

Конкурсная работа

Повышение эксплуатационных характеристик ГТД за счет разработок в области нанесения плазменных покрытий на ДСЕ авиационных двигателей

Увеличение ресурса и экономичности газотурбинных двигателей (ГТД), применяемых в авиации и ракетостроении, неразрывно связано с разработкой и внедрением материалов, работающих при повышенных температурах и давлениях. Особенно это относится к деталям камеры сгорания и соплового аппарата первой ступени турбины, которые как показывает практика эксплуатации двигателей, чаще других выходят из строя.

Из анализа литературных данных следует, что уменьшение относительного радиального зазора между лопатками ротора и статора только на 1% в газовом тракте компрессора или турбины приводит к увеличению КПД двигателя от 1,5 до 3%. Однако, закрепление уплотнений, изготавливаемых из металлокерамического проката, спеченных вставок или сотовых элементов, является трудоемкой технологической операцией, не позволяющей в должной степени минимизировать радиальные зазоры. Наиболее эффективным технологическим приемом является нанесение специальных срабатываемых уплотнительных покрытий способных снизить до минимума радиальные зазоры между элементами статора и ротора газового тракта компрессора и турбины, а также предохранить элементы ротора от износа и возможных поломок.

Практика показывает, что выбор материалов функциональных слоев и метода их нанесения определяет только их потенциальные возможности. Степень же достижения этих возможностей определяется технологическим процессом, позволяющим получить покрытия с физико-механическими свойствами, в наибольшей степени удовлетворяющими требованиям эксплуатации. Известно, что не существует универсального технологического процесса, в должной степени пригодного для большинства задач создания функциональных слоев. Следовательно, под каждую конкретную задачу должен подбираться оптимальный технологический процесс нанесения покрытия. Выбор технологического процесса плазменного напыления покрытия является сложной, трудоемкой задачей. Это связано с многофакторностью процесса напыления, трудностью установления корреляционной связи между параметрами. Для оптимизации режимов напыления все более широкое распространение находят прогрессивные методики теоретических и экспериментальных исследований, предусматривающие построение математической модели технологических процессов.

К срабатываемым покрытиям предъявляются двойные требования: хорошая прочность сцепления с деталями статора и малая работа врезания, необходимая для сохранения работоспособности лопаток при срезании ими покрытия в процессе работы двигателя, так же они характеризуются жаро- и термостойкостью, эрозионной стойкостью. Состав таких покрытий обычно включает металл и твердую смазку. Напыление таких разнородных материалов плазменным методом требует проведения комплекса исследований.

Эксплуатационные характеристики уплотнений в свою очередь определяются комплексом физико-механических свойств уплотнительных слоев – пористостью, содержанием и распределением в них твердой смазки, наличием окисных включений, строением металлической матрицы, а также физико-механическими свойствами материалов матрицы и твердой смазки и прочностью межчастичных контактов. В связи с этим проводились исследования физико-механических свойств уплотнительных слоев – прочности (при испытании на отрыв по клеевой методике), пористости, твердости, химического состава, микроструктуры. Указанные исследования дополнялись определением фазового состава уплотнительных слоев, микротвердости компонентов, а

для некоторых слоев – измерением прочности на отрыв при испытании по штифтовой методике, а так же испытаниями: на разрыв, на срез и сжатие, испытанием на угол загиба.

Исследование гранулометрического состава порошкового материала проводилось с использованием микроскопии и системы обработки изображения на базе компьютерной программы Image Expert Pro 3.0. Перед исследованиями порошок был просушен и просеян через сито 0,2 мм. Результаты исследований в виде гистограмм распределения количества частиц по среднему диаметру и массового содержания частиц по среднему диаметру, а также фотографии внешнего вида частиц порошка в темном поле представлены на рисунках 1 – 2.

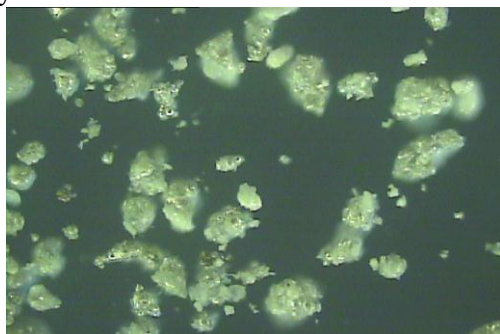
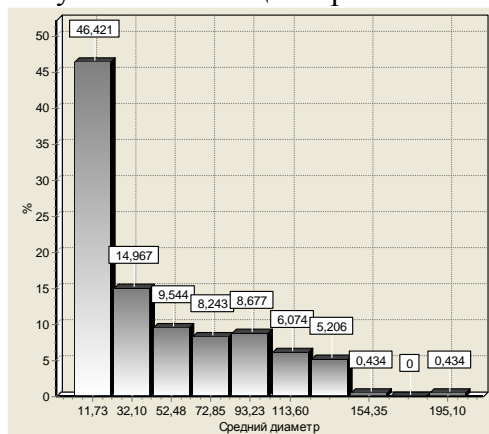


Рисунок 1 - Частицы порошка АНБ в темном поле (x100)



№№	Тип	Мин	Макс	КОЛ-ВО	%
1	Тип 1	1,538	21,913	214	46,421
2	Тип 2	21,913	42,288	69	14,967
3	Тип 3	42,288	62,663	44	9,544
4	Тип 4	62,663	83,038	38	8,243
5	Тип 5	83,038	103,413	40	8,677
6	Тип 6	103,413	123,789	28	6,074
7	Тип 7	123,789	144,164	24	5,206
8	Тип 8	144,164	164,539	2	0,434
9	Тип 9	164,539	184,914	0	0,000
10	Тип	184,914	205,289	2	0,434

Рисунок 2 - Гистограмма и таблица распределения частиц

Для большинства из исследованных уплотнений проводились испытания, имитирующие воздействие отдельных эксплуатационных факторов: испытание на прирабатываемость при врезании в уплотнение лабиринтного гребешка или лопаток ротора; испытание уплотнений на жаростойкость; определение термостойкости уплотнительных слоев.

Для оптимизации режимов напыления, с помощью метода математического планирования эксперимента разработана методика расчета режимов плазменного напыления. В качестве факторов технологического процесса приняты факторы

обусловленные конструкционными особенностями деталей: дистанция напыления, угол наклона плазменной струи к напыляемой поверхности, и параметр, определяющий состояние частиц (скорость, температура, теплосодержание) в момент осаждения на основу грануляция порошкового материала. Полученные уравнения регрессии адекватно оценивают влияние входных параметров на пористость, прочность покрытия, термическую усталость, шероховатость поверхности и количество проходов, необходимых для формирования покрытия заданной толщины.

По полученным данным было проведено напыление образцов. Напыление срабатываемого покрытия проводилось на режимах, оптимизированных с помощью метода математического планирования эксперимента, на плазменной установке УПУ-8.

Микроструктура напыленного на образцы покрытия представлена на рисунке 3, а результаты исследований – в таблице 1



Рисунок 3 - Структура срабатываемого покрытия, напыленного из порошкового материала

Результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности нанесения срабатываемого покрытия на рабочие поверхности на элементы статора ГТД.

Таблица 1 - Результаты металлографического исследования

№ п/п	Определяемые параметры		Значение
1	Толщина покрытия, мкм	Связующего	90-120
		Верхнего	1000-1200
Микроструктура	Величина загрязнений в поверхности контакта подложка-связующее, %		Не более 10
	Состояние поверхности контакта связующее-верхнее покрытие		Без дефектов
	Наличие нерасплавленных частиц порошка в системе покрытий		В связующем не более $\varnothing 150$ мкм – 15 %
	Наличие микротрещин и окислов в системе покрытий		Отсутствуют
	Пористость покрытия, %	Связующего	5
верхнего		30	

Таким образом, исследования позволили выявить режимы напыления покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками. Проведено нанесение покрытий плазменным методом на элементы статора ГТД.