

В.М. Волкогон, д-р техн. наук, Д.А. Котляр, канд. техн. наук,
С.К. Аврамчук канд. техн. наук, А.В. Кравчук, канд. техн. наук,
В.С. Антонюк, д-р техн. наук, Київ, Україна

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ ПОРОШКІВ VN_B ДО СПІКАННЯ НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ СТАЛІ ШХ15 В РЕЖИМІ БЕЗПЕРЕРВНОГО РІЗАННЯ

Приведені результати досліджень особливостей процесу безперервного точіння загартованої сталі ШХ15 твердістю HRC 62..63 інструментом з композиційного надтвердого матеріалу типу гексаніт-Р, виготовленого по різних технологіях. Показано, що характер процесу точіння визначається мікроструктурними і термічними властивостями композиту, а також режимами процесу обробки.

Приведены результаты исследований особенностей процесса непрерывного точения закаленной стали ШХ15 твердостью HRC 62..63 инструментом из композиционного сверхтвердого материала типа гексанит-Р, изготовленного по различным технологиям. Показано, что характер процесса точения определяется микроструктурными и термическими свойствами композита, а также режимами процесса обработки.

Researches results of process features of continuous cutting of tempered steel ШХ15 with hardness HRC 62...63 by the tool from a composite superhard material of heksanit-R type, manufactured on various technologies are resulted. It is shown, that character of cutting process is defined microstructural and thermal properties of a composite and also processing modes.

Вступ. Однією з актуальних проблем в машинобудуванні, інструментальних та інших галузях промисловості є підвищення ефективності обробки важкооброблюваних конструкційних та інструментальних сталей і сплавів на основі заліза. Для цього у виробництво все ширше впроваджуються сучасні лезові інструменти з нових надтвердих матеріалів на основі щільних модифікацій нітриду бору. Підвищений інтерес до щільних модифікацій нітриду бора з метою створення надтвердих матеріалів для обробки загартованих сталей і чавунів пояснюється унікальними властивостями цих модифікацій, таких як високі твердість і теплостійкість, відсутність хімічної спорідненості з залізом, підвищена теплопровідність та ряд інших властивостей дозволяють ефективно використовувати їх як лезовий інструмент [1-5].

На характеристики полікристалічних надтвердих матеріалів (ПНТМ), що одержують спіканням BN_v , впливає велика кількість факторів (p – T параметри, дисперсність та гранулометричний склад вихідних порошків, наявність і стан різноманітних домішок, вологість, стан пористої заготовки перед спіканням, степінь просторової однорідності баротермічних умов в робочому об'ємі апарату високого тиску (АВТ) та ін.), враховуючи які можна ефективно керувати формуванням необхідної структури матеріалу і, як наслідок, властивостями [6-11].

Метою роботи є визначення впливу попереднього деформування порошків BN_v перед спіканням на працездатності різальних пластин.

Основний матеріал. Зважаючи на ефективність застосування попередньої деформації порошків BN_v прокаткою перед спіканням на формування фізико-механічних властивостей спечених ПСТМ в роботі застосовано два способи прокатки – багаторазової прокатки з проміжною грануляцією продуктів прокату з орієнтованою укладкою часток порошку.

Ефективність застосування попереднього деформування вихідних порошків BN_v прокаткою перед спіканням різальних пластин в порівнянні з пресуванням високими статичними тисками виражається в більш високій однорідності полікристалічного матеріалу. Динаміка зносу в режимі перервного різання у полікристалів, спечених із порошків BN_v , попередньо деформованих прокаткою краща і період стійкості більший ніж у полікристалів на основі порошків BN_v , деформованих високими статичними тисками в 1,8÷2,5 рази (рис. 1) [2].

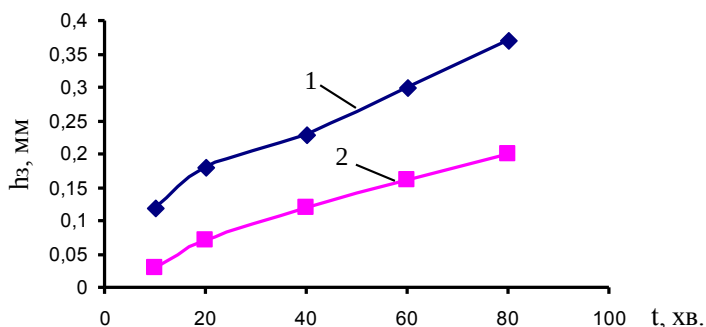
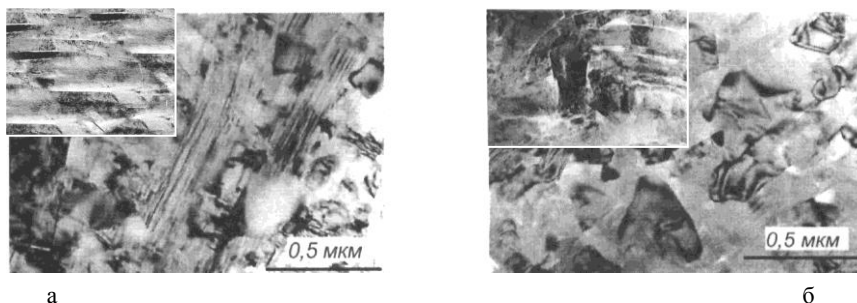


Рисунок 1 – Знос різців типу гексаніту–Р отриманого із порошків BN_v попередньо деформованих різними способами: 1 – високими статичними тисками; 2 – прокатка

Використання 4-х кратної прокатки порошків $\text{BN}_\text{в}$ з гранулюванням після кожного проходу валків (партія 1) і з орієнтованою укладкою продуктів прокатки без гранулювання (партія 2) [3] для отримання гексаніту-Р дає помітну перевагу композитів на основі $\text{BN}_\text{в}$ (партія 2) при перервному режимі обробки загартованої сталі ХВГ твердістю 58-62 HRC. Це пов'язано із збереженням перед спіканням текстури укладки частинок порошку базисними площинами, що впливає на ступінь фазового переходу $\text{BN}_\text{в} \rightarrow \text{BN}_\text{сф}$ і структурний стан полікристалічного матеріалу, синтезованого при однакових баротермічних умовах (рис. 2).



а – після багатократної направленої прокатки; б – після обробки прокаткою з гранулюванням (у верхньому куті наведено мікроструктури в розрізах порошкових зразків перед спіканням)

Рисунок 2 – Характерні мікроструктури зразків на основі порошку $\text{BN}_\text{в}$ (зображення на просвіт), отриманих при температурі 1600°C, $p = 7,7$ ГПа

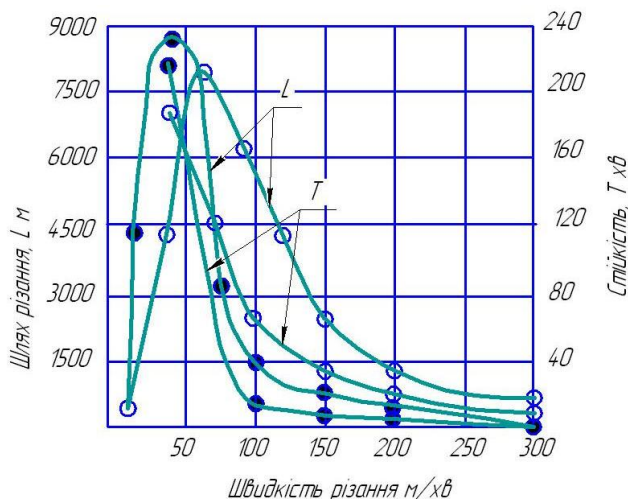
Для вивчення робочих характеристик різальних пластин ПНТМ з попереднього деформованих перед спіканням порошків $\text{BN}_\text{в}$ було виготовлено дві партії зразків пластин і проведені експериментальні дослідження в режимі безперервного різання сталі ШХ15

Зразки пластин обох партій [3] заточували по площині і контуру на універсальному заточному верстаті мод. 3В642 за допомогою спеціального пристрою. Для цього використовували спеціальну конструкцію оправки, яка дозволяла встановити алмазні чашкові круги таким чином, щоб їх вісі співпадали що і забезпечувало підготовку необхідної поверхні з однієї установки. При цьому застосовували круги на органічний зв'язці з зернистістю абразиву 80/63 та 14/10 мкм відповідно, який забезпечував чорнову підготовку поверхні та її фінішну операцію. Доводка різальних

кромки пластин проводилася на чавунній шайбі, що була шаржована алмазним порошком зернистістю 5/3 мкм. Кінцеві розміри різальних пластин: діаметр 7 мкм, товщина 3,18 мм. На різальній кромці пластини формувалась зміцнююча фаска $0,2 \times 20^\circ$.

Експериментальні дослідження. Дослідження різальних властивостей пластин із щільних модифікацій нітриду бору проводили на універсальному токарному верстаті мод. 16K20. Оброблюваний матеріал – загартована сталь ШХ15, HRC 62...63, діаметром 88-95 мм, довжиною 300 мм. За критерій стійкості ПНТМ була прийнята величина зносу по задній поверхні $h_z = 0,4$ мм, яка визначалася шляхом усереднення результатів 3-х випробувань зразка. Режим обробки: швидкість різання $V = 20-300$ м/хв, подача $S = 0,05$ мм/об, глибина різання $t = 0,1$ мм. При випробуваннях використовувались державки прохідних різців в яких різальна пластина закріплювалася під кутом 6° .

Як показали експериментальні дослідження (рис. 3) при точінні сталі ШХ15 пластинами різних партій, залежність довжини шляху різання від швидкості має екстремальний характер, що узгоджується з даними роботи [4]. Максимум екстремуму знаходиться в області $V = 35-60$ м/хв для другої партії пластин (багаторазова орієнтована прокатка) та $V = 50-70$ м/хв для першої партії (прокатка з гранулюванням). До швидкості різання $V \sim 65$ м/хв шлях різання має більш високі значення для першої партії пластин.



○ – партія 1 (прокатка з гранулюванням); ● – партія 2 (орієнтована прокатка)

Рисунок 3 – Екстремальний характер залежності довжини шляху від швидкості

Цю екстремальну характеристику можна пояснити основні конкуруючими процесами які відбуваються в зоні контакту різального інструмента з оброблюваним матеріалом [5]:

- налипання матеріалу обробки на задню поверхню інструменту;
- інтенсивне зношування кромки різця при критичній швидкості (температурі в зоні різання).

Якщо врахувати, що в пластинах першої партії кількість сфалеритного $BN_{сф}$ складала 100 %, а в другій – партії сфалеритний $BN_{сф}$ і вюрцитний $BN_{в}$ присутні як 50 % на 50 %, то більш високі теплофізичні властивості $BN_{сф}$ забезпечують більш низьку температуру в зоні різання (рис. 4), зміщуючи максимум довжини шляху в область більших швидкостей різання для партії 1.

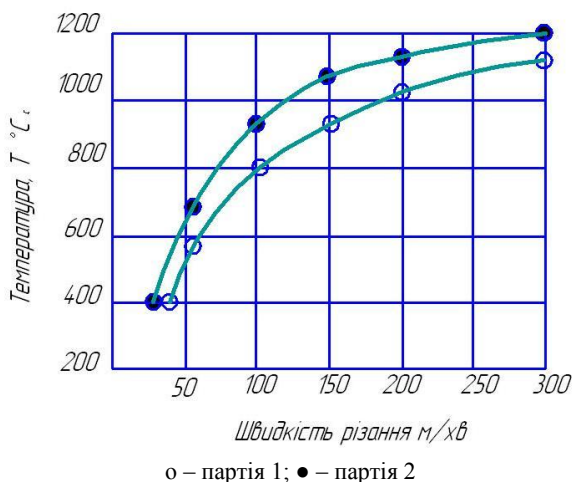


Рисунок 4 – Залежність температури від швидкості різання

Починаючи зі швидкості різання $V \sim 65$ м/хв до 300 м/хв переважає процес руйнування кромки різця в зв'язку з досягненням критичної температури переходу $BN_{сф} \rightarrow BN_{г}$, тобто утворенню вільного графітоподібного $BN_{гоб}$, сприяє руйнуванню різальної поверхні інструменту [6]. Явища взаємодії з оброблюваними металами пришвидшує перехід $BN_{сф} \rightarrow BN_{г}$ [7]. З іншого боку більш крупнозернистий матеріал (партія 1) буде руйнуватися на більш низьких швидкостях різання, так як матеріали, у яких відсутня стадія докритичного росту тріщини, навіть при однаковому опорі розповсюдженню тріщини, мають більшу крихкість [8].

Проведені дослідження при обробці сталі ХВГ в режимі безперервного різання інструментом із гексаніту–Р з вмістом сфалеритного BN_{cf} від 20 до 98% по об'єму показали більш високу стійкість інструменту з максимальним вмістом BN_{cf} , що відповідає результатам випробувань першої партії (максимум довжини шляху 7900 м) [9].

Падіння міцності для гексаніту–Р першої партії зразків спостерігається при $T = 880^{\circ}C$, а для другої партії – $T = 780^{\circ}C$ [10, 11].

Зростання температури в зоні різання призводить до окислення робочої поверхні різця, при якому проходить безпосередньо хімічна взаємодія кисню з поверхнею різця, при якому вклад різноманітних кристалохімічних модифікацій нітриду бору нерівноцінний. Зі збільшенням вмісту BN_{cf} – температура початку окислення зростає [12].

Як показали проведені експерименти на екстремальний характер залежності довжини шляху від швидкості різання суттєво впливає вміст Cr [13] в оброблюваному матеріалі (Табл. 1).

Таблиця 1 – Максимальні значення довжини шляху різання від концентрації Cr

№ п/п	Матеріал	Cr, %	Різець	V_{max} , м/хв
1	ХВГ	0,9-1,2	Гексаніт–Р	65
2	ШХ15	1,3-1,65	Гексаніт, партія 1	45
3	ШХ15	1,3-1,65	Гексаніт, партія 2	60

Величини усадки стружки (K), довжини контакту (l), шорсткості (R_a) і складових сил різання на передній та задній поверхні при заданих швидкостях різання для сталі ШХ15 різцями із першої партії (П1) і другої – (П2) приведені в табл. 2.

Вимірювання проводились за методиками, описаними в [14, 15]. При малій глибині різання головний знос проходить по задній поверхні різця. Складові сили різання на задній поверхні (P_y , P_z) зростають в діапазоні 42...231 Н та 23...165 Н для першої і другої партії, відповідно, причому нормальна складова (P_y) перевищує значення дотичної (P_z) та зростає зі збільшенням швидкості різання, на відміну від складових сил різання (P_y , P_z) по передній поверхні, які зменшуються в діапазоні 116...28 Н та 49...9 Н для

першої і другої партії, відповідно, але в даному випадку значення складові сили різання P_z вищі P_y і зменшуються зі збільшенням швидкості різання в обох випадках. Оскільки зі збільшенням швидкості зростає знос на задній поверхні, то це призводить до зростання складових сил різання P_y в більшій мірі ніж P_z .

Таблиця 2 – Вплив швидкості на основні характеристики різання

№ п/п	Характеристики		Швидкість різання V , м/хв							
			10	50	100	150	200	250	300	
1	Усадка	$П1$	1,90	1,45	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	
	стружки, K	$П2$	1,70	1,25	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	
	Довжина	$П1$	0,103	0,089	0,082	0,080	0,079	0,079	0,079	
2	контакту, l , мм	$П2$	0,097	0,083	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	
3	Шорсткість	$П1$	1,18	0,75	0,61	0,55	0,50	0,49	0,47	
	R_a , мкм	$П2$	0,83	0,59	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	
4	Сили різання на передній поверхні	$П1$	P_y	65	53	39	34	30	29	28
			P_z	116	84	62	49	39	35	31
	P_y, P_z , Н	$П2$	P_y	44	35	28	19	16	11	9
			P_z	49	42	31	26	20	18	17
	Сили різання на задній поверхні	$П1$	P_y	50	75	111	142	168	202	231
			P_z	42	58	82	103	128	151	175
5	P_y, P_z, H	$П2$	P_y	34	47	71	92	117	140	165
			P_z	23	31	49	67	83	101	120

При різанні для сталі ШХ15 спостерігається руйнування кромки, характерне для викришування. На рис. 5 показана кромка різця першої партії (4-х кратна прокатка порошків BNв з гранулюванням після кожного проходу) після доводки (а) і після початку різання (б).

Експериментальні дослідження впливу різальних пластин різних партій на шорсткість обробленої поверхні показали, що шорсткість поверхні знижується при збільшенні швидкості різання до 100...120 м/хв, при цьому шорсткість поверхні обробленої різцями із композиту другої партії з розміром

зерна 0,1...0,3 мкм значно нижча шорсткості поверхні обробленої різцями першої партії, що мали розмір зерна 5...20 мкм.

Одержана при різанні сталі ХВГ стружка має елементний характер з радіусом закруглення ~ 200 мкм (рис. 6,а), а на поверхні стружки спостерігаються зони зсуву ~ 1 мкм (рис. 6,б).

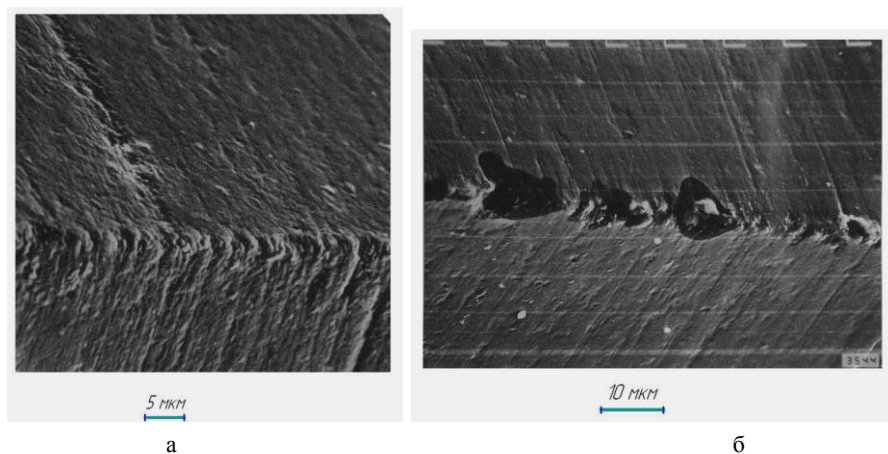


Рисунок 5 – Поверхня кромки різця після заточки (а) і після початку роботи (б)

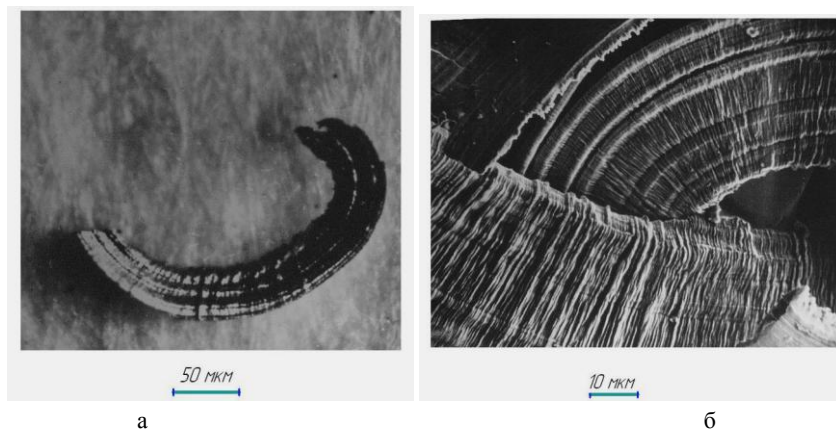


Рисунок 6 – Характерна стружка (а) і поверхня стружки (б)

Усадка стружки (K), довжина контакту (l) помітно знижуються зі збільшенням швидкості різання до 100-120 м/хв, а надалі змінюються в невеликих межах. Стружка має елементний характер з радіусом закруглення ~ 200 мкм (рис. 5,а). На поверхні стружки спостерігаються зони зсуву ~ 1 мкм (рис. 5,б).

Більш високі значення усадки стружки і довжина контакту для різців першої партії пов'язані з більш високою теплопровідністю, яка властива BN_{cf} , що призводить до більшого градієнта температури в зоні контакту стружки з поверхнею різця, і відповідно до її більшої деформації та усадці при виході із зони контакту.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз залежності довжини шляху від швидкості різання показав багатофакторність процесів, що відбуваються в зоні контакту різального інструменту із ПНТМ з оброблюваним матеріалом. До моменту досягнення критичної швидкості різання ріст довжини шляху проходить за рахунок налипання сталі ШХ15 на задню поверхню різця, і є більш суттєвим для різальних пластин партії 2. При швидкості більше $V - 70$ м/хв переваги має інструмент з рівним вмістом сфалеритного BN_{cf} та вурцитного BN_v .

Характер залежностей складових сил різання на передній та задній поверхні різця, усадки стружки, довжини контакту і шорсткості від швидкості різання для інструменту виготовленого спіканням порошків BN_v після попередньої 4-х кратної прокатки з гранулюванням після кожного проходу валків (партії 1) та з орієнтованою укладкою продуктів прокатки без гранулювання (партії 2) має певні відмінності, які пов'язані з мікроструктурними, теплофізичними властивостями матеріалу різця, а також, параметрами режиму різання.

Список використаних джерел: 1. Структурные особенности и режущие свойства сверхтвердых материалов на основе нитрида бора / Г.Г. Карюк, А.В. Бочко, В.М. Волкогон и др. // Порошковая металлургия. – 1979. - № 8. – С. 92-97. 2. Волкогон В.М. Физико-технические основы получения и управления формированием свойств инструментальных поликристаллических СТМ из BN_v . Дис. докт. техн. наук. – Киев, 2003. – С. 217-218. 3. Аврамчук С.К., Волкогон В.М., Кравчук А.В. Влияние условий предварительного деформирования порошков BN_v перед спеканием на формирование структуры и свойства ПСТМ // Породоразрушающий и металлообрабатывающий

инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 12. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – С. 102-107. **4.** *Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Кравчук А.В.* Перспективы повышения работоспособности ПСТМ типа гексанит–Р путем специальной обработки порошков вюрцитного нитрида бора перед спеканием // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сб. – Харьков, НТУУ «ХПИ», 2005 – Вып. 68.– С. 103-108. **5.** Исследование механизма износа двухслойных пластин K10D при обработке закаленных хромистых сталей / *В.И. Бухитейн, А.М. Тихонцов и др.* // Сверхтвердые материалы. – 1989. - № 4. – С. 45-51. **6.** *Волкогон В.М.* Роль слоистых структур в изменении прочностных свойств поликристаллического материала на основе вюрцитного нитрида бора// Сверхтвердые материалы. – 2001. - № 5. – С. 52-55. **7.** Изучение взаимодействия эльбора с металлами / *М.С. Друй, А.А. Лавринович, Т.П. Никитина, Ю.Г. Саксонов* // Тр. ВНИИАШ. – 1974. - №15. – С. 21-23. **8.** Влияние структурных факторов на пластические и прочностные свойства сверхтвердых материалов на основе нитрида бора / *А.В. Бочко, О.Н. Григорьев, С.С. Джамаров и др.* // Порошковая металлургия. – 1980. - №5. – С. 96-103. **9.** *Карюк Г.Г., Бочко А.В., Ярош В.В., Джамаров С.С., Волкогон В.М., Аранович А.О.* Вюрцитный нитрид бора – основа новых прогрессивных сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы. – 1988. - № 3. – С. 52-53. **10.** *Новиков Н.В., Андросов И.М.* Зависимость механических свойств поликристаллов сверхтвердых материалов на основе нитрида бора от температуры // Влияние высоких давлений на структуру и свойства материалов. – Киев: ИСМ АН УССР, 1983. – С. 94-98. **11.** *Андросов И.М.* Исследование температурной зависимости прочности поликристаллических сверхтвердых материалов на основе нитрида бора // Производство и применение сверхтвердых материалов. – Киев: ИСМ АН УССР, 1983. – С. 3-6. **12.** *Бочко А.В., Лавренко В.А., Примачук В.Л., Проценко Т.Г.* Окисление поликристаллов гексанита–Р различного фазового состава // Сверхтвердые материалы. – 1986. - № 1. – С. 16-18. **13.** Синтетические сверхтвердые материалы: в 3-х т. Т. 3. Применение синтетических сверхтвердых материалов / Ред. кол. *Н.В. Новиков* (отв. ред.) и др. – Киев: Наук. думка. – 1986. – 280 с. **14.** Резание металлов. *Филоненко С.Н.* «Техніка», 1975, 232 с. **15.** Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / *Захаренко П.В., Волкогон В.М., Бочко А.В. и др.*: Отв. ред. Карюк Г.Г.; АН УССР. Ин-т проблем материаловедения им. И.Н. Францевича. – Киев: Наук. думка, 1991. – 288 с.

Поступила в редколлегию 15.04.2010