

вано как изменение процессов в поверхностном слое, при этом режим горения смещается к диффузионному. Для полиэтилена наблюдается изменение только показателя степени, что свидетельствует о смещении режима горения к кинетическому.

Таким образом, в работе получены значения массовой скорости горения твёрдого компонента топлива в ГРД. Показано, что воздействие электростатического поля увеличивает скорость убыли массы топливного блока. Получены законы горения исследованных топливных пар. Обнаружено, что для

полиамида наблюдается изменение предстепенного множителя и показателя степени, а для полиэтилена изменение наблюдается только в показателе степени.

Библиографический список

1. Решетников С.М. Влияние электростатического поля на скорость горения в гибридном ракетном двигателе / С.М. Решетников, И.А. Зырянов, А.П. Позолотин, А.Г. Будин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2015. – Т. 71. – С. 52-57.

УДК 621.45

ТЕРМОЭМИССИОННАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРЯЧЕГО ТРАКТА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2018 А.В. Колычев, В.А. Керножицкий

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»,
г. Санкт-Петербург

THERMIONIC COOLING SYSTEM OF CERAMIC HOT PARTS OF GAS TURBINE ENGINE

Kolychev A.V., Kernozhitzky V.A. (Baltic state technical university «VOENMEH»,
S.Peterburg, Russian Federation)

Theses are devoted the Thermionic Cooling System (TCS) of the turbine blades (TB) and other thermointense elements (TE) of the gas turbine units (GTU) and engines (GTD) made of ceramic materials with metallic conductivity (borides and carbides). The essence of TCS consists in increase in thermoemissive capacity of surface of LT and TE (ensuring electron work function). So, during electron work function of surface of TB from borides ceramics in 2.7 eV reduction of temperature by 120-150°C and decrease in temperature stresses by 50-60% is possible. Thus, TCS allows to solve the main problems of TB and TE from borides and carbides (low crack resistance) without the need for the difficult internal cooling system.

Сейчас активно ведутся разработки турбин, полностью выполненных из керамических материалов [1-4]. К достоинствам таких турбин можно отнести высокие рабочие температуры и отсутствие при этом необходимости в сложных системах охлаждения. Проблемой же является низкая трещиностойкость, возникающая по причине температурных градиентов, напряжений и деформаций.

Среди перспективных керамических материалов лопаток турбин можно выделить материалы на основе C-SiC, SiC-SiC [1], Al₂O₃ [2], карбидов, боридов [3] и нитридов [4].

Бориды и карбиды характеризуются высокой электрической проводимостью, поэтому изделия из таких материалов можно

охлаждать при помощи термоэмиссионной системы охлаждения лопаток турбин [5-7], разрабатываемой в БГТУ и основанной на явлении электронного охлаждения при термоэлектронной эмиссии [8-9].

Мировая новизна и работоспособность метода подтверждена Патентами на изобретения [5-6] и патентом на полезную модель [7]. Причем Патент № 2573551 входит в список «100 лучших изобретений России 2015 года». Первая публикация за рубежом [10] вышла в то время, когда у БГТУ уже были патенты.

Проведены оценки теплового эффекта в допущении постоянства работы выхода электронов (термоэмиссионных свойств) керамических ЛТ.

Так, для рабочей температуры ЛТ в 1600°C без электронного охлаждения (ЭО) и работе выхода (термоэмиссионной способности) 2,7 эВ снижение температуры достигает величины в 140 градусов, при 1500°C – порядка 80°C. Кроме повышения ресурса за счёт снижения температуры есть возможность снижать температурные перепады, напряжения и деформации. В данном случае перепад температур с 100°C (1600/1500°C) снизился до 40°C (1460/1420°C). Указанное снижение температур достигается за счёт близкой к экспоненциальной зависимости термоэлектронной эмиссии и ЭО от температуры.

В случае, если материал с аналогичными прочностными характеристиками будет иметь меньшую работу выхода, то та же плотность тока и теплового потока электронного охлаждения при термоэлектронной эмиссии достигается при более низких температурах, что означает ещё меньшую эрозию и существенно больший ресурс термоэмиссионных ЛТ.

Так, для работы выхода 2.4 эВ снижение температуры может достигать величины 250 градусов, при 2.1 эВ – 400 градусов.

Таким образом, применяя ТСО появляется возможность охлаждать горячие элементы ГТД, выполненные из керамических материалов (боридов и карбидов) без сложной системы каналов воздушного охлаждения.

Библиографический список

1. Гращенков Д.В., Щеголева Н.Е., Симоненко Е.П., Ермакова Г.В. Высокотемпературный керамический композиционный материал, устойчивый при длительной эксплуатации до 2000°C с многоуровневой комплексной системой защиты. Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. № 8. С. 25-28.

2. Повышение жаропрочности керамических материалов путём создания волокнистых структур / Руднев А.М., Дикий К.Л. Вісник СевНТУ. 2011. № 119. С. 50-53.

3. Прямилова Е.Н., Пойлов В.З., Лямин Ю.Б. Термохимическая стойкость керамики на основе боридов циркония и гафния.

Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2014. № 4. С. 55-67.

4. Оксид-оксидные композиционные материалы для газотурбинных двигателей (обзор) / Варрик Н.М., Ивахненко Ю.А., Максимов В.Г. Труды ВИАМ. 2014. № 8. С. 3.

5. Колычев А.В. и Керножцкий В.А. Патент на изобретение №2573551. Способ охлаждения лопаток турбины газотурбинной установки / [Текст]: пат. 2573551 Рос. Федерация: МПК F02C 7/12 (2006.1) / Колычев А.В. и Керножцкий В.А.; Заявитель и правообладатель БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Колычев А.В., Керножицкий В.А. - №2014121444/06; заявл. 27.05.2016; опубл. 20.01.2016. Бюл. №2. – 7 с.

6. Колычев А.В., Керножицкий В.А. Патент на изобретение №2578387. Устройство охлаждения лопаток турбин газотурбинных установок / [Текст]: пат. 2578387 Рос. Федерация: МПК F02C 7/12 (2006.1) / Колычев А.В. и Керножицкий В.А.; Заявитель и правообладатель БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Колычев А.В., Керножицкий В.А. - № 2014121449/06; заявл. 27.05.2014; опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

7. Колычев А.В., Керножицкий В.А., Охочинский М.Н. [Текст]: пат. На полезную модель №151082 Рос. Федерация: Колычев А.В., Керножицкий В.А., Охочинский М.Н. заявители и патентообладатели: Колычев А.В., Керножицкий В.А., Охочинский М.Н.; - №2014122224/06; заявл. 30.05.2014; опубл. 20.03.2015, Бюл. №8.

8. Б.А. Ушаков, В.Д. Никитин, И.Я. Емельянов «Основы Термоэмиссионного преобразования энергии». Москва.: Атомиздат, 1974, 288 с.

9. Л.А. Квасников, В.З. Кайбышев, А.Г. Каландаришвили. «Рабочие процессы в термоэмиссионных преобразователях ядерных энергетических установок». М.: МАИ. 2001.

10. Luke Uribarri and Edward H. Allen. "Electron Transpiration Cooling for Hot Aerospace Surfaces", 20th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, (AIAA 2015-3674), 2015.