

УДК 621.762

**В. Ковбашин<sup>1</sup>, к. х. н., доц., І. Бочар<sup>2</sup>, к. т. н., доц.**

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<sup>2</sup>Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАХИСНОЇ КОМПОЗИЦІЇ НАНЕСЕНОЇ НА ПОВЕРХНЮ РЕАКЦІЙНО-СПЕЧЕНИХ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Vasiliy Kovbashyn<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof.; Igor Bochar<sup>2</sup>, Ph.D., Assoc. Prof.**

### TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF FORMING THE DIFFUSIVE BORID COVERAGE ON SILICON CARBIDE AND MOLYBDENUM DISILICID

Технологічний процес дифузійного силіціювання реакційно-спеченого карбїду кремнію та дисиліциду молібдену не забезпечує повного зв'язування шкідливих домішок, які утворюються в матеріалі при одержанні виробів. Наявність шкідливих домішок, зокрема, диоксиду кремнію призводить до значного погіршення технологічних та експлуатаційних параметрів  $SiC$  і  $MoSi_2$ .

Одним із перспективних напрямків покращення фізико-хімічних властивостей реакційно-спечених керамічних матеріалів є дифузійне насичення бором, у результаті чого утворюються бориди кремнію, які володіють високою окалинотійкістю, що поєднується з великим опором тепловому удару. Вони хімічно пасивні і мають добру випромінювальну здатність та хороші термоелектричні параметрами, що покращує фізико-хімічні властивості реакційно-спечених керамічних матеріалів. Перспективною, на наш погляд, є технологія порошкового методу борування карбїду кремнію і дисиліциду молібдену для зв'язування кремнію та інших шкідливих домішок. У зв'язку з цим було вивчено процес дифузійного насичення  $SiC$  та  $MoSi_2$  бором.

Технологічний процес борування карбїду кремнію та дисиліциду молібдену проводили у контейнерах з плавким затвором у порошковій суміші, яка містила аморфний бор, фтористий активатор і оксид алюмінію. Концентрацію аморфного бору змінювали від 5 до 40 %, а процес насичення відбувався при температурі 1000-1200 °C протягом 2-12 годин.

Дослідження технології борування неметалевих реакційно-спечених матеріалів залежно від концентрації аморфного бору в порошковій суміші показало, що насичувальна здатність такої суміші зростає при вмісті дифузанта в середовищі до 20 %. Подальше збільшення кількості аморфного бору істотно не впливає на швидкість борування  $SiC$  та  $MoSi_2$ , про що свідчать величини питомого приросту маси зразків. За даними проведеного рентгенофазового аналізу, тонкий шар товщиною до 50 мкм, який утворюється на поверхні карбїду кремнію та дисиліциду молібдену, являє собою хімічну сполуку - гексаборид кремнію ( $SiB_6$ ). Із збільшенням концентрації бору (понад 20%) товщина шару  $SiB_6$  дуже повільно зростає, а підвищення концентрації бору (30 % і більше) істотно не впливає на зміну маси зразків. Напевно, утворення фази  $SiB_6$  гальмує процес насичення і особливо бар'єрні властивості гексабориду кремнію проявляються на карбїді кремнію. Збільшення вмісту аморфного бору значно погіршує якість зразків і призводить до спікання суміші, що в свою чергу перешкоджає їх видаленню з контейнера. Таким чином, дифузійне борування карбїду кремнію та дисиліциду молібдену найдоцільніше проводити у суміші, яка містить не більше 20 % аморфного бору.

Із підвищенням температури процесу насичувальна здатність суміші зростає, внаслідок чого питомий приріст ваги зразків збільшується. Насичення реакційно-спечених керамічних неметалевих матеріалів при температурі понад 1100 °C

призводить до припікання порошкової суміші до поверхні зразків та її спікання, тому температура борування  $SiC$  та  $MoSi_2$  не повинна перевищувати  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для інтенсифікації процесу борування реакційно-спечених керамічних матеріалів використовували активатори  $NaF$  і  $AlF_3$  концентрацію яких змінювали від 1 до 10 %. При вмісті активаторів до 3 % швидкість насичення карбіду кремнію та дисиліциду молібдену приблизно однакова, що підтверджується величинами питомого приросту маси зразків. Подальше підвищення концентрації  $NaF$  і  $AlF_3$  (понад 3 %) забезпечує різкий ріст ваги зразків, особливо це спостерігається на дисиліциді молібдену, а питомий приріст ваги зразків карбіду кремнію зростає незначно. Збільшення вмісту активаторів ( $NaF$  і  $AlF_3$ ) у боридному середовищі призводить до підвищення його насичувальної здатності, але при цьому відбувається припікання суміші до поверхні зразків та її спікання. Використання насичувальних середовищ, які містять понад 3 % фтористих активаторів, недоцільно, тому, що видаляти зразки з контейнера майже неможливо. Таким чином, борування  $SiC$  та  $MoSi_2$  рекомендується проводити в сумішах, які містять не більше 3 % фтористого активатора.

Дифузійне насичення металів і сплавів у водневих середовищах забезпечує високу швидкість насичення та добру якість оброблюваної поверхні. У зв'язку з цим, цікаво було дослідити можливість використання в якості активуючої добавки гідриду титану, який при температурі насичення розкладається з утворенням атомарного водню. Дослідження технологічного процесу борування керамічних матеріалів на основі карбіду кремнію та дисиліциду молібдену з використанням гідриду титану показало, що введення в суміш від 1 до 10 %  $TiH_2$  істотно впливає на швидкість процесу насичення. Із збільшенням вмісту в порошковому середовищі гідриду титану насичувальна здатність суміші зростає в 1,5 рази порівняно з використанням фтористих активаторів. Насичення  $SiC$  та  $MoSi_2$  у сумішах, які містять 10 % і більше гідриду титану призводить до розгерметизації контейнера та порушення процесу насичення. Тому найдоцільніше використовувати суміші, які містять до 7 % гідриду титану.

Аналіз одержаних результатів дає підстави зробити висновок, що для інтенсифікації процесу борування реакційно-спечених керамічних матеріалів у насичувальне середовище необхідно вводити як активуючу добавку фтористий активатор і гідрид титану. Для визначення ефективності спільної дії фтористого активатора та  $TiH_2$  вивчався процес насичення  $SiC$  та  $MoSi_2$  в сумішах, які містять 20 % аморфного бору та 1, 3 і 5 % фтористого активатора, а кількість гідриду титану у всіх дослідках була постійною (7 %). Встановлено, що найкраща насичувальна здатність боридної суміші досягається при використанні 3 %  $NaF$  і 7 %  $TiH_2$ , про що свідчать величини питомого приросту маси зразків реакційно-спеченого карбіду кремнію та дисиліциду молібдену.

Вивчення впливу часу на швидкість процесу борування реакційно-спечених керамічних матеріалів показало, що оптимальна тривалість насичення є від 2 до 12 годин. Борування  $SiC$  та  $MoSi_2$  тривалістю понад 12 годин призводить до спікання суміші, що перешкоджає видаленню зразків із контейнера.

Насичувальна здатність боридної суміші істотно зростає при введенні в неї фтористого натрію та гідриду титану. Вони забезпечують масоперенесення дифундуючого елемента з порошкової суміші до поверхні матеріалу внаслідок формування насичувального елемента з наступним диспропорціонуванням і утворенням бору, який дифундує в глибину зразка і взаємодіє з домішками, у результаті чого утворюється гексаборид кремнію.