

УДК 621.91

С. АН. КЛИМЕНКО, С. А. КЛИМЕНКО, В. М. БЕРЕСНЕВ

ЗНОШУВАННЯ ТА СТІЙКІСТЬ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПКНБ З ЗНОСОСТІЙКИМ ПОКРИТТЯМ НА ОСНОВІ НІТРИДУ БОРУ У АМОРФНОМУ СТАНІ

Одним із найбільш ефективних методів підвищення стійкості різальних інструментів із ПНТМ на основі КНБ, є нанесення на робочі поверхні інструменту функціональних наноструктурних зносостійких покриттів. Застосування таких покриттів дає можливість знизити температуру різання та покращити працездатність різального інструменту, завдяки цілеспрямованій зміні фізико-механічних та теплофізичних властивостей поверхневого шару, що дозволяє збільшити зносостійкість робочих поверхонь інструменту із ПНТМ на основі КНБ. Правильний вибір складу захисного покриття для конкретної операції обробки дає можливість підвищити продуктивність обробки та стійкість різальних інструментів із ПНТМ на основі КНБ.

Ключевые слова: процес різання, різальний інструмент із ПНТМ на основі КНБ, зносостійкі покриття, аморфний BN.

Вступ. Широке застосування захисних покриттів щодо інструментів з ПНТМ на основі КНБ почалося не так давно, це пов'язано з тим, що зносостійкі покриття, в більшості випадків, рідко перевищують фізико-механічні характеристики інструментальної основи. В якості покриттів для інструментів з ПНТМ на основі КНБ рекомендується використовувати матеріали, такі ж, як і для швидкорізальних і твердосплавних інструментів [1].

В основному це покриття на основі карбідів, боридів, оксидів та нітридів різноманітних металів та їх сполук, які характеризуються високою твердістю (25–45 ГПа), зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, високою теплопровідністю, але їх істотний недолік – високий ступінь залишкових напружень, які виникають в процесі його формування, що знижує експлуатаційні характеристики покриття [2, 3].

Розроблене покриття з аморфного BN на відміну від традиційних покриттів, поєднують в собі високу мікротвердість (твердість по Кнупу 17 ГПа) і достатню пластичність (модуль Юнга 220 ГПа) [4]. Результат від запропонованого покриття з аморфною структурою досягається за рахунок того, що на поверхнях контакту інструменту із стружкою і виробом, який обробляється, знижуються температури у зв'язку із зменшенням коефіцієнту тертя. Зменшення рівня залишкових напружень в покритті має місце у зв'язку з тим, що саме покриття та інструментальна основа, на які воно формується, близькі за хімічним складом, а структура покриття є аморфною. Перше призводить до зниження рівня залишкових напружень, за які відповідає різниця величин коефіцієнтів термічного розширення компонентів в композиті покриття-основа, друге пов'язане з відносною однорідністю матеріалу покриття.

Метою даної роботи є дослідження особливостей зношування та стійкості різальних інструментів із ПНТМ на основі КНБ із зносостійким покриттям з аморфного BN.

Методика проведення досліджень. Експериментальні дослідження проводилися на токарно-гвинторізному верстаті ФТ-11 при точінні сталі ШХ15 і ХВГ (60–62 HRC) інструментом з механічним кріпленням змінних непереточуваних різальних пластин RNMN 070300T (ТУ2-037-636-89) із ПКНБ марки «киборит». На робочі

поверхні пластин методом вакуумно-дугового осадження наносилося покриття у вигляді аморфного або аморфно-кристалічного нітриду бору (BN) товщиною 6 мкм.

Покриття системи BN формувалося шляхом розпилення мішені з гексагонального BN на установці оснащеної двома магнетронами і автономним джерелом живлення. Осадження матеріалу виконувалося при тиску аргону $P_{\text{Ar}} = 2 \cdot 10^{-1}$ Па, струмі 2,0 А, напрузі в розряді 500 В, час осадження – 35хв. (патент на винахід № UA106014). Мікроскопічні дослідження контактних ділянок інструменту виконувалися за допомогою скануючого електронного мікроскопа ZEISS EVO 50XVP (рис. 1).

Стійкісні дослідження інструментів із покриттям та без привелися при досягненні величина фаски зношення інструменту по задній поверхні – $h_3 = 0,3$ мм. Вимірювання ширини фаски зношення по задній поверхні проводилося за допомогою спеціального мікроскопу з ціною ділення 0,025 мм.

Результати досліджень. Зменшення довжини контакту стружки із передньою поверхнею та коефіцієнту усадки стружки при використанні зносостійкого покриття з BN у аморфному стані пов'язано із зменшенням коефіцієнтом тертя для інструменту із покриттям, що призводить до того, що стружка сходить по контактним поверхням більш інтенсивно при тих же швидкостях різання.

Наслідком зміни контактних характеристик процесу різання, викликаних нанесенням зносостійкого покриття на робочі поверхні різального інструменту, являється зменшення ділянки контакту стружки з передньою поверхнею, що призводить до перерозподілу теплових потоків та напружень в різальному інструменті.

Зміна термобаричних та силових умов навантаження різального інструменту із ПНТМ на основі КНБ при використанні зносостійкого покриття з аморфного BN, призводить до зменшення інтенсивності та характеру зношування різального інструменту із покриттям.

Під час точіння загартованих сталей при високих швидкостях різання та малих подачах, характерних для чистового точіння, контактні ділянки інструменту піддаються значному навантаженню, особливо передня поверхня інструменту, внаслідок малої зони контакту стружки, що призводить до прогинання та руйнування різальної кромки.

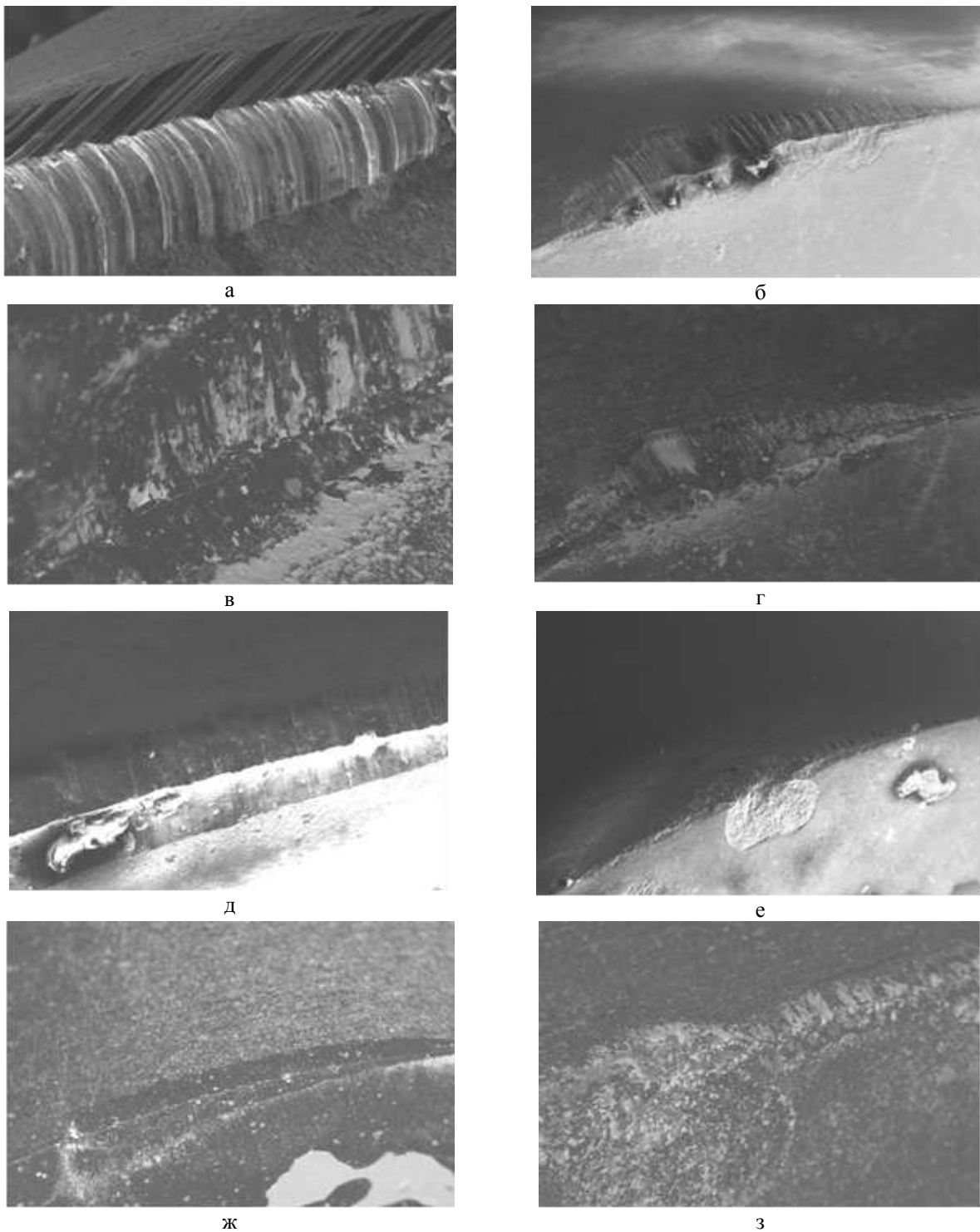


Рис. 1 – Зношені ділянки інструменту після обробки сталі ХВГ (62 HRC) ($S = 0,12$ мм/об; $t = 0,2$ мм): а–г – без покриття; д–з – із покриттям; в, г, ж, з – зображення в режимі фазового контрасту; а, д – $v = 1,5$ м/с; б, е – $v = 2,5$ м/с

Під час точіння загартованих сталей при високих швидкостях різання та малих подачах, характерних для чистового точіння, контактні ділянки інструменту піддаються значному навантаженню, особливо передня поверхня інструменту, внаслідок малої зони контакту стружки, що призводить до прогинання та руйнування різальної кромки.

В діапазоні швидкостей різання до 3,0 м/с найбільш руйнуючий вплив на різальну ромку інструменту має абразивний та адгезійний механізм зношуван-

ня, а також зношування викликане дією високої температури в зоні різання.

Для визначення механізмів зношування інструментів із зносостійким покриттям з аморфного BN, були проведені дослідження контактних ділянок інструменту після точіння сталі ХВГ в залежності від різних швидкостей різання. При точінні інструментом без покриття ($v = 1,5$ м/с) різальна кромка піддається інтенсивному абразивному зношуванню, наслідком якого являється поява симетричних впадин та виступів на передній та задній поверхні різальної пластини (рис. 1, а). Їх

поява пов'язана із наявністю в оброблюваному матеріалі твердих кристалічних включень (карбідів), а також самозношенням, викликане наявністю вільних зерен інструментального матеріалу. Симетричність ліній зношування пояснюється тим, що при зустрічі різальної кромки з твердими частинками відбувається руйнування останньої на декілька частин, які діють як по передній так і по задній поверхні як мікрорізці.

Найбільш інтенсивно абразивне зношування проявляється на невеликих швидкостях різання до 1,5 м/с, тому зношування контактних ділянок інструменту без покриття має абразивний характер.

Зі збільшенням швидкості різання до 2,5 м/с, змінюються умови контакту інструментального та оброблюваного матеріалу, що призводить до інтенсивного теплового впливу на різальну кромку інструменту (рис. 1, б), внаслідок чого вона оплавляється та інтенсивно зношується.

Зображення в режимі фазового контрасту (рис. 1, в, г) показують що в зоні різання, в наслідок адгезійної взаємодії, на контактних ділянках інструменту утворюються налипні метали. Наявність шару металу на контактних ділянках інструменту пов'язаний із дією високих навантажень та температур на поверхнях інструменту, які перебувають у безперервному контакті із оброблюваним матеріалом, що сприяє процесу схоплювання. Крім того, наявність в оброблюваному матеріалі твердих включень, які при зустрічі з поверхнями інструменту, руйнують оксидні плівки, цим самим створюючи хімічно чисті поверхні, що сприяє схоплюванню контактуючих матеріалів на окремих локальних ділянках.

При використанні зносостійкого покриття на основі аморфного BN, при швидкості різання до 1,5 м/с (рис. 1, д), на зображеннях зношених ділянок не має чітко виражених характерних борозд абразивного зношення, як по передній так і по задній поверхні інструменту, що дає підстави стверджувати, що покриття виступає у вигляді твердого лубриката, захищаючи контактні ділянки інструменту від дії твердих включень в оброблюваному матеріалі, тобто зменшуючи абразивне стирання різальної кромки.

При збільшенні швидкості різання до 2,5 м/с (рис. 1, е) різальна кромка інструмента із покриттям менш інтенсивно піддається тепловій дії. На зображенні відсутні сліди оплавлення та просідання різальної кромки, що пов'язано із зменшенням температури різання та довжини контакту стружки із передньою поверхнею інструменту, останнє призводить до того, що більша кількість тепла, яка утворюється в зоні різання, виноситься стружкою, менше інтенсивно нагріваючи контактні ділянки інструменту.

Зображення зношених ділянок інструменту із покриттям, отриманих в режимі фазового контрасту (рис. 1, ж, з) показують відсутність налипів оброблюваного матеріалу, як по передній так і по задній поверхні інструменту, що пов'язано із зменшенням температури різання та коефіцієнта тертя, що сприятливо позначається на стані різальної кромки.

Для перевірки працездатності різальних інструментів із ПНТМ на основі КНБ із зносостійким покриттям з аморфного BN та полікристалічного покриття (TiAlSi)N, були проведені стійкісні дослідження при обробці загартованих сталей ХВГ(62HRC) та ШХ15(60HRC) (рис. 2-5).

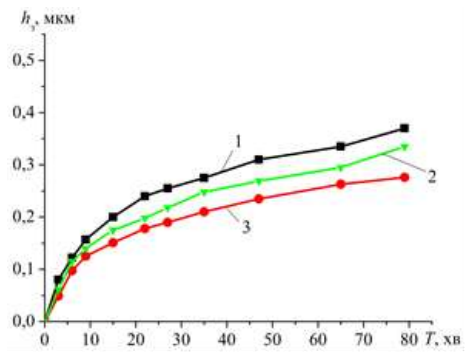


Рис. 2 – Залежність величини зносу по задній поверхні інструменту із покриттям від часу точіння сталі ХВГ ($v = 2,0$ м/с; $S = 0,14$ мм/об; $t = 0,2$ мм): 1 – інструмент без покриття (киборит); 2 – інструмент із покриттям з (TiAlSi)N; 3 – інструмент із покриттям з аморфного BN.

Стійкісні лабораторні дослідження проводилися на токарно-гвинторізному верстаті мод. ФТ11, непереточуваними різальними пластинами із ПНТМ на основі КНБ. Геометричні параметри різальних пластин: передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$, кут нахилу різальної кромки $\lambda = 0^\circ$.

Оброблюваний матеріал – загартована сталь ШХ15 (60 HRC), загартована сталь ХВГ (62 HRC).

Метод обробки – поздовжнє безперервне, безударне, чистове точіння циліндричних заготовок $\varnothing 90 - 100$ мм.

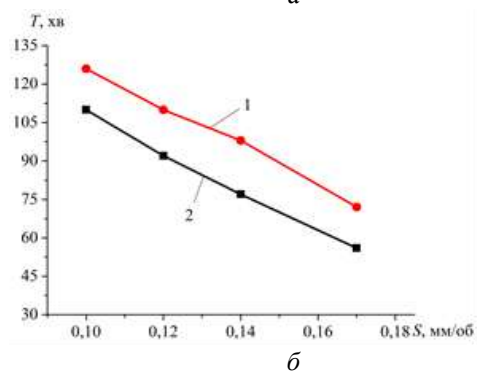
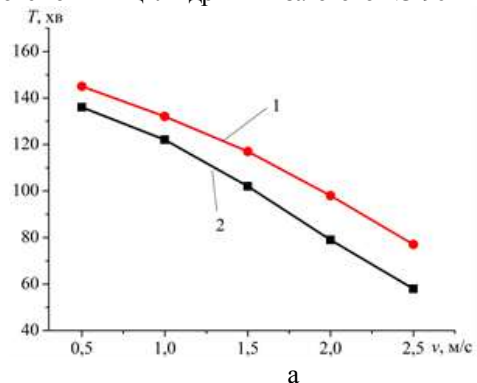


Рис. 3 – Стійкість різального інструменту без покриття (1) та із покриттям з аморфного BN (2) в залежності від: а – швидкості різання; б – подачі

Отримані результати стійкісних досліджень показали, що використання зносостійкого покриття з аморфного BN, дозволяє підвищити стійкість різальних інструментів із ПНТМ на основі КНБ в порівнянні із полікристалічним покриттям та інструментом без покриття: – при токарній, безударній обробці загартованої сталей (60-62 HRC) на 25 % в порівнянні з інструментом без покриття та на 20 % в

порівнянні із полікристалічним покриттям (TiAlSi)N; – знизити швидкість зношування інструментів із ПНТМ на основі КНБ при чистовій обробці загартованих сталей на 22 % та на 15 % в порівнянні із інструментом із полікристалічним покриттям.

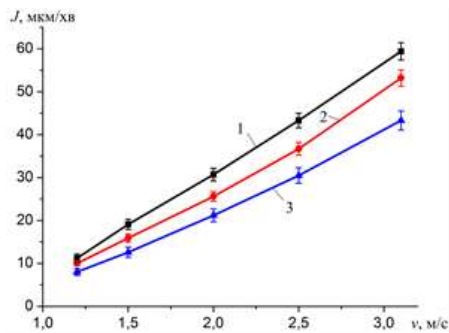


Рис. 4 – Вплив швидкості різання на швидкість зношування інструменту без покриття (1), із полікристалічним покриттям (TiAlSi)N (2), та покриттям з аморфного BN при точінні сталі ШХ 15 ($S = 0,14$ мм/об; $t = 0,2$ мм)

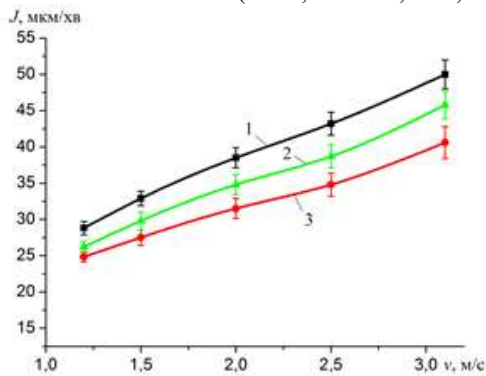


Рис. 5 – Вплив швидкості різання на швидкість зношування інструменту без покриття (1), із полікристалічним покриттям (TiAlSi)N (2), та покриттям з аморфного BN при точінні сталі ХВГ ($S = 0,14$ мм/об; $t = 0,2$ мм)

Слід також відмітити, що ефективність використання зносостійкого покриття з аморфного BN зростає із збільшенням швидкості різання, що дає змогу підвищити режими різання.

Висновки. Використання аморфного покриття з BN, має кращі результати ніж полікристалічне покриття (TiAlSi)N. Основним недоліком полікристалічного покриття є високий ступінь залишкових напружень, що обумовлює пониження властивостей різального інструменту із полікристалічним покриттям щодо можливості опору напруженням, які діють під час використання інструменту у процесі обробки.

Клименко Сергій Анатолійович – д-р техн. наук, проф., зам. директора Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, м.Київ, тел.: (050)-331-19-22, e-mail: atmu@meta.ua;

Klymenko Serhii Anatoliiovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, deputy director of the V. N. Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine, Kyiv, tel.: (050)-331-19-22, e-mail: atmu@meta.ua;

Клименко Сергій Анатолійович – мол. наук. співроб. Інституту надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, м. Київ, тел.: (050)-331-19-22, e-mail: atmu@meta.ua;

Klymenko Serhii Anatoliiovych – Junior Research Fellow, V. N. Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine, Kyiv, tel.: (050)-331-19-22, e-mail: atmu@meta.ua

Береснев В'ячеслав Мартинович – д-р техн. наук, проф. каф. матеріалів реакторобудування, Харківський Національний університет ім. В.М. Каразіна, тел.: (057) 705-46-67, e-mail: beresnev-scpt@yandex.ru;

Beresniev Viacheslav Martynovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department reactor materials V. N. Karazin Kharkiv National University, tel.: (057) 705-46-67, e-mail: beresnev-scpt@yandex.ru.

Внаслідок різності коефіцієнтів температурного розширення, полікристалічне покриття має недостатньо високу стійкість до утворення тріщин, в результаті чого, на етапі припрацювання, різальний інструмент руйнується внаслідок процесів утворення тріщин в його поверхневих шарах, а на етапі сталої роботи має підвищену швидкість зношування і втрачає працездатність за короткий проміжок часу.

Різальний інструмент із полікристалічним покриттям дозволяє оброблювати загартовані сталі із швидкостями 1,0-1,5 м/с, що не забезпечує продуктивність процесу різання при обробці виробів із важкооброблюваних матеріалів.

Використання аморфного покриття дозволяє підвищити стійкість різального інструменту із ПНТМ на основі КНБ в порівнянні із полікристалічним покриттям внаслідок зменшення термобаричного навантаження контактних ділянок інструменту, перерозподілу напружень та більшої стійкості до утворення тріщин. Такі властивості покриття дають можливість проводити чистову обробку загартованих сталей на швидкостях $> 2,5-3,0$ м/с.

Список літератури: 1. Копейкина М.Ю. Работоспособность режущего инструмента, оснащенного ПСТМ на основе КНБ с вакуумно-плазменным покрытием / Копейкина М.Ю., Клименко С.А., Мельничук Ю.А., Береснев В.М. // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 5. – С. 87-97. 2. Титов В.С. Покрyтия режущего инструмента. Состояние вопроса и перспективы // НМ – оборудование.–2004.– С.26-29. 3. Наноккомпозитные покрытия на основе нитридов переходных металлов / А.А. Дробышевская, Г.А. Сердюк, Е.В. Фурсова, В.М. Береснев // Физическая инженерия поверхности. – 2008. – Т. 6, № 1-2. – С. 81-88. 4. Новіков М.В. Різальний інструмент з покриттям / М.В. Новіков, С.А. Клименко, В.М. Береснев та ін. // Патент України на корисну модель № 106014. Промислова власність. – 2014. – Бюл. № 13.

Bibliography (transliterated): 1. Kopeykina M.YU. Rabotosposobnost' rezhushchego instrumenta, osnashchennogo PSTM na osnove KNB s vakuumno-plazmennym pokrytiyem / Kopeykina M.YU., Klimenko P.A., Mel'niychuk YU.A., Beresnev V.M. // Sverkhтвердые материалы. – 2008. – No 5. – P. 87-97. 2. Titov V.P. Pokrytiya rezhushchego instrumenta. Sostoyaniye voprosa i perspektivy // NM – oborudovaniye.– 2004.–P.26-29. 3. Nanokompozitnyye pokrytiya na osnove nitridov perekhodnykh metallov / A.A. Drobyshevskaya, G.A. Serdyuk, Ye.V. Fursova, V.M. Beresnev // Fizicheskaya inzheneriya poverkhnosti. – 2008. – Vol. 6, No 1-2. – P. 81-88. 4. Novikov M.V. Rízal'niy instrument z pokrityyam / M.V. Novikov, P.A. Klimenko, V.M. Beresnêv ta in. // Patent Ukraïni na korisnu model' No 106014. Promislova vlasnist'. – 2014. – Byul. No 13.

Поступила (received) 20.06.2015