

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОБАРЬЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Мехоношин А.А.<sup>1,2</sup>, Ситников И.В.<sup>2</sup>, Ольшанская Т.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,  
[sashamehonoshin1945@mail.ru](mailto:sashamehonoshin1945@mail.ru)

<sup>2</sup>АО «ОДК-Пермские моторы», Пермь

*Ключевые слова:* термобарьерные покрытия, редкоземельные материалы, керамический слой, цирконаты, термоциклическая долговечность.

Термобарьерные покрытия (ТБП) представляют собой термостойкие металлокерамические покрытия, которые непосредственно контактируют с агрессивными эксплуатационными средами, обладающими сложными физическими и химическими свойствами [1,2]. Они наносятся на трактовые поверхности деталей, защищают основной материал от высокой температуры, окисления и коррозии, повышая его рабочую температуру, термический КПД и срок службы газотурбинного двигателя (ГТД) и установки (ГТУ) [3].

Материалы, используемые в термобарьерных покрытиях, исчерпали свой ресурс в запасе рабочих температур, то есть они не могут работать долговременно в составе перспективных двигателей ввиду роста температур и повышения КПД. Изучение новых материалов ТБП в дальнейшем могут увеличить время работы лопаток ТВД, повысить рабочие температуры, что в свою очередь увеличит КПД авиадвигателя.

К материалам нового поколения термобарьерных покрытий относят: танталаты редкоземельных элементов, алюминаты, гексаалюминаты, силикаты, фосфаты, цирконаты и оксиды.

В данной работе представлен обзор новых термобарьерных покрытий, которые в дальнейшем могут быть использованы в серийном производстве для нанесения на лопатки ТВД газотурбинных двигателей и установок. Керамическое покрытие  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  (LH) со структурой пироклора, стабилизированный 8 мас.% иттрием (8YSZ) имеет превосходную фазовую стабильность до  $1600^\circ\text{C}$  и отлично подходит для верхнего покрытия в двухслойных керамических термобарьерных покрытиях. Двойной керамический слой, состоящий из одного слоя  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  (GZ) со структурой флюорита, легированный  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  и одного слоя YSZ, обладает высокой термоциклической долговечностью. Гексаалюминат лантана  $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}$  имеет наилучшие теплофизические свойства по сравнению с остальными ТБП данной обзорной статьи. Оксид циркония  $(\text{Gd}_{0,9}\text{Yb}_{0,1})_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , стабилизированный оксидом иттрия (8YSZ), нанесен на связующее покрытие  $\text{NiAl}$ , легированное Hf имеет высокую устойчивость к деформации, что в свою очередь увеличивает срок службы ТБП при термоциклировании. Цирконат гадолия  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  обладает повышенным сопротивлением спеканию и долговечностью покрытия.

Анализ научных статей, посвящённых разработке новых термобарьерных покрытий для повышения их работоспособности в условиях резких перепадов температур, позволяет выделить ряд более перспективных керамических материалов с более низкой теплопроводностью приведённых в данной работе.

В заключение следует отметить, что цирконаты редкоземельных элементов отличные керамические ТБП, но  $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}$  показал наилучшие теплофизические свойства, исходя из изучения научных статей.

### Список литературы

1. J.G. Thakare, C. Pandey, M.M. Mahapatra, R.S. Mulik, Thermal barrier coatings – a state of the art review, *Met. Mater. Int.* 27 (7) (2021) 1947–1968, <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00705-w>.

2. N. Uchida, A review of thermal barrier coatings for improvement in thermal efficiency of both gasoline and diesel reciprocating engines, *Int. J. Engine Res.* 23 (1) (2022) 3–19, <https://doi.org/10.1177/1468087420978016>.

3. U. Schulz, C. Leyens, K. Fritscher, M. Peters, B.S. Brings, O. Lavigne, J.M. Dorvaux, M. Poulain, R. Mévrel, M. Caliez, Some recent trends in research and technology of advanced thermal barrier coatings, *Aerosp. Sci. Technol.* 7 (1) (2003) 73–80, [https://doi.org/10.1016/S1270-9638\(02\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S1270-9638(02)00003-2).

### **Сведения об авторах**

Мехоношин А.А., магистрант первого курса ПИШ ВШАД, ПНИПУ, инженер-технолог-стажёр отдела главного сварщика, АО «ОДК-Пермские моторы». Область научных интересов: сварка и родственные процессы.

Ситников И.В., ведущий инженер отдела главного сварщика, АО «ОДК-Пермские моторы». Область научных интересов: сварка и родственные процессы.

Ольшанская Т.В., д.т.н., профессор каф. СПМиТМ, ПНИПУ. Область научных интересов: сварка и родственные процессы.

## **PROMISING METAL-CERAMIC MATERIALS FOR THERMOBARRIER COATINGS**

Mekhonoshin A.A.<sup>1,2</sup>, Sitnikov I.V.<sup>2</sup>, Olshanskaya T.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, [sashamehonoshin1945@mail.ru](mailto:sashamehonoshin1945@mail.ru)

<sup>2</sup>JSC "UEC-Perm Engines", Perm, Russia

*Keywords: thermal barrier coatings, rare earth materials, ceramic layer, zirconates, thermal cycling durability.*

The paper presents an overview of scientific articles devoted to the development of new thermal barrier coatings to improve their performance under conditions of sudden temperature changes. In the future, they can be used in serial production for coating high-pressure turbine blades of gas turbine engines and installations.  $\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$  (LH) ceramic coating with pyrochlore structure, stabilized with 8 wt% yttrium (8YSZ) has excellent phase stability up to 1600°C and is excellent for topcoating in two-layer ceramic thermal barrier coatings. Double ceramic layer, consisting of one layer of  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  (GZ) with fluorite structure doped with  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  and one layer of YSZ, has high thermal cycling durability. Lanthanum hexaaluminate  $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}$  has the best thermal properties compared to other thermal barrier coatings in this review article. Zirconium oxide  $(\text{Gd}_{0,9}\text{Yb}_{0,1})_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  stabilized with yttria (8YSZ) deposited on the Hf-doped NiAl binder coating has a high resistance to deformation, which in turn increases the service life of thermal barrier coatings during thermal cycling. Gadolinium zirconate  $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  has increased sintering resistance and coating durability.