

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЗАЩИТА ЛОПАТОК АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Дзюба В.Л., Корсунов К.А., Ашихмина Е.А.

(ВНУ им. В.И. Даля, г. Луганск, Украина)

In the article there was describe the problem of the shield of blades of compressor of aviation engine, that working in the special conditions (tropical climate, the influence of seawater and other) and having erosion wear/ There were possible ways of decision of this problem: chemical covering, laquer-painted covering, enamelling, io-plasms covering. The alternative of shield of blades is ion-plasma covering TiZrN (thickness not more 5 micrometers). This coverings technical characteristics are better than one of covering TiN established and applied for a long time. The covering TiZrN is a new and perspective for the application in the aviation engine-building.

Одной из причин снижения ресурса работы авиационных двигателей является низкая эрозионная стойкость лопаток. Наиболее интенсивный износ лопаток авиадвигателей наблюдается при работе вертолетного двигателя в тропическом (или морском) климате и на песочных почвах, при этом поверхностный слой лопаток интенсивно разрушается из-за коррозионного и эрозионного воздействий.

Степень и характер эрозионного износа компрессорных лопаток зависят от дисперсного состава пыли и ее количества, а также от скорости потока несущего винта [1]. Коррозионные повреждения чаще всего возникают в морском климате, где воздух представляет собой взвесь морской воды и частиц пыли. При этом скорость коррозии увеличивается с повышением температуры в компрессорной части двигателя, которые достигают величины 500 °С и выше для компрессоров высокого давления [2].

Известно много видов защитных покрытий лопаток компрессора: гальваническое, лакокрасочное, эмалирование, конденсационно-вакуумное.

Гальваническое покрытие типа никель-кадмиевое используется на лопатках компрессора для защиты от коррозии, но эрозионная стойкость и температура эксплуатации (до 300 °С) у него очень низкая. При чем, во время процесса снятия и нанесения покрытия необходимо учитывать возможность наводораживания основного металла лопатки, что отрицательно сказывается на ее механических свойствах.

Лакокрасочное покрытие на основе эпоксидной эмали, нанесенное в 5-7 слоев также защищает лопатки от коррозии, однако, как и никель-кадмиевое покрытие, оно имеет низкую температуру эксплуатации. Эрозионная стойкость вследствие эластичности покрытия немного выше, чем у никель-кадмиевого, поэтому эпоксидное покрытие используют на лопатках направляющего аппарата компрессора вертолетного двигателя.

Процесс эмалирования представляет собой нанесение суспензии на основе глины и никелевого порошка с последующим отжигом при температуре 1000 °С. Эмалирование лопаток считается выгодным, если лопатки необходимо защитить от высокотемпературной коррозии. В этом случае температура эксплуатации повышается до 400 °С. Однако такая лопатка еще в большей степени подвержена эрозионным повреждениям, поскольку эмалированная поверхность подвержена к охрупчиванию в вышеописанных условиях эксплуатации.

Одно из перспективных покрытий – конденсационно-вакуумное покрытие. Известно, что покрытие из нитрида титана имеет не только хорошую коррозионную стойкость (1 балл по пятибалльной шкале [3]), но и повышенную эрозионную стойкость (0,019 – 0,028 г/мин [3]). Температура эксплуатации покрытия из нитрида титана достигает 350 °С. Такое покрытие, имеющее толщину в несколько микрон (от 2-3 мкм) позволяет двигателю отрабатывать по 2-3 межремонтных ресурса (т.е. 1500-2100 часов). Однако, и при таких наработках идет существенный износ лопаток. На рис. 1 показаны

рабочие лопатки компрессора (а), направляющие лопатки (б) и направляющий аппарат (в) вертолетного двигателя, отлетавшего 2987 часов. Как видно имеются значительные эрозионные повреждения, которые не допустимы техническими условиями на детали, следовательно, такие лопатки подлежат забракованию.



а) рабочие лопатки



б) лопатки направляющего аппарата



в) направляющий аппарат

Рис. 1. Детали вертолетного двигателя с покрытием нитрида титана после эксплуатации в тропическом климате в условиях песочных почв

Чтобы повысить межремонтный ресурс деталей, коррозионную и эрозионную стойкость, и рабочие температуры покрытия, в материал покрытия при его напылении было решено ввести цирконий. Цирконий имеет исключительную коррозионную стойкость во многих агрессивных средах, устойчив в воде и водяных парах до $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Экспериментальные исследования. В процессе экспериментов на рабочие лопатки компрессора (титановый сплав ВТ-8) наносилось покрытие из TiZrN (нитрида титана-циркония) в установке «Булат-6». Покрытие из TiZrN получилось желтовато-золотистого цвета толщиной 5-5,5 мкм (рис. 2).



Рис. 2. Покрытие из TiZrN, нанесенное на лопатки компрессора вертолетного двигателя в вакууме плазменно-ионным методом

Для определения эрозионной и коррозионной стойкости покрытия были проведены испытания согласно существующим методикам.

Испытания на эрозионную стойкость покрытия TiZrN на рабочих лопатках компрессора показало, что скорость эрозии составляет всего 0,012 г/мин, тогда как у TiN составляет 0,028 г/мин [3], а у лопаток без покрытия – 0,036 г/мин.

Испытания на коррозионную стойкость покрытия TiZrN привели к тому, что лопатка как после 50 циклов испытания (нагрев до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и последующее охлаждение тонкораспыленным 5% соевым раствором), так и после 100 циклов не имела окислительно-образных коррозионных поражений. Это, в свою очередь дает оценку 10 по десятибалльной шкале определения коррозионной стойкости.

Кроме того, проведенные исследования показали, что напыленное покрытие TiZrN имеет высокую микротвердость – 34 ГПа, в сравнении с покрытием TiN: 27,4 ГПа [3]. При увеличении температуры эксплуатации (от $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) у лопатки с покрытием TiZrN происходит уменьшение микротвердости покрытия, а также увеличение скорости эрозии (рис. 3).

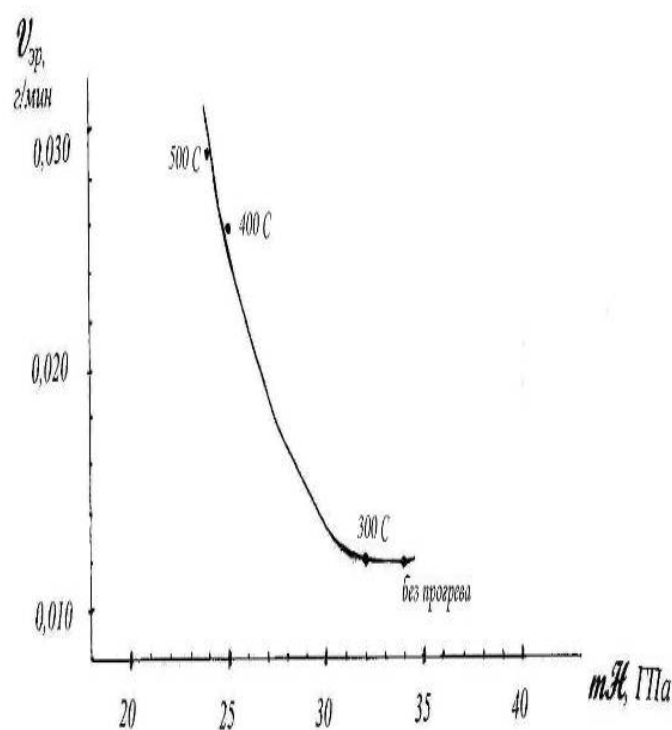


Рис. 3. Зависимость скорости эрозии от микротвердости и температуры покрытия TiZrN

Выводы. Для защиты лопаток компрессора (титановый сплав ВТ-8) было выбрано и нанесено с помощью установки «Булат-6» покрытие TiZrN желтовато-золотистого цвета. Данное покрытие было испытано на коррозионную, эрозионную и жаростойкость, а также определена его микротвердость. Поскольку скорость эрозии TiZrN 2,3 раза ниже, чем у TiN и в 3 раза ниже, чем у лопаток без покрытия, то можно эксплуатировать авиадвигатели без пылегазозащитных устройств в песочных районах. У покрытия TiN коррозионная стойкость в 3 раза ниже, чем у TiZrN, следовательно, последние можно эксплуатировать в морских и тропических климатах. Испытания на определение предельной рабочей температуры TiZrN показали, что покрытия работоспособны до 500 °C (и микротвердость при этой температуре не намного ниже, чем у TiN), что позволяет его использовать на лопатках компрессора высокого давления.

Кроме того, при использовании покрытия TiZrN увеличивается межремонтный ресурс лопаток как минимум в 3 раза. При этом стоимость ремонта авиадвигателя с учетом напыления защитного покрытия на лопатки будет всего лишь на 3,5-5,0% выше от исходной.

Список литературы: 1. Алексеев В.К., Волкова Л.Ф., Гликсон И.Л., Лукьянов В.С. Распределение пылевых частиц в проточной части компрессора //Авиационная промышленность. – 1989. – №7. – С. 24- 25. 2. Ржавин Ю.А. Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов. – М: Изд-во МАИ, 1995 – 243 с. 3. Душкин А.М., Прошин А.Б., Иванов Е.Г. Защитные покрытия для стальных лопаток компрессора ГТД //Авиационная промышленность. – 1988. – №7. – С. 13-15.

Сдано в редакцию 29.05.08