

УДК 621.941: 534.647

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-304-310

Л.М. Девін, д-р техн. наук; С.В. Ричев, В.М. Нечипоренко, О. В. Грязев, Є.І. Міцкевич

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2,
04074 м. Київ, e-mail: ldevin@ism.kiev.ua; richev.sergrey@gmail.com*

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ТА ГЕОМЕТРІЇ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ НА СКЛАДОВІ СИЛИ РІЗАННЯ ТА ШОРСТКІСТЬ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ШХ15 РІЗЦЯМИ ІЗ РСВН КОМПЗИТИВ

В роботі досліджено вплив швидкості різання та геометрії різальної частини на складові сили різання та шорсткість обробленої поверхні при чистовому точінні загартованої сталі ШХ15 різцями із РСВН композитів. Матеріали пластин відрізнялись за фазовим складом, дисперсністю структури, фізико-механічними характеристиками. Експериментальна частина складалась з двох етапів – першого, де точіння відбувалося з радіусною заточкою пластин при вершині, та другого, з більш гострою кромкою. Показано, що під час чистового точіння загартованої сталі ШХ15 з гострозаточеною формою різальної кромки характер зміни складових сили різання від швидкості мав однакову тенденцію, однак характер зміни відрізнявся від експериментів з радіусною формою різальної кромки. Найкращі результати по шорсткості при точінні загартованої сталі ШХ15 гострозаточеними пластинами показала перша група пластин 1,2 і 3, у яких зернистість кубаніту 2/1, 3/2, 7/5, а фазовий склад 90%BN+10AlN, 90%BN+10AlN, 87%BN+13AlN.

Ключові слова: чистове точіння, загартована сталь, різальна пластина з РСВН композита, сила різання, шорсткість, швидкість різання.

Останні десятиріччя точіння загартованих сталей найбільш продуктивно і якісно виконувалось інструментом, оснащеним полікристалічним надтвердим матеріалом (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (КНБ), який має високу твердість, термостійкість, теплопровідність і хімічно інертний до залізвуглецевих сплавів [1]. Використання такого інструменту дозволило при обробці загартованих сталей в 5-10 разів збільшити швидкість різання в порівнянні з твердосплавними різцями [2]. Але разом з тим процес різання загартованих сталей різцями на основі КНБ часто супроводжується нестабільністю сил різання, високою температурою в зоні різання і вібраціями, що негативно впливає на працездатність інструменту і якість обробленої поверхні [3].

Тому наукові пошуки більш досконалого матеріалу на основі КНБ активно продовжуються. Одне із удосконалень – це застосування двох-стадійного спікання порошків кубічного нітриду бору (сBN) з алюмінієм в умовах високого тиску, що обумовило появу матеріалів з новими структурами [4,5]. В даний час вдалось отримати нові РСВН композити з новими структурами, які мають хороші фізико-механічні характеристики [6]. Тому доцільно перевірити ефективність обробки загартованих сталей інструментом, оснащеними РСВН композитами з новими структурами, та оцінити вплив геометрії різальної пластини.

Метою даної роботи є дослідження впливу швидкості різання та геометрії різальної частини на складові сили різання та шорсткість обробленої поверхні при чистовому точінні загартованої сталі ШХ15 різцями із РсВN композитів.

Умови проведення експерименту та обладнання для досліджень

Було виготовлено 5 квадратних різальних пластин із РсВN (табл. 1), які досліджувались в роботі [6].

Таблиця 1. Зернистість та фазовий склад різальних пластинок

№	Зернистість	Фазовий склад
1	2/1	90%BN+10AlN
2	3/2	90%BN+10AlN
3	7/5	87%BN+13AlN
4	10/7	87%сBN+10AlN+1% AlB ₂ +1% Al
5	60/40	86,7%сBN+10AlN+3% AlB ₂ +0,3% Al

Спінання проводили в сталевому апараті високого тиску «ковадло з заглибленням» з діаметром лунки 40 мм. Вихідні порошки: кубічний нітрид бору марки КМ зернистістю від 2/1 до 60/40 мкм виробництва концерну АЛКОН НАН України і порошок алюмінію марки АСД (фракція – 40). Спінання проводили в дві стадії: спочатку просочували шихту алюмінієм при $p = 2,5$ ГПа, $T = 1100$ К, протягом 30 с, потім завершували спінання при $p = 4,2$ ГПа, $T = 1750$ К, $t = 240$ с.

Отримані зразки піддавали механічній обробці (плоске і циліндричне шліфування вільним і зв'язаним абразивом) для очищення поверхні, отримання необхідної форми і розмірів зразків. Пластини після механічної обробки мали форму прямокутної чотиригранної призми (основа квадрат).

Експерименти проводили на автоматизованому стенді на базі токарного верстата з ЧПК мод. ТПК 125ВМ [7]. Експериментальні дослідження виконували при чистовому точінні зразка діаметром $d = 55-56$ мм із загартованої сталі ШХ15 твердістю 55...60 HRC. Різці з механічним кріпленням різальної пластини з композиту мали передній кут $\gamma = -10^\circ$; задній кут $\alpha = 10^\circ$. Перший етап експериментів проводився з радіусною заточкою пластин при вершині ($r = 0,8$ мм), другий з більш гострою кромкою ($r = 0,08$ мм).

Експериментальна серія для кожної пластини складалася з п'яти дослідів для двох етапів експериментів. Подача на оборот S і глибина різання t у всіх дослідах були фіксовані та дорівнювали: $S = 0,1$ мм/об; $t = 0,1$ мм. Використовували дискретні значення швидкості різання в діапазоні $v = 0,9 - 4,8$ м/с. Зміна швидкості різання впливала на динамічні явища при обробці. Складові сили різання P_x , P_y і P_z вимірювали за допомогою динамометра УДМ - 100. Сигнали від динамометра по трьох каналах через підсилювач надходили на АЦП ADA-1406. Керування АЦП ADA-1406 здійснювалося програмою Power Graph.

Для кожного виконаного дослідів для складових сили різання P_x , P_y , P_z , проводили корекцію даних (виключення дрейфу нуля та викидів вимірювань). У отриманих даних окремо фіксували інформацію про врізання різця в заготовку, про стаціонарний процес різання і про вихід інструменту із заготовки. Для подальшого аналізу з усього масиву програмно видалялися ті дані, які не мали відношення до процесу різання.

Для дослідження шорсткості обробленої поверхні застосовували прилад Surtronic-3 (фірма Rank Taylor Hobson, Великобританія).

Результати дослідження

В результаті проведених досліджень для кожного експерименту були отримані осцилограми складових сили різання $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ для стаціонарного процесу різання, де τ – час. Для кожного експерименту розраховані середні значення складових сили різання і побудовані їх залежності від швидкості різання v (рис. 1 а – д).

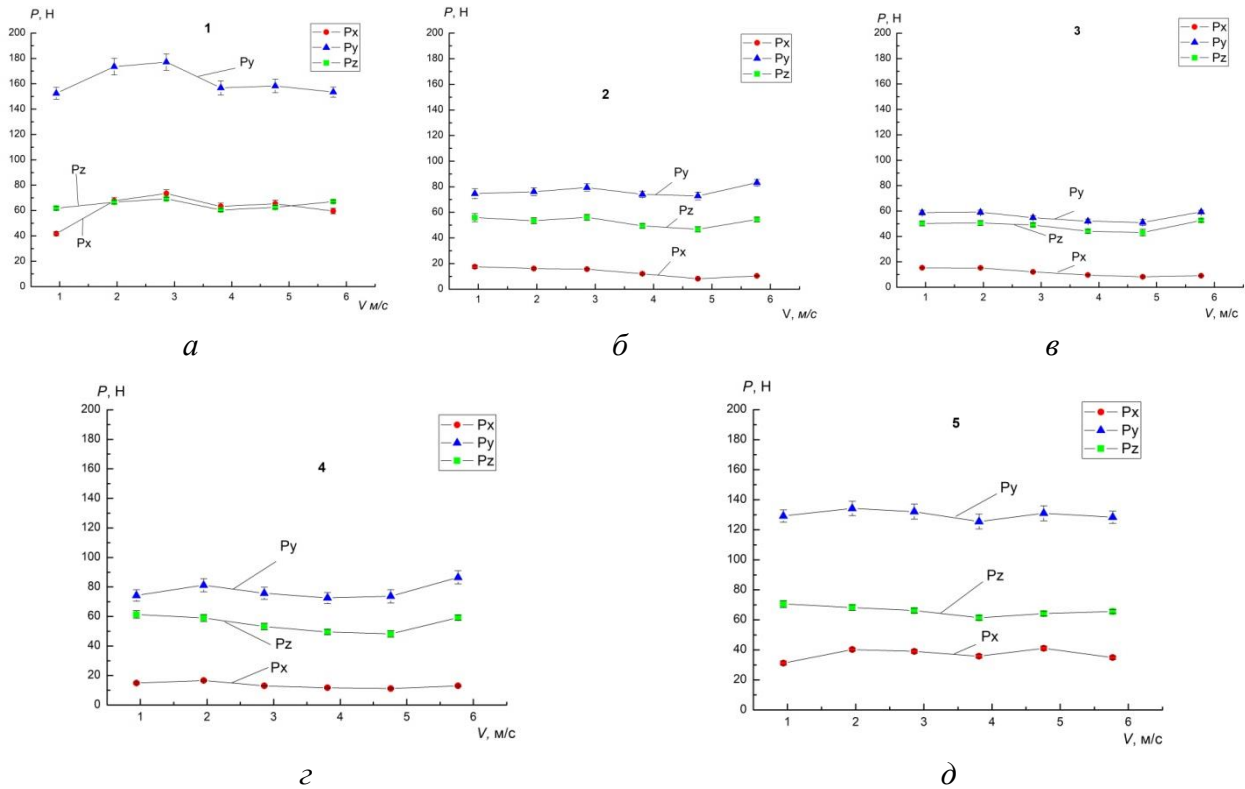


Рис. 1. Зміна середніх значень складових P_x , P_y , P_z для п'яти досліджуваних пластин (а-д) з радіусною формою різальної кромки в залежності від швидкості різання v

За результатами аналізу отриманих залежностей встановлено, що для зразків 2 – 5 з радіусною формою різальної кромки зміна швидкості різання в усьому діапазоні майже не впливає на величину складових сили різання. Для пластини 1 характерне невелике зростання сили різання в діапазоні швидкості 0,7–3 м/с. Найнижчі значення складових сил різання були при точінні пластиною 3 (рис. 2 в), а для пластин 1 та 5 характерне збільшення складової P_y . Беручи до уваги результати з роботи [8], де при точінні аналогічними пластинами загартованої сталі ШХ15 на малих швидкостях значення сил різання були дещо вищими, що було обумовлено виникненням автоколиваний системи, можна зробити висновок, що для точіння загартованої сталі ШХ15 відсутнє виникнення автоколиваний в усьому діапазоні зміни швидкостей.

На рис. 2 а–д представлені аналогічні результати експериментів для пластин 1–5 з гострозаточеною різальною кромкою.

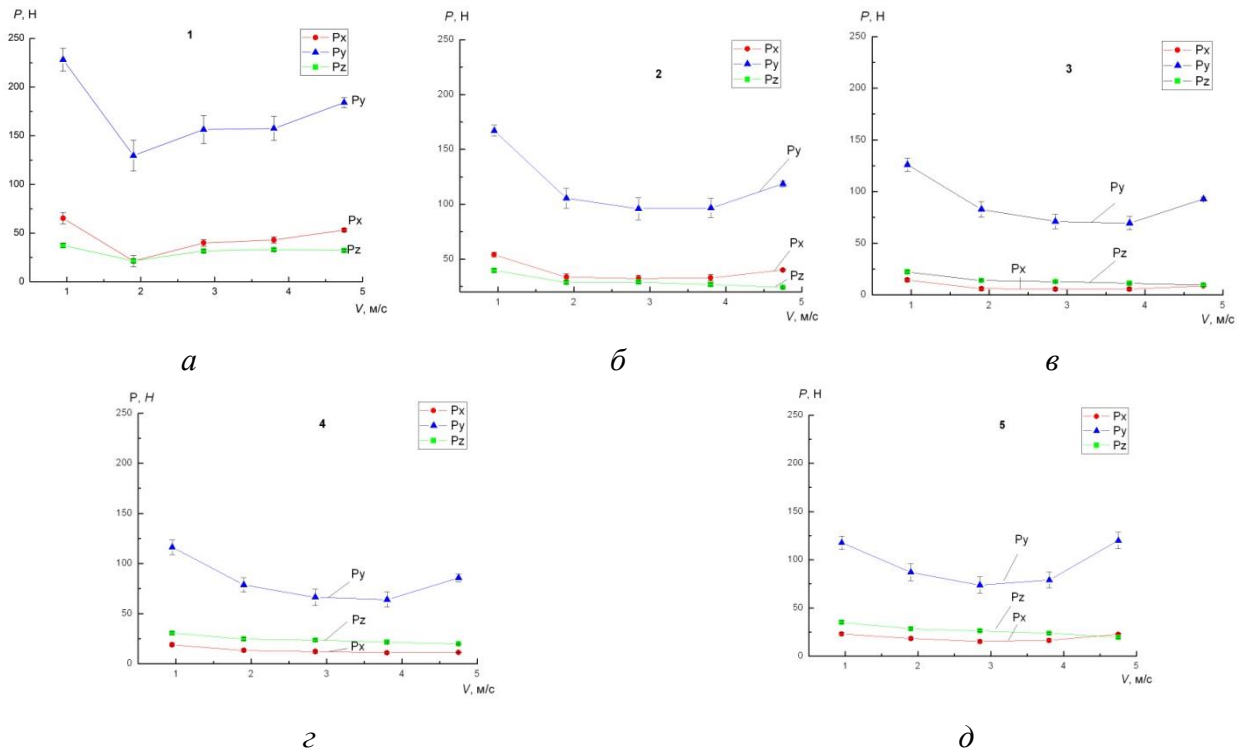


Рис. 2. Зміна середніх значень складових P_x , P_y , P_z для пластин (а-д) з гострозаточеною різальною кромкою в залежності від швидкості різання v

Встановлено, що для всіх пластин з гострозаточеною різальною кромкою характер зміни відрізнявся від експериментів з радіусною формою різальної кромки. Так, для всіх пластин спостерігався мінімум значень в діапазоні 2–4 м/с. Найнижчі значення сил спостерігалися при точінні пластинами 3 та 4.

На рис 3. приведені результати зміни шорсткості R_a при точінні гострозаточеними пластинами (рис 3. а) та наведене порівняння значень шорсткості для пластини 3 для двох етапів експериментів.

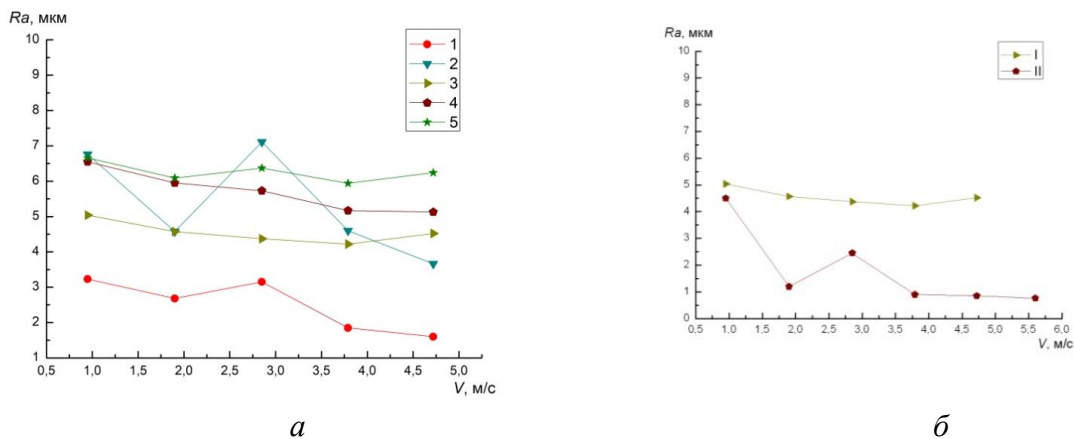


Рис. 3. Зміна шорсткості R_a від швидкості різання: а – для гострозаточених різальних пластин 1–5; б – порівняння значень для пластини 3 (I – гострозаточена, II – радіусна форма вершини)

З графіків видно, що збільшення швидкості різання v зумовлює зменшення параметру шорсткості Ra обробленої поверхні. Це свідчить про стабільність процесу і відсутність можливих автоколивань системи.

Із аналізу рис 3 а слід виділити дві групи пластин. Перша – пластини 5 і 4, для яких параметри шорсткості Ra найвищі. В групі пластин 1, 2 і 3 параметри Ra менші. Слід зазначити, що найкращі результати показала пластина 1, для якої параметр Ra при швидкості 4,7 м/с майже в три рази нижче, ніж для пластини 5.

Узагальнюючі результати виконаних досліджень, слід зауважити, що із набору різальних пластин для точіння сталі ШХ15 можна виділити дві групи пластин, які показують схожі сили різання та шорсткість для конкретного етапу дослідження, за виключенням складової P_y , яка мала ширший діапазон для деяких пластин. В той же час характер залежностей складових сили різання для гострозаточених та радіусних пластин відрізнявся. Так, при точінні гострозаточеною різальною кромкою для складової P_y відмічався мінімум значень в діапазоні $v=2-4$ м/с. Суттєва різниця при точінні гострозаточеною та радіусною вершинами також спостерігалась і для шорсткості Ra . Було встановлено, що для пластини 3 значення Ra майже в 5 разів вище, ніж при точінні аналогічною пластиною з радіусною різальною кромкою, що свідчить про недоцільність використання гострозаточених пластин. Слід зауважити, що пластини в цих групах суттєво не відрізняються структурою. Перша група – пластини 1, 2 і 3, у яких зернистість кубаніту 2/1, 3/2, 7/5, а фазовий склад 90%BN+10AlN, 90%BN+10AlN, 87%BN+13AlN. Друга група – пластини 4 і 5, у яких зернистість кубаніту 10/7, 60/40, а фазовий склад 87%сBN+10AlN+1% AlB₂+1% Al AlN, 86,7%сBN+10AlN+3% AlB₂+0,3% Al.

Висновки

1. Проведене комплексне дослідження пластин PCBN композитів під час точіння загартованої сталі ШХ–15, які отримані двофазним спіканням порошків кубічного нітриду бору з алюмінієм в умовах високого тиску, які за фазовим складом і дисперсністю структури можна поділити на дві групи. Перша група – різальні пластини, виготовлені з порошків сBN зернистістю менше 7 мкм і двофазовим складом сBN і AlN. Друга група – виготовлені з порошків сBN зернистістю більше 7 мкм та багатофазним складом (сBN, AlN, AlB₂ та Al).

2. При чистовому точінні загартованої сталі ШХ15 (твердістю HRC 55–60) пластинами з PCBN композиту з радіусною формою різальної кромки встановлено, що для пластин 2 – 5 зміна швидкості різання в усьому діапазоні майже не впливає на величину складових сили різання. Для пластини 1 характерне зростання сили різання в діапазоні швидкості 0,7–3 м/с, що обумовлює більшу доцільність її використання на великих швидкостях різання (3–5 м/с).

3. Встановлено, що для всіх пластин PCBN композиту з гострозаточеною формою різальної кромки характер зміни складових сили різання від швидкості мав однакову тенденцію, однак характер зміни відрізнявся від експериментів з радіусною формою різальної кромки. Так, для обох груп пластин спостерігався мінімум значень в діапазоні 2–4 м/с. Найнижчі значення сил спостерігалися при точінні пластинами 3 та 4. Таким чином, найбільш ефективно оброблювати загартовану сталь ШХ15 гострозаточеними пластинами саме в діапазоні швидкостей 2–4 м/с.

4. При аналізі зміни параметрів шорсткості Ra обробленої поверхні при точінні пластинами PCBN композиту з гострозаточеною формою різальної кромки найкращі результати показала пластина 1, для якої параметр Ra при швидкості 4,7 м/с майже в три рази нижче, ніж для пластини 5. Однак порівняльний аналіз даних для пластини 3 з PCBN композиту з гострозаточеною різальною кромкою показав, що значення шорсткості майже в 5 разів вище, ніж при точінні аналогічною пластиною з радіусною різальною кромкою.

L.M. Devin, S.V. Richev, V.M. Nechiporenko, O. V. Gryazev, Y. I. Mickeievicz

V. Bakul Institute for superhard materials NASU Ukraine 2, Avtozavodska str., Kyiv, 04074, e-mail: ldevin@ism.kiev.ua; richev.sergrey@gmail.com

INFLUENCE OF CUTTING SPEED AND GEOMETRY OF THE CUTTING PART ON THE COMPONENT CUTTING FORCES AND ROUGHNESS OF THE TREATED SURFACE DURING CLEAN TURNING OF SHH15 HARDENED STEEL WITH PcBN COMPOSITE CUTTERS

The effect of the cutting speed and the geometry of the cutting part on the components of the cutting force and the roughness of the machined surface during the finishing turning of hardened steel SHH15 with cutters made of PcBN composites was investigated in the paper. The materials of the plates differed in terms of phase composition, dispersion of the structure, and physical and mechanical characteristics. The experimental part consisted of two stages, the first, where the turning took place with a radius sharpening of the plates at the top, and the second with a sharper edge. It is shown that during the finishing turning of the hardened SHH15 steel with a sharp cutting edge shape, the nature of the change in the components of the cutting force as a function of speed had the same tendency, but the nature of the change differed from the experiments with the radius shape of the cutting edge. During the turning of hardened steel SHH15 with sharp plates the first group of plates 1, 2 and 3, in which the cubanite grain size is 2/1, 3/2, 7/5, and the phase composition is 90%BN+10AlN, 90%BN+ 10AlN, 87%BN+13AlN, showed the best results in terms of roughness.

Key words: finishing turning, hardened steel, PcBN composite cutting plate, cutting force, roughness, cutting speed

Література

1. Шульженко А.А., Божко С.А., Соколов А.Н., Петруша И.А., Беженарь Н.П., Синтез, спекание и свойства кубического нитрида бора. Киев: Наук. думка, 1993. 256 с.
2. Гриценко Э.И., Дальник П.Е., Чапалюк В.И. Точение никелевых сплавов инструментом из кубического нитрида бора. – Киев: Наук. думка, 1993. 108 с.
3. 3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6-и т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля; ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. Т. 5. 316 с.
4. Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі кубічного нітриду бору: пат. 25281А Україна: С04В35/5831. Заявл. 21.07.97; опубл. 25.12.1998, Бюл. № 6.
5. Новиков Н.В., Шульженко А.А., Беженар Н.П., Божко С.А., Боримский А.И., Нагорный П.А. Киборит: получение, структура, свойства, применение. *Сверхтв. материалы*. 2001. № 2. С. 40–51.
6. Девин Л. Н., Беженар Н. П., Рычев С. В., Романенко Я. М. Влияние зернистости шихты на ударную прочность и демпфирующие характеристики композитов BN–Al. *Сверхтв. материалы*. 2020. № 3. С. 83–93.
7. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. К.: Наукова думка, 1992. 131с.
8. Stakhniv, M.E., Devin L.M., Bezhenar, M.P., Romanenko, Y.M. Investigation of the Effect of Cutting Speed on the Force Components and Cutting Temperature, Roughness and Waviness of the Machined Surface on the Finishing Turning of Hardened KhVG Steel with PcBN Cutters. *Journal of Superhard Materials*, 2022, Vol. 44, N 6. P. 421–430.

Надійшла 14.09.24

References

1. Shulzhenko, A.A., Bozhko, S.A., Sokolov, A.N., et. al. (1993). Sintez, spekanie i svoistva kubicheskogo nitrida bora [Synthesis, sintering and properties of cubic boron nitride] Nauk. dumka [in Russian].
2. Gricenko, E.I., Dalnik, P.E., & Chapalyuk, V.I. (1993) Tochenie nikelovyh splavov instrumentom iz kubicheskogo nitrida bora [Synthesis, sintering and properties of cubic boron nitride] Nauk. dumka [in Russian].
3. Novykov, N.V. (Ed.). (2005). Sverkhtverdye materyaly. Poluchenie i primenenie [Superhard materials. Obtaining and using]: V. 5. Obrabotka materialov lezviinym instrumentom [Material processing with bladed tools]. ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy, IPTS «ALKON» NAN Ukrainy [in Russian].
4. Novikov, M.V., Shulzhenko, O.O., Bezhenar, M.P., Bozhko, S.A. (1998). Patent of Ukraine №25281A. МКІ С04В35/5831 Sposib spikannia kompozytsiinoho materialu na osnovi kubichnogo nitrydu boru [Method of sintering of composite material based on cubic boron nitride] (Patent Ukrainy №25281A)
5. Novykov, N.V., Shulzhenko, A.A., Bezhenar, N.P., et al. (2001). Kiborit: production, structure, properties, application. Journal of Superhard Materials, 23(2), 38–48.
6. Devin, L. N., Bezhenar, N. P., Rychev, S. V., & Romanenko Ya. M. (2020). The Effect of Charge Grit on Impact Strength and Damping Characteristics of BN–Al Composite Materials. Journal of Superhard Materials, 42(3), 190–198.
7. Devin, L.N. (1992). Prohnozirovaniye rabotosposobnosti metallorzhushcheho instrumenta [Predicting the performance of metal-cutting tool] Nauk. dumka. [in Russian].
8. Stakhniv, M.E., Devin, L.M., Bezhenar, M.P., & Romanenko, Ya.M. (2022). Investigation of the Effect of Cutting Speed on the Force Components and Cutting Temperature, Roughness and Waviness of the Machined Surface on the Finishing Turning of Hardened KhVG Steel with PcBN Cutters. Journal of Superhard Materials, Journal of Superhard Materials, 44(6), 421–430.

УДК 669.058

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-310-319

**С.Ан. Клименко, А.С. Манохін, М.Ю. Копейкіна, Ю.О. Мельнійчук,
А.О. Чумак**, кандидати технічних наук,
С.А. Клименко, член-кор. НАН України; **В.М. Береснєв**, д-р техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, України, e-mail: atmi@meta.ua*

ВПЛИВ УМОВ ФОРМУВАННЯ НА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ TiNbN/CrN

Наведено результати експериментальних досліджень впливу умов формування – величини потенціалу зсуву U_3 та тиску азоту на трибологічні властивості покриття TiNbN/CrN. Встановлено, що досліджувані умови формування покриття мають суттєвий вплив на кількість азоту у покритті, що обумовлює мікротвердість покриття, тип його кристалічної решітки та структурні особливості покриття. В залежності від величин потенціалу зсуву U_3 та тиску азоту змінюється інтенсивність зношування отриманих покриттів, визначена по схемі «кулька-диск», та значення навантажень, які характеризують рівні і механізми руйнування покриттів при скануванні індентором.