

А.О. Чумак, к.т.н.  
Ю.О. Мельничук, к.т.н., с.н.с.  
С.А. Клименко, д.т.н., проф.  
А.С. Манохін, к.т.н., с.д.  
С.Ан. Клименко, к.т.н., с.д.  
М.Ю. Копейкіна, к.т.н., с.н.с.  
О.С. Осіпов, к.т.н., с.н.с.  
А.Г. Найдено, к.т.н.

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України*

Л.Г. Полонський, д.т.н., проф.

Я.П. Коваленко, аспірант

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## Працездатність різального інструменту, оснащеного ПКНБ групи VL, при швидкісній обробці загартованої сталі

*У роботі досліджувалися розроблені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля інструменти з надтвердих матеріалів на основі КНБ групи VL, виготовлені з додаванням керамічних компонентів TaN, TiC, TiN. Такі матеріали класифікуються як керамоматричні композити (КМК). Твердість нових модифікацій композитів інструментального призначення становила від 31,2 до 40,2 ГПа. Експериментальні дослідження проводилися в умовах високошвидкісного різання загартованих сталей ШХ15 та ХВГ. Вивчалася працездатність надтвердих композитів за критерієм відсутності крихкого руйнування різальної кромки інструменту та ефективність нових композитів за критерієм мінімальної інтенсивності зношування задньої поверхні різців під час різання з режимами, що відповідають умовам фінішної обробки. Високі експлуатаційні параметри – якість обробки та мінімальна інтенсивність зношування – були продемонстровані інструментами, що оснащені КМК, які містять матрицю, утворену карбідом титану.*

**Ключові слова:** надтверді композити; фінішна обробка; загартовані сталі; інтенсивність зношування; працездатність інструменту; зношування.

**Актуальність теми.** У сучасному машинобудуванні, де широко використовуються важкооброблювані конструкційні матеріали, застосування інструментів із полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) [1–3] є основою забезпечення високої ефективності виробництва. ПКНБ являються одними із найтвердіших та хімічно інертних до заліза інструментальних матеріалів. Вміст cBN у композитах на основі кубічного нітриду бору, як правило, адаптують до умов обробки і хімічного складу оброблюваних матеріалів і він може значно змінюватись (ISO 513-2014): 1) 45–65 об. % cBN у матриці на основі сполук елементів Ta, Ti, C, N, B, Al, O (група VL, low-CBN grades); 2) 70–95 об. % cBN переважно з металевією матрицею Co і Ni (група VH, high-CBN grades). Розробка нових модифікацій ПКНБ групи VL з покращеними експлуатаційними властивостями дозволяє підвищити продуктивність фінішної обробки важкооброблюваних матеріалів. Одночасно треба зазначити, що такий тип інструментальних композитів з точки зору технології їх синтезу є більш складним порівняно з практично монофазними матеріалами VH групи. В цьому зв'язку створення таких інструментів та дослідження закономірностей їх використання зараз є актуальним завданням для спеціалістів з матеріалознавства та обробки різанням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Галуззю використання інструментів із ПКНБ групи VL є чистова безперервна обробка або обробка з незначними ударними навантаженнями. Вони ефективні за високих швидкостей різання – 200–250 м/хв [4, 5]. У [6–9] показано, що матеріали з низьким вмістом кубічного нітриду бору (45–65 об. %) демонструють найбільшу стійкість інструменту під час безперервного точіння загартованих сталей.

Для порівняння працездатності інструментів, оснащених композитами груп VH і VL, проведені дослідження під час точіння загартованої сталі, використовуючи водоемульсійну суміш (6 % мастила) [9]. Глибина різання та подача – 0,2 мм та 0,3 мм/об відповідно. Швидкість різання 200 м/хв була однаковою для всіх інструментів. Досліджували ряд композитів груп VH та VL з керамічною матрицею зі сполуками TiN, TiC, Ti (C, N), (Al, Co) та ін. Дисперсність складової cBN у структурі композиту < 2–8 мкм.

Основний висновок, зроблений з результатів порівняльних випробувань, – інструменти, оснащені композитами з малим вмістом cBN (50–65 %), демонструють значно більш тривалу роботу на фінішних

операціях порівняно з інструментом, оснащеним композитами cBN групи ВН. Авторами досліджень [10–12] встановлено, що інструмент із ПКНБ групи ВL має підвищене зношування по задній поверхні при важкому переривчастому різанні, в той час як інструменти з матеріалами групи ВН менш чутливі до динамічних навантажень, але швидше зношуються за високих швидкостей різання. У [13] вивчався механізм зношування та характер поведінки інструменту з матеріалами груп ВL і ВН за різних умов різання. Обробляли заготовки із загартованої сталі AISI 4340 (52 HRC) у станах, що забезпечують умови безперервного різання, незначних динамічних навантажень та різання з ударом. Застосовується інструмент з композитами, що містять 50 % cBN у зв'язці TiC, 65 % cBN у зв'язці TiCN та 90 % cBN у зв'язці Co-Ni. Результати досліджень [14] з визначення характеру зносу інструментів із ПКНБ з різним вмістом нітриду бору при точні з ударом сталі М50, твердістю 62–64 HRC на різних швидкостях різання свідчать, що стійкість інструментів із ПКНБ зменшується зі збільшенням швидкості різання. На швидкості різання до 120 м/хв найкращу стійкість показували інструменти з ПКНБ групи ВН, при збільшенні швидкості різання до 240 м/хв найкращу працездатність показували інструменти із ПКНБ групи ВL. У [15] продемонстровано порівняння працездатності інструментів з різальною керамікою та ПКНБ групи ВL при безперервному та переривчастому точінні. За постійної швидкості різання інструменти із ПКНБ групи ВL демонструють значно вищу стійкість, однак за точіння з ударом стійкість двох типів композитів була однаково низькою.

З аналізу технічної літератури можна зробити висновок, що найбільш на стійкість різальних інструментів впливає температура в контактній зоні, яка визначає інтенсивність протікання хімічних реакцій взаємодії, дифузійних та адгезійних, механічних процесів. Особливо це актуально для інструментів із ПКНБ групи ВL, які працюють в області високих швидкостей різання та температур.

**Метою статті** є експериментальне визначення працездатності та порівняльна оцінка ефективності за критерієм інтенсивності зношування нових модифікацій надтвердих композитів на основі ПКНБ групи ВL, призначених для високошвидкісної обробки загартованих сталей.

**Методика.** У роботі досліджували композити групи ВL на базі чотирьох основних компонентів: cBN, TaN, TiC, TiN (табл. 1). Для дослідження особливостей контактної взаємодії при різанні (Fe-C) сплавів високої твердості та ефективності застосування в лезовому інструменті розроблених матеріалів із слечених заготовок були виготовлені, згідно з ISO 1832-2004, партії непереточуваних різальних пластин RNMN 09T300 (круглої форми діаметром 9,52 мм, товщиною 3,97 мм). Для різних умов обробки були виготовлені пластини як з гострою різальною кромкою, так і зі зміцнюючою фаскою ( $0,2 \times 20^\circ$ ). Шорсткість робочих поверхонь пластин становила Ra 0,038–0,067. Дослідження проводилися при точінні загартованих сталей ШХ15 (56–62 HRC) та ХВГ (56–64 HRC). Дослідження особливостей контактної взаємодії розроблених керамоматричних композитів групи ВL переважно проводилися за високих швидкостей різання 140–350 м/хв. Для порівняльного аналізу розроблених матеріалів на першому етапі проводилися чистове точіння заготовок із загартованої сталі ШХ15 відносно невисокої твердості – 56–58 HRC. Величина подачі та глибини різання були постійними та становили:  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм.

Таблиця 1

Позначення партій пластин та їх вихідні склади

Партія пластин	Склад суміші для спікання	Об. %	Мас. %	Щільність, г/см <sup>3</sup>	HV 0,5 ГПа	E, ГПа
21	cBN(КМ 3/2)-TaN (1–30 мкм)	55–45	22,9–77,1	8,01	31,9 ± 1,7	515
22-Д	cBN(КМ 3/2)-TiN (1–2 мкм)	55–45	44,5–55,5	4,34	32,8 ± 2,4	520
26	cBN(AM1-2)-TiN (1–2 мкм)	55–45	44,5–55,5	4,29	35,4 ± 1,8	–
23-Д	wBN-TiN (1–2 мкм)	55–45	43,7–56,3	4,30	36,8 ± 2,1	–
28	(cBN(КМ 3/2)-wBN)-TiN (1–2 мкм)	60–15–25	52,6–13,2–34,2	3,90	36,4 ± 1,9	–
24-Д	cBN(КМ 3/2)-TiC (≤ 4,5–7 мкм)	55–45	46,4–53,6	4,13	37,1 ± 4,2	530
25-Д	wBN-TiC(≤ 4,5–7 мкм)	55–45	46,2–53,8	4,05	39,1 ± 3,3	–
27	cBN(КМ 3/2)-TiC (≤ 4,5–7 мкм)	75–25	68–32	3,76	40,2 ± 2,3	620

**Чистове точіння сталі ХВГ (62–64 HRC).** Процес точіння зі швидкістю різання 215 м/хв характеризується поступовим рівномірним зношуванням дослідних пластин (рис. 1). Швидкість зношування дослідних партій знаходиться в межах 10–12 мкм/хв. З підвищенням швидкості до  $v = 265$  м/хв швидкість зношування дослідних КМК зростає до 15–18 мкм/хв (партії № 24, 26, 27). Випробування партій № 24, 26 при  $v = 320$  м/хв показує їх високу працездатність за таких умов обробки (швидкість зношування 25 мкм/хв). Серед усіх складів розроблених КМК найнижчими різальними властивостями виділяється партія № 21. Незважаючи на вдалий підбір компонентів, які теоретично мають високу стійкість до окисдування за високих температур, такий композит вже за швидкості різання 170 м/хв зношується в 2 рази швидше порівнянні з рештою партій.

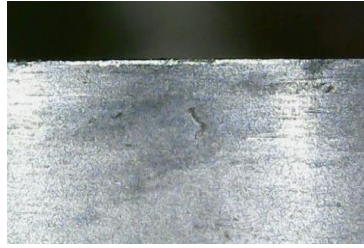


Рис. 1. Контактна ділянка задньої поверхні зразка № 24  
(ШХ15 58 HRC,  $v = 215$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $h_z = 0,05$  мм,  $T = 5$  хв)

При обробці зі швидкістю різання  $v = 215$  м/хв пластини із партії № 21 втрачали працездатність вже після 2 хв роботи. За цей час складові сили різання стрімко зростають:  $P_y$  – з 110 до 300 Н,  $P_z$  – з 100 до 160 Н. Спостерігається утворення в пластинах макротріщин, які можуть знаходитись як безпосередньо в контактній зоні інструментально-оброблюваний матеріал, так і за її межами (рис. 2). Наявність зміцнюючої фаски на передній поверхні пластин № 21 не впливає на процес утворення макротріщин (рис. 3).

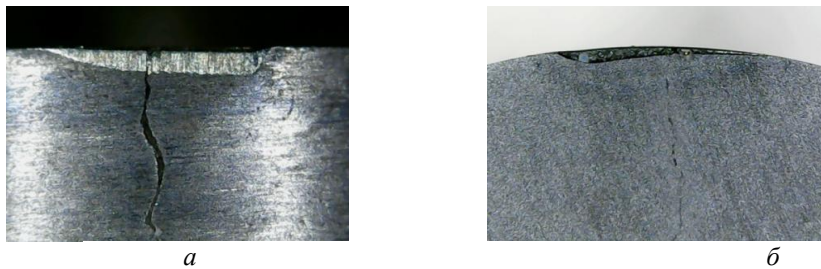


Рис. 2. Контактні ділянки задньої (а) та передньої (б) поверхні зразка з партії № 21  
(ШХ15 58 HRC,  $v = 215$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $h_z = 0,3$  мм,  $T = 5$  хв)



Рис. 3. Тріщина за межами контактної зони зразка з партії № 21

Це свідчить про невисоку міцність та стійкість до зносу отриманого матеріалу. Причиною утворення макротріщин та інтенсивного зношування композиту № 21 є неоднорідна структура матеріалу. Застосування крупнодисперсних компонентів TaN (агрегати розміром до 30 мкм) при спіканні композитів в умовах високих тисків і температур призводить до нівелювання високої стійкості до окисування компонентів отриманого композиту. При високошвидкісній обробці сталі ХВГ (62–64 HRC) КМК, що містять TiN, спостерігається висока ймовірність утворення мікросколів на різальній кромці інструменту, що призводить до передчасної втрати працездатності інструменту. Використання КМК № 22 при точінні зі швидкістю  $v = 190$  м/хв ( $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм) характеризується високою інтенсивністю зношування (рис. 4) та швидкою втратою працездатності інструменту. Вже після 3 хвилин роботи відбувається сколювання різальної кромки інструменту. Руйнування інструментального матеріалу переважно відбувається по передній поверхні інструменту (рис. 4, а).

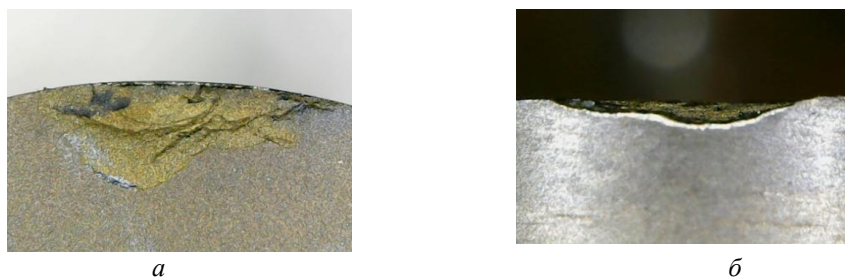


Рис. 4. Передня (а) та задня (б) поверхня зразка з партії № 22 (ШХ15 58 HRC,  $v = 190$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $h_z = 0,2$  мм,  $T = 3$  хв)

Зважаючи на наведене вище, подальші дослідження проводились із використанням КМК із вмістом ТаС. Підвищення швидкості різання до  $v = 320$  м/хв не призводить до суттєвої зміни характеру зносу інструменту – відбувається поступове зношування по задній поверхні та збільшення лунки на передній поверхні (рис. 5 та 6). Для визначення технологічних можливостей інструменту, оснащеного КМК, було проведено обробку загартованої сталі ХВГ (62 HRC) із підвищеними подачами. Для порівняння були обрані матеріали, які мають найвищі експлуатаційні властивості при чистовому точінні: КМК з партії № 26 та CBN100 (фірма Seco). Як показали проведені випробування, інструменти, оснащені такими матеріалами, при точінні із подачею  $S = 0,19$  мм/об з підвищенням швидкості до  $v = 215$  м/хв ( $t = 0,2$  мм) втрачали свою працездатність вже після 6 хвилин роботи. Для CBN100 характерним є інтенсивний знос по задній поверхні (рис. 7), для КМК № 27 – мікросколювання різальної кромки в контактній зоні (рис. 8).



Рис. 5. Контактні ділянки задньої поверхні пластини № 24 після точіння сталі: а –  $T = 3,3$  хв,  $h_z = 0,08$  мм; б –  $T = 10,0$  хв,  $h_z = 0,13$  мм (ХВГ 62 HRC,  $v = 200$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм)

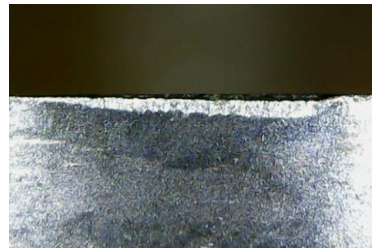


Рис. 6. Контактна ділянка задньої поверхні пластини № 24 після точіння сталі ХВГ 62 HRC ( $v = 314$  м/хв,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $h_z = 0,13$  мм,  $T = 2,1$  хв)

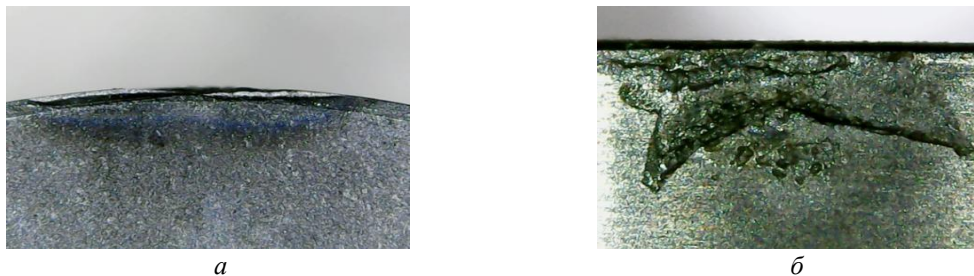


Рис. 7. Контактні ділянки передньої (а) та задньої (б) поверхні пластини CBN100 (Seco) після точіння сталі ХВГ 64 HRC ( $v = 215$  м/хв,  $S = 0,19$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $T = 6,2$  хв)

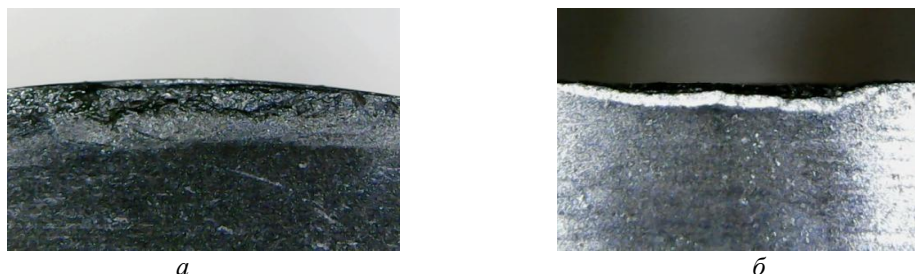


Рис. 8. Контактні ділянки передньої (а) та задньої (б) поверхні пластини № 27 після точіння сталі ХВГ 64 HRC ( $v = 215$  м/хв,  $S = 0,19$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $T = 6,2$  хв)

Проведення стійкісних випробувань показало, що найбільш перспективними в цьому напрямі є КМК із вмістом СВН 55–45 об. %. Стійкість інструменту, оснащеного КМК № 24, при високопродуктивному точінні із режимами різання:  $v = 215$  м/хв,  $S = 0,19$  мм/об,  $t = 0,2$  мм становить 12,5 хв при величині зносу  $h_z = 0,35$  мм. На контактних поверхнях пластини не спостерігається сколювання інструментального матеріалу (рис. 9).



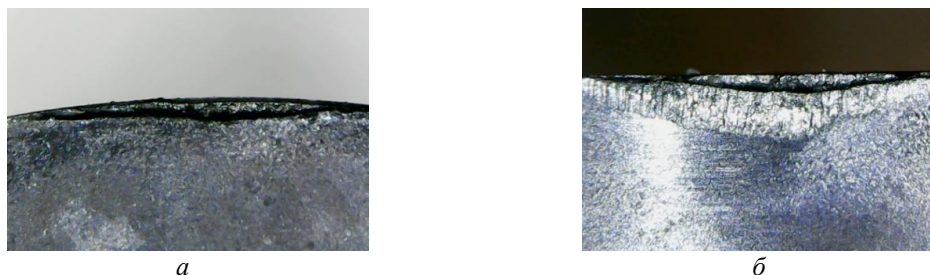


Рис. 9. Контактні ділянки передньої (а) та задньої (б) поверхні пластини № 24 після точіння сталі ХВГ 62 HRC ( $v = 215$  м/хв,  $S = 0,19$  мм/об,  $t = 0,2$  мм,  $T = 12,5$  хв,  $h_z = 0,35$  мм)

Вимірювання параметрів шорсткості обробленої поверхні після кожного проходу інструменту показало, що її якість залишається достатньо високою після 7 проходів до настання величини зносу  $h_z = 0,35$  мм (табл. 2). На наступних проходах з'являється вібрація, що пов'язано зі значним зростанням радіальної сили різання, рівень якої за таких умов обробки досягає  $P_y = 1200$  Н. При обробці матеріалів меншої твердості (сталь ХВГ (57 HRC) стійкість пластин із партій № 27 та 28 підвищується до 25–30 хв, що значно розширює сферу застосування КМК групи ВЛ інструментального призначення.

Таблиця 2

## Шорсткість обробленої поверхні після точіння

№ проходу	Час точіння, хв.	Ra, мкм	Rz, мкм
1	1,8	0,48	2,48
2	3,6	0,39	2,19
3	5,4	0,46	2,65
4	7,2	0,51	2,70
5	9,0	0,53	2,90
6	10,8	0,54	2,97
7	12,6	0,58	3,19
8	14,4	0,67	3,70

**Чистове точіння сталі ШХ15 (62–64 HRC).** Ефективність нових композитів групи ВЛ при токарній обробці шарикопідшипникової сталі, загартованої до твердості 62–64 HRC, порівнювали при тестуванні змінних різальних пластин RNMN 09T300 (рис. 10). Для порівняння використовували комерційно доступні зразки інструментів марок CBN100 з сBN ~ 50 об. %, WBN565, Томал-10 та пластин групи ВН з 96,7 об. % сBN (Борсиніт) [16]. Результати експериментальних досліджень інтенсивності зношування інструментів зазначені на діаграмі (рис. 11). У діапазоні швидкостей різання  $v = 90$ – $120$  м/хв інтенсивність зношування інструментів мала близькі значення і становила 3–9 мкм/хв. Сумарний період стійкості інструменту до досягнення критерію зношування ( $h_z = 0,4$  мм) становив не менш ніж 60 хв. Зі зростанням  $v$  до 140 м/хв інтенсивність зношування пластин Томал-10 зростає до 30 мкм/хв, а при швидкості різання 160 м/хв цей тип інструментального матеріалу повністю втрачає працездатність (рис. 11).



Рис. 10. Різальні пластини RNMN 09T300F (ISO 1832-2004): а – сBN100, б – WBN 565, в – Томал-10, г – пластина № 24, д – пластина № 25, е – пластина № 23

У діапазоні умов обробки, характерних для високошвидкісного різання (180–200 м/хв та вище), нові інструментальні композити, що належать до PcBN з малим вмістом надтвердої фази, зберігають працездатність, однак при цьому інтенсивність зношування інструментів суттєво зростає та сягає 15–20 мкм/хв. Як наслідок, період стійкості інструментів зменшується, а ймовірність його виходу з ладу в через крихке руйнування зростає. В цілому, як видно, інтенсивності зношування композитів групи VN (криві 3 та 4) та керамоматричних композитів групи VL (криві 1, 2 та 5–7) мають близькі значення за швидкості 120 м/хв, а вже при  $v = 180$  м/хв ефективність останніх за цим критерієм в середньому до трьох разів вища.

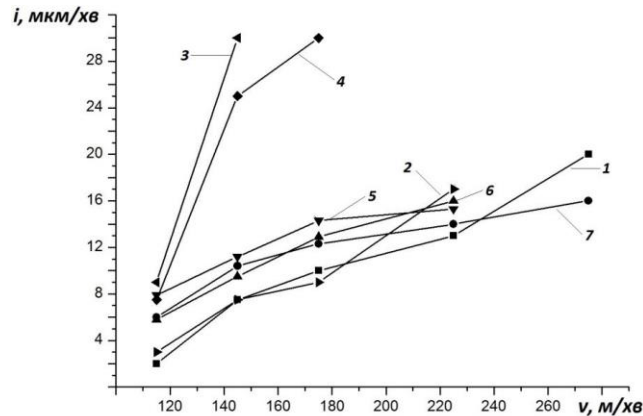


Рис. 11. Залежність швидкості зношування різальних інструментів із ПКНБ від швидкості різання при точінні сталі ШХ15 62 HRC ( $S = 0,1$  мм/об;  $t = 0,2$  мм): 1 – CpBN100, 2 – WBN565, 3 – Томал-10, 4 – борсинит, 5 – пластина № 23, 6 – пластина № 25, 7 – пластина № 24 [17]

**Висновки.** На основі результатів стійкісних досліджень інструментів із керамоматричними композитами з основними компонентами cBN, TaN, TiC, TiN при чистовому точінні загартованих сталей ШХ 15 (56–62 HRC) та ХВГ (56–64 HRC) зі швидкостями різання 180–270 м/с встановлено, що найбільш перспективним для застосування є композити з вмістом cBN 45–55 об. % та зв'язкою на основі TiC. Зношування інструменту, оснащеного такими композитами, у 1,5–5 разів нижче порівняно із інструментами з ПКНБ групи VN.

Інструменти з ПКНБ групи VL, до якого входять cBN 70–75 об. %, на 25–30 % поступаються за стійкістю, але вони дозволяють проводити обробку із динамічними навантаженнями, які відповідають умовам переривчастого різання, що поширює сферу застосування інструментів з керамоматричними композитами на область напівчистої обробки.

Дослідження продемонструвало, що основною причиною утворення макротріщин та інтенсивного зношування інструментів у процесі різання є неоднорідна структура ПКНБ групи VL. Застосування більш дисперсних порошків сполук для матричної складової дозволяє отримати матеріали інструментального призначення для ефективного високошвидкісного обробки виробів з термозміцнених залізо-вуглецевих сплавів.

#### Список використаної літератури:

- Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr3C2 binder phase / K.Slipchenko, I.Petrusha, V.Turkevich and other // Procedia CIRP. – 2018. – Vol. 72. – P. 1433–1438.
- Sumiya H. Mechanical properties of nano-polycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPHT / H.Sumiya, K.Harano, Y.Ishida // Diamond and Related Materials. – 2014. – Vol. 41. – P. 14–19.
- Термобаричне спікання і працездатність різального композиту cBN-TiC групи VL при точінні загартованої сталі Caldie / І.А. Петруша, В.М. Бушля, О.С. Осінов та ін. // Породоруйнівний та металообробний інструмент – техніка та технологія його виготовлення та застосування : зб. наук. пр. – К. : ICM ім. В.М. Бакуля, НАН України, 2015. – 548 с. – Вип. 18. – С. 338–345.
- Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718 / J.P. Costes, Y.Guillet, G.Poulachon, M.Dessoly // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2007. – № 47 (7). – pp. 1081–1087.
- Високошвидкісне точіння деталей з загартованих сталей інструментами, що оснащені матеріалами на основі кубічного нітриду бору / Ю.О. Мельничук, І.А. Петруша, С.А. Клименко та ін. // Інструментальний світ. – 2015. – № 1–4 (61–64). – С. 13–15.
- De Godoy V.A.A. Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools / V.A.A. De Godoy, A.E. Diniz // Journal of Materials Processing Technology. – 2011. – № 211 (6). – P. 1014–1025.

7. Chou Y.K. Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting / Y.K. Chou // *Wear*. – 2003. – № 255. – pp. 1388–1394.
8. Chou Y.K. Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting / Y.K. Chou, C.J. Evans // *Wear*. – 1999. – № 225–229. – P. 234–245.
9. Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718 / J.P. Costes, Y.Guillet, G.Poulachon, M.Dessoly // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2007. – № 47. – P. 1081–1087.
10. Chou Y.K. Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting / Y.K. Chou // *Wear*. – 2003. – № 255. – P. 1388–1394.
11. Chou Y.K. Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting / Y.K. Chou, C.J. Evans // *Wear*. – 1999. – № 225–229. – P. 234–245.
12. Diniz A.E. Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting / A.E. Diniz, D.M. Gomes, A.Jr. Braghini // *Mater. Processing Technol.* – 2004. – Vol. 129, № 2. – P. 240–248.
13. The performance of polycrystalline cubic boron nitride tools in continuous, semi-interrupted, and interrupted hard machining / T.Halpin, G.Byrne, J.Barry, E.Ahearne // *Proc. IMechE*. – 2009. – Vol. 223, Part B: J. Engineering Manufacture. – P. 947–953.
14. Diniz A.E. Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools / A.E. Diniz, A.J. Oliveira // *J. Mater. Proc. Technol.* – 2008. – № 195. – pp. 275–281.
15. Rakesh S. Continuous and Interrupted Hard Turning Using CBN-L Tools at Moderate Cutting Speeds / S.Rakesh, N.Manoj, K.Rajiv // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. – 2015. – Vol. 5, Special Issue 4. – P. 41–46.
16. Експериментальні дослідження ефективності інструментів оснащених новими типами композитів з КНБ / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, Ю.О. Мельничук та ін. // *Процеси механічної обробки, верстати та інструмент* : XI Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю, 5–6 листопада. – Житомир, 2021.

#### References:

1. Slipchenko, K., Petrusha, I., Turkevich, V. et al. (2018), «Investigation of the mechanical properties and cutting performance of cBN-based cutting tools with Cr3C2 binder phase», *Procedia CIRP.*, Vol. 72, pp. 1433–1438.
2. Sumiya, H., Harano, K. and Ishida, Y. (2014), «Mechanical properties of nano-polycrystalline cBN synthesized by direct conversion sintering under HPHT», *Diamond and Related Materials*, Vol. 41, pp. 14–19.
3. Petrusha, I.A., Bushlia, V.M., Osipov, O.S. et al. (2015), «Termobarychne spikannia i pratsezdannist rizalnoho kompozytu cBN-TiC hrupy BL pry tochnini zahartovanoi stali Caldie», *Porodoruivnyi ta metaloobrobnyi instrument – tekhnika ta tekhnolohiia yoho vyhotovlennia ta zastosuvannia*, zb. nauk. pr., ISM im. V.M. Bakulia, NAN Ukrainy, K., 548 p., Issue 18, pp. 338–345.
4. Costes, J.P., Guillet, Y., Poulachon, G. and Dessoly, M. (2007), «Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718», *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, No. 47 (7), pp. 1081–1087.
5. Melniichuk, Yu.O., Petrusha, I.A., Klymenko, S.A. et al. (2015), «Vysokoshvydkisne tochninia detalei z zahartovanykh stali instrumentamy, shcho osnashcheni materialamy na osnovi kubichnoho nitrydu boru», *Instrumentalni svit*, No. 1–4 (61–64), pp. 13–15.
6. De Godoy, V.A.A. and Diniz, A.E. (2011), «Turning of interrupted and continuous hardened steel surfaces using ceramic and CBN cutting tools», *Journal of Materials Processing Technology*, No. 211 (6), pp. 1014–1025.
7. Chou, Y.K. (2003), «Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting», *Wear*, No. 255. – pp. 1388–1394.
8. Chou, Y.K. and Evans, C.J. (1999), «Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting», *Wear*, No. 225–229, pp. 234–245.
9. Costes, J.P., Guillet, Y., Poulachon, G. and Dessoly, M. (2007), «Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718», *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No. 47, pp. 1081–1087.
10. Chou, Y.K. (2003), «Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting», *Wear*, No. 255, pp. 1388–1394.
11. Chou, Y.K. and Evans, C.J. (1999), «Cubic boron nitride tool wear in interrupted hard cutting», *Wear*, No. 225–229, pp. 234–245.
12. Diniz, A.E., Gomes, D.M. and Braghini, A.Jr. (2004), «Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting», *Mater. Processing Technol.*, Vol. 129, No. 2, pp. 240–248.
13. Halpin, T., Byrne, G., Barry, J. and Ahearne, E. (2009), «The performance of polycrystalline cubic boron nitride tools in continuous, semi-interrupted, and interrupted hard machining», *Proc. IMechE*, Vol. 223, Part B: J. Engineering Manufacture, pp. 947–953.
14. Diniz, A.E. and Oliveira, A.J. (2008), «Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools», *J. Mater. Proc. Technol.*, No. 195, pp. 275–281.
15. Rakesh, S., Manoj, N. and Rajiv, K. (2015), «Continuous and Interrupted Hard Turning Using CBN-L Tools at Moderate Cutting Speeds», *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 5, Special Issue 4, pp. 41–46.
16. Klymenko, S.A., Klymenko, S.A., Melniichuk, Yu.O. et al. (2021), «Eksperymentalni doslidzhennia efektyvnosti instrumentiv osnashchenykh novymy typamy kompozytiv z KNB», *Protsesty mekhanichnoi obrobky, verstaty ta instrument*, XI Vseukrainska naukovo-tekhnichna konferentsiia z mizhnarodnoiu uchastiu, 5–6 lystopada, Zhytomyr.

**Чумак** Анатолій Олександрович – кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

<https://orcid.org/0000-0001-9054-3196>.

Наукові інтереси:

- процеси обробки різальними інструментами із надтвердих матеріалів;
- фізика процесу різання.

E-mail: chumak1826ar@gmail.com.

**Мельничук** Юрій Олексійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

<https://orcid.org/0000-0003-4529-2775>.

Наукові інтереси:

- виробництво різальних інструментів із надтвердих матеріалів;
- процеси фінішної обробки;
- процеси обробки різальними інструментами із надтвердих матеріалів.

E-mail: en22@i.ua.

**Клименко** Сергій Анатолійович – член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, заступник директора Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України з наукової роботи.

<https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>.

Наукові інтереси:

- матеріалознавство інструментальних матеріалів;
- фінішна обробка важкооброблюваних матеріалів інструментами із надтвердих матеріалів.

E-mail: atmu@meta.ua.

**Манохін** Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

<https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>.

Наукові інтереси:

- наукові основи процесу різання;
- різальні інструменти з надтвердих матеріалів.

**Клименко** Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

<https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>.

Наукові інтереси:

- процеси фінішної обробки;
- процеси обробки різальними інструментами із надтвердих матеріалів;
- захисні покриття.

E-mail:alcon1202@ukr.net.

**Копейкіна** Марина Юрїївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

<https://orcid.org/0000-0002-5956-5503>.

Наукові інтереси:

- наукові основи процесу різання;
- різальні інструменти з надтвердих матеріалів.

**Осіпов** Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- матеріалознавство інструментальних матеріалів;
- розробка та створення надтвердих композитів.

**Найденко** Артем Григорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

- фінішна обробка різанням;
- різальні інструменти з РСД.



**Полонський** Леонід Григорович – доктор технічних наук, професор Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- процеси обробки різанням;
- технологія машинобудування.

**Коваленко** Яна Павлівна – аспірантка Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- процеси обробки різанням;
- технологія машинобудування.

**Chumak A.O., Melniychuk Yu.O., Klimenko S.A., Manokhin A.S., Klimenko S.An., Kopeykina M.Yu., Osipov O.S., Naidenko A.G., Polonskiy L.G., Kovalenko Y.P.**

**Performance of the cutting tool equipped with PcBN of the BL group for high-speed processing of hardened steel**

The paper investigates PcBN cutting tools of the BL group developed at the Institute of Superhard Materials, made with the addition of ceramic components TaN, TiC, TiN. Such materials are classified as ceramic-matrix composites (CMC). The hardness of the new modifications of composites for cutting tool purposes ranged from 31,2 to 40,2 GPa. Experimental studies were carried out under the conditions of high-speed cutting of hardened steels ShKh15 and KhVG. The performance of superhard composites was studied based on the criterion of the absence of brittle destruction of the cutting edge of the tool, and the effectiveness of new composites based on the criterion of the minimum intensity of wear of the clearance face of the indexable inserts when machining with cutting modes corresponding to the conditions of finishing. High performance parameters – quality of the finish and minimum intensity of wear have been demonstrated by tools equipped with CMC, which contain a matrix formed by titanium carbide.

**Keywords:** superhard composites; finishing; hardened steels; wear intensity; tool performance; wear.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2023.