

**А.О. Макудера^{1*},
О.В. Дуднік¹,
С.М. Лакиза^{1,2},
В.П. Редько¹
М.І. Гречанюк¹**

СКЛАДНО-КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО ПОРОШКУ ZrO_2

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України Україна, 03142, Київ,
вул. Омеляна Пріцака, 3

*E-mail: alina.makudera@gmail.com

²ENSEMBLE 3 Центр передового досвіду з нанофотоніки, передових матеріалів та нових
технологій, заснованих на вирощуванні кристалів, Варшава, Польща

Анотація

Термобар'єрні покриття (ТБП) призначені для зниження температури та захисту лопаток газових турбін від впливу високотемпературних газових потоків у процесі експлуатації. Для розробки новітніх покриттів, з метою їх використання при підвищених температурах (1600 °C), досліджено фізико-хімічні властивості складнокомпозиційних матеріалів на основі твердих розчинів ZrO_2 , легованого концентратом оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи природнього походження (БК). Обрано склади, що вміщують 10, 20 та 30(мас.%) БК, які піддавались термообробці при температурі 1400 °C протягом 12, 16 та 20 годин. Фазовий склад зразків досліджено методом рентгенофазового аналізу (Rigaku SmartLab 3kW Diffractometer).

Ключові слова: діоксид цирконію, оксиди РЗЕ, ТБП, фазові перетворення

Термобар'єрні покриття (ТБП) призначені для зниження температури та захисту лопаток газових турбін від впливу високотемпературних газових потоків у процесі експлуатації. Широко вивчений і використовуваний матеріал верхнього шару ТБП – твердий розчин на основі ZrO_2 , стабілізованого 6 – 8 мас. % Y_2O_3 (YSZ), який характеризується низькою теплопровідністю та відносно високим коефіцієнтом термічного розширення, проте наближається до температурної межі свого застосування (< 1200 °C) через спікання та фазові перетворення t'-фаза $ZrO_2 \rightarrow T-ZrO_2 + F-ZrO_2$ з подальшим утворенням M- ZrO_2 при пониженні температури.

Для підвищення температури експлуатації ГТД, розробки нових матеріалів ТБП на основі твердих розчинів ZrO_2 наразі пов'язані з модифікацією їх складу завдяки частковому або повному заміщенню Y_2O_3 оксидами рідкісноземельних елементів. Для мікроструктурного проектування високодефектних складно-композиційних шарів ТБП на основі ZrO_2 представляють інтерес концентрати оксидів РЗЕ природнього походження, які утворюються в процесі переробки апатитових руд [1].

Для дослідження використано нанокристалічний порошок ZrO_2 , виробництва КНР ($LZrO_2$) та порошок суміші оксидів РЗЕ ітрієвої підгрупи (БК) складу (мас.%): Y_2O_3 – 13,3; Tb_4O_7 – 1.22; Dy_2O_3 – 33.2; Ho_2O_3 – 8.9; Er_2O_3 – 21.8; Tm_2O_3 – 1.86; Yb_2O_3 – 12.5; Lu_2O_3 – 0.57; сумарний вміст інших оксидів – 6.65 (у тому числі Al_2O_3 – 3,2), що утворилась при виробництві мінеральних добрив з апатитових руд.

Для проведення експериментів визначено фізико-хімічні властивості вихідних порошків ZrO_2 і суміші оксидів РЗЕ (БК) та досліджено склади (мас. %) 90 ZrO_2 – 10 БК (90-10), 80 ZrO_2 – 20 БК (80-20) і 70 ZrO_2 – 30 БК (70-30).

Для виготовлення складно-композиційних сумішей порошки ZrO_2 та суміші оксидів РЗЕ змішано в лабораторному шаровому млині у середовищі ізопропілового спирту протягом 8 годин. Застосовано мелночі тіла з ZrO_2 . Після змішування порошки ZrO_2 /БК висушено у повітрі у сушильній шафі SNOOL 58/350 при 80 °C протягом 10 годин. Зразки сформовано на гідравлічному пресі у вигляді таблеток діаметром 20 мм та висотою 5-6 мм. Термічну обробку

зразків $\text{ZrO}_2/\text{ВК}$ проведено у печі Nabertherm GmbH LHT 08/17 при 1400°C протягом 12, 16 та 20 год. у корундових тиглях.

Фазовий склад вихідних та складно-композиційних ($\text{ZrO}_2/\text{ВК}$) зразків після різних термінів термообробки досліджено методом рентгенофазового аналізу (Rigaku SmartLab 3kW Diffractometer).

Встановлено, що після термічної обробки утворилась суміш моноклінного (M-ZrO_2) та кубічного (F-ZrO_2) твердих розчинів на основі ZrO_2 . Зі збільшенням кількості ВК вміст F-ZrO_2 в сумішах становить: 90-10 ~ 25%, 80-20 ~ 70%, 70-30 ~ 98% незалежно від терміну витримки при 1400°C . Середній розмір первинних частинок F-ZrO_2 змінюється від 37 нм до 53 нм. При збільшенні вмісту ВК поруватість зразків підвищується від 33% до 45%, але також не залежить від терміну витримки. Результати свідчать про незначну спікливість досліджених матеріалів при 1400°C .

Одержані результати показують перспективність використання ВК при розробці керамічних шарів для новітніх ТБП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайлов В. А., Ажажа В.М., Борц Б.В., Ванжа А.Ф., Рыбальченко Н.Д., Шевякова Э.П. Редкоземельные руды мира. Возможности применения редкоземельных элементов при создании конструкционных материалов для атомной промышленности Украины. Вопросы атомной науки и техники. 2008. № 1. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (17). С. 195 – 201.

Макудера Аліна Олександрівна

науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: a.makudera@ipms.kyiv.ua

Дуднік Олена Вікторівна

доктор хімічних наук, завідувач відділом,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: dudnikelena@ukr.net

Лакиза Сергій Миколайович

доктор хімічних наук, провідний науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: sergij_lakiza@ukr.net

Редько Віктор Петрович

к.х.н., старший науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

Гречанюк Микола Іванович

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ,

E-mail: elthechnic777@ukr.net

COMPOSITE MATERIAL BASED ON NANOCRYSTALLINE ZrO_2 POWDER

Abstract

Thermal barrier coatings (TBC) are designed to reduce the temperature and protect gas turbine blades from the effects of high-temperature gas flows during operation. To develop new coatings for use at elevated temperatures (1600°C), the physicochemical properties of composite materials based on solid solutions of ZrO_2 doped with a concentrate of REE oxides of the yttrium subgroup of natural origin (VK) were studied. Compositions containing 10, 20 and 30 (wt.)% VK were selected, which were subjected to heat treatment at a temperature of 1400°C for 12, 16 and 20 hours. The phase composition of the samples was studied by X-ray phase analysis (Rigaku SmartLab 3kW Diffractometer).

Keywords: zirconium dioxide, REE oxides, TBP, phase transformations

Makudera Alina Oleksandrivna

researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: a.makudera@ipms.kyiv.ua

Dudnik Elena Victorovna

doctor of Chemical Sciences, head of the department,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: dudnikelena@ukr.net

Lakiza Sergij Mikolaevih

doctor of Chemical Sciences, leading researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev,

E-mail: sergij_lakiza@ukr.net

Red'ko Viktor Petrovich

PhD in Chemical Sciences, senior researcher

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev

Hrechanyuk Nikolay Ivanovych

doctor of Engineering, leading researcher,

Francevich Institute for Problems of Materials Science National Academy of Science of Ukraine, Kiev

E-mail: elthechnic777@ukr.net