

Применение капиллярного метода дефектоскопии для материалов с многослойными покрытиями

Попко С. В.¹, Петренко С. И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусская государственная академия авиации,

Минск, Республика Беларусь

В авиации и космонавтике существует настоятельная необходимость изготовления легких и износостойких конструкций. Анализ известных способов и технологических процессов, направленных на получение заданных эксплуатационных свойств, показывает, что решением задачи создания современных материалов является использование технологии производства и нанесения многокомпонентных и многослойных полимерных композитов.

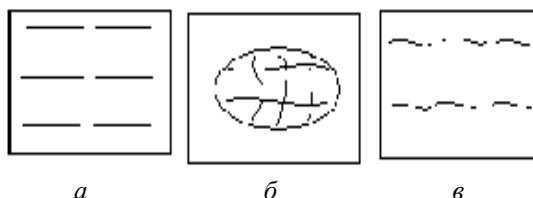


Рис. Образец из алюминия:

а – контрольный, *б* – покрытого полистиролом,

в – покрытого полистиролом, легированным фуллереном C₆₀

Целью данной работы являлась разработка метода неразрушающего контроля алюминия, а также алюминия с многослойным покрытием. Наиболее популярным и распространенным в мире в настоящее время является капиллярный метод, так как с его помощью можно обнаружить не только поверхностные и сквозные дефекты, но по их расположению, протяженности, форме и ориентации можно получить ценную информацию о характере дефекта и даже некоторых причинах его возникновения. Капиллярный контроль основан на проникновении под действием капиллярных сил индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных и сквозных дефектов и регистрации следов, которые создает извлеченная из полостей дефектов индикаторная жидкость на контролируемой поверхности.

Поскольку конструкция самолета подвергается переменным по величине и знаку нагрузкам, изменяющимся циклически, то в ней возникают трещины,

возрастающие с большей или меньшей скоростью и приводящие к разрушению после определенного для каждого материала числа циклов. В работе приводятся данные о влиянии циклических напряжений ультразвуковой частоты на развитие наиболее опасных дефектов, т.е. трещин на поверхности алюминия, а также алюминия, покрытого полистиролом и алюминия, покрытого полистиролом, модифицированным фуллереном C_{60} . Структура полистирола плюс C_{60} была получена методом полива полистирола раствором C_{60} в толуоле. В результате эксперимента установлено, что наибольшее количество микротрещин (рис. а) возникает на поверхности чистого алюминия, которые затем перерастают в макротрещины. При том же количестве циклов ($N = 2 \cdot 10^7$) озвучивания на поверхности алюминия, покрытого полистиролом, появляются дефекты, представляющие собой конгломерат близкий к цилиндрическим, овальным и другим несплошностям, сообщающимся и не сообщающимся между собой (рис. б).

На поверхности алюминия, покрытого полистиролом плюс C_{60} способом газотермического напыления, появляются более мелкие трещины, размером ~ 50 мк (рис. в). Это говорит о том, что композиционное покрытие подавляет рост развивающихся трещин. Известно, что легирование полистирола фуллереном приводит к улучшению некоторых свойств этого материала: повышается твердость, модуль упругости. Для определения механических характеристик исследуемых материалов использовался прибор IMPULSE-1R. Исследуемый образец подвергается воздействию индентора, с помощью которого в результате одного измерения можно получить информацию о твердости, модуле упругости. Основой для расчета всех параметров является функция зависимости скорости проникновения индентора от времени, а умножив его на массу индентора получаем значение контактной силы $P(t)$, которая дает представление о твердости H материала:

$$H = \frac{1}{\pi D} \cdot \frac{\partial P}{\partial \alpha},$$

где D – диаметр сферы индентора; α – глубина его внедрения.

Модуль Юнга E рассчитывается по формуле

$$E = 0,93 \frac{C}{\sqrt{R\alpha_{\max}}},$$

где C – коэффициент жёсткости; R – радиус сферического наконечника.

Результаты эксперимента показали, что легирование полимера углеродными наночастицами увеличивает модуль Юнга этих материалов в 1,5-2 раза в зависимости от объемной доли фуллеренов. В то же время легирование полистирола фуллереном C_{60} уменьшает поверхностную энергию γ со 140 мДж/м² до 125 мДж/м². Поверхностную энергию определяли методом покоящейся капли. В качестве смачивающих жидкостей использовали

дистиллированную воду и глицерин. Поверхностная энергия влияет на многие физико-химические свойства материалов. В частности, γ входит в известное уравнение Гриффитса, согласно которому напряжение σ , при котором трещина достигает критических размеров, после чего наступает растрескивание, разрушение материала, определяется формулой

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l}},$$

где l – длина половины трещины; E – модуль Юнга.

Поэтому для улучшения прочностных характеристик материалов желательно наносить многослойные покрытия, каждое из которых привносит свою лепту в улучшение того или иного свойства материала.

Литература

1. Витязь, П. А. Наноструктуры в конденсированных средах : достижения и перспективы / П. А. Витязь, Э. М. Шпилевский // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах. – Минск, 2018. – С. 3–8.
2. Капиллярный неразрушающий контроль / П. П. Прохоренко [и др.]. – Минск, 1998. – 160 с.
3. Рудницкий, В. А. Определение физико-механических параметров вязкоупругих материалов методом динамического вдавливания индентора / В. А. Рудницкий, А. П. Крень. // Достижения физики неразрушающего контроля. – Минск, 2003. – С. 134–144.
4. Судник, Л. В. Применение наноструктур в защитных композиционных материалах / Л. В. Судник, В. С. Ткачук. // Наноструктуры в конденсированных средах. – Минск, 2018. – С. 226–229.

УДК 504.3

Экологические проблемы авиации в курсе физики

Кириленко А. И., Шаведдинова К. В.
Белорусская государственная академия авиации
Минск, Республика Беларусь

В работе анализируются факторы воздействия авиации на окружающую среду. Сравниваются данные из различных литературных источников. Показано, что имеющиеся данные зачастую подаются некорректно, методики расчетов не приводятся. Численные значения по эмиссии парниковых газов у разных авторов отличаются в разы. Производится сравнение антропогенной и природной эмиссии парниковых газов. Выясняется роль авиационной отрасли в загрязнении окружающей среды.