

на границе частица-частица) при газотермическом напылении покрытия. В качестве материала покрытия выбраны Ni, Ti, и Mo. Частицы с заданными характеристиками наносим на подложку из стали Ст20. Температуру подложки (T_0) изменяем в пределах от 300 до 900⁰С.

Сравнительный анализ условий образования адгезионных (когезионных) связей (T_k) для исследованных материалов показывает, что на более простом (и дешевом) оборудовании (газопламенный метод, $v = 100$ м/с) за счет предварительного подогрева подложки (T_0) можно получить такую же температуру в контакте T_k , как и на более сложном (и дорогом) оборудовании (плазменный метод, $v = 500$ м/с).

Список литературы

1. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. -432с.

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ZrO_2 НА ПОВЕРХНОСТИ ZrB_2 ИММЕРСИОННЫМ МЕТОДОМ

Н.Е. ФЕДЯНИН¹, В.В. ШМАКОВ^{1,2}, И.А. ФОТИН², С.П. БУЯКОВА^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: nef2@tpu.ru

Обеспечение тепловой защиты конструкций, эксплуатируемых в условиях температур, превышающих 1500 оС является нетривиальной задачей. Традиционное решение заключается в применении активных систем теплоотвода с помощью потока жидкости, или газа. Многообещающей альтернативой являются материалы, относящиеся к классу высокотемпературных керамик: боридов циркония, гафния, тантала, и других металлов IV и V групп периодической системы химических элементов. Эти материалы характеризуются высокой температурой плавления, превышающей 3000 оС, прочностью и химической инертностью.

Вместе с тем, несмотря на высокую термическую стойкость керамик MeB_x , ограничением на пути применения их в качестве теплозащитных материалов, является высокая теплопроводность. Некоторые авторы видят решение этой проблемы в формировании слоистых и функционально-градиентных структур, в которых коэффициент теплопроводности снижается от фронтальной, к тыльной стороне элемента теплозащитной конструкции [1]. Решением задачи спекания композитов на основе высокотемпературных керамических фаз, обладающих различным коэффициентом теплового расширения, является приложение давления в процессе спекания и подбора временных и температурных режимов, обеспечивающих формирование надежной связи, и предотвращающих образование дефектной структуры. Иным технологическим подходом может стать формирование иммерсионного покрытия на поверхности пористой матрицы, образующего переходный градиентный слой.

Целью данного исследования являлось изучение закономерностей формирования градиентного покрытия иммерсионным методом. В качестве матрицы выступал диборид циркония, ZrB_2 , коэффициент теплового расширения которого равен $6.2 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ [2], и оксид циркония, ZrO_2 , величина коэффициента теплового расширения которого составляет $12.2 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ [3].

Исследуемые образцы были получены холодным одноосным прессованием порошка ZrB_2 с последующим отжигом при температуре 1600 °С в вакууме. После отжига образцы ZrB_2 обладали пористостью порядка 37,5 %. Покрытие 2 наносилось иммерсионным методом путем погружения пористых образцов 2 в суспензию на основе ZrO_2 и органического растворителя. Для увеличения смачиваемости ZrB_2 образцы подвергались обработке холодной плазмой. Влияние обработки холодной плазмой на смачиваемость ZrB_2 оценивалось по изменению краевого угла капли воды на полированной поверхности контрольного образца керамики ZrB_2 (относительная плотность 99,7 %). Окончательное спекание керамик ZrB_2-ZrO_2 осуществлялось под давлением 5 МПа при температуре 1800 °С в вакууме.

Микроструктура полученных керамик исследована с помощью растрового электронного микроскопа. Фазовый состав определен с помощью рентгенофазового анализа.

Низкая смачиваемость ZrB_2 препятствует нанесению иммерсионных покрытий. Для увеличения смачиваемости и обеспечения более благоприятных условий формирования покрытия отожжённые образцы пористого ZrB_2 подвергались обработке холодной плазмой. На рисунке 1 представлена зависимость изменения краевого угла от длительности обработки. Наименьший краевой угол капли дистиллированной воды на поверхности полированного образца высокоплотного ZrB_2 достигался при длительности обработки в течение 60 с при частоте обработки 1 000 Гц, энергии плазмы 0,32 Дж. Дальнейшая обработка не приводила к изменениям краевого угла.

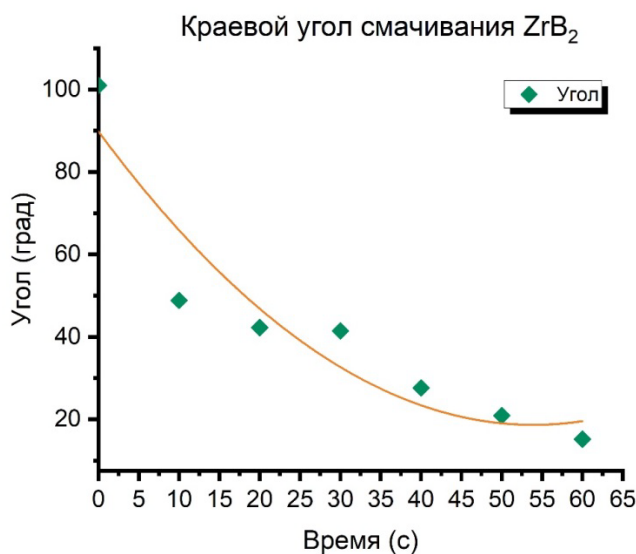


Рисунок 1 – Зависимость величины краевого угла от длительности обработки холодной плазмой

На рисунке 2 представлена микроструктура полученного образца. Толщина сформированного поверхностного градиентного слоя ZrB_2-ZrO_2 после спекания составляла порядка 50 мкм. Видно, что матрица ZrB_2 обладает пористой структурой с множеством микропор, в то время как поверхностный градиентный слой обладает заметно большей плотностью с небольшим количеством макропор.

Рентгенофазовый анализ исследуемых керамик осуществлялся на поверхности и последовательно на глубине 25, 50 и 75 мкм под поверхностью после шлифовки с помощью тонких алмазных паст. Фазовый состав поверхности исследуемых керамик представлен ZrB_2 и кубической модификацией ZrO_2 (52,13 %). На глубине 25 мкм от поверхности суммарная

относительная интенсивность рефлексов оксида циркония составляла 31,88 %, на глубине 50 мкм 3,64 %, а на глубине 75 мкм менее 1,5 %.

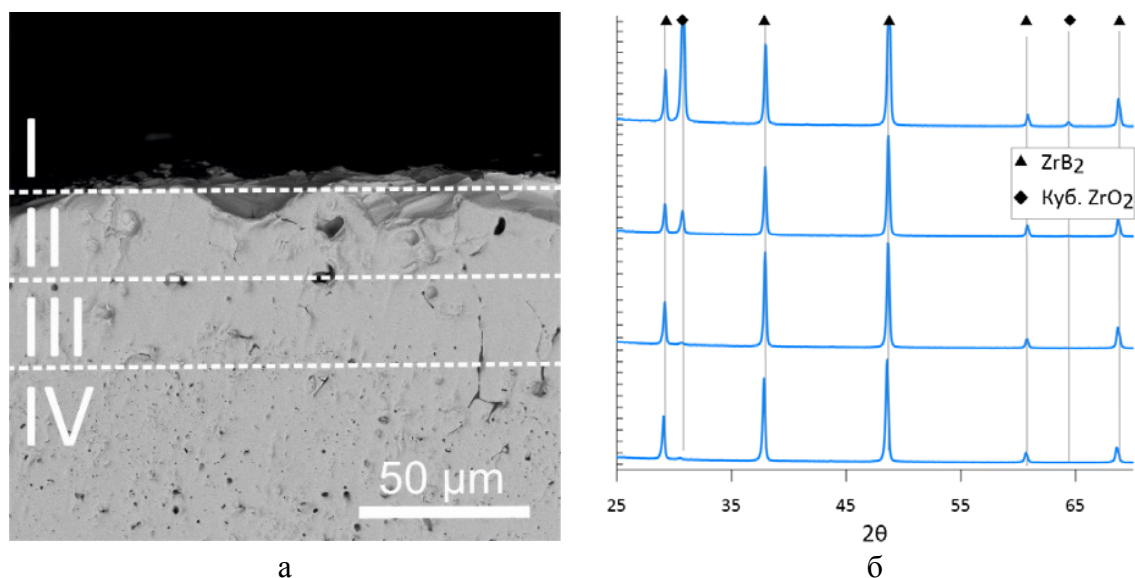


Рисунок 2 –Микроструктура (а); Фазовый состав исследуемой керамики (б)

В результате работы была показана принципиальная возможность формирования поверхностного градиентного покрытия иммерсионным методом, где материал матрицы, ZrB_2 , и покрытия, ZrO_2 , обладают различным коэффициентом теплового расширения. Исследование микроструктуры показало, что сформированное покрытие отличается большей плотностью, чем матрица, а интерфейс матрица-покрытие характеризуется отсутствием дефектов в виде несплошностей и трещин. Градиентный характер фазовой структуры полученного покрытия подтверждается результатами рентгенофазового анализа.

Дальнейшим этапом работы станет определение влияния сформированных микронапряжений на характер деформации и распространения трещин в исследуемой керамике.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0009.

Список литературы

1. Burlachenko A. G. et al. Mechanical Response of ZrB_2 -SiC- ZrO_2 Composite Laminate // Russian Physics Journal. – 2019. – Т. 62. – №. 8. – P. 1438-1444.
2. Kovalev D. Y. et al. Thermal expansion of micro- and nanocrystalline HfB_2 // High Temperature. – 2019. – Т. 57. – №. 1. – P. 32-36.
3. Properties: Zirconia - ZrO_2 , Zirconium Dioxide: [интернет ресурс] // URL: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=133> (дата обращения 21.07.2022)