

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Абдулкаев Э.Р., Осипов Е.В.

**Оренбургский государственный университет
Аэрокосмический институт, г. Оренбург**

Внедрение композиционных материалов в современной авиационной технике можно сравнить с переходом от деревянных к металлическим конструкциям в 20-х годах прошлого века. В нашей стране первый цельнометаллический самолёт АНТ-2 изобрел А.Н. Туполев в 1924 году.

Перспективное использование композиционных материалов, такой как графит, даёт широкие возможности, например, создавать конструкции с заданными физическими свойствами. Зная нагрузки, которые действуют на летательный аппарат, становится возможным спроектировать его таким образом, чтобы он был оптимизирован и не терял прочностные качества в местах повышенной напряженности. Становится возможным сэкономить не только на весе летательного аппарата, но и рассмотреть перспективные формы фюзеляжа, например эллипс или коробка (для транспортного самолёта).

Ведутся работы в области использования композиционных материалов в геодезических конструкциях, рисунок 1, которые состоят не из лонжеронов и стрингеров, а из углеродных нитей, переплетённых между собой. Подобные работы ведутся в центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ).



Рисунок 1 – Геодезическая сетчатая конструкция

Такая конструкция с применением углеродных волокон может использоваться и в самолётостроении и в ракетостроении, она позволяет снизить

вес корпуса летательного аппарата почти на 40 процентов. Конструкция является не однородной, что позволяет воспринимать и выдерживать опасные (сжимающие, крутящие и растягивающие) нагрузки в критических местах.

Использование такого метода изготовления корпуса летательного аппарата, позволит постепенно перейти к прокомпозитным конструкциям. Эти конструкции в отличие от «черного алюминия», когда детали просто заменялись с алюминиевых на композиционные, дают возможность для полной реализации композиционных материалов.

Испытания осуществляются на специальных стендах, рисунок 2.

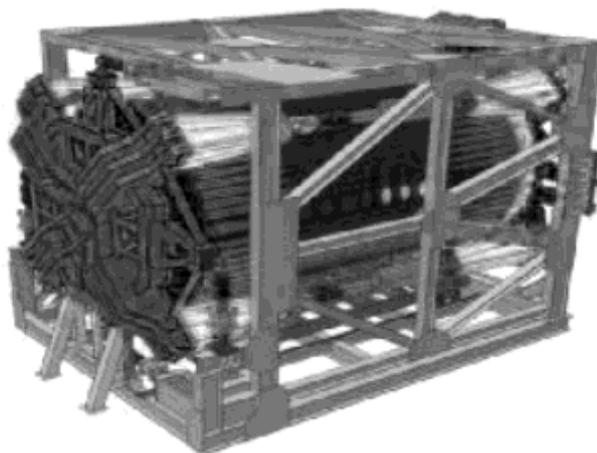


Рисунок 2 – Универсальный стенд для исследования прочности отсеков фюзеляжа

1 Электронно-лучевые покрытия

В процессе создания и дальнейшего усовершенствования агрегатов двигателя летательных аппаратов, а в частности лопаток турбин, была поставлена задача создать материал или покрытие, способное выдержать высокие температуры (от 250 до 1500°C) при эксплуатации. Было разработано многокомпонентное конденсированное электронно-лучевое покрытие Me-Cr-Al-Y, отвечающее всем требованиям эксплуатации. Наносились такие покрытия в специально камере высокого давления, рисунок 3.



Рисунок 3 – Вакуумная камера для электронно-лучевого покрытия

Такое оборудование, как МАП-3 позволяет ускорить ионы внутри камеры, что способствует внедрению в обрабатываемую поверхность ионов нейтральных и реактивных газов, рисунок 4.

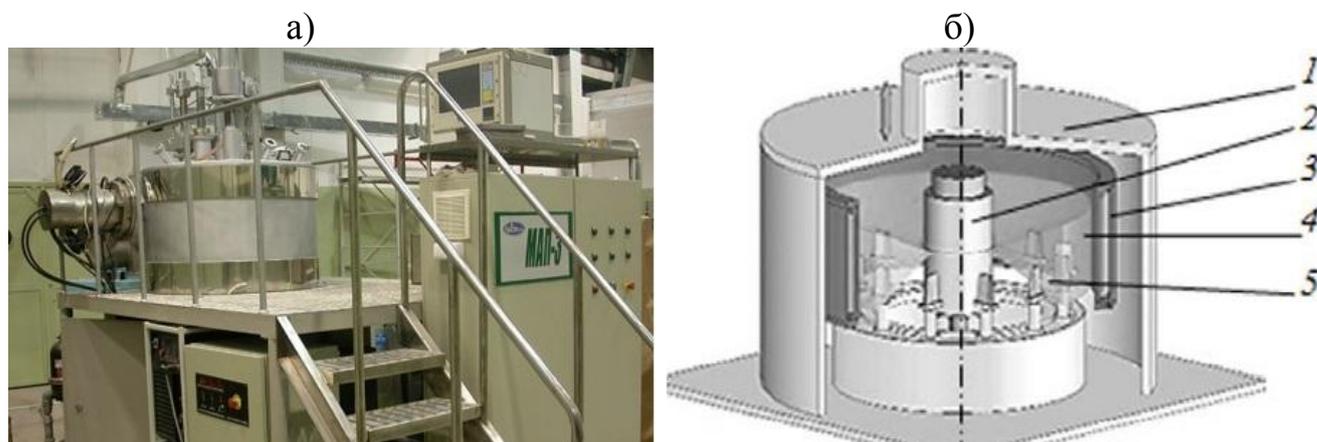


Рисунок 4 – а) Ионно-плазменная установка МАП-3; б) Схема ионно-плазменной установки: 1 – вакуумная камера; 2 – катод; 3 – анод с магнитной катушкой; 4 – плазма испаряющегося материала; 5 – обрабатываемый материал.

Насыщение ионами материала позволяет улучшить характеристики наносимых на изделия покрытий. Нанесение происходит в несколько слоёв из-за непрерывного испарения металла катода. Он состоит из Cr, Ti или Al. Толщина полученного покрытия составляет от 12 до 90 нм.

Были разработаны электронно-лучевое покрытие типа Ni-Cr-Al-Y. Такие покрытия были наиболее подходящими для нанесения на материал в серийном производстве. Сравнительные испытания показали, что покрытие типа Ni-Cr-Al-Y во многом превосходит покрытие типа Me-Cr-Al-Y.

Толщина покрытия Ni-Cr-Al-Y составляет от 3 до 5 мкм, она лучше защищает материал от газовой коррозии, также уменьшает возможность образования на поверхности лопаток трещин и дефектов вследствие термической усталости материала. Увеличился и срок эксплуатации двигателя более чем в два раза, срок эксплуатации лопаток в четыре раза, а рабочая температура лопаток в газотурбине составила от 1100 до 1150°C.

2 Безуглеродистые жаропрочные никелевые сплавы

Для газотурбинных двигателей пятого поколения были выбраны безуглеродистые жаропрочные никелевые сплавы с монокристаллическим строением лопаток. Материалы из никелевых сплавов разделяются на стареющие, отличительной особенностью которых является высокая жаропрочность и гомогенные (Ni-Cr, Ni-Cr-Fe), имеющие высокую жаростойкость.

Такие сплавы сочетают в себе высокое электрическое сопротивление (от 1,2 до 1,5 Ом·мм²/м), температура при которой плавится сплав составляет от 2000 до 2100 °С.

Лопатки имеют вид «ажурных» конструкций, внутренняя полость которых имеет сложную систему включающую перфорационные отверстия диаметром от 0,3 до 1,1 мм, благодаря чему обеспечивается внутреннее струйное и внешнее пленочное охлаждение. Толщина стенки лопатки составляет от 1 до 1,6 мм.

Из-за большой диффузионной подвижности на стыке защитного покрытия и основного материала происходит снижение прочностных характеристик и стабильности наносимого жаростойкого покрытия. Для предотвращения этого процесса и снижения воздействия вторичной реакционной зоны вглубь материала лопатки подвергаются вакуумному отжигу. Также их насыщают хромом и алюминием, рисунок 5.

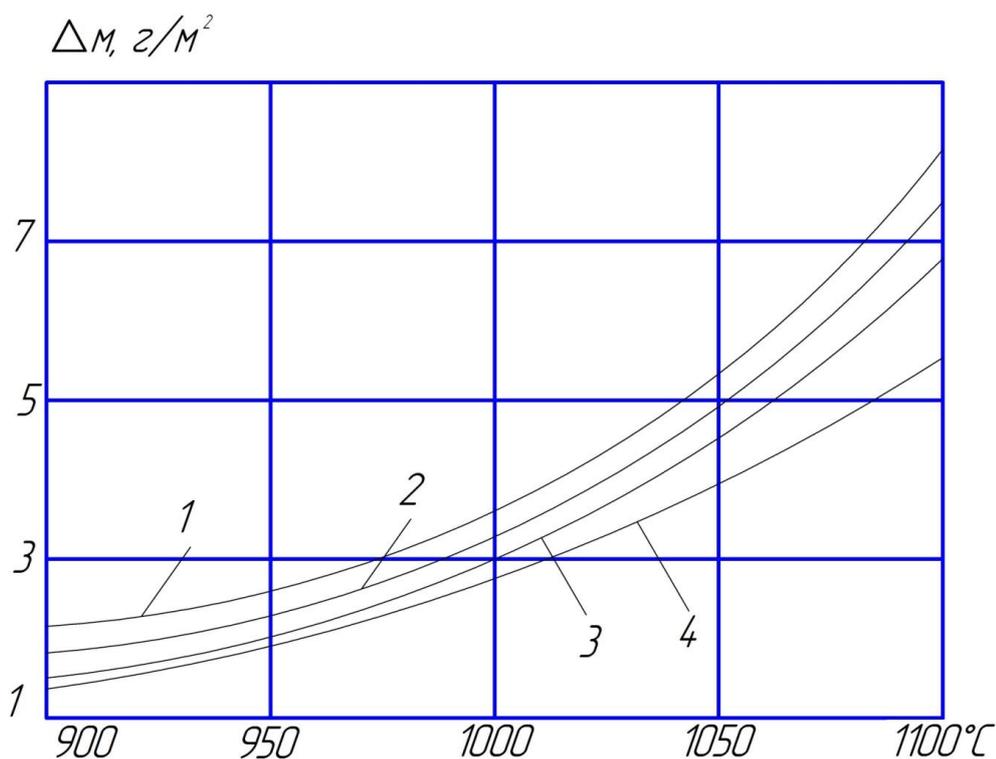


Рисунок 5 – Температурная зависимость удельного привеса Δm при термодиффузионном насыщении углеродом сплавов: 1 – ЖС 40; 2 – ЖС 45; 3 – ВЖМ 3; 4 – ВЖМ 4.

По графику видно, что насыщение углеродом при температуре от 950 до 1050 происходит от 0,4 до 2 г/(м²·ч). Также, график показывает, что для более глубокого насыщения до 35 мкм, необходим удельный привес углерода от 4 до 8 г/м².

3 Керамические покрытия

Керамические покрытия широко используются в промышленности. Наличие такого слоя позволяет значительно снизить температуру на лопатках турбин приблизительно на 100°C, с толщиной керамического слоя около 140 мкм. Таким образом, повышается ресурс работы двигателя, также нанесение керамического слоя позволяет увеличить рабочую температуру лопаток, а значит и удельные характеристики двигателя.

Минусом керамических покрытий является быстрое когезионное разрушение при слишком высоких температурах эксплуатации. Его ресурс ограничивается условиями роста и временем нанесения оксидной плёнки на материал лопатки. При уменьшении оксидной плёнки до критических размеров происходит скалывание нанесённого материала, в данном случае керамического слоя, рисунок 6. Для увеличения срока работы лопаток а также керамического слоя необходимо уменьшение массы лопаток и увеличение

наносимого покрытия, которое возможно только путём уменьшения теплопроводности керамического материала, от 1,1 до 1,6 Вт/(м·К).

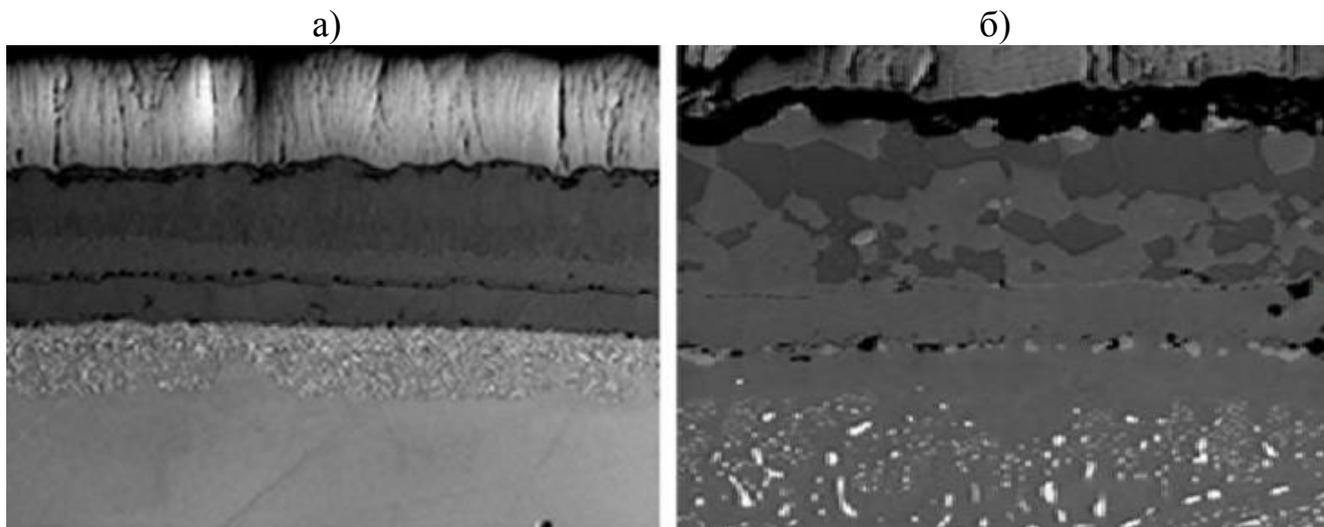


Рисунок 6 – а) Керамическое покрытие до испытаний; б) Керамическое покрытие после испытаний при температуре 1050°C.

Рассматриваются материалы для уменьшения теплопроводности такие как Gd, Ce, Nd, с теплопроводностью до 1,8 Вт/(м·К) и температуру при которой сохраняются заданные характеристики материала около 2400°C.

В отличие от электронно-лучевого покрытия, здесь для того, чтобы получить керамику с низкой теплопроводностью применяют магнетронное распыление, что даёт уменьшение массы, размеров аппаратуры в 4 раза и потребление энергии до 15 раз.

Список литературы

1. Харрисон Дж.Д., Ходгсон Д.Е. Использование сплавов системы Ti-Ni в механических и электрических соединениях // Эффект памяти формы в сплавах / Под ред. В.А. Займовского. – М.: Металлургия, 1979. – С. 429-434.
2. Вольченко Д.А. Сплавы с памятью формы // Автомобильная промышленность. – 1991. – №8. – С. 30-31.
3. Peel C.J. Advances in materials for aerospace // The Aeronautical Journal. – 1996. – Vol. 100. – pp. 487-503.
4. Noor A.K. et al. Frontiers of the material world // Aerospace America. – 1998. – Vol. 36, No. 4. – pp. 24-31
5. Мубояджян С.А. Особенности осаждения из двухфазного потока многокомпонентной плазмы вакуумно-дугового разряда, содержащего микрокапли испаряемого материала // Металлы. 2008. №2. С. 21-35