УДК 621.762

П. І. Лобода, д-р техн. наук, проф.,
М. О. Сисоєв, асист.,
В. Р. Мула, студ.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМ MeB_2 – Me

Національний технічний університет України «КПІ»

Досліджено структуру та властивості металокерамічних композиційних покриттів, отриманих напіканням порошкових сумішей в полі температурного градієнту.

Вступ. Фізико-механічні властивості, а саме висока твердість, корозійна стійкість та стійкість до розплавів робить керамічні матеріали перспективними для використання в якості захисних покриттів [1]. Такими матеріалами можуть бути бориди. Основним їх недоліком є крихкість, яку можна усунути методами армування та створення керметів [2]. Більшість методів отримання композиційних покриттів передбачає напилення з подальшим оплавленням, що призводить до збільшення шорсткості поверхні та ускладнює подальшу механічну обробку готових виробів. Мінімізувавши нерівність поверхні покриття можна запобігти цим недолікам. В роботі отримані металокерамічні покриття методом електронно-променевого напікання шаруватих сумішей на сталеву основу.

Постановка задачі. Задачами роботи були: отримати покриття на основі боридів цирконію, титану методом електронно-променевого напікання порошкових сумішей в умовах швидкісного нагрівання та великого температурного градієнту; дослідити структуру та властивості отриманих покриттів.

Методика проведення експерименту. Вихідними матеріалами були порошки цирконію ТУ 48-4-234-84, диборидів цирконію ТУ 6-09-03-385-76 та титану ТУ 6-09-03-7-75, міді. В роботі використовували металографічний, дюрометричний аналіз, РЕМ, дослідження шорсткості та зносостійкості отриманих покриттів.

Обговорення результатів досліджень. Одним з методів отримання безпористих композиційних матеріалів без зміни геометричних розмірів в результаті термічної обробки є просочення. Для

цього необхідна реалізація двох умов: перша – кут змочування матеріалу каркасу легкоплавкою складовою повинен бути менше 90^{o}; друга – відсутність взаємодії між матеріалами. Драга умова забезпечить стабільність геометричних розмів покриття. Одним з матеріалів, що не взаємодіє з боридами є мідь. Однак для систем борид цирконію (титану) – мідь значення крайового кута змочування при температурі 1250 ºС становить 158º та 120º [3] відповідно, що унеможливлює процес просочення. По-друге, мідь має невисокі механічні властивості, що суттєво зменшить міцність композиційного матеріалу покриття, тому добавка цирконію до міді значно підвищує механічні властивості останньої [4].

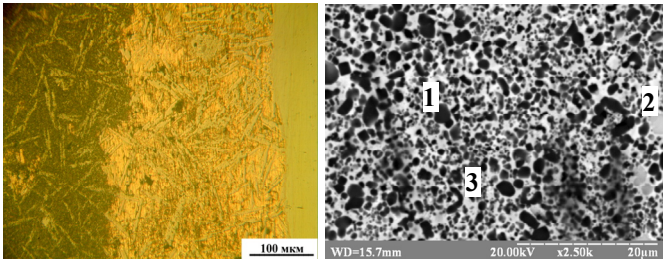
Експериментально було встановлено склад легкоплавкого матеріалу, який задовольняє поставленим вимогам – 88% Cu – 12% Zr, що відповідає евтектичному співвідношенню компонентів відповідно до діаграми стану Cu-Zr [5]. В результаті температура напікання була близько 1000^{o}C та реалізувався механізм просочення. Напікання проводили в електронно-променевій установці ЕЛА-6.

Металографічним аналізом встановлено, що в обох випадках мікроструктура покриття представляє композиційний матеріал матричного типу: в матриці з легкоплавкої складової знаходяться зерна дибориду рис. 1, 2.

Фазові складові композиційного покриття піддавалися локальному хімічному аналізу, результати якого представлені в табл.1.

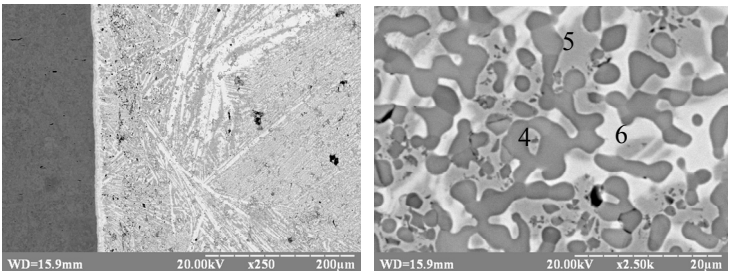
При дослідженні покриття системи TiB_2 – Cu-Zr було виявлено 3 фази. Як видно з табл. 1, темна фаза (точка *1* на рис. 1) – диборид титану; присутність невеликої кількості міді може пояснюватись дрібними розмірами дибориду титану і захопленням електронним зондом матеріалу матриці, оскільки хімічна взаємодія між диборидом та міддю відсутня [3]. Світла та сіра фаза (точка *2*, *3*) – фази на основі міді. Пористість матеріалу покриття менше 10%. Від основи вглиб матеріалу покриття в різних напрямках проросли волокнисті включення з легкоплавкої складової.

При аналізі структури покриття системи ZrB_2 – Cu-Zr на SEM, як і для покриття на основі дибориду титану, було виявлено 3 фази. Темна фаза (точка *4* на рис. 2) – диборид цирконію. Для покриття на основі ZrB_2 спостерігається припікання частинок дибориду і утворення видовжених ланцюгів.



а *б*

Рис. 1. Мікроструктура покриття системи TiB_2 – Cu-Zr:
а – границя розподілу, *б* – покриття



а *б*

Рис. 2. Мікроструктура покриття системи ZrB_2 – Cu-Zr:
а – границя розподілу, *б* – покриття

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу фазових складових композиційного покриття

Найменування фази	Вміст елементу, мас%				
	Ti	Fe	Cu	W	Zr
1	93,75	-	4,12	2,13	-
2	5	0,35	82,53	0,12	0,23
3	1,03	0,02	87,74	0,17	11,04
4	0,23	0,53	4,16	4,16	95,09
5	0,08	0,35	99,24	0,11	0,56
6	0,24	0,14	91,96	0,27	7,38

Таке явище пояснюється присутністю чистого цирконію в матеріалі легкоплавкої складової, який виступає активатором спікання. Утворення таких ланцюгів в свою чергу зміцнює диборидний каркас і перетворює композиційний матеріал матричного типу в композиційний матеріал каркасонаповненого типу. Сіра і світла фази (точки *5* і *6*, відповідно) – фази на основі міді. Така структура покриття, коли каркас з тугоплавкого бориду пронизаний волокнами легкоплавкої складової, на нашу думку, має задовільні механічні властивості, оскільки армування є одним з ефективних методів зміцнення матеріалів.

Для отриманих покриттів визначалась шорсткість поверхні покриття зняттям профілограми контактним методом. Для покриття на основі дибориду титану значення Ra не перевищує 19, мкм, а для дибориду цирконію – 6 мкм.

Механічні властивості покриттів визначались дюрометричним методом. Криві залежностей зміни мікротвердості по товщині покриття приведено на рис. 3.

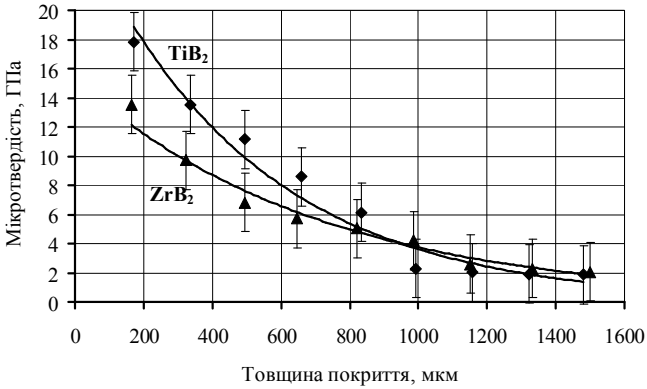
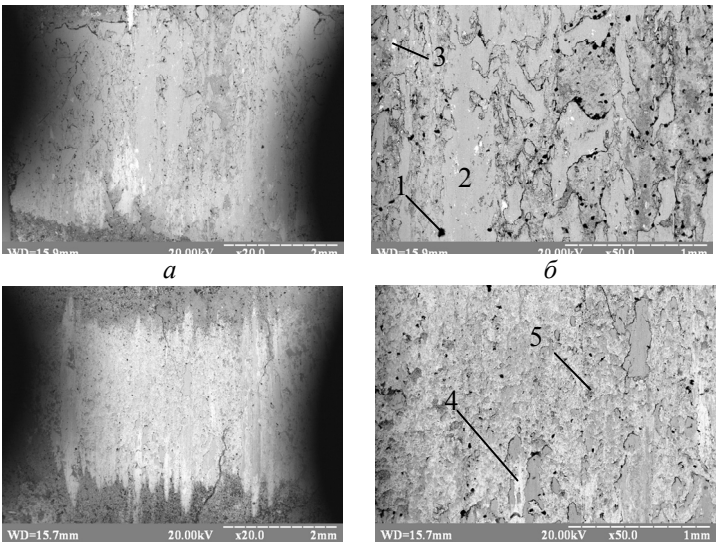


Рис. 3. Зміна мікротвердості по товщині покриття

Як видно з залежностей, мікротвердість композиційних покриттів відрізняється від твердості боридів і монотонно зменшується по мірі віддалення від поверхні покриття. Такий характер залежностей обумовлений тим, що поверхневі шари боридного каркасу при просоченні мають температуру значно більшу ніж сталева основа, що обумовлено особливостями електронно-променевої об-

робки матеріалів, тобто відбувається більш інтенсивне спікання поверхневого шару.

Отримані покриття досліджувались на зносостійкість. Топографії поверхонь тертя представлені на рис.4.



а *б*

в *г*

Рис. 4. Топографії поверхонь тертя композиційних покриттів:
а, б – покриття системи TiB_2 – Cu-Zr;
в, г – покриття системи ZrB_2 – Cu-Zr

Структура поверхні після тертя покриття на основі бориду титану (рис. 4) складається з трьох фаз, хімічний склад яких був визначений методом ЕДС (енергодисперсійного спектрального мікроаналізу). Фаза *1* – легкоплавка складова композиційного матеріалу; *2* – фаза на основі заліза, вміст якого складає 98%; *3* – диборид титану. Як бачимо, в процесі тертя майже вся контактуюча поверхня покриття вкривається залізом - матеріалом контртіла.

Для покриття на снові дибориду цирконію спостерігається інша картина – утворюються дві фази, одна з яких (точка *4* на рис. 4) – фаза на основі міді – 62%Cu – 35%Zr – 3%Fe; інша (точка *5* на рис. 4) – має склад 45%Cu – 45%Fe – 10%Zr. Тобто в процесі тертя відбувається утворення вторинних структур.

Порівняльна зносостійкість отриманих покриттів наведена на рис. 5.

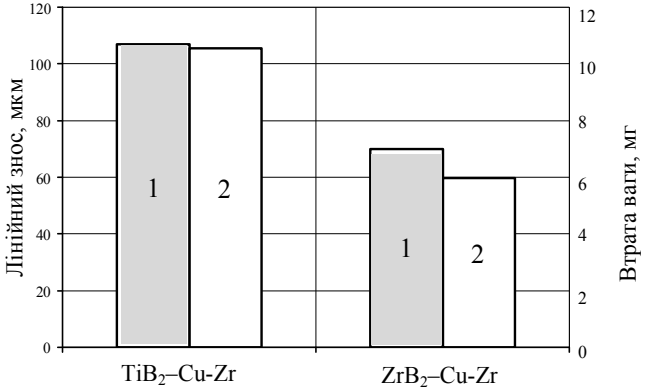


Рис. 5. Втрата маси та лінійне зношення композиційних покриттів:
1 – масове зношення, мг; *2* – лінійне зношення, мкм

Коефіцієнт тертя для покриттів систем TiB_2 – Cu-Zr та ZrB_2–Cu-Zr становить 0,7 та 0,5 відповідно. Боридний каркас, що утворився в покритті на основі дибориду цирконію підвищує міцність матеріалу та чинить опір зношуванню, тому дана система має вищу зносостійкість, не зважаючи на меншу твердість композиційного покриття.

Отже сформовані таким чином покриття на основі порошків тугоплавких сполук мають твердість на рівні 14–18 ГПа, дрібнозернисту структуру, високу зносостійкість та точність геометричних розмірів, що потребує лише незначної фінішної обробки шліфуванням.

Список літератури

1. *Самсонов Г.В.* / Тугоплавкие покрытия. Г.В. Самсонов, А.П. Эпик. – М: «Металлургия», 1973. – 379 с.

2. *Керметы* / [Кислый П.С., Боднарук Н.И., М.С.Боровикова и др.]; под. ред. П.С.Кислого. – К.: «Наукова думка», 1985. – 270 с.

3. *Панасюк А.Д.* Стойкость неметаллических материалов в расплавах: [справочник] / А.Д. Панасюк, В.С. Фоменко, Г.Г. Глебова: – К.: «Наукова думка», 1986. –339 с.

4. *Цирконий* и его сплавы: технологии производства, области применения: [обзор] / [В.М.Ажажа, П.Н.Вьюгов, С.Д.Лавриненко и др.] // - Харьков.: ННЦ ХФТИ, 1998. – 189 с.

5. *Диаграммы состояния* двойных металлических систем: [справочник в 3 т.] / ред. Н.П.Лякишева, – М.: Машиностроение, Т.2, 1996. – 1024 с.

Лобода П.И., Сысоев М.А., Мула В.Р. **Структура и свойства композиционных покрытий системы MeB_2 – Me** // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 57. –С.219–225.

Исследовано структуру и свойства металлокерамических композиционных покрытий полученных напеканием порошковых смесей в поле температурного градиента.

Табл. 1, рис. 5, список лит.: 5 наим.

Loboda P.I., Sysoyev M.O., Mula V.R. **Structure and properties of composition coatings of systems MeB_2 – Me.**

The structure and properties of metal-ceramic composite coatings obtained by sintering of powder mixtures in the temperature gradient was investigated.

Ключові слова: покриття, температурний градієнт, структура, зносостійкість, механічні властивості.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2012