

УДК 621.793

П.І. Лобода, Б. Карпушевський, Л.Г. Дюбнер, Д.В. Чайка

ВПЛИВ АНІЗОТРОПІЇ МІКРОСТРУКТУРИ СПРЯМОВАНО АРМОВАНОГО КОМПОЗИТА НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ ПОКРИТТЯ ІЗ НІТРИДУ ТИТАНУ

In this article, firstly we investigated the contact interaction of the tool material made of reinforced boride ceramics and covered with titanium nitride with a diamond indenter with various loads. We studied the influence of the microstructure nature of ceramic and loading conditions on the adhesion strength of the titanium nitride coating. We determined that the magnitude of the friction force depends on the surface microstructure of the composite material. It is satisfactorily correlated with the area of contact interaction between the indenter and the surface of the composite coated with a film of titanium nitride. Moreover, we established that the boride reinforced ceramic coated with TiN on its mechanical properties are not inferior to the best traditional ceramic tool materials.

Вступ

Новий клас армованої боридної кераміки за механічною міцністю не поступається, а за твердістю в 2–4 рази перевищує механічні властивості твердих сплавів типу ВК, і тому може бути перспективним як інструментальний матеріал. Але бориди хімічно активні тугоплавкі сполуки і під час контактної взаємодії в процесі різання може відбуватися хімічна взаємодія з металевими матеріалами та наступне катастрофічне зношування [1].

Процес різання може бути розглянутий як взаємодія двох тіл (поверхонь), між якими відбувається процес тертя. Такі пари тертя характеризуються тим, що поверхні (ріжуча кераміка та заготовка) контактують, перебуваючи в русі одна відносно одної. Під час процесу можуть виникати критичні умови, викликані системою тертя, які супроводжуються утворенням зносу і призводять згодом до втрати функціональності компонентів системи. Щоб у загальному поліпшити процес точіння на активні частини інструмента наноситься покриття.

Відомо, що зносо- і корозійна стійкість покриттів залежать насамперед від природи матеріалу, щільності, мікроструктури поверхні та міцності адгезійного зчеплення покриття з підкладкою.

Найбільш зносо- та корозійностійкими з розроблених покриттів є покриття на основі нітриду титану, отримані методом осадження із парової або газоподібної фази.

Покриття з TiN має високу твердість (20–40 ГПа) і модуль пружності (620 ГПа), хімічну стабільність, низький коефіцієнт тертя, високу стійкість до окиснення і зносостійкість.

При трибологічному навантаженні ріжучого інструмента покриття із нітриду титану мають

високу антикорозійну стійкість, що під час точіння знижує здатність матеріалу різального інструмента до зчеплення з оброблюваним матеріалом, зменшує силу тертя стружки та ймовірність виникнення наростів на поверхні різальної пластини, а відтак і величини напружень, що виникають в інструментальному матеріалі [2].

Підвищення зносостійкості керамічного ріжучого інструмента з покриттям може відбуватися внаслідок заліковування дефектів поверхні ріжучих пластин після електроерозійної та механічної обробки заготовок, зменшення коефіцієнта тертя, реалізації більш високої порівняно з основою твердості, міцності і в'язкості руйнування матеріалу покриття за рахунок створення бездефектної структури з регульованою дисперсністю зерен, текстурою і складом.

Крім перерахованого вище, покриття знижує нагрівання інструмента в процесі обробки. Основна частина тепла, що при цьому утворюється, переходить у стружку. Температура на поверхнях інструмента та заготовки знижується.

Найбільша міцність зчеплення покриття з основою досягається за умови реалізації хімічних способів осадження. Але при цьому відбувається зміна хімічного складу основи, утворення нових проміжних фаз, які можуть знижувати механічні характеристики інструментального матеріалу в цілому. Тому, як правило, застосовують фізичні способи осадження під час формування рівномірних за товщиною однорідних за хімічним складом покриттів із газової фази [3, 4].

Постановка задачі

Найбільш ефективним способом захисту від хімічної взаємодії є нанесення на інструментальні матеріали покриттів. Тому з метою ви-

явлення переваг нового класу армованої боридної кераміки перед традиційними інструментальними матеріалами в роботі вивчається процес нанесення найбільш поширених покриттів із нітриду титану на модельний композит $\text{LaV}_6\text{-TiB}_2$.

Експериментальна частина й обговорення результатів

Покриття наносилося на зразки спрямовано армованої кераміки, композити системи якої являють собою матрицю із LaV_6 , пронизану регулярно розташованими дискретними волокнами із TiB_2 діаметром 0,3–1 мкм та довжиною до 50 мкм, виготовлену на кафедрі високотемпературних матеріалів і порошкової металургії НТУУ “КПІ”. Нанесення покриттів із нітриду титану було проведене в Інституті технології виробництва та управління якістю ОфГУ м. Магдебург (Німеччина) на установці ННВ–6,6–И4 (установка модифікована і дає змогу позбавитися крапельної фази на поверхні зразків). Попередньо поверхню матеріалу основи очищали іонно-плазмовим методом та наносили покриття при тиску азоту 0,5 Па, силі струму 75 А, напрузі на столику (зразку) 50 В, температурі 440 °С, загальний час витримки 40 хв, товщина отриманого покриття TiN 2 мкм.

Оскільки спрямовано закристалізовані керамічні матеріали мають анізотропну мікроструктуру, різальні пластини покривалися так, що в першому випадку волокна, що армують, розташовувались паралельно до циліндричної поверхні деталі, яка покривалась, (паралельно до напрямку різання), а в другому – перпендикулярно до циліндричної поверхні деталі, що покривалась, (перпендикулярно до напрямку різання). Із кристалів армованої боридної кераміки електроерозійним способом виготовлялися різальні пластини циліндричної форми діаметром 5 мм і висотою 3 мм. Під час різання навколо волокон у поверхневому шарі пластини виникає сітка мікротріщин (рис. 1). З метою зняття поверхневого шару з сіткою тріщин перед нанесенням покриття пластини піддавались шліфуванню та поліруванню.

У ході роботи досліджували вплив характеру мікроструктури кераміки й умов наванта-

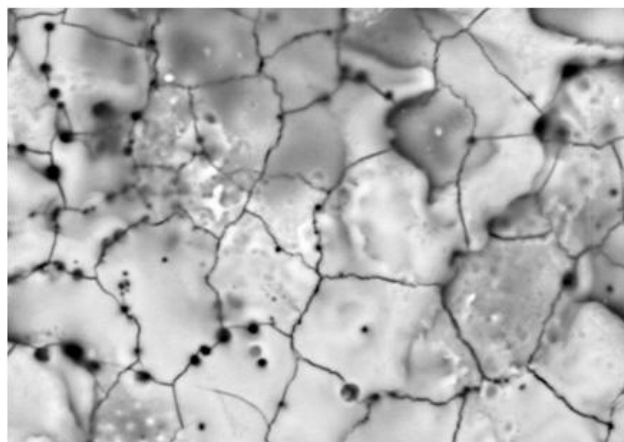


Рис. 1. Дефекти поверхні керамічних ріжучих пластин після електроерозійної обробки

ження на адгезійну міцність покриття із нітриду титану товщиною 1,5–2 мкм, отриманого методом вакуумно-дугового осадження. Характер мікроструктури кераміки залежить від напрямку розташування волокон відносно навантаження руйнування. Розглянуто випадки, коли зусилля руйнування прикладалось у площинах поперечного та повздовжнього перерізів волокна (рис. 2). Міцність зчеплення покриттів з керамічним матеріалом оцінювалась за сукупністю параметрів акустичної емісії, коефіцієнтом тертя, глибиною проникнення індентора, величиною нормального навантаження за допомогою приладу CSEM Manual Scratch-Tester. Також контролювалась мікроструктура поверхні. Мікроскопічний аналіз поверхні керамічних циліндричних пластин здійснено за допомогою оптичного інструментального мікроскопа та растрового електронного мікроскопа аналізатора PEMA-106И.

За допомогою Scratch-Tester на поверхню покриття алмазним сферичним індентором типу “Роквелл” з радіусом закруглення 200 мкм наносили подряпини в умовах постійно діючого навантаження 20 і 50 Н, швидкість пересування індентора становила 5 мм/хв.

Для статистичної достовірності експериментів кожен тест повторювали три рази (рис. 3).

Навантаження до індентора прикладалось на початку шляху пересування і залишалось незмінним на всій довжині подряпини, яка дорівнювала 1 мм (рис. 4). Зареєстровано такі фізичні параметри, як акустична емісія,

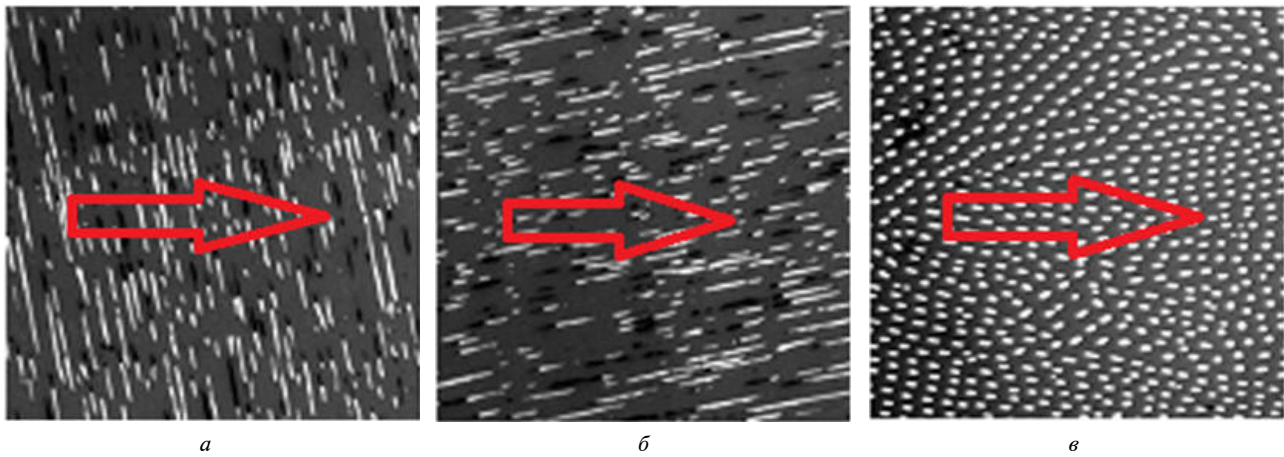


Рис. 2. Схематичне зображення напрямку нанесення подряпин у повздовжньому перерізі вздовж (а) та впоперек (б) волокна і в поперечному (в) перерізі кристалів спрямовано армованої боридної кераміки

коефіцієнт тертя і глибина проникнення. У площині повздовжнього перерізу волокна подряпини наносили в двох взаємно перпендикулярних напрямках так, що в першому випадку алмазний індентор рухався вздовж волокна (рис. 2, а), а в другому – впоперек волокна (рис. 2, б). Глибину проникнення індентора визначили розрахунковим шляхом (таблиця) і встановили, що вона задовільно корелює з величиною твердості керамічного матеріалу основи. Найбільша величина твердості волокон із дибориду титану спричиняє і найменшу глибину проникнення індентора під час прикладання навантаження в площині поперечного перерізу волокон.

Під час дряпання встановлено, що коефіцієнт тертя переважно залежить від орієнтації волокон відносно напрямку дряпання. Особливо добре це спостерігається при навантаженнях 20 Н (рис. 4, а–в). Найбільші значення коефіцієнта тертя характерні для поверхні, на якій волокна розташовані в площині повздовжнього перерізу (рис. 4, а, б), а дряпання відбувається в перпендикулярному до волокна напрямку. Збільшення навантаження в два рази (рис. 4, г–е) веде до незначного збільшення сили тертя, що

може свідчити про переважний вплив рельєфу поверхні, обумовленої кількістю та орієнтацією волокон. Крім того, на кривій, що показує зміну сили тертя, спостерігаються періодичні екстремально високі піки, величина і кількість яких найбільша тоді, коли волокна розташовуються в площині та перпендикулярно до напрямку дряпання. Величина сигналу акустичної емісії має практично протилежну до зміни сили тертя залежність. На ділянках, де сила тертя досягає екстремального значення, величина акустичного сигналу мінімальна. Металографічним аналізом поверхні руйнування (див. рис. 3) встановлено, що під час контактної взаємодії відбувається здирання покриття із нітриду титану вже при мінімальних навантаженнях на індентор 20 Н. У міру зростання величини навантаження (див. рис. 4) збільшується площа зруйнованої поверхні (див. таблицю) пропорційно величині навантаження для однієї і тієї ж орієнтації волокон.

Ширина зруйнованої області найбільша у випадку, коли дряпання відбувається в площині поперечного перерізу та в перпендикулярному до волокна напрямку. На поверхні контактної взаємодії композита з індентором спостерігається руйнування окремих волокон. Кількість про-

Таблиця. Вплив анізотропності мікроструктури й умов навантаження на глибину проникнення індентора в поверхневий шар кераміки з покриттям із нітриду титану

Навантаження на індентор, Н	Глибина проникнення/ширина області руйнування покриття TiN, мкм		
	в площині повздовжнього перерізу		в площині поперечного перерізу
	вздовж волокон	впоперек волокон	
20	1,56/50	1,56/50	1,0/40
50	6,35/100	10,01/125	4,04/ 80

дуктів руйнування у вигляді дисперсних частинок циліндричної форми найбільша в площині повздовжнього перерізу. Глибина проникнення індентора в поверхневий шар композиційного матеріалу з покриттям задовільно погоджується з величиною твердості, яка найбільша в площині поперечного перерізу волокон. Найбільшою мірою зростає і площа зруйнованого покриття. Причому переважно руйнування відбувається по межі розподілу основа–покриття. Оскільки величина сигналу акустичної емісії в площині поперечного перерізу волокон значно менша, ніж у двох інших випадках, а за даними металографічного аналізу відривання покриття від основи відбувається навіть при найменшому наванта-

женні в 20 Н, можна стверджувати, що акустична емісія переважно характеризує процес руйнування матеріалу основи. Менші за амплітудою, але чисельні за кількістю коливання акустичного сигналу зумовлені руйнуванням волокон, які значно більше контактують з алмазним індентором під час дряпання в площині поперечного перерізу, ніж повздовжнього. Великі піки на кривій залежності акустичного сигналу зумовлені руйнуванням матеріалу основи, яке найбільш легко відбувається вздовж волокон [5] і задовільно погоджується з даними металографічного аналізу поверхні контактної взаємодії алмазного індентора з боридним композитом, покритим прошарком нітриду титану.

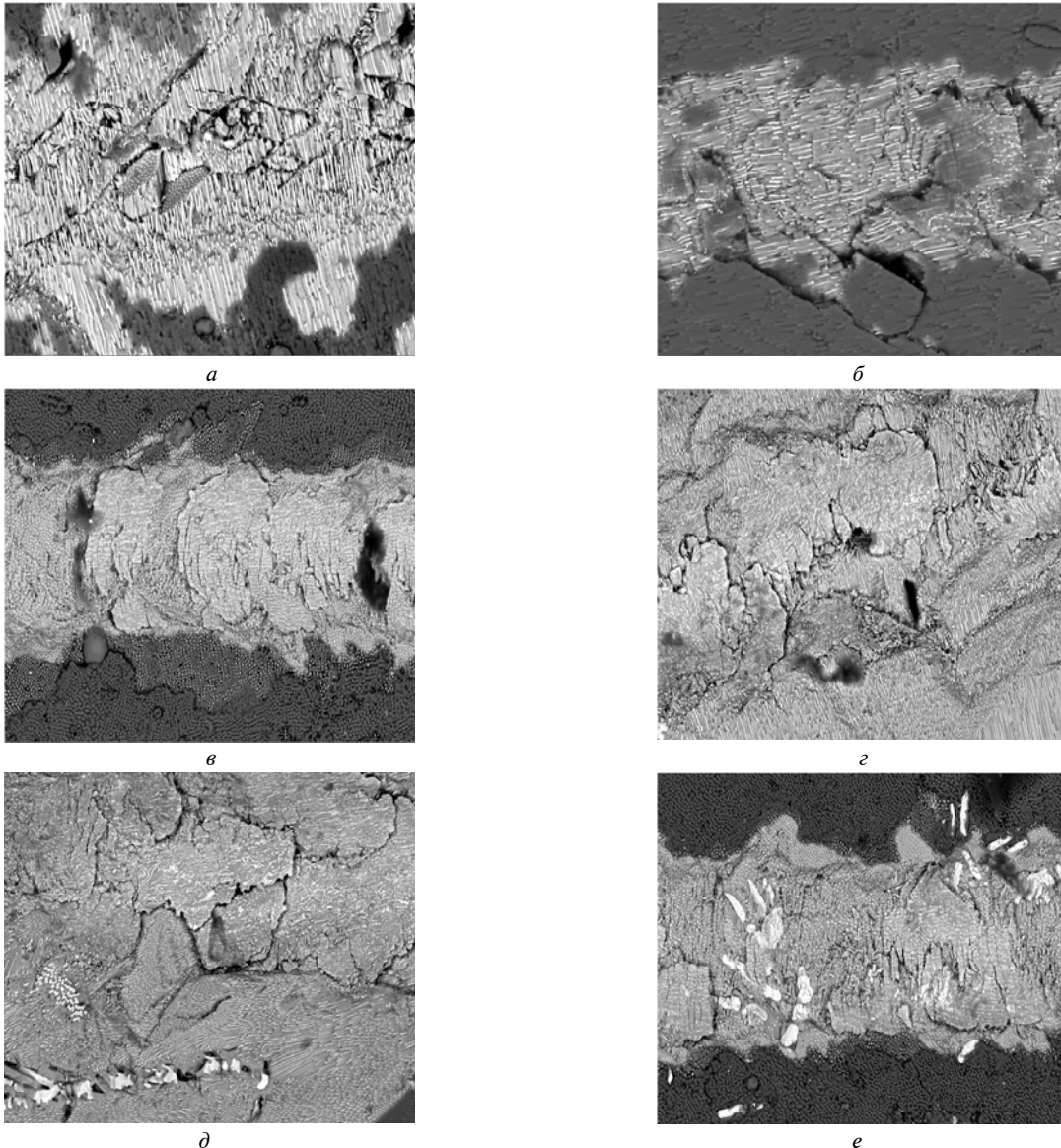
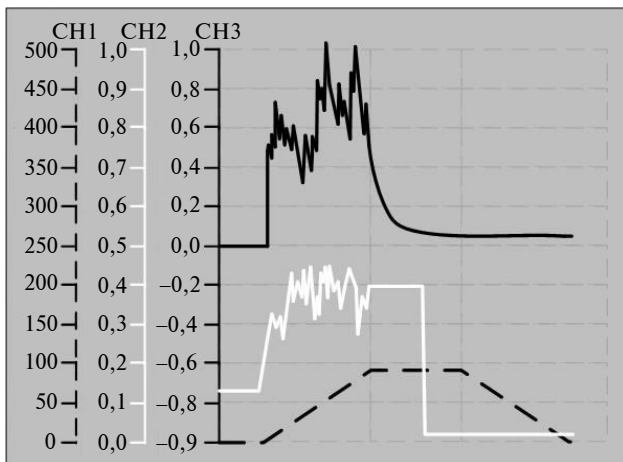
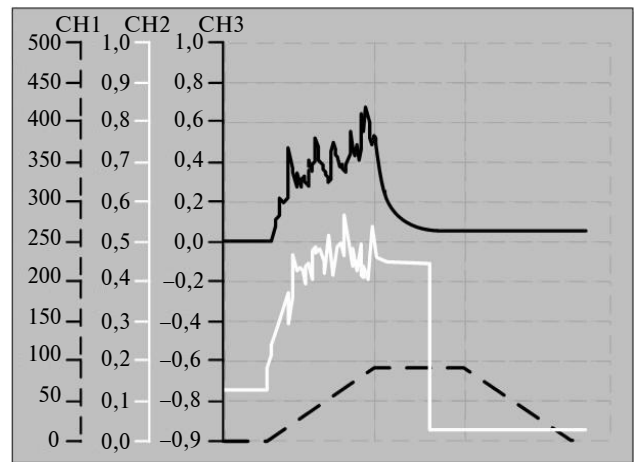


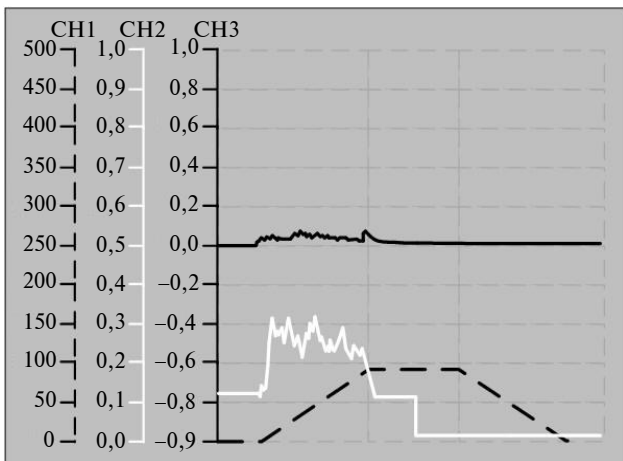
Рис. 3. Мікроструктури поверхні контактної взаємодії різальних пластин, покритих нітридом титану, та індентора, навантаженого зусиллям 20 Н (*а, б, в*) і 50 Н (*г, д, е*) під час дряпання в площині повздовжнього перерізу волокна вздовж (*а, г*) та впоперек (*б, д*) волокна та в площині поперечного перерізу волокна (*в, е*)



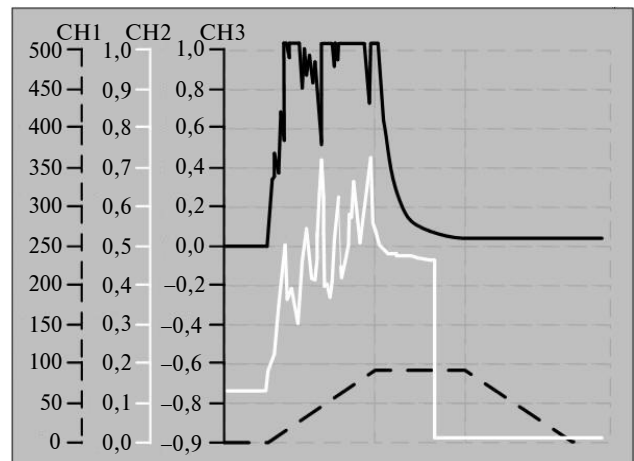
a



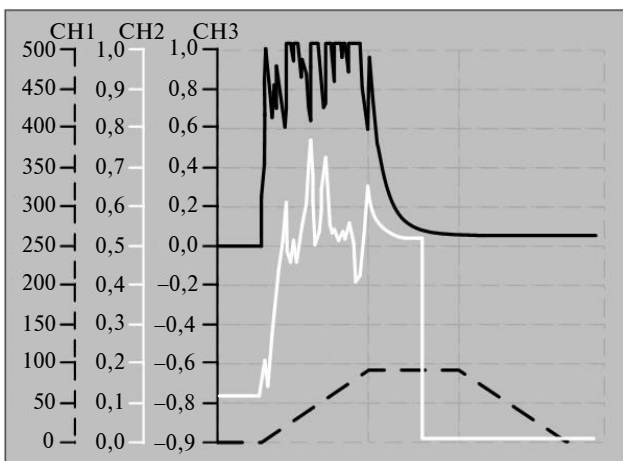
б



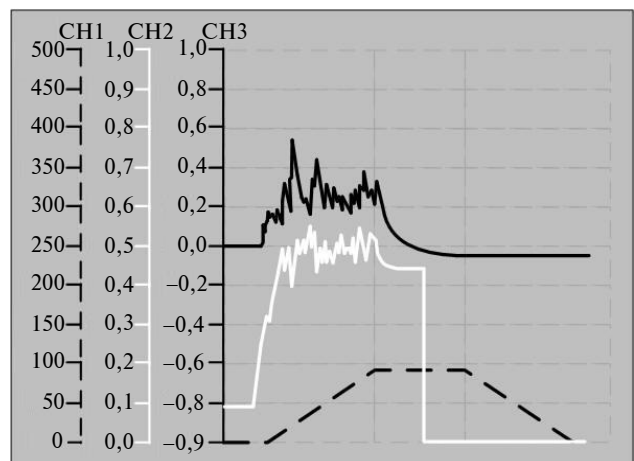
в



г



д



е

Рис. 4. Вплив орієнтації волокон на характеристики акустичної емісії та тертя армованої кераміки з покриттям із нітриду титану під час контактної взаємодії з алмазним індентором, навантаженому зусиллям 20 Н (*a, б, в*), 50 Н (*г, д, е*), в площині повздовжнього перерізу волокна вздовж (*a, г*) і впоперек (*б, д*) волокна та в площині поперечного перерізу волокна (*в, е*); CH1 – шлях випробування під час навантаження, мм; CH2 – величина сили тертя; CH3 – акустична емісія

Висновки

Встановлено вплив анізотропії мікроструктури спрямовано армованого композита на адгезійну міцність зчеплення покриття із нітриду титану. Найбільшу міцність зчеплення мають покриття, нанесені на поверхню композита, в якого волокна розташовані перпендикулярно до поверхні, що може бути зумовлене як більш високою твердістю композита, так і тим, що волокна дещо виступають над матрицею в процесі нанесення покриття, що веде до збільшення площі межі розподілу основа–покриття.

Величина сили тертя залежить від мікроструктури поверхні композиційного матеріалу і задовільно корелює з площею контактної взаємодії індентора з поверхнею композита, покри-

того плівкою з нітриду титану. Найбільша сила тертя характерна для композитів, у яких волокна розташовуються в площині поверхні та перпендикулярно до напрямку дряпання, що зумовлено найбільшим значенням твердості і, відповідно, площі контактної взаємодії.

Найбільші значення твердості спричиняють найменші значення пружної деформації матеріалу основи, мінімальну площу контактної взаємодії, а відтак і можуть бути найбільш зносостійкими та забезпечувати найкращі характеристики у випадку застосування як інструмента для обробки матеріалів різанням.

Для остаточного з'ясування переваг нової боридної кераміки, покритої TiN, доцільно провести дослідження її експлуатаційних властивостей як різального інструмента при точінні чавуну та загартованих сплавів.

1. *Лобода П.І., Карпушевський Б., Шефлер М., Чайка Д.В.* Структура та експлуатаційні властивості спрямовано армованих керамічних інструментальних матеріалів // Вісн. Машинобудування НТУУ “КПІ”. – 2011. – 1, № 61. – С. 171–175.
2. *Гнесин Г.Г., Осипова И.И.* Керамические инструментальные материалы / Под. ред. д.т.н. Г.Г. Гнесина. – К.: Техника, 1991. – 388 с.
3. *Bach F.W., Möhwald K., Laarmann A., Wenz T.* Moderne Beschichtungsverfahren. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2005. – 350 p.
4. *Rother B., Vetter J.* Plasma-Beschichtungsverfahren und Hartstoff – Schichten. – Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1992. – 348 p.
5. *Loboda P., Bogomolov I., Nishimura T.* High-Temperature Strength of Directionally Reinforced LaB₆-TiB₂ Composite // J. of Alloys and Compounds. – 2010. – N 505. – P. 130–134.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
20 квітня 2011 року