub>2</sub>N, CrN with a cubic (NaCl-type structure) crystal-line lattice without a pronounced axis of grain orientation. Studies carried out on a scanning electron microscope of the obtained Cr-W-N coatings showed a nanocrystalline structure with a grain size of up to 50 nm. According to the analysis of the elemental composition of coatings, a clear correlation between the composition of the target and the composition of the obtained coating is observed. The main factors affecting the hardness and wear resistance of Cr, W and N coatings are the condensation parameters such as the stress applied to the substrate, the substrate temperature, the concentration of the gases in which the deposition occurs, their pressure and the composition of the target.*

**Originality.** *It has been found that the main factors that influence the hardness and wear resistance of Cr, W and N coatings are the condensation parameters such as the stress applied to the substrate, the substrate temperature, the concentration of the gases in which the deposition occurs, their pressure and the composition of the target. The microhardness of the nanolayers was about 3 GPa for Cr<sub>39</sub>W<sub>11</sub>N<sub>50</sub> coating and 5 GPa for Cr<sub>75</sub>W<sub>1</sub>N<sub>24</sub> and was significantly dependent on the coating roughness and had a maximum value on the*

1200 grit abrasive samples. **Practical value.** The investigated results of the dependence of the microhardness on the roughness show a decreasing nature with a decrease in surface roughness, that is, an increase in surface smoothness leads to a slight decrease in the hardness of the coating. The obtained values of microhardness of P6M5 steel with wear resistant coatings based on W and Cr nitrides allow to apply such coatings for surface hardening of machine tools and cutting tools.

**Keywords:** cutting tool, wear-resistant coating, surface hardening.

**Hovorun Tatyana**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Applied Materials Science and Technology of Structural Materials, tel. +38-054-264-09-49, e-mail: [tatgovorun@gmail.com](mailto:tatgovorun@gmail.com), [hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua),

**Dyadyura Constantin**, Doct. of Science, Professor of the Department of Applied Materials Science and Technology of Structural Materials, tel. +38-054-264-09-49, e-mail: [dyadyura@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:dyadyura@pmtkm.sumdu.edu.ua),

**Pylypenko Alexander**, Assistant Professor, Department of Electronics, General and Applied Physics, tel. +38-054-233-56-12, e-mail: [pylypenko.o@gmail.com](mailto:pylypenko.o@gmail.com),

**Pererva Valentina**, Master of the Department of Applied Materials Science and Technology of Structural Materials, tel. +38-054-264-09-49, e-mail: [valyapererva18@gmail.com](mailto:valyapererva18@gmail.com),

**Varenik Sergey**, Master of the Department of Applied Materials Science and Technology of Structural Materials, tel. +38-054-264-09-49, e-mail: [foxtrot1849101@gmail.com](mailto:foxtrot1849101@gmail.com),

**Osichev Dmitry**, Student of the Department of Applied Materials Science and Technology of Structural Materials, tel. +38-054-264-09-49, Sumy State University, 2, Rimsky-Korsakov, Sumy, 40007, Ukraine.

**Физико-механические свойства и структурно-фазовый состав износостойких покрытий на основе нитридов W и Cr**

**Аннотация.** В работе рассмотрены методы получения износостойких покрытий на основе

нитридов металлов W и Cr, охарактеризованы их преимущества и недостатки, подобраны режимы конденсации таких покрытий с различным соотношением компонент в магнетронной системе с постоянными магнитами. Проведено исследование микроструктуры и структурно-фазового состава. Исследована микротвердость полученных покрытий и проанализированы полученные результаты.

**Ключевые слова:** режущий инструмент, износостойкие покрытия, поверхностное упрочнение.

**Говорун Татьяна Павловна**, к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладного материаловедения и технологии конструкционных материалов, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [tatgovorun@gmail.com](mailto:tatgovorun@gmail.com), [hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua),

**Дядюра Константин Александрович**, д.т.н., профессор кафедры прикладного материаловедения и технологии конструкционных материалов, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [dyadyura@pmtkm.sumdu.edu.ua](mailto:dyadyura@pmtkm.sumdu.edu.ua),

**Пилипенко Александр Валериевич**, ассистент кафедры электроники, общей и прикладной физики, тел. +38-054-233-56-12, e-mail: [pylypenko.o@gmail.com](mailto:pylypenko.o@gmail.com),

**Перерва Валентина Ивановна**, магистрант кафедры прикладного материаловедения и технологии конструкционных материалов, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [valyapererva18@gmail.com](mailto:valyapererva18@gmail.com)

**Вареник Сергей Владимирович**, магистрант кафедры прикладного материаловедения и технологии конструкционных материалов, тел. +38-054-264-09-49, e-mail: [foxtrot1849101@gmail.com](mailto:foxtrot1849101@gmail.com),

**Осичев Дмитрий Романович**, студент кафедры прикладного материаловедения и технологии конструкционных материалов, тел. +38-054-264-09-49, Сумской государственный университет, 2, ул. Римского-Корсакова, г. Сумы, 40007, Украина.