

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ОКСИДОВ ЛАНТАНОИДОВ В СОСТАВЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА РЕСУРС ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ситников И.В.¹, Мехоношин А.А.^{1,2}

¹АО «ОДК-Пермские моторы», Пермь, sitnikov-iv@pmz.ru

²Пермский национальный политехнический университет, Пермь

Ключевые слова: теплозащитные покрытия, переходные металлы, оксиды лантаноидов, диоксид циркония, жаростойкость, температуропроводность.

Теплозащитное покрытие (ТЗП), как правило, представляет собой, как минимум, два слоя: внешний керамический и внутренний жаростойкий. В качестве внутреннего жаростойкого слоя может использоваться алюминидное диффузионное покрытие. Наиболее распространенными являются внешний керамический слой (КС) диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия YSZ и четырехкомпонентный металлический жаростойкий связующий слой (ЖСС) системы Me-Cr-Al-Y, где Me – Co, Ni, Co-Ni.

Применение комплексного ТЗП на базе Me-Cr-Al-Y+YSZ на деталях перспективных ГТД, учитывая рост КПД и температуры рабочего газа в камере, не может обеспечить требуемые характеристики по стойкости и ресурсу, что дает направление к разработке и применению новых материалов покрытий. Одни из основных задач при разработке новых теплозащитных покрытий – снижение коэффициента теплопроводности керамического слоя и увеличение ресурса покрытия [1-3].

Для решения задач при конструировании новых теплозащитных покрытий выполняют дополнительное легирование используемых материалов переходными металлами (Re, Hf, Y и др.) и оксидами лантаноидов (Nd₂O₃, Er₂O₃, Gd₂O₃, Yb₂O₃ и др.).

На границе раздела ЖСС-КС в процессе эксплуатации формируется так называемый слой TGO (с англ. *thermally grown oxide* – термически выращенный оксид), содержащий в основном Al₂O₃. Наличие слабой связи между ЖСС и TGO ограничивает ресурс ТЗП. Дополнительное легирование материала ЖСС переходными металлами, такими как Hf значительно повышает адгезию TGO к ЖСС за счет формирования сильной Hf-O связи. Формированию сильной связи способствует незаполненная d орбита, позволяющая образовывать полярно-ковалентные и донорно-акцепторные связи. Повышение адгезии является основным механизмом, благодаря которому Hf повышает ресурс покрытия. Подобное влияние, хотя и в несколько меньшей степени, оказывают другие переходные металлы. Наличие Hf и Y быстро сегрегирующие к границе зерна оксида, замедляют его рост. Из-за наличия сильной межграницной связи с кислородом, Hf, Y и др. переходные металлы создают барьер для скольжения оксида алюминия, повышают сопротивление растягивающим напряжениям, сдерживая отслоение покрытий.

Легирование материала КС оксидами лантаноидов позволяют снизить теплопроводность, так, к примеру Er₂O₃ снижает теплопроводность на 25%, Nd₂O₃ на 42%, Gd₂O₃ на 47% [4, 5].

В связи с этим, целью данной работы является повышение ресурса турбинных деталей ГТД и ГТУ.

Для анализа влияния переходных металлов и оксидов лантаноидов в составе материалов покрытий на ресурс деталей турбины в условиях АО «ОДК-Пермские моторы» выполнено напыление образцов из интерметаллидного сплава на основе никеля двумя видами ТЗП: классическим на базе NiCoCrAlY+7YSZ; перспективным ТЗП. Конструкция перспективного ТЗП представляет собой два жаростойких связующих слоя на базе NiCrAlYReHf+NiAl и два керамических слоя – 7YSZ+ZrY₂YbGd.

Ресурс работы деталей турбины напрямую зависит от циклической стойкости, запаса жаростойкости, температуропроводности наносимых на них ТЗП. Для определения этих

параметров предложенных конструкций ТЗП образцы подверглись сравнительным термоциклическим испытаниям, испытанием на жаростойкость испытаниям, определению температуропроводности.

По данным, полученным после проведения испытаний установлено, что добавление переходных металлов и оксидов лантаноидов в материал ТЗП увеличивает циклическую стойкость в 1,5 раза, дает больший потенциал запаса жаростойкости, а также в 2 раза уменьшает температуропроводность.

Список литературы

1. Береговский В.В., Арутюнова И.В. Влияние жаростойкого подслоя термобарьерных покрытий на механическую усталость жаропрочных сплавов // Мир современной науки. – 2012. – № 4 (13). – С. 46-50.
2. Закиров И.Ф., Никулин А.Д., Обабков Н.В. Толстослойные теплозащитные покрытия состава «ZrO₂-Y₂O₃-керамическое волокно» для защиты конструкционных сплавов // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2018. – № 4. – С. 46-51.
3. Kvernes I. Ceramic coatings as thermal barriers in diesel and gas turbine engine components. Amsterdam: Elsevier, 1987. – P. 2519-2536.
4. Kristen A. Marino, Berit Hinnemann, Emily A. Carter Atomic-scale insight and design principles for turbine engine thermal barrier coatings from theory // PNAS, April 5, 2011, vol. 108, no. 14.
5. Термобарьерные покрытия для жаропрочных сплавов. 4 декабря 2015 // <https://viam.ru/review/2725> (дата обращения 12.05.2023).

Сведения об авторах

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

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.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TRANSITION METALS AND LANTHANOIDE OXIDES IN THE COMPOSITION OF THERMAL BARRIER COATINGS ON THE LIFETIME OF GAS TURBINE ENGINE PARTS

Sitnikov I.V.¹, Mekhonoshin A.A.^{1,2}

¹JSC "UEC-Perm Engines", Perm, Russia, sitnikov-iv@pmz.ru

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Keywords: thermal barrier coatings, transition metals, lanthanide oxides, zirconium dioxide, heat resistance, thermal diffusivity.

This paper describes the effect of transition metals and lanthanide oxides in the composition of thermal barrier coatings on the characteristics of thermal protection coatings and, accordingly, on the service life of parts of gas turbine engines and installations. The promising composition of thermal barrier coatings proposed in the paper consists of four layers. The first two are nickel-based materials with the addition of aluminum, chromium, yttrium, rhenium, and hafnium. The last two layers are ceramic materials based on zirconium dioxide with the addition of lanthanide oxides. The results of comparative tests are presented: the described composition allows to increase the resource up to 1.5 times and more due to the greater potential for heat resistance and lower thermal diffusivity.