

ляющих смесь продуктов сгорания, в том числе веществ группы  $(NO)_x$ , то данная методика применима для количественных оценок уровня вредных выбросов в различных условиях сгорания при проведении проектных расчётов.

Для предложенной системы уравнений реализован алгоритм решения в виде отдельной программы Disso и в качестве элемента математической модели узлов основной и форсажной камер сгорания системы DVIGwT. Методика верифицирована по расчётам процесса горения [3] и показала сходимость результатов с погрешностью, не превышающей 0,3 % в диапазоне температур от 1800 до 2800 К.

Не учёт фактора диссоциации при термодинамических расчётах высокотемпературных ТРДДФ ведёт к завышению расчётных величин температур газа, что влияет на оценку основных параметров двигателя (погрешность в определении форсажной тяги может достигать 1,3 %, расхода топлива 4,5 %) и температурного состояния теплона-

пряжённых деталей (в пределах 5 % от величины заявленного ресурса). Кроме того, изменение расчётной величины температуры рабочего тела потребует корректировки программы регулирования ГТД и его характеристик, а также уточнения оценки коэффициента полноты сгорания топлива в форсажной камере.

### Библиографический список

1. Ильичёв, Я.Т. Термодинамический расчёт воздушно-реактивных двигателей / Я.Т. Ильичев // Технический отчёт ЦИАМ № 6186. – М.: ЦИАМ, 1969 – 126 с.
2. Алемасов, В.Е. Теория ракетных двигателей / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин; / Под ред. В.П. Глушко. – М.: Машиностроение, 1989. – 464 с.
3. Алемасов, В.Е. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: В 5 т. / В.Е. Алемасов [и др.]. – М.: ВИНТИ, 1971 – 1974.

УДК 621.746

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (МДО) АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Криштал М.М., Ивашин П.В., Полуниин А.В.

Тольяттинский государственный университет

### APPLICATION OF TECHNOLOGY MICROARC OXIDATION (MAO) ALUMINUM AND TITANIUM ALLOYS TO IMPROVE PERFORMANCE PARTS IN ENGINES

*Krishtal M.M., Ivashin P.V., Polunin A.V. This work substantiates the appropriateness of micro-arc oxidation technology usage for hardening of silumin with a silicon content of 6 ... 11% in the manufacture of major body parts of engines, and also the titanium alloy VT1. Results of preliminary research experiments, and study the main factors affecting the quality of the coating were described.*

Одной из главных тенденций современного авиа-, автомобиле- и машиностроения является повышение удельных показателей, увеличение ресурса и срока службы конструкций и систем при одновременном снижении массогабаритных характеристик и влияния функционирования изделий на окружающую среду. Выше обозначенными

требованиями обусловлено широкое применение в промышленности алюминиевых, титановых, магниевых и других сплавов.

Особенно важное промышленное значение имеет применение алюминиевых сплавов при производстве ДВС для легкой и сверхлегкой авиации, где важным показателем является вес двигателя.

Самой массивной и габаритной частью современного поршневого ДВС является блок цилиндров. Для упрочнения рабочих поверхностей зеркала цилиндров используется чугуны гильзы, что отрицательно сказывается на массогабаритных показателях. Кроме чугунов гильз широко применяются различные покрытия и технологии модифицирования поверхностного слоя. Например, Cromal, Nikasil, Locasil и др. Однако, несмотря на ряд достоинств, подобные технологии имеют и явные недостатки, а именно: сложность и высокую стоимость процесса, его неэкологичность.

Для решения подобных задач вместо упомянутых выше технологий предлагается использовать технологию микродугового оксидирования (что это в трех словах), основными преимуществами которой являются:

- возможность нанесения покрытия на сложно профильные изделия, внутренние поверхности и скрытые полости;
- получение покрытий толщиной от 0,05 - 0,2 мм до 0,7 - 1,0 мм с адгезией, сопоставимой с прочностью материала подложки;
- получение покрытий без какой-либо специальной предварительной подготовки поверхности;
- возможность полной автоматизации процесса;
- дешевизна и доступность реактивов и материалов;
- широкие возможности регулирования скорости процесса;
- экологическая безопасность, не требующая использования специальных очистных сооружений и т.д.

Ранее при участии М.М. Криштала были проведены исследования и испытания, доказавшие потенциальную возможность и высокую перспективность применения метода МДО при переходе на производство ДВС с алюминиевыми блоками цилиндров из сплава АК6М2. Был изготовлен и испытан двигатель ВАЗ 2111 на базе стандартного заводского блока цилиндров 21083 с гильзами из алюминиевого сплава АК6М2 и рабочими поверхностями гильз, упрочненными МДО. Проведенный цикл ресурсных испытаний изделия показал высокую износостой-

кость и хорошие трибологические свойства рабочей поверхности зеркала цилиндров.

В настоящее время идет отработка технологии МДО для получения требуемого поверхностного слоя с заданными характеристиками на доэвтектическом силумине АК9ПЧ. Проведен ряд практических экспериментов, позволивших определить оптимальный состав электролита для указанного материала, допустимые температурные значения раствора в процессе МДО, а также электротехнические показатели процесса, определяющие скорость роста окисного слоя, структуру образующегося покрытия и его качественные параметры. Также выявлено влияние ряда факторов (качество поверхностного слоя перед обработкой методом МДО, наличие/отсутствие термообработки и т.д.) на процесс оксидирования указанного сплава. Исследования и экспериментальные работы активно продолжаются.

На основе ранее проведенных исследований, позволившими получить пути решения проблемы оксидирования силуминов (ссылка), планируется отработка технологии МДО для обработки сплава АЛ25 (АК12М2МгН) и ряда других алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния.

Также проведены первые эксперименты по оксидированию титанового сплава ВТ1, используемого в промышленности и медицине, получены обнадеживающие результаты.

В настоящее время спроектирована и изготавливается установка, позволяющая определять основные теплофизические параметры и характеристики получаемых покрытий методом постоянного теплового потока и методом двух температурно-временных интервалов.

Проведение таких исследований позволит определить перспективность наших покрытий в области турбомашин как жаростойких и жаропрочных. Например, возможно, использование модификации поверхностей титановых изделий методом МДО позволит использовать менее дорогие сплавы титана при сохранении и увеличении ресурса изделия.

В результате выполненных работ получен большой объем практических данных по обработке методом МДО алюминиевых

сплавов с содержанием кремния 6...11%, выявлен ряд факторов и параметров, определяющих качество получаемого покрытия и его свойства, подтверждена возможность применения технологии МДО для получения поверхностного слоя с высокими эксплуатационными, теплотехническими и трибологическими характеристикам.

**Выводы:**

При участии специалистов ТГУ спроектирована, изготовлена и запущена установка для проведения процесса МДО в про-

точном и стационарном режиме. Основными достоинствами установки являются простота конструкции, низкая стоимость реализации процесса, высокая экологичность технологии и минимальные требования по охране труда. Полученные результаты позволяют переходить к ОТР по внедрению технологии в производство для модификации сплавов до АК6. Для сплавов с большим содержанием кремния ведутся НИР, результаты которых позволяют видеть перспективность технологии МДО для двигателестроения.

УДК 669.245: 669-172: 548.4: 539.26

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ МОНОКРИСТАЛЬНЫХ ЛОПАТОК ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГТД**

Протасова Н.А.

Казанское моторостроительное производственное объединение

### **EXPERIENCE OF APPLICATION OF THE R<sub>x</sub>-ANALYSIS FOR THE DECISION OF PROBLEMS OF INTEGRITY RELIABILITY OF MONOCRYSTAL BLADES OF TURBINES AVIATION GAS TURBINE ENGINES (GTE)**

*Protasova N.A. Methods of X-ray diffraction investigate operational laws of blades of turbines from alloys ЖС32, ЖС30, ЖС6У and recommendations about their further operation are given. Laws of a relaxation of residual stress and microstructural response in turbine tail grooves during engine exploitation are investigated. The structural criteria characterising completeness of regeneration of monocrystals under the influence of thermal processings and GIP are defined. The structural criteria are received, allowing to estimate actual level of degradation of a material of blades in operation and to estimate their residual resource.*

В сообщении рассматриваются результаты комплекса металлофизических исследований для оценки работоспособности рабочих лопаток турбины двигателей большого ресурса для самолетов гражданской авиации. Материал лопаток – жаропрочные никелевые сплавы ЖС30, ЖС32, ЖС6У.

Обобщен большой объем рентгеноструктурных и микроскопических исследований образцов и лопаток после длительных стендовых испытаний, в том числе до разрушения, после различной продолжительности летной эксплуатации, после термомеханических испытаний модельных образцов и образцов, вырезанных из лопаток. Изучены структурные закономерности релаксацион-

ных процессов, протекающих в тонких поверхностных слоях упрочненных хвостовиков монокристалльных лопаток в зависимости от длительности эксплуатации и по результатам имитационных испытаний.

Исследованием структурного состояния турбинных лопаток, выявлены закономерности металлографической и кристаллографической кинетики. На основе анализа полученных результатов предложены структурные критерии, характеризующие работоспособность материала, испытавшего деформацию в условиях ползучести.

Выполнен расчет параметров тонкой структуры и получены закономерности изменения рентгеновских величин ОСМД (от-