

УДК 621.762

**В. Ковбашин, канд. хім. наук, доц., І. Бочар, канд. тех. наук, 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.**

### **RESEARCH OF PROPERTIES OF PROTECTIVE COMPOSITION OF INFLICTED ON SURFACE REACTIONARY SINTERED CERAMIC MATERIALS**

Властивості реакційно-спечених керамічних матеріалів можна суттєво змінити шляхом використання дифузійно-шлікерного захисного покриття. Розробляючи склад такого покриття необхідно враховувати ряд факторів, зокрема, не тільки дію середовища в якому дане покриття використовується, але й фізико-хімічні процеси, які відбуваються на межі – дифузійне покриття-шлікерний шар. Вирішення даної проблеми є дуже актуальним для захисту реакційно-спечених керамічних матеріалів під час високотемпературної газової корозії.

Дослідження стабільності захисного покриття на карбіді кремнію та дисиліциді молібдену в інертному середовищі аргону в інтервалі температур 1200-1500 °С (для SiC) і 1500-1800 °С (для MoSi<sub>2</sub>) показало, що гексаборид кремнію майже не взаємодіє з шлікерним покриттям. Як показали результати мікрорентгеноспектрального аналізу в при поверхневих шарах гексабориду кремнію та силіцид-оксидного покриття, а також на межі – дифузійне покриття-шлікерний шар не спостерігається поява та утворення нових фаз. Зменшення питомої втрати ваги зразків з нанесеним багатошаровим покриттям відбувається у 3-4 рази повільніше, ніж непокритих і у 1,5-2 рази повільніше, ніж зразків з нанесеним силікоборидним шаром. Зменшення питомого приросту ваги описується лінійним законом, а це свідчить про те, що використання дифузійно-шлікерного покриття призупиняє втрату ваги. Відбувається пригальмовування дифузійних процесів на поверхні силікоборидного покриття, висока дифузійна активність атомів кремнію та бору зупиняється за рахунок інертності тугоплавких оксидів.

Таким чином, наявність дифузійно-шлікерного шару значно підвищує стабільність силікоборидного покриття, зовсім виключаючи взаємодію гексабориду кремнію з навколишнім середовищем. Всі дифузійні процеси на межі дифузійний–шлікерний шар призупинені. Окислення при високій температурі силікоборидного покриття призводить до фазових і структурних змін. Для того щоб, щоб дані зміни були мінімальними, на поверхню дифузійного покриття наносять шлікерний шар з тугоплавких оксидів. Також виникла необхідність дослідити жаростійкість багатошарового покриття на керамічній основі в інтервалі температур 1400-1500 °С для карборунду та 1500-1650 °С для дисиліциду молібдену. Кінетику окислення ми визначали ефектом повної інертності тугоплавких оксидів за відношенням до атомів кисню. У процесі визначення зміни питомого приросту ваги під час газової корозії зразки зважувалися до і після випробувань. Результати досліджень характеризують повільне збільшення ваги карборундових зразків на всьому інтервалі температур та при досягненні температури 1500 °С і більше інтенсивність окислення зростає. Над поверхнею виділяється білявий газ (SiO<sub>2</sub>), у місцях його появи утворюються пори і тріщини. Зростання інтенсивності випаровування диоксиду кремнію при температурі 1550 °С призводить до втрати властивостей дифузійно-шлікерного покриття само заліковування. Спостерігається катастрофічне руйнування композиційного покриття і

вигорання самого матеріалу. Це пов'язано із високою дифузійною активністю атомів кремнію та руйнуванням основи кераміки. Утворення газу диоксиду кремнію відбувається в самому матеріалі, а при його виході на поверхню утворюються канали для проникнення кисню з газового середовища і покриття втрачає захисні властивості.

Збільшення тривалості окислення від 40 до 160 годин при температурах 1450 і 1500 °С призводить до росту ваги карборундових зразків. Якщо при температурі 1450 °С захисне багат шарове покриття майже повністю захищає кераміку від окислення, то при температурі 1500 °С, із збільшенням тривалості процесу окислення, дифузійно-шлікерне покриття починає поступово втрачати захисні властивості. Такого навантаження не витримує сам матеріал і руйнування починається з середини.

Аналіз одержаних результатів показує, що збільшення питомого приросту ваги дисиліцид молібденових зразків під час окислення відбувається поступово із зростанням температури, при температурі 1600 °С і вище інтенсивність окислення росте. Утворення газу над поверхнею спостерігається при температурі 1650 °С, а наступне підвищення температури призводить до появи мікропор і тріщин, покриття починає відлущуватися. На окремих ділянках покриття відокремлюється, що призводить до катастрофічного руйнування дифузійно-шлікерного покриття. Оскільки окремі ділянки керамічних виробів стають незахищеними, то при високотемпературній газовій корозії відбувається вигорання керамічної основи і дисиліцид молібдену стає непридатним для подальшого використання.

Зі збільшенням тривалості процесу окислення від 40 до 100 годин при температурі 1600 °С і 1650 °С вага дисиліцид молібденових зразків поступово росте. Зміна питомого приросту ваги описується лінійним законом, причому із збільшенням експозиції вага різко зростає. Якщо при температурі 1600 °С композиційне покриття здатне захистити дисиліцид молібдену від газової корозії, то при температурі 1650 °С спостерігається поступова, наростаюча втрата захисних властивостей багат шарового покриття. Результати проведеного мікрорентгеноспектрального аналізу дифузійно-шлікерного жаростійкого покриття показують, що після 12-и годинного високотемпературного окислення концентрація елементів захисного шару майже не змінюється.

Наступним етапом нашого дослідження було вивчення впливу багаторазової зміни процесів нагрівання та охолодження зразків на якість дифузійно-шлікерного покриття під час високотемпературної газової корозії. Як показали результати наших досліджень, багаторазове (для  $SiC$  - 30 циклів при температурі 1400 °С, для  $MoSi_2$  - 20 циклів при температурі 1600 °С, тривалість циклу 8 годин) нагрівання і охолодження зразків не погіршує пластичності захисного покриття, що зумовлено здатністю шлікерного покриття само заліковуватися в місцях утворення тріщин і мікропор завдяки наявності в ньому дисиліцид молібдену.

**Висновок.** Проведені експериментальні дослідження дають підстави стверджувати, що одночасне використання дифузійного і шлікерного покриття максимально захищає реакційно-спечені керамічні матеріали від високотемпературної газової корозії. Нанесена на поверхню керамічних матеріалів захищена композиція дає можливість витримувати багаторазову зміну температурного режиму. Проведені дослідження свідчать про те, що для захисту карбіду кремнію та дисиліциду молібдену, зокрема, при високотемпературній експлуатації, слід використовувати дифузійно-шлікерне покриття, яке забезпечує значне збільшення ресурсу роботи керамічних матеріалів.