

УДК 621.762.4:546.261

**С. Мариненко, канд. техн. наук; І. Коваль;  
Л. Бодрова, канд. техн. наук; Г. Крамар, канд. техн. наук**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕХАНІЗМИ ЛОКАЛЬНОГО ЗНОШУВАННЯ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ, ЛЕГОВАНИХ НАНОКАРБІДОМ ВОЛЬФРАМУ, ПРИ ТОЧІННІ**

***Резюме.** Досліджено експлуатаційні властивості твердих сплавів на основі карбіду титану, легованого карбідом ванадію (5% (мас.) і нанокарбідом вольфраму (5, 10, 15% (мас.) з нікель-хромовою зв'язкою (18% (мас.) при поздовжньому та торцевому точінні конструкційних вуглецевих і легованих сталей. Встановлено період стійкості інструментів на операціях напівчистового і чистового точіння й визначено критичну (максимальну) швидкість різання, при якій відбувається катастрофічне зношування твердосплавних пластин. Показано, що використання нанокарбіду вольфраму підвищує зносостійкість ріжучого інструменту – період стійкості сплавів з нано WC складає 109...154 хв і перевищує стійкість стандартних твердих сплавів T15K6 і TN20 та сплавів на полікарбідній основі, легованих дрібнодисперсним карбідом вольфраму. Критична швидкість різання сплаву з 5% (мас.) нано WC складає 830 м/хв., а з 15% (мас.) – 980 м/хв. Аналіз зони зношування показав, що вона складається з двох ділянок – трибошару, який містить значну кількість кисню і елементів інструментального та оброблюваного матеріалів, і ділянки абразивного зношування. Встановлено, що основним механізмом локального зношування досліджуваних сплавів є абразивне стирання. Наявність трибошару на задній поверхні різального леза змінює температурно-силові умови процесу різання та руйнування інструментального матеріалу, яке відбувається внаслідок окиснення та дифузійної взаємодії з елементами оброблюваного матеріалу.*

***Ключові слова:** тверді сплави, нанокарбід вольфраму, експлуатаційні властивості, період стійкості, локальне зношування, абразивне стирання, окислювальний і дифузійний механізми*

**S. Marynenko, I. Koval, L. Bodrova, H. Kramar**

## **OPERATIONAL PROPERTIES AND LOCAL WEAR MECHANISMS OF HARD ALLOYS ALLOYED BY TUNGSTEN NANO CARBIDE UNDER TURNING**

***Summary.** Operational properties of the titanium carbide based hard alloys alloyed by vanadium carbide (5% (wt.) and tungsten nano carbide (5, 10, 15% (wt.) with nickel-chromium binder (18% (wt.) under turning were researched in the paper. The processing of construction carbon and alloyed steels under shoulder and facing turning by inserts made of developed alloys was carried out. The tool life at semi-finishing and finishing turning operations was identified and the critical (maximum) cutting speed at which the critical inserts wear takes place was determined. It was shown that the application of tungsten nano carbide results in the increase of cutting tools wear resistance as the alloys with nano WC tool life is 109...154 min and exceeds that of conventional carbide based hard alloys, tungsten-free hard alloys and polycarbide based alloys alloyed with fine-grained tungsten carbide. The critical cutting speed the alloy with 5% (wt.) nano WC is 830 m/min and for the one with 15% (wt.) is 980 m/min. The features of local wear of alloys alloyed by tungsten nano carbide were studied taking advantage of the electronic microscopy and chemical analysis methods. The analysis of the wear zone showed that it consists of two areas, the tribolayer, containing a significant amount of oxygen and the elements of instrumental and processed materials, and abrasive wear area. It was determined that the abrasion wear is the main local wear mechanism of researched alloys. The main features of damage in the area of abrasive wear are large carbide grains cracking, their parts removal and small carbide grains splintering. Availability of tribolayer on the back surface of the cutting edge changes the temperature and force conditions of the tool material cutting and damage that occurs as a result of oxidation and diffusion interaction with the elements of the processed material.*

**Key words:** *hard alloys, tungsten nano carbide, operating properties, tool life, local wear, abrasion wear, oxidation and diffusion mechanisms.*

**Постановка проблеми.** Інтенсифікація процесів металообробки – зростання швидкостей різання і, як наслідок, зміна температурно-силових умов точіння – актуалізує проблему розроблення нових матеріалів, що можуть забезпечити надійну і довговічну роботу різальних інструментів та якість поверхонь оброблюваних деталей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із шляхів зростання ефективності металообробки є підвищення ресурсу роботи інструментів та продуктивності різання, що забезпечується розробленням та впровадженням матеріалів, які поєднують високі фізико-механічні властивості – твердість, зносостійкість, міцність та тріщиностійкість [1–7]. Цим вимогам, окрім стандартних вольфрамо-кобальтових сплавів, задовольняють тверді сплави на основі карбиду титану, легованого карбідами ванадію, ніобію та вольфраму різної зернистості (дрібнодисперсний та нанодисперсний) з нікель-хромовою зв'язкою [8–11]. Дослідження фізико-механічних властивостей твердих сплавів легованих нанодисперсним карбідом вольфраму (далі – нанокарбідом вольфраму) показали, що вони мають високі твердість та тріщиностійкість і є перспективними інструментальними матеріалами [12].

**Метою даної роботи** було дослідження експлуатаційних властивостей та механізмів локального зношування твердих сплавів, легованих нанокарбідом вольфраму.

**Постановка задачі.** Для досягнення поставленої мети потрібно було визначити період стійкості розроблених матеріалів на операціях чистового та напівчистового поздовжнього точіння мало-, середньовуглецевих та легованих сталей і порівняти його зі стандартними сплавами Т15К6, ТН20 й аналогічними сплавами на полікарбідній основі, легованими дрібнодисперсним карбідом вольфраму, розрахувати критичну (максимальну) швидкість різання при торцевому точінні й встановити механізми локального зношування твердосплавних пластин, виготовлених зі сплавів з нанокарбідом вольфраму.

**Матеріали та методика досліджень.** Для визначення періоду стійкості методом порошкової металургії виготовляли чотиригранні непереточувані пластини із твердих сплавів TiC-5VC-5(10,15) нано WC-18(NiCr). Ріжучі властивості розроблених сплавів досліджували при поздовжньому і торцевому точінні мало-, середньовуглецевих та легованих сталей 20, 35 та 40Х. Режими різання:  $v = 90...120$  м/хв,  $s = 0,25$  мм/об,  $t = 0,5... 1,5$  мм. Для порівняння використовували дані роботи [6], у якій досліджено період стійкості стандартних сплавів Т15К6 і ТН 20, а також сплаву на полікарбідній основі з 5%(мас.) дрібнозернистого карбиду вольфраму (TiC-5VC-5NbC-5WC-18(NiCr) при обробленні аналогічних сталей.

При поздовжньому точінні встановлювали період стійкості при критерії зношування по задній поверхні 0,7 мм, а при торцевому – критичну швидкість різання (максимальну швидкість, при якій відбувалося зношування пластин по задній поверхні 0,7 мм і більше, але пластини не зазнавали катастрофічного зношування).

Торцеве обточування проводили на диску зі Сталі 50 із зовнішнім діаметром 300 мм та отвором 40 мм. Режими різання:  $s = 0,25$  мм/об,  $t = 1,5$  мм,  $n = 1250$  об/хв. Критичну швидкість різання визначали за формулою

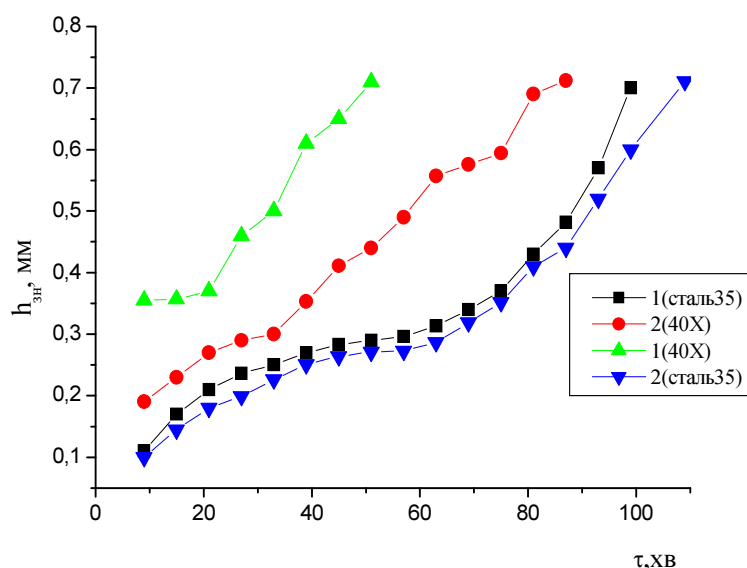
$$V_{кр.} = \frac{\pi D_{кр.} n}{1000},$$

де  $D_{кр.}$  – діаметр заготовки, при якому зношування по задній поверхні дорівнює 0,7 мм.

Особливості локального зношування твердосплавних пластин при різанні вивчали методами електронної мікроскопії на скануючому електронному мікроскопі SELMI РЭМ 106И та хімічного аналізу зони зношування за допомогою системи рентгенівського енерго-дисперсійного аналізу (ЕДАР).

**Реалізація результатів роботи.** Результати стійкісних випробувань непереточуваних чотиригранних пластин і з сплаву TiC-5VC-5WC(нано)-18NiCr порівняно зі сплавом TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr, за результатами [13], при обробленні мало-, середньовуглецевих та легованих сталей наведено на рис. 1.

Встановлено, що період стійкості пластин і з сплаву, легованого нанокарбідом вольфраму при обробленні Сталі 35 склала 109 хв, 40Х – 87 хв, а сплаву з дрібнозернистим карбідом вольфраму – 98 хв і 51 хв відповідно. Таким чином, при обробленні легованої сталі стійкість сплавів, легованих нанокарбідом вольфраму в 1,7 разів вища, тоді як при обробці середньовуглецевої сталі – всього на 10%.



**Рисунок 1.** Залежність величини зношування пластин зі сплавів TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr (1) за результатами [13] та TiC-5VC-5WC(нано)-18NiCr (2) від тривалості роботи при обробленні конструкційних сталей. Режими різання: V=90м/хв; S=0,25мм/об; t=1,5 мм

**Figure 1.** The dependence of inserts wear value of TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr (1) according to the results of [13] and TiC-5VC-5WC (nano) -18NiCr (2) alloys on the duration of work under construction steels processing. Cutting regimes: V = 90 m / min; S = 0,25 mm / rev; t = 1,5 mm

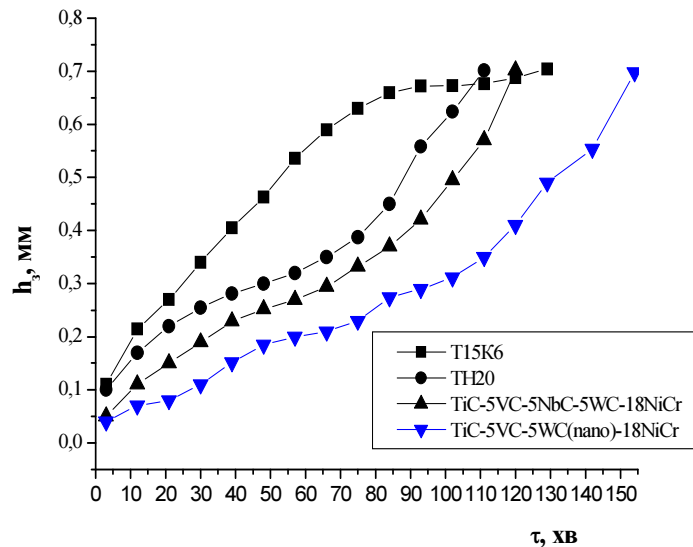
Для порівняння стійкості пластин зі сплавів, легованих нанокарбідом вольфраму, дрібнозернистим карбідом вольфраму, T15K6 та TH20 проводили оброблення сталі 20. Результати випробувань наведено на рис. 2. Тривалість роботи пластин зі сплаву TiC-5VC-5WC(нано)-18NiCr склала 154 хв, що в 1,2 раза вища, ніж сплаву T15K6, в 1,4 раза, ніж сплаву TH20 і в 1,3 раза, ніж сплаву на основі карбиду титану, легованого дрібнозернистим карбідом вольфраму.

Однак характер зношування пластин із досліджуваних сплавів має певні відмінності. Зношування пластин із вольфрамокобальтового сплаву T15K6 протікало інтенсивніше до величини 0,65 мм протягом 80 хв, а далі стабілізувалося, причому величина зношування 0,7 мм не вичерпала можливості подальшої роботи пластинами з

цього сплаву. Тобто перевага розроблених сплавів з нанодобавками карбїду вольфраму може бути нівельована при тривалішій роботі пластин із вольфрамокобальтових твердих сплавів.

Для пластин зі сплавів на основі карбїду титану (ТН20, легованих дрібнодисперсним і нанокарбїдом вольфраму) характер зношування відмінний від зношування пластин зі сплаву Т15К6 – у них період припрацювання пластин менший (30...40 хв) і стабільна робота інструменту відбувається при величині зношування по задній поверхні від 0,2 до 0,4 мм. При зношуванні понад 0,7 мм пластини із таких сплавів вичерпали свої можливості, оскільки при подальшому використанні спостерігали сколи вершин і руйнування кромки.

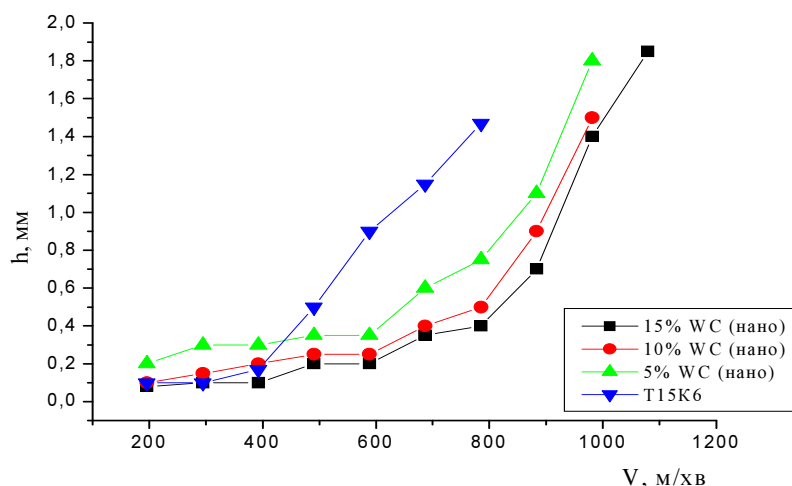
При зношуванні по задній поверхні до 0,4 мм період стійкості пластин зі сплавів на основі карбїду титану, легованого нанокарбїдом вольфраму, як і сплавів з дрібнозернистим карбїдом вольфраму та ТН20, значно більший (70-100 хв), ніж у сплаву Т15К6 (40 хв), у якого в процесі різання на цьому етапі відбувається припрацювання інструменту.



**Рисунок 2.** Залежність величини зношування пластин зі сплавів TiC-5VC-5WC(nano)-18NiCr і T15K6, ТН20, TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr за даними [13] від тривалості роботи при обробці сталі 20. Режими різання:  $V=120$  м/хв;  $S=0,25$  мм/об;  $t=1,5$  мм

**Figure 2.** The dependence of inserts wear value of TiC-5VC-5WC(nano)-18NiCr and T15K6, TN20, TiC-5VC-5NbC-5WC-18NiCr alloys according to the [13] on the duration of work under the steel 20 processing. Cutting regimes:  $V = 120$  m / min;  $S = 0,25$  mm / rev;  $t = 1,5$  mm

Розрахунок критичної швидкості різання показав, що при торцевому точінні сплавами, легованими 5, 10, 15% (мас.) нанокарбїду вольфраму, сплави з 5% (мас.) нано WC можуть працювати із забезпеченням необхідної якості поверхні оброблюваної деталі при швидкості до 830 м/хв, тоді як найвищу критичну швидкість різання (980 м/хв) показали сплави зі вмістом 15% (мас.) нано WC (рис.3).

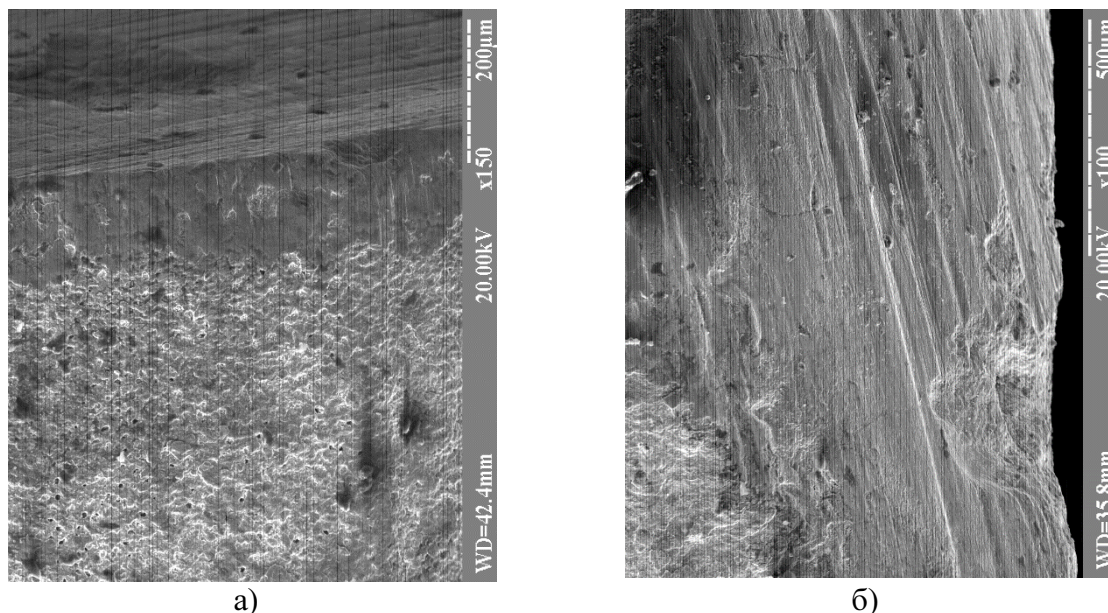


**Рисунок 3.** Результати випробувань для визначення критичної швидкості різання сплавів Т15К6 і TiC- T-5VC-5(10,15) WC(нано)-18NiCr при торцевому точінні ( $n = 1250$  об/хв,  $t = 1,5$  мм)

**Figure 3.** The results of investigations for determining the critical cutting speed of T15K6 and TiC- T-5VC-5(10,15) WC(nano)-18NiCr alloys under facing turning ( $n = 1250$  rev/min,  $t = 1.5$  mm)

Особливості будови зони локального зношування задньої поверхні пластин, виготовлених зі сплавів, легованих нанокарбідом вольфраму, представлено на рис. 4.

Аналіз зони зношування показав, що вона складається з двох ділянок – ділянки абразивного зношування і трибошару, який містить значну кількість кисню та елементів інструментального та оброблюваного матеріалів (табл.).



**Рисунок 4.** Локальне зношування сплаву TiC-5VC-15WC(нано)-18NiCr при поздовжньому (а) і торцевому (б) точінні

**Figure 4.** The TiC-5VC-15WC (nano)- 18NiCr alloy local wear under (a) shoulder and (b) facing turning

У досліджуваних сплавах карбідні зерна мають розмір  $0,8 \dots 2$  мкм, а товщина прошарків зв'язки не перевищує  $0,2-0,4$  мкм. Таким чином, величина абразивних частинок значно перевищує товщину прошарків зв'язки і в першу чергу руйнуються

карбіди за крихким або втомним механізмом руйнування. Встановлено, що основним механізмом локального зношування досліджуваних сплавів є абразивне стирання. Основними ознаками руйнування на ділянці абразивного зношування є розтріскування крупних карбідних зерен та видалення їх частин і викришування дрібних карбідних зерен.

### Таблиця

Хімічний склад поверхні зношування пластин зі сплавів TiC-5VC-5(10, 15)WC (нано) – 18NiCr при торцевому точінні Сталі 50, % (ат.)

### Table

The chemical composition of the inserts wear surface of the TiC-5VC-5(10, 15)WC (nano) - 18NiCr alloys at the Steel 50 facing turning, % (at.)

Вміст нано WC, % (мас.)	O	W	Ti	Fe	Ni	V	Інші елементи
5	48,49	8,31	16,62	18,34	3,62	2,41	2,21
10	44,82	10,66	18,49	19,62	1,97	1,75	2,69
15	49,38	15,31	24,83	7,52	0,75	1,13	1,08

Наявність трибошару на задній поверхні різального леза змінює температурно-силові умови процесу різання та руйнування інструментального матеріалу, яке відбувається внаслідок окиснення та дифузійної взаємодії з елементами оброблюваного матеріалу.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення класів матеріалів, що можуть бути оброблені тврдосплавними пластинами із розроблених сплавів.

**Висновки.** Проведеними дослідженнями встановлено, що стійкість сплавів з нано WC в 1,1...1,7 раза вища порівняно зі сплавом, легованим дрібнозернистим WC, та в 1,2...1,4 раза вища порівняно зі сплавами T15K6 і TH20 на операціях чистового та напів чистового точіння сталей 20, 35, 40X. Критична швидкість різання максимальна для сплаву з 15% (мас) нано WC і становить 980 м/хв. Основним механізмом локального зношування сплавів з нано WC є абразивне стирання. В зоні зношування виявлено трибошар, який складається з оксидів заліза, титану й вольфраму і свідчить про зношування сплавів за дифузійним та окислювальним механізмами.

**Conclusions.** Thus, the carried out investigations testified that the tool life of alloys with nano WC is 1,1...1,7 times higher as compared with that alloyed by fine-grained WC and 1,2...1,4 times higher as compared with T15K6 and TH20 alloys under the finishing and semi- finishing turning operations of 20, 35, 40X steels. The critical cutting speed is the maximum for the alloy with 15% (wt.) nano WC and is 980 m/min. The abrasion wear is the main local wear mechanism of nano WC alloys. In the wear zone the tribolayer which consists of iron, titanium and tungsten oxides is found, testifying the alloys wear by diffusive and oxidative mechanisms.

### Список використаної літератури

1. Лоладзе, Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента [Текст] / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. Characterisation and application of titanium carbonitride-based cutting tools / A.Bellosi, R.Calzavarini, M.G. Faga [et al.] // J. of Mat. Proc. Techn. – 2003. – 143 – 144. – Pp. 527 – 532.
3. Ravichandran, K.S. Fracture Toughness of Two Phase WC-Co Cermets / K.S. Ravichandran // Acta Metall. Mater., 1994. – V. 42 – Pp. 143 – 150.

4. Carroll, D.F. Processing and Properties of Ultrafine WC/Co Hard Materials / D.F. Carroll // Proc. of the 14th Int. Plansee Conf. Abstract, 1997. – No. 89.
5. Santhanam, A.T. Cemented Carbides / A.T. Santhanam, P. Tierney, and J.L. Hunt // Metals Handbook, ASM Int., 1990. – Vol. 2. – Pp. 950 – 977.
6. Bodrova, L. Carbide titanium and vanadium alloys for cutting tools / L. Bodrova // Proc. of the Powder Metallurgy World Congress (Granada, Spain, 1998), EPMA, London. – Vol. 4. – P. 110 – 114.
7. Some Properties of The TiC-(VC, NbC, WC) Based Hard Alloys / L.G. Bodrova, V.V. Lazaryuk, S.Yu. Marynenko [et al.] // Международный сборник научных трудов «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». – Донецк, 2006. – Вып. 31. – С. 56 – 64.
8. Kear, H. Chemical Processing and Applications for Nanostructured Materials / H. Kear, P.R. Strut // Nanostruct. Mater. 1995. – 6 (1 – 4). – Pp. 227 – 236.
9. Fang, Z. Study of Nanostructured WC -Co Composites / Z. Fang and J.W. Eason // Proc. of the 13th International Plansee Seminar, Eds. H. Bildstein and R. Eck, Metallwerk Plansee, Reutte 1993. – Vol 3. – Pp. 625 – 638.
10. Kear, B.H. Chemical Processing and Properties of Nanostructured WC-Co Materials // B.H. Kear and L.E. McCandlish // Nanostruct. Mater. 1993. – 3 (1 – 6). – Pp. 19 – 30.
11. McCandlish, L.E. Nanostructured WC -Co Composite Powders / L.E. McCandlish, V. Kevorkian, K. Jia, and T.E. Fischer // Adv. Powder Metall. Part. Mater., 1994. – Vol. 5, Specialty Materials and Composites). – Pp. 329 – 337.
12. Бодрова, Л.Г. Тверді сплави на полікарбідній основі, леговані дрібно- та нанодисперсним карбідом вольфраму [Текст] / Л.Г. Бодрова, І.В. Коваль, М.М. Прокопів // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научн. труд. – К.: ИСМ им. В.И. Бакуля, 2011. – Вып.14. – С. 490 – 494.
13. Особливості зношування твердих сплавів (Ti, V, Nb, W) C-NiCr у процесі різання [Текст] / С.Ю. Мариненко, Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар // Вісник ТДТУ. – 2009. – Том 14. – № 4. – С. 27 – 32.

*Отримано 20.08.2015*