

**РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ
ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОЗВРАЩАЕМОГО
АППАРАТА ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ**

И.А. Пащин, А.А. Сержант, Е.В. Харлова, Д.И. Лютак

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева»,

Россия, Московская область, г. Королев, ул. Ленина, 4а, 141070

E-mail: tehstakan@gmail.com

Для обеспечения требуемого теплового режима работы экипажа и приборов предусматривается придание поверхности космического аппарата определенных терморadiационных свойств в совокупности со штатными системами терморегулирования (СТР), поддерживающими расчетный тепловой баланс в условиях воздействия солнечной радиации. На корабле серии «Союз» функцию терморегулирования поверхности корабля выполняет экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ). Применение ЭВТИ на новом корабле невозможно, так как при проектировании возвращаемого аппарата пилотируемого транспортного корабля нового поколения (ВА ПТК НП) было принято решение о выводе корабля в составе ракеты-носителя без обтекателя. В связи с этим потребовалось создать на теплозащите боковой поверхности ВА терморегулирующее покрытие [1], устойчивое к воздействию сверхзвукового воздушного потока.

В соответствии с техническим проектом на тепловую защиту боковой поверхности ВА ПТК НП к терморегулирующему покрытию предъявляются следующие требования:

- на этапе выведения покрытие должно быть устойчиво к воздействию сверхзвукового воздушного потока при нагреве до температуры 450 °С;
- после вывода корабля покрытие должно иметь отношение коэффициента поглощения солнечной радиации к излучательной способности (A_s/ϵ) в пределах от 0,7 до 0,8, при коэффициенте поглощения солнечной радиации (A_s) не более 0,35.
- покрытие должно сохранять работоспособность и стабильность свойств под действием факторов космического пространства в течение всего срока эксплуатации;
- покрытие должно быть совместимо на всех этапах формирования и эксплуатации с теплозащитным органическим материалом типа СКМ-1 (композит на основе фенолформальдегидного связующего и стеклянных микросфер).

Для реализации поставленной задачи апробировались различные рецептурно-технологические варианты покрытий. По результатам работы был принят вариант, использующий совокупность поверхностных свойств различных материалов, составляющих покрытие. Для формирования покрытия был принят метод газотермического напыления. [2, 3], обеспечивающий как сплошное, так и дискретное нанесение слоев покрытия и позволяющий использовать в качестве исходных компонентов высокотемпературные материалы. Покрытия, получаемые данным методом, обладают сквозной пористостью, что позволяет, с одной стороны, обеспечить свободный отвод продуктов разложения органического теплозащитного материала через поры покрытия (исключить отрыв покрытия), с другой стороны создать кратковременный тепловой барьер за счет низкой теплопроводности компонентов покрытия. Проблема, связанная с возможной деструкцией поверхности органического материала при использовании высокотемпературного метода нанесения покрытия, была решена введением в покрытие адаптирующего подслоя из алюминия, напыление которого не вызывает существенных изменений в покрываемом композиционном теплозащитном материале.

В конечном итоге по результатам серии лабораторных испытаний было предложено послойное нанесение покрытия, реализованное в принятом варианте - покрытия ТЕРМАЛОКС:

1 слой – «подслой», который служит для сцепления с подложкой последующих наносимых слоев – представляет собой нанесенный методом газотермического напыления, алюминий.

2 слой – «солнечный отражатель» – представляет собой нанесенный методом газотермического (плазменного) напыления оксид алюминия.

3 слой – «истинный отражатель» представляет собой нанесенный методом газотермического напыления алюминий с обеспечением равномерного дискретного распределения его по всей площади покрываемой поверхности, при соблюдении соотношения покрытой и непокрытой им площади, рассчитанного в зависимости от требуемого соотношения величин коэффициента поглощения солнечной радиации (A_S) и излучательной способности (ε) формируемого покрытия.

В результате экспериментально – технологической проработки была получена формула (1) для расчета термооптических характеристик покрытия:

$$\frac{A_S}{\varepsilon} = \frac{\left(A_{S_{c.o.}} \times \frac{S_{c.o.}}{S} + A_{S_{и.о.}} \times \frac{S_{и.о.}}{S} \right) + K' \frac{S_{c.o.}}{S} \times \frac{S_{и.о.}}{S}}{\left(\varepsilon_{c.o.} \times \frac{S_{c.o.}}{S} + \varepsilon_{и.о.} \times \frac{S_{и.о.}}{S} \right) + K'' \frac{S_{c.o.}}{S} \times \frac{S_{и.о.}}{S}}, \quad (1)$$

где,

$A_{S_{c.o.}}$ – коэффициент поглощения солнечной радиации материала класса «солнечные отражатели»;

$A_{S_{и.о.}}$ – коэффициент поглощения солнечной радиации материала класса «истинные отражатели»;

$\varepsilon_{c.o.}$ – излучательная способность материала класса «солнечные отражатели»;

$\varepsilon_{и.о.}$ – излучательная способность материала класса «истинные отражатели»;

$S_{и.о.}$ – площадь поверхности материала класса «истинные отражатели», нанесенного на поверхность материала класса «солнечные отражатели»;

$S_{c.o.}$ – площадь поверхности материала класса «солнечные отражатели», оставшаяся непокрытой после нанесения покрытия «истинные отражатели»;

S – общая площадь поверхности формируемого покрытия;

K' , K'' – поправочные коэффициенты для расчета A_S и ε формируемого покрытия, соответственно, учитывающие взаимное оптическое влияние совмещаемых слоев и зависящие от исходных термооптических свойств каждого из этих слоев.

Основным результатом проведенной работы явилась - реализация возможности целенаправленного конструирования терморегулирующих покрытий с различным соотношением коэффициента поглощения солнечной радиации (A_S) и излучательной способности (ε) за счет использования соответственно рассчитанных по занимаемой площади поверхности комбинаций известных исходных материалов классов «солнечные отражатели» и «истинные отражатели».

Результаты проведенных испытаний подтвердили способность разработанного покрытия ТЕРМАЛОКС решить задачи терморегулирования, поставленные при проектировании ВА ПТК НП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северов А.А. Справочник по терморегулирующим покрытиям. – 1972. – 110 с.
2. Хасуй А. Техника напыления. Пер. с японского. - М.: «Машиностроение», 1975. – 288 с.
3. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. – СПб.: Изд-во Политехн. ин-та, 2008. – 406 с.