

О. П. Уманський, О. М. Полярус, М. С. Українець\*

## ОСОБЛИВОСТІ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В СИСТЕМІ NiAl—CrB<sub>2</sub>

Досліджено змочуваність та вивчено особливості контактної взаємодії в системі NiAl—CrB<sub>2</sub>. Встановлено, що в процесі змочування на поверхні дибориду хрому відбувається повне розтікання інтерметаліду з утворенням нульових контактних кутів. Проаналізовано фазовий та хімічний склад продуктів зони взаємодії в досліджуваній системі. Виявлено, що, окрім вихідних компонентів, в системі NiAl—CrB<sub>2</sub> спостерігається формування додаткової зміцнюючої фази Ni—Cr—В.

*Ключові слова:* інтерметалід, NiAl, диборид хрому, змочування, контактні кути, зона взаємодії, мікроструктура.

### Вступ

Інтерметалід NiAl широко використовується в якості жаростійких покриттів для формування захисних шарів на робочих поверхнях деталей. Однак перспективною є розробка композиційних порошкових матеріалів на основі інтерметаліду з домішками тугоплавких боридів, що дозволить суттєво розширити галузі застосування даних матеріалів [1—9]. При цьому особливу увагу необхідно приділити вивченню особливостей фізико-хімічної сумісності інтерметаліду з боридами, зокрема з диборидом хрому.

Раніше нами встановлено [6], що інтерметалід NiAl розтікається по поверхні ZrB<sub>2</sub> з утворенням контактних кутів  $\theta = 20^\circ$ , для TiB<sub>2</sub> контактний кут змочування становить  $11^\circ$ . При змочуванні дибориду хрому інтерметалідом  $\theta \approx 0^\circ$ . Тому метою даної роботи є дослідження особливостей міжфазної взаємодії та структуроутворення в системі NiAl—CrB<sub>2</sub>.

### Матеріали та методика експерименту

Для проведення структурних досліджень контактної зони взаємодії в системі NiAl—CrB<sub>2</sub> після змочування отримано металографічні шліфи поперечного перетину зразків за стандартною методикою. Мікроструктуру і хімічний склад зон взаємодії досліджували на мікроаналізаторі JEOL JAMP-9500F (JEOL, Японія).

### Результати досліджень та їх обговорення

Мікроструктура поперечного перерізу шліфа після змочування складається з трьох основних зон: I — приповерхнева зона активної

---

\* О. П. Уманський — доктор технічних наук, професор, зав. відділом, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ; О. М. Полярус — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник цієї ж установи; М. С. Українець — молодший науковий співробітник цієї ж установи.

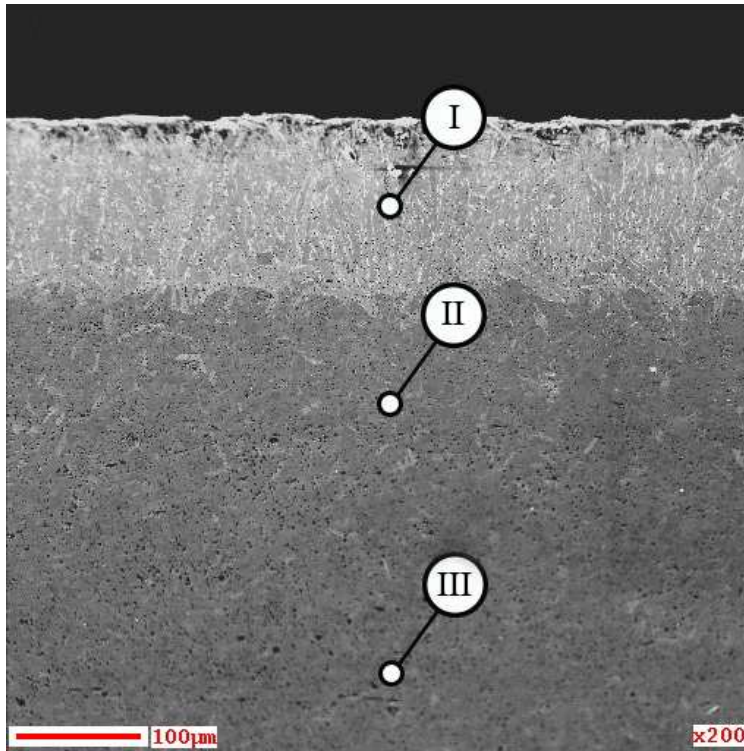


Рис. 1. Мікроструктура поперечного перерізу шліфа після змочування в системі NiAl—CrB<sub>2</sub>: I — приповерхнева зона активної взаємодії; II — зона CrB<sub>2</sub>, легована Ni, Al, B, Cr; III — підкладка CrB<sub>2</sub>

Fig. 1. Microstructure of sample cross section obtained after wetting in NiAl—CrB<sub>2</sub> system: I — “near surface” active interaction zone; II — CrB<sub>2</sub> zone, alloyed by Ni, Al, B, Cr; III — CrB<sub>2</sub>

взаємодії; II — зона CrB<sub>2</sub>, легована Ni, Al, B, Cr; III — підкладка CrB<sub>2</sub> (рис. 1)

Мікроструктура приповерхневої зони (I) системи NiAl—CrB<sub>2</sub> характеризується активною взаємодією компонентів твердої та рідкої фаз. Глибина цієї зони взаємодії складає 150—200 мкм і навіть при незначному ( $\times 200$ ) збільшенні спостерігається утворення нових фаз у вигляді хаотично розміщених витягнутих зерен світло-сірої фази (рис. 2).

Методами Оже-аналізу встановлено, що біла фаза відповідає алюмініду нікелю (рис. 3, *a*), а темно-сіра — бориду хрому (рис. 3, *b*). Новоутворена стовпчаста світло-сіра фаза, згідно з отриманими даними, складається з Ni, B і Cr, на що вказує наявність відповідних піків на Оже-кривій (рис. 3, *в*).

Методами МРСА та РФА також підтверджується утворення нової боридної фази. Результати наведено в таблиці.

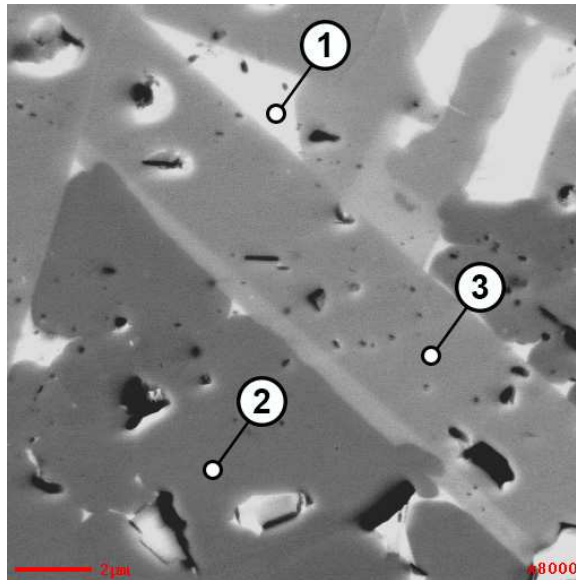


Рис. 2. Мікроструктура приповерхневої зони взаємодії (I) в системі NiAl—CrB<sub>2</sub>: 1 — біла фаза; 2 — темно-сіра; 3 — світло-сіра

Fig. 2. Microstructure of “near surface” active interaction zone (I) of NiAl—CrB<sub>2</sub> system: 1 — white phase; 2 — dark grey; 3 — light grey

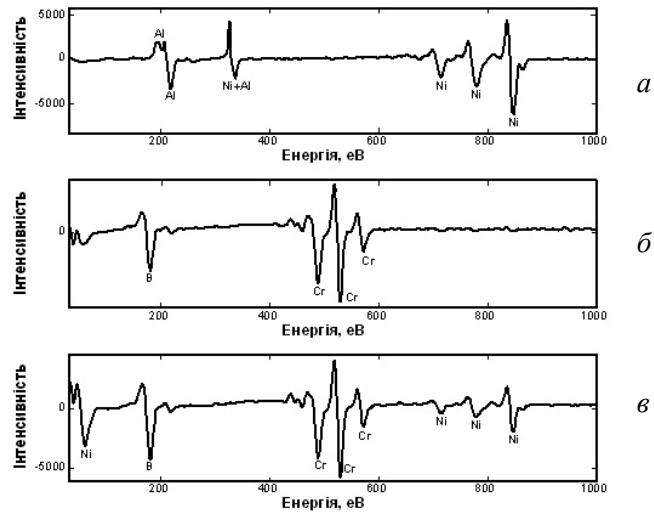


Рис. 3. Результати Оже-аналізу розподілу хімічних елементів в зоні взаємодії системи NiAl—CrB<sub>2</sub>

Fig. 3. Results of Auger-analysis of chemical elements distribution in interaction zone of NiAl—CrB<sub>2</sub> system

Хімічний склад зони взаємодії системи NiAl—CrB<sub>2</sub> (рис. 2)

Chemical content of NiAl—CrB<sub>2</sub> interaction zone (fig. 2)

Фаза	Вміст елементу, % (ат.)				Фазовий склад
	B	Al	Cr	Ni	
1	—	37	—	63	NiAl
2	66	—	34	—	CrB <sub>2</sub>
3	56,79	—	40,71	2,5	Ni—Cr—B

Фаза 3 є результатом взаємодії нікелю, хрому та бору. Враховуючи співвідношення між складовими елементами зони взаємодії системи NiAl—CrB<sub>2</sub>, можна зробити висновок, що дана фаза, очевидно, є твердим розчином заміщення Ni в CrB<sub>2</sub>. Другою характерною зоною в системі NiAl—CrB<sub>2</sub> є зона CrB<sub>2</sub>, легована Ni (рис. 4). Мікроаналіз даної зони на відстані ~230 мкм від поверхні показав існування фази CrB<sub>2</sub> з незначним вмістом розчиненого в ній нікелю (<2% (ат.)) (рис. 4, 2). В даній зоні також виявлено поодинокі ділянки Ni (рис. 4, 1), що підтверджується результатами Оже-досліджень (рис. 5).

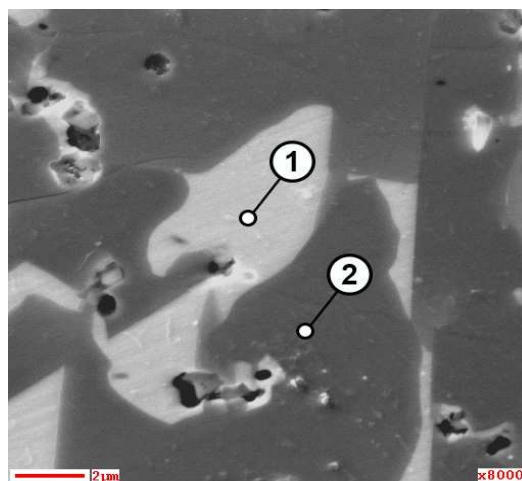


Рис. 4. Мікροструктура зони взаємодії (II) в системі NiAl—CrB<sub>2</sub>: 1 — включення Ni; 2 — CrB<sub>2</sub>, легована Ni

Fig. 4. Microstructure of interaction zone (II) of NiAl—CrB<sub>2</sub> system: 1 — Ni inclusions; 2 — CrB<sub>2</sub> alloyed by Ni.

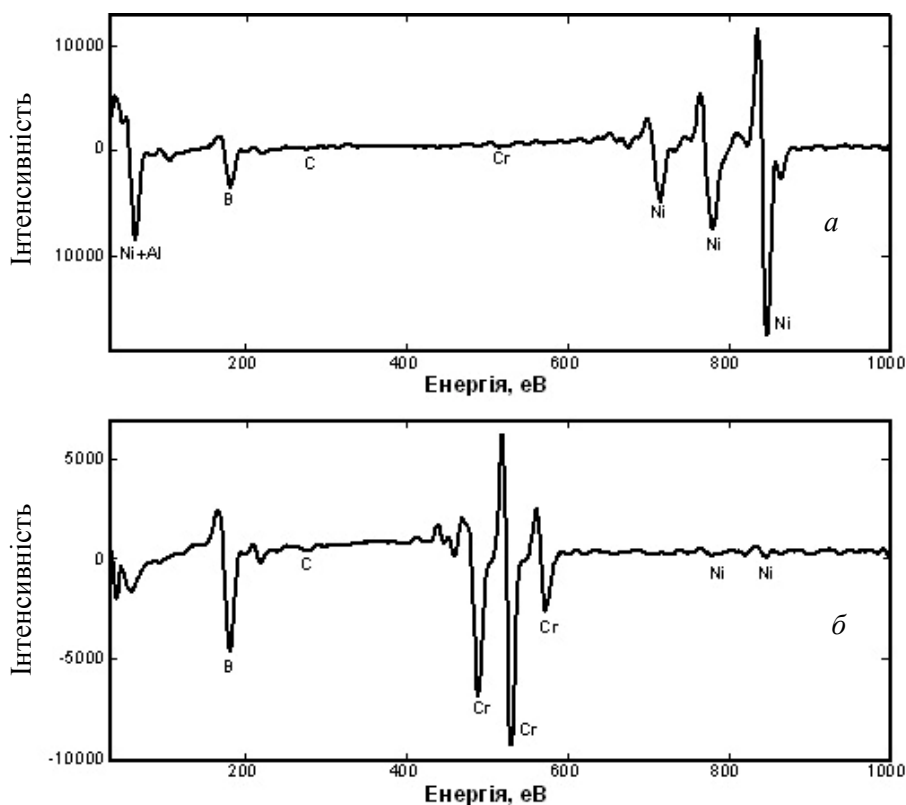


Рис. 5. Результати Оже-аналізу розподілу хімічних елементів в зоні взаємодії (II) системи NiAl—CrB<sub>2</sub>: *a* — включення Ni; *б* — CrB<sub>2</sub>, легована Ni

Fig. 5. Results of Auger-analysis of chemical elements propagation in interaction zone (II) of NiAl—CrB<sub>2</sub> system: *a* — Ni inclusions; *b* — CrB<sub>2</sub> alloyed by Ni.

На глибині ~260 мкм не спостерігається включень Ni, а фіксується лише фаза, що відповідає дибориду хрому.

Таким чином, встановлено, що в процесі контактної взаємодії в системі NiAl—CrB<sub>2</sub> утворюються нульові контактні кути, а міжфазна границя характеризується активною взаємодією компонентів твердої та рідкої фаз з появою нової боридної фази. Формування такої фази може чинити позитивний вплив при створенні композиційних порошкових матеріалів для газотермічних покриттів, оскільки буде сприяти їх зміцненню. Це може значно розширити галузі застосування інтерметалідних покриттів на деталях, які працюють в умовах високих температур та навантажень.

### **Висновки**

Досліджено особливості міжфазної взаємодії та структуроутворення в системі NiAl—CrB<sub>2</sub>. Встановлено, що при змочуванні дибориду хрому

інтерметалідом NiAl відбувається повне розтікання інтерметаліду по поверхні тугоплавкої підкладки з утворенням нульових контактних кутів. Проаналізовано фазовий та хімічний склад продуктів зони взаємодії в досліджуваній системі. Виявлено, що міжфазна границя характеризується активною взаємодією компонентів твердої та рідкої фаз з утворенням нової боридної фази Ni—Cr—B. Формування такої фази може чинити позитивний вплив при створенні нових композиційних порошкових матеріалів для нанесення газотермічних покриттів, оскільки буде сприяти зміцненню таких покриттів при їх роботі в умовах високих температур та навантажень.

**РЕЗЮМЕ.** Исследована смачиваемость и изучены особенности контактного взаимодействия в системе NiAl—CrB<sub>2</sub>. Установлено, что в процессе смачивания на поверхности дихорида хрома происходит полное растекание интерметаллида с образованием нулевых контактных углов. Проанализирован фазовый и химический состав продуктов зоны взаимодействия в исследованной системе. Выявлено, что, помимо исходных компонентов, в системе NiAl—CrB<sub>2</sub> наблюдается образование дополнительной упрочняющей боридной фазы Ni—Cr—B.

**Ключевые слова:** интерметаллид NiAl, дихорид хрома, смачивание, контактные углы, зона взаимодействия, микроструктура.

1. Уманский А. П. Влияние состава покрытий на основе интерметаллидов никеля на механизмы их изнашивания в условиях высокотемпературных трибоиспытаний / [А. П. Уманский, Е. Н. Полярус, А. Д. Костенко, А. Е. Терентьев] // Проблемы трибологии. — 2012. — № 3. — С. 123—127.
2. Umanskyi O. Effect of ZrB<sub>2</sub>, CrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub> additives on the tribological characteristics of NiAl—based gas—thermal coatings / [O. Umanskyi, O. Poliarus, M. Ukrainets, I. Martsenyuk] // Key Engineering Mater. — 2014. — **604**. — P. 20—23.
3. Уманский А. П. Влияние добавок тугоплавких боридов на механизмы изнашивания плазменных покрытий на основе интерметаллида NiAl / [А. П. Уманский, Е. Н. Полярус, А. Д. Костенко, М. С. Украинец] // Проблемы трибологии. — 2014. — № 1. — С. 46—52.
4. Уманский А. П. Структура и триботехнические характеристики композиционных материалов и покрытий из них на основе системы NiAl—CrB<sub>2</sub> / [А. П. Уманский, Е. Н. Полярус, М. С. Украинец, Л. М. Капитанчук] // Порошковая металлургия. — 2015. — № 1/2 (501). — С. 65—73.
5. Уманский А. П. Исследование структуры, физико-химических свойств и триботехнических характеристик композиционных материалов системы NiAl—ZrB<sub>2</sub> / [А. П. Уманский, Е. Н. Полярус, М. С. Украинец и др.] // Сверхтвердые материалы. — 2015. — № 4. — С. 53—62.
6. Umanskyi O. Physical-chemical interaction in NiAl—MeB<sub>2</sub> systems intended for tribological applications / [O. Umanskyi, O. Poliarus,

- М. Ukrainets, М. Antonov] // Welding J. — 2015. — **94**. — P. 225—230.
7. Полярус О. М. Корозійна стійкість композиційних матеріалів на основі інтерметалідів у морській воді / [О. М. Полярус, О. П. Уманський, В. М. Талаш, С. М. Чернега] // Металознавство та обробка металів. — 2015. — № 4 (76). — С. 24—30.
  8. Umanskyi O. High temperature sliding wear of NiAl-based coatings reinforced by borides / [O. Umanskyi, O. Poliarus, M. Ukrainets et al.] // Mater. Sci. (MEDŽIAGOTYRA). — 2016. — **22**, No. 1. — P. 49—53.
  9. Лавренко В. А. Коррозионная стойкость композиционных материалов системы NiAl—CrB<sub>2</sub> в морской воде / [В. А. Лавренко, А. П. Уманский, Е. Н. Полярус и др.] // Порошковая металлургия. — 2016. — № 3/4. — С. 90—96.

Надійшла 14.12.15

**Umanskyi O., Poliarus O., Ukrainets M.**

**Features of contact interaction and structure formation in NiAl—CrB<sub>2</sub> system**

The peculiarities of wetting and contact interaction in the NiAl—CrB<sub>2</sub> system were studied. It has been investigated that during the wetting the drop is completely spread out on the surface with formation of zero contact angles. The phases and chemical composition of the interaction products in the studied system was determined. On NiAl—CrB<sub>2</sub> system the formation of additional strengthening boride phase Ni—Cr—B was identified.

**Keywords:** NiAl intermetallic, chromium diboride, wetting, contact angles, interaction zone, microstructure.