

УДК 621.793

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ**

*Дзюба В.Л. д.т.н., проф., Корсунов К.А. к.т.н., доц.  
Ашихмина Е.А. асп.*

*Восточноукраинский национальный университет имени В.И. Даля, г. Луганск  
91034 г. Луганск, кв. Молодежный, 20 а*

E-mail: [tm@snu.edu.ua](mailto:tm@snu.edu.ua)

Приведены результаты восстановления плазменным методом изношенных деталей компрессора авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) по истечении межремонтного ресурса. Полученные данные по физико-техническим свойствам удовлетворяют условиям эксплуатации авиадвигателей в морских районах и пустынях. На детали из титановых сплавов типа ОТ4-1 наносились покрытия из жаростойкого сплава ЭИ-435, что позволяло использовать детали второй межремонтный ресурс авиадвигателя.

**Ключевые слова:** плазменное покрытие, эрозия, коррозия, титановые сплавы, жаростойкие сплавы.

In the article is shown, that after expiration period between the repairs worn-out details of compressor of aviation engine may be to restore. Getting information of technical properties satisfy conductions of exploitation of aviation engines in sea-districts and deserts. The details from titan alloy as OT4-1 are covered hot-firmness alloy EI-435. It allow to use the details without a substitution for along period between the repairs.

**Key words:** plasma covering, erosion, corrosion, titan alloy, hot-firmness alloy.

**Введение.** Во время работы вертолета ГТД постоянно подвергаются воздействию сред (песок, грязь и др.), вызывающих эрозию. Это воздействие значительно усиливается во время взлета и посадки, при работе в песочных районах, в тропическом или морском климатах. Эрозия деталей компрессора ГТД приводит к снижению КПД, срока службы и показателя надежности. При этом повышается расход топлива и высока вероятность помпажа. В связи с чем, коэффициент использования ресурса ГТД снижается до 0,639 [1,2], т.е. используется чуть больше половины установленных часов работы. Результаты дефектации показывают: износ кольца компрессора происходит по поверхности внутреннего диаметра (рис.1), а цапфа барабана изнашивается по внешнему диаметру шейки (рис. 2).

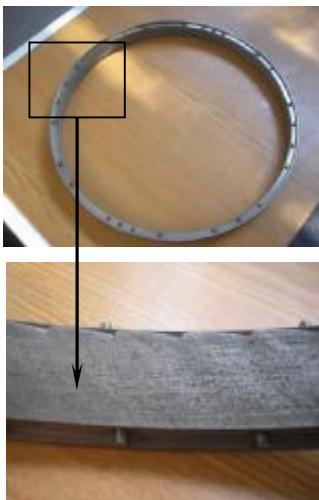


Рисунок 1 – Кольцо рабочего колеса компрессора ГТД после эксплуатации (видны сколы и пористость поверхности)



Рисунок 2 – Барабан ротора компрессора вертолетного двигателя: 1 – изнашивающаяся шейка цапфы барабана компрессора

Изнашивание колец происходит за счет трения между лопатками компрессора и внутренней поверхности колец, а изнашивание цапфы – за счет трения между шейкой и внутренним кольцом роликоподшипника.

**Анализ предыдущих исследований.** Для решения данной проблемы, а также повышения износостойкости, жаростойкости и коррозионной стойкости материалов применяются следующие методы: плазменный, электронно-лучевой, лазерный, детонационный, газопламенный и газодинамический.

Для восстановления изношенных поверхностей рабочих колец компрессора и цапфы барабана был выбран плазменный метод напыления. Известно, что применение плазменного напыления для восстановления и защиты деталей авиационной техники позволяет не только повысить надежность их работы в эксплуатации, но и приводит к снижению стоимости ремонта.

Преимущества плазменного метода применительно к процессам восстановления поверхности различных деталей заключаются в возможности комбинирования состава плазмообразующего и транспортирующего газов [3]; нанесении покрытия из материалов широкого состава на разнообразный материал основы. Плазмотроны для напыления позволяют в широких пределах регулировать энергетические характеристики плазмы, что облегчает получение покрытий со свойствами, обусловленными требованиями технологии. Использование в плазмотронах инертных газов, не содержащих кислорода, способствует уменьшению окисления напыляемого материала и поверхности детали, что очень важно при восстановлении деталей из титановых сплавов, например, рабочие кольца компрессора [4]. Покрытия, полученные плазменным напылением, по многим физико-химическим свойствам, превосходят покрытия, полученные газопламенным и другими способами. Плазменное напыление считается высокопроизводительным с большим коэффициентом использования напыляемого материала, составляющим 0,7–0,9 [5], и позволяет наносить покрытия толщиной от десятых долей до нескольких миллиметров. При напылении плазменным методом с последующим оплавлением можно получить твердость металла наплавки 150–210 НВ с адгезией 46–72 кгс/мм<sup>2</sup>, и наносить на поверхность материалов износостойкие металлические и неметаллические материалы [3].

**Цель работы.** Повышение износостойкости деталей компрессора за счет повышения качества плазменного покрытия.

**Материал и результаты исследования.** Для восстановления деталей типа рабочих колец компрессора на вертолетном двигателе ТВ3-117 применялась технология плазменного нанесения покрытия на поверхность внутреннего диаметра кольца, включающая следующие операции:

1) подготовка детали под нанесение покрытия;

2) подготовка материала, напыляемого на детали компрессора;

3) монтаж приспособлений для напыления;

4) наладка оборудования под соответствующий режим напыления;

5) плазменное напыление деталей;

6) контроль покрытия;

7) механическая обработка детали;

8) окончательный контроль.

Для подготовки детали применялась токарная обработка, которая при одинаковой шероховатости по сравнению со струйно-абразивной обработкой (опескоструивание электрокорундовым песком) сообщает поверхности значительно большую энергию и, следовательно, позволяет получать покрытия с более высокой адгезией (в 1,5–2 раза [6]). Более высокие значения адгезии при токарной обработке объясняются особенностями процесса подготовки поверхности: формирование особых устойчивых физико-механических свойств поверхностного слоя основы и, прежде всего, значительное изменение субструктуры поверхностного слоя, создание на поверхности высокой плотности дислокаций и облегчение их выхода на поверхность. Все это способствует повышению энергии активации поверхности основы, а, следовательно, и увеличению адгезии напыляемых покрытий.

Перед напылением кольца предварительно расточили (рис. 3) и промыли в растворе технического моющего средства. Для плазменного напыления рабочих колец применялась проволока диаметром 1 мм из сплава ЭИ-435 (ХН78Т). Перед напылением проволоку протравили в растворе соляной кислоты в течение 15 минут, промыли водой и просушили сухим сжатым воздухом, затем обезжирили нефрасом. Плазменное напыление производят не позднее, чем через 3 часа после подготовки поверхности под покрытие. Рабочие кольца компрессора смонтировали на приспособление для напыления и производят прогревание детали плазменной струей без загрузки до температуры 100–150 °С. На рабочий срез сопла плазмотрона, формирующего плазменно-дуговой разряд, подавалась расплываемая проволока. Напыление производилось слоями толщиной 0,05–0,10 мм (рис. 4, 5).

Контроль восстановленных деталей включал в себя: внешний осмотр, замер толщины покрытия, определение пористости, включений, несплошностей, скрытых трещин (металлографическим методом), величины адгезии покрытия (методом «штифта» [7]) и эрозионной и коррозионной стойкости.

После восстановления деталей не было обнаружено трещин, вспучивания, отслоения, поры, сколы, вырывы, включений меди и занижения толщины покрытия по высоте после механической обработки, т. е. нанесенное покрытие удовлетворяет техническим требованиям на детали (рис. 5).

Образцы-свидетели для определения адгезии прошли все операции подготовки поверхности перед плазменным напылением согласно технологии

на деталь (шлифование, промывка в нефрасе, опескоструивание). Испытания проводились на разрывной машине Р-0,5. Значение адгезии покрытия составило  $21 \text{ кгс/мм}^2$  (известно, что адгезия в среднем составляет не менее  $9 \text{ кгс/мм}^2$ ).

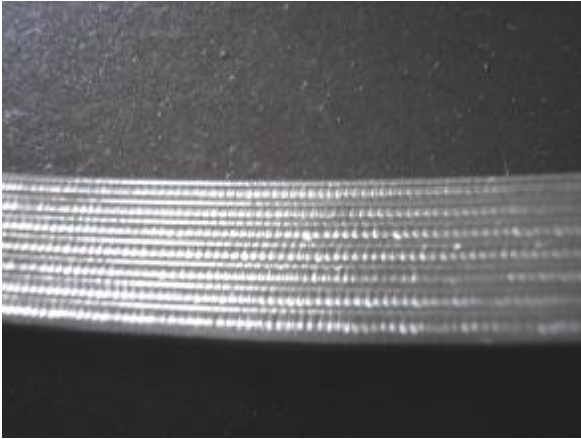


Рисунок 3 – Подготовленная под напыление расточенная поверхность кольца

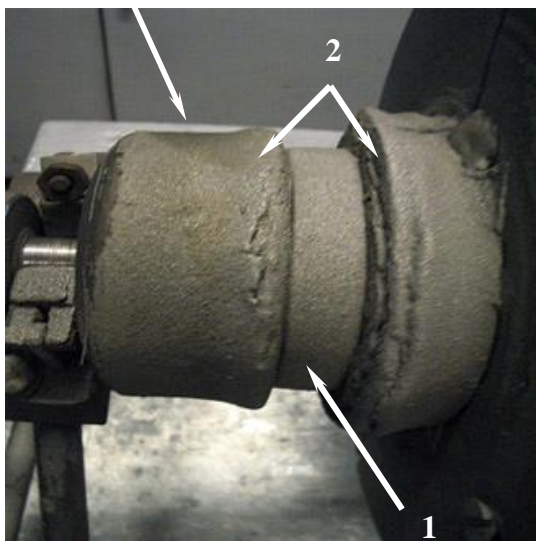


Рисунок 4 – Барабан ротора компрессора с приспособлениями:

- 1 – восстановленная поверхность шейки цапфы;
- 2 – защитные приспособления



а)



б)



в)

Рисунок 5 – Кольцо рабочего колеса компрессора вертолетного двигателя:

- а) напыленное плазменным методом покрытие (вид сбоку);
- б) поверхность покрытия (видна шероховатость);
- в) восстановленная поверхность кольца после механической обработки

Проводимые исследования по эрозии материала показали, что значение потери массы образца с покрытием ЭИ-435 составляет 0,09% за 1 секунду, а значение потери массы образца из титанового сплава ОТ4-1 – 0,07% за 1 секунду. Исследования по коррозионной стойкости дали следующие результаты: после испытаний на образцах были обнаружены только точки и наросты темно-зеленого и светло-зеленого цвета на материале ЭИ-435, в состав которого входит никель, а соответственно это окислительно-образные продукты коррозии никеля, а пятна и наросты светло-зеленого цвета – это солеобразные продукты коррозии никеля. Испытания проводились в 5%-ом солевом растворе в течение 750 часов (межремонтный ресурс вертолетного двигателя).

Металлографический анализ структуры напыленного плазменного покрытия производился на металлографическом микроскопе МИМ-7 при 170 кратном увеличении. Фотографии полученной макроструктуры покрытия (сплав – ЭИ-435) и основы (титановый сплав – ОТ4-1) представлены на рис. 6. На фото видно, что трещин или растрескиваний между слоями покрытия и по границе раздела «покрытие-основа» не имеется. Это соответствует одному из главных технических требований на данную деталь. Поскольку отслоений между слоями и по границе «покрытие-основа» не наблюдается, то это говорит о качественной очистке поверхности перед напылением детали. Дефектов в виде пор и раковин на границах слоев покрытия и границе покрытие-основа (рис. 6) не обнаружено. Покрытие нанесено послойно, четко выделяются последовательно нанесенные слои приблизительно равной толщины. Расположение волокон материала наблюдается в виде волн, повторяющих поверхность основного материала.

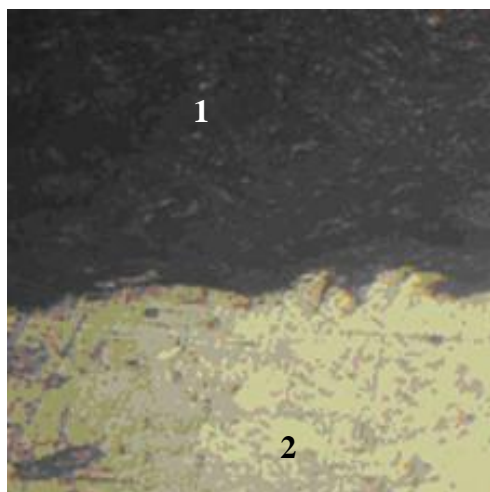


Рисунок 6 – Граница «покрытие-основа»: 1 – покрытие из жаростойкого сплава ЭИ-435; 2 – основа из титанового сплава ОТ4-1

**Выводы.** Структура полученного покрытия сочетает в себе оптимальные качества твердости и пластичности материала, минимальное охрупчивание, а также отсутствие макродефектов (трещины, поры, расслоения) материала покрытия, что удовлетворяет основным техническим требованиям на деталь.

Таким образом, полученные результаты можно рекомендовать для использования в различных отраслях промышленности при плазменном восстановлении деталей из титановых сплавов жаростойкими сплавами типа ЭИ-435.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет по исследованию возможности проведения сокращенного (локального) ремонта двигателей ТВЗ-117 3 сер., преждевременно снимаемых с эксплуатации по причине недопустимого эрозионного износа лопаток компрессора. – Ворошиловград, 1983. – 153 с.
2. Отчет по исследованию двигателей ТВЗ-117, отработавших в эксплуатации первый послеремонтный ресурс. – Ворошиловград, 1981. – 184 с.
3. Плазменная технология: Опыт разработки и внедрения/Д.Г. Быховский, А.Я. Медведев, Д.Н. Богданов и др./ Сост. А.Н. Герасимов. – Л.: Лениздат, 1980. – 150 с.
4. В.С. Клубникин, А.Д. Донской Промышленное применение процессов воздушно-плазменного напыления покрытий. – Л.: ЛДНТП, 1987. – 180 с.
5. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин /Спиридонов Н.В., Кобяков О.С. / Под ред. В.Н. Чагина. – Минск: Вышейш. шк., 1988 – 154 с.
6. Захаров А.М., Патлай М.И. Активация поверхности основы перед напылением плазменных покрытий // Авиационная промышленность. – 1990. – №1. – С. 60-61.
7. Восстановление изношенных деталей АТ газотермическими покрытиями: Выпуск №5977. – М.: НИИ эксплуатации и ремонта авиационной техники ВВС, 1988. – 230 с.

Стаття надійшла 30.09.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.ф.-м.н., проф.  
Слізаровим О.І.

