

П.І. Лобода¹, д-р техн.наук, проф., Б.Карпушевський², д-р техн.наук, проф., М. Шеффлер², д-р техн.наук, Д.В.Чайка¹, асп.
1-НТУ України "Київський політехнічний інститут" м.Київ, Україна, 2-ОфГУ-Магдебург

СТРУКТУРА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СПРЯМОВАНО АРМОВАНИХ КЕРАМІЧНИХ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В данной работе впервые исследован процесс контактного взаимодействия инструмента изготовленного из армированной боридной керамики с металлическими материалами, обрабатываемыми во время резки. Благодаря проведенному исследованию установлено, что армированная боридная керамика по своим физико-механическим свойствам не уступает лучшим традиционным керамическим инструментальным материалам. Основным выводом статьи является тот факт, что более низкая по сравнению с оксид-карбидной керамикой износостойкость обусловлена большим количеством трещиноподобных дефектов, формирующихся в условиях электроэрозионной обработки поверхности режущих пластин.

In this study we investigated the process of contact between the tools made of reinforced boride ceramics with metallic materials processed during the cut. Thanks to our research there is established that reinforced boride ceramics don't underperform on their physical and mechanical properties to the best traditional ceramic tool materials. The main conclusion of the article is the fact that lower tool wear resistance compared with oxide carbide ceramic due to the large amount of crack-like defects formed in electrical discharge machining of surface of cutting tool inserts.

На сьогоднішній день створено новий клас керамічних спрямовано-армованих надтвердих високоміцних квазів'язких керамічних матеріалів на основі тугоплавких сполук (ТС) (B_4C , SiC , боридів перехідних і рідкоземельних металів), що складаються з монокристалічної матриці, утвореної однією ТС, армованою дискретними регулярно розташованими волокнами іншої ТС. Евтектичні сплави систем LaB_6-MeB_2 , B_4C-MeB_2 (де $Me - Ti, Zr, Hf$), B_4C-SiC тощо за міцністю ($\sigma_{\text{вип}} = 1500$ МПа) і в'язкістю руйнування ($K_{Ic} > 24$ МПа·м^{1/2}) не поступаються керметам типу ВК-6, ВК-8, а за модулем пружності й твердістю перевершують останні в 2-3 рази ($E = 500$ ГПа, $H\mu = 40-60$ ГПа). Такі керамічні композиційні матеріали створювались для виготовлення конструкційних елементів катодно-підігрівних вузлів електронної техніки і здатні працювати без помітної деградації структури та властивостей до температури ≤ 2000 °С в умовах швидкісного нагрівання-охолодження (до 1500 град/с) та великого температурного градієнту (більше 3000 град/см) [1, 2, 3].

Оскільки зносостійкість та експлуатаційні властивості інструментальних матеріалів переважно визначаються твердістю, міцністю і термічною стабільністю структури (рис.1), то актуальним є вивчення можливості застосування композиційних матеріалів як інструментальних.

Метою роботи було вивчення контактної взаємодії керамічного інструменту виготовленого із армованої кераміки в процесі обробки металів різанням та співставлення отриманих результатів з аналогічними для традиційної індустріальної оксид-карбідної кераміки.

Як вихідні використовувались індустріальна оксид-карбідна кераміка Куосега, виробництва Німеччини, у вигляді пластин розмірами 15x15x5 мм та циліндричні кристали спрямовано армованої боридної кераміки, вирошених кристалізацією із розплаву евтектичного сплаву системи LaB_6-TiB_2 на кафедрі високотемпературних матеріалів і порошкової металургії Національно Технічного Університету України «Київський Політехнічний Інститут».

Із пластин оксид-карбідної кераміки та кристалів армованої боридної кераміки вирізали різальні пластини циліндричної форми діаметром 5 мм і висотою 3 мм. Циліндричні пластини вирізались електро-ерозійним способом. Поверхні ріжучих пластин та ріжучі кромки додатково не оброблялась. Враховуючи те, що стан поверхонь в значній мірі визначає експлуатаційні властивості і стійкість металообробного інструменту, в роботі вимірювалась шорсткість поверхні вирізаних циліндричних пластин з допомогою профілометра та мікроскопічного аналізу. Мікроскопічний аналіз поверхні та ріжучої кромки керамічних циліндричних пластин здійснювався з допомогою оптичного інструментального мікроскопу та растрового електронного мікроскопу аналізатору РЕМА-106І. Співставлення механічних характеристик матеріалів керамічних пластин проводилось шляхом вимірювання мікротвердості на приладі „Struers Duramin-10”. Для вимірювання мікротвердості пластини шліфувались та полірувались. Ріжучі пластини закріплювались в механічний тримач, ставились на токарний станок із ЧПУ марки Index GU 600 та піддавались випробуванням щодо контактної взаємодії під час обробки різанням циліндричних заготовок з чавуну, алюмінію, міді, нікелевого сплаву при глибині різання 0,5 мм, подачі 0,1 мм та швидкості 200 м/хв. Дослідження по обробці різанням проводились в Німецькому Інституті технології виробництва та управління якістю ОфГУ міста Магдебург.

Оскільки спрямовано закристалізовані керамічні матеріали мають анізотропну мікроструктуру, то різальні пластини виготовлялись так, що в першому випадку волокна, що армують розташовувались паралельно напрямку різання, а в другому перпендикулярно до циліндричної поверхні деталі, що оброблялась, та напрямку різання.

Традиційні керамічні інструментальні матеріали мають ряд позитивних властивостей: хімічна пасивність по відношенню до оброблюваних матеріалів, висока зносостійкість і продуктивність. Ріжуча кераміка набуває в сучасному машинобудуванні все більшого значення при лезовій обробці чавунів, конструкційних і поліпшених сталей. Також перевагою керамічних матеріалів є доступність сировини, що використовується при їх виробництві. Керамічний інструмент має не тільки переваги, але так само і недоліки, основними з яких є крихкість та чутливість по відношенню до змінних термічних і механічних навантажень.

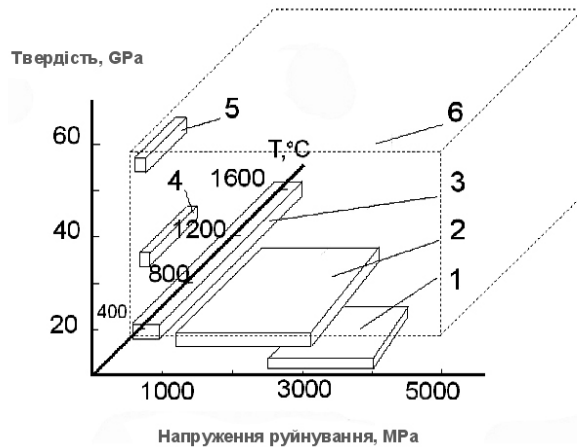


Рис. 1. Співставлення фізико-механічних характеристик різних класів інструментальних матеріалів

де 1 - швидкоріжуча сталь; 2 - твердий сплав; 3 - ріжуча кераміка; 4 - фази високого тиску з нітриду бора; 5 - полікристалічний діамант; 6 - нові спрямовано кристалізовані композитні матеріали

Область застосування керамічних інструментальних матеріалів значно відрізняється від області застосування металевих інструментальних матеріалів. Різниця у застосуванні інструментальних матеріалів ґрунтується на їх будові, а отже на різниці їх коефіцієнтів в'язкості, хімічної пасивності по відношенню до матеріалу заготовки та контактних процесів, що протікають на їх поверхнях. Можливе розширення області застосування ріжучої кераміки може бути досягнуто не тільки шляхом поліпшення в'язкісних характеристик інструментального матеріалу, але й шляхом правильного планування і розрахунку технологічного процесу обробки [4,5].

Особливістю будови ріжучої кераміки є те, що вона не має зв'язуючої фази. Внаслідок цього при підвищенні температури, яке є результатом збільшення швидкості різання або зростання зносу в процесі обробки розміщення інструментального матеріалу практично відсутнє. Інструменти з ріжучої кераміки дозволяють проводити обробку на досить високих швидкостях, які значно перевершують швидкості обробки для інструменту з твердого сплаву.

Оскільки підготовка поверхні керамічного інструменту займає більше 40% часу та додаткових витрат, при цьому потребує створення технології під кожен інструментальний матеріал, то вирізані електроерозійним способом платини із армованої боридної кераміки та індустріальної оксид-карбідної не піддавались шліфуванню та поліруванню, а лише контролювалась мікроструктура і шорсткість поверхонь, як показано на рис. 2.

Найменшу шорсткість поверхні (рис.1 з,д) мають пластини з оксид-карбідної кераміки. Окрім того, на поверхні пластин спостерігаються кратери. Величина та кількість таких кратерів збільшується при переході від оксид-карбідної до боридної кераміки з паралельним (рис. 2 а,б) та перпендикулярним розташуванням волокон (рис.2 в). Мікротріщини не спостерігаються на поверхні різальних пластин із оксидної кераміки, тоді як найбільша їх кількість характерна для поверхні боридної кераміки з перпендикулярним розташуванням волокон (рис.2а,б).

Шорсткість поверхні контролювалась з допомогою профілометра FORM TALYSURF 120 PC, Taylor Hobson. Дані вимірювань (табл. 1) задовільно узгоджуються з результатами металографічних досліджень.

Таблиця 1

Середнє значення величини шорсткості R_a зразків

№ зразку	Значення шорсткості, R_a
Оксид-карбідна кераміка	0,764
LaB ₆ -TiB ₂ (поперечне)	1,1918
LaB ₆ -TiB ₂ (повздожне)	1,0489

Таким чином співставлення результатів контактної взаємодії інструментальних матеріалів із новою боридної кераміки з оброблюваним матеріалом проводилось шляхом випробування ріжучих пластин трьох типів: керамічні ріжучі пластини виробництва Німеччини зі складом Al₂O₃-TiC (зразок 1), та два типи ріжучих пластин українського виробництва зі складом LaB₆-TiB₂ (рисунок 3), враховуючи напрямки росту волокон (рис. 3. б та в відповідно).

Слід відмітити, що висока якість робочих поверхонь ріжучих пластин сприяє покращенню його фрикційних властивостей, що призводить до зменшення складових сили різання, що в свою чергу визначає потужність різання, необхідну для проведення процесу обробки. Як наслідок, зниження сили різання веде до зниження теплового потоку в заготовку, стружку, інструмент і навколишнє середовище.

Отже, чистота поверхні ріжучих пластин зі змішаної кераміки, що використовуються під час токарної обробки чинить безпосередній вплив на протікання процесу обробки та його кінцевий результат, наприклад, на величину сили різання та якість обробленої поверхні. Мікронерівності на поверхні керамічних пластин, що залишаються після фінішної обробки в основному і визначають величину шорсткості інструменту.

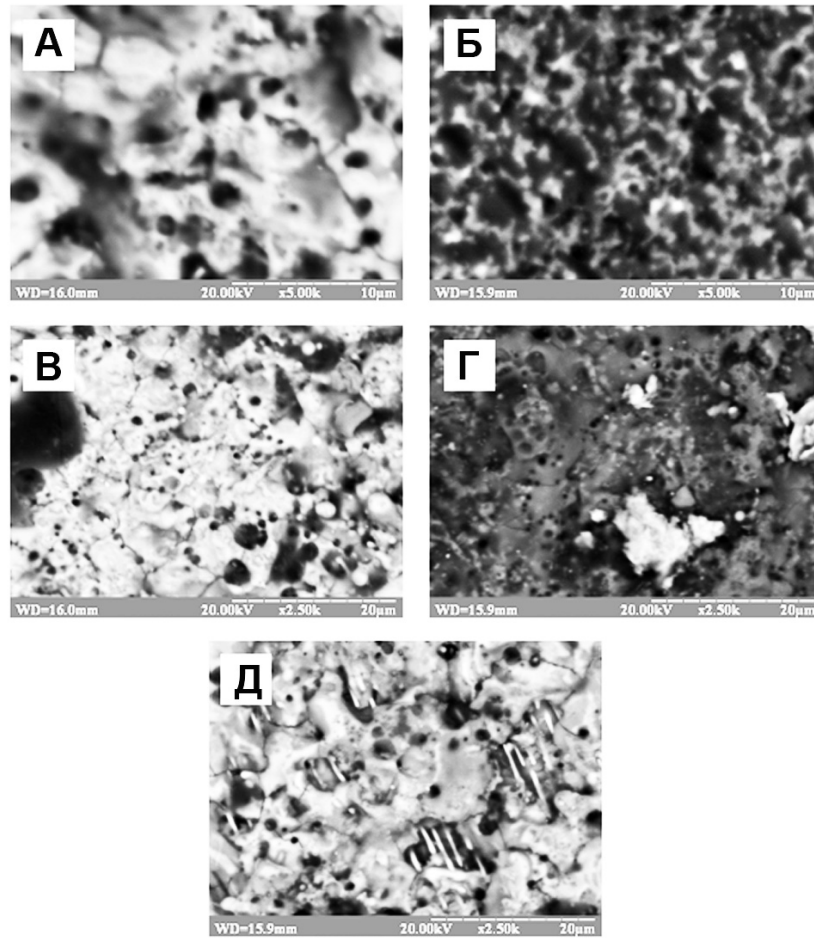


Рис. 2. Мікроструктура поверхні різальних пластин із боридної армованої кераміки (а,б,в) та традиційної оксид-карбідної кераміки (г,д) після електроерозійної обробки

де а,б – в площині перпендикулярній до волокон; в – в площині паралельній до волокон

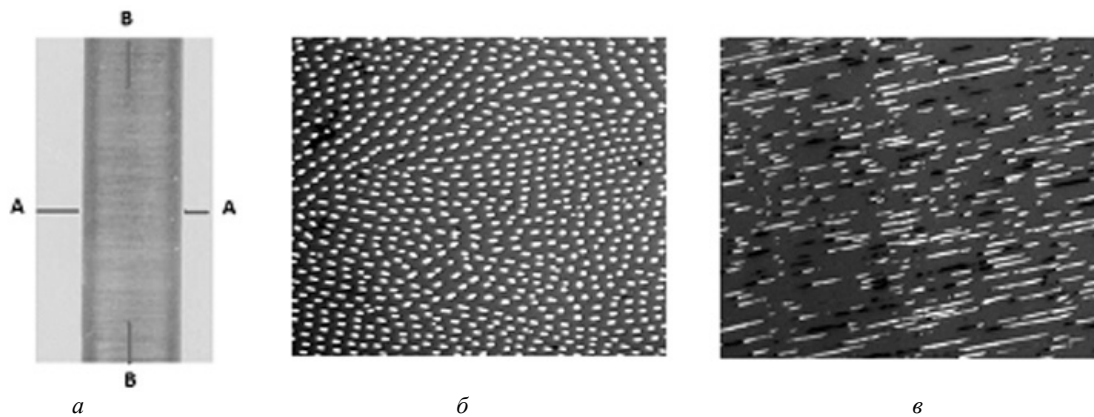


Рис. 3. Зовнішній вигляд (а) та мікроструктура в поперечному (б) і повздовжньому (в) перетинах кристалів спрямовано армованої боридної кераміки LaB_6-TiB_2

Для співставлення матеріалів за механічними властивостями було виготовлено мікрошліфи зі зразків кераміки. Твердість вимірювали при навантаженні 300 фунтів та тривалості витримки - 5 секунд.

Таблиця 3

Середні значення мікротвердості зразків

Матеріал	Значення мікротвердості
Оксид-карбідна кераміка	3375 HV300,0p/5
LaB_6-TiB_2 (поперечне)	2364 HV300,0p/5
LaB_6-TiB_2 (повздовжнє)	3336 HV300,0p/5

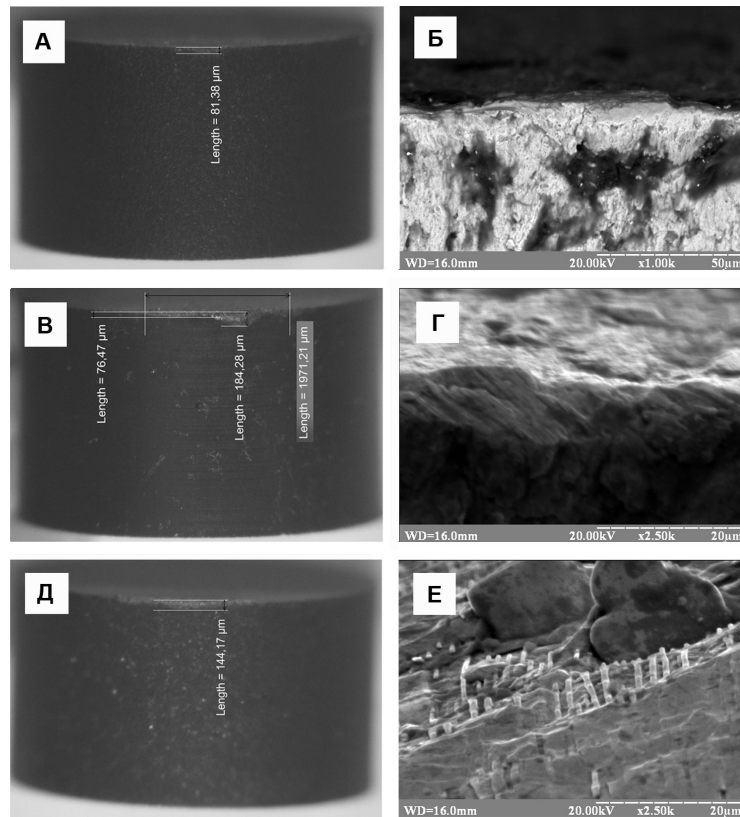


Рис. 4. Зовнішній вигляд, макро- та мікроструктури поверхні контактної взаємодії різальних керамічних пластин
 де *a, б* – макро - і мікроструктура поверхні контактної взаємодії різальних оксид-карбідних керамічних пластин; *в, г* - макро - і мікроструктура поверхні контактної взаємодії різальних керамічних пластин з армуючими волокнами, розташованими поперечно до напрямку різання; *д, е* - макро - і мікроструктура поверхні контактної взаємодії різальних керамічних пластин з армуючими волокнами, розташованими паралельно до напрямку різання

Встановлено, що твердість матеріалу ріжучих пластин із армованої боридної кераміки залежить від орієнтації монокристалічних волокон із дибориду титану. Тільки у матеріалі різальних пластин з повздовжнім розташуванням волокон твердість наближається до твердості оксид-карбідної кераміки.

Під час випробувань різальних пластин на станку з ЧПУ Index GU 600 режими різання задавались однаковими для всіх керамічних матеріалів. Контролювали якісно чистоту поверхні обробленої деталі, а також геометричні розміри та форму ріжучої кромки керамічної пластини на ділянці її взаємодії з деталлю, що обробляється, як показано на рис. 4.

Як видно (рис. 4) найменше значення величини зношування кромки різальної пластини має оксид-карбідна кераміка 81,38 мкм. Крім того, спостерігається вплив орієнтації волокон із дибориду титану на швидкість зношування боридної кераміки. Більшою стійкістю проти зношування володіє матеріал пластини, у якого волокна розташовуються перпендикулярно до циліндричної поверхні деталі, що обробляється, та напрямку різання. Методами растрової електронної мікроскопії показано, що зношування пластин із боридної кераміки відбувається внаслідок відколювання (рис. 4. г, е). Причиною руйнування шляхом відколювання можуть бути тріщини, (та майже в два рази більша, в порівнянні з оксид-карбідною керамікою) шорсткість поверхні, що формується під час електроерозійної обробки.

Таким чином, встановлено що армована боридна кераміка за своїми фізико-механічними властивостями не поступається кращим традиційним керамічним інструментальним матеріалам. Нижча в порівнянні з оксид-карбідною керамікою зносостійкість обумовлена більшою кількістю тріщиноподібних дефектів що формуються в умовах електроерозійної обробки поверхні ріжучих пластин.

Для остаточного з'ясування переваг нової боридної кераміки доцільно провести дослідження експлуатаційних властивостей різального інструменту в залежності від чистоти і дефектності поверхні різальних пластин, а також вивчити можливість зміцнення поверхні за рахунок нанесення покриттів із надтвердих тугоплавких сполук.

Список літератури

1. K. L. Choy , P. Duplock, The mechanical behaviour of glass and glass–ceramic matrix composites, *Materials Science and Engineering A278* (2000) 187–194
2. A. Karl, I. Schwetz, S. Lorenz, Sigl, and Lothar Pfau, Mechanical Properties of Injection molded B4C–C Ceramics, *Journal of solid state chemistry* 133, 68-76 (1997), ARTICLE NO. SC977316
3. S. A. Baldacim, C. A. A. Cairo, C. R. M. Silva, The mechanical properties of ceramic composites, *Journal of Materials Processing Technology* 119 (2001) 273-276
4. G. Spur, *Keramik Bearbeitung*, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1989
5. R. Warren: *Ceramic-Matrix Composites* Blackie, Glasgow and London, 1992
6. S. Vasin, A. Vereschaka, B. Kushner: *Drehen der Werkstoffe*, Verband der MGTU von Baumann, 2001, ISBN 5-7038-1823-0.