

- анализ характеристик интегрированной схемы ВЛА: планер + прямоточный воздушно-реактивный двигатель;
- создание методологии проектирования систем тепловой защиты ВЛА разного стратегического назначения;

Далее необходимо решить задачу о исследовании аэродинамического нагрева высокоскоростного летательного аппарата при полете в плотных слоях атмосферы, где определяются основные физико-химические процессы при аэродинамическом нагреве высокоскоростных ЛА и проводится анализ химического состояния многокомпонентного воздуха в пограничном слое при полёте ВЛА на разных скоростях и высотах.

Итогом работы является создание общей математической модели процессов термодинамики и тепло-массообмена в химически активном пограничном слое с учетом каталитической активности поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант РНФ № 23-19-00684), выданного Московскому авиационному институту.

УДК 539.3; 539.4

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТАБИЛЬНОСТЬ УПРУГОПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕКОМПОЗИТОВ ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

С. В. ШИЛЬКО, Т. В. ДРОБЫШ, А. П. САЗАНКОВ

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

С. И. РОМАНОВИЧ

ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена проблема обеспечения стабильности механических характеристик высокопрочных и высокомодульных полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых в космической технике. По данному критерию исследована стойкость к физико-химическому воздействию космической среды (гамма-излучению и атомарному кислороду) двух ПКМ, единообразно однонаправленно армированных углеродными волокнами, но различающихся по виду термореактивного связующего. Проведенные испытания на одноосное растяжение показали, что характер изменения предела прочности и модуля упругости изученных углекомполитов под действием вышеназванных факторов зависит от применяемого связующего, вида воздействия и направления нагружения по отношению к ориентации армирующих волокон. Практическая значимость результатов состоит в обеспечении прочности и формостабильности композитных изделий аэрокосмического назначения.

Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях ракетно-космической техники обусловлено их высокими удельными (по отношению к плотности) механическими характеристиками [1]. Однако эксплуатация этой техники на низких орбитах сопряжена с высокоэнергетическим физико-химическим воздействием факторов космической среды, включая ионизирующее излучение и атомарный кислород. Ранее проведенные исследования [2–4] показали, что влияние указанных воздействий на ПКМ неоднозначно, поскольку может вызывать как его разупрочнение вследствие деградации структуры, так и упрочнение благодаря формированию в полимерном связующем дополнительных межмолекулярных связей. Важно оценить степень таких изменений для конкретных ПКМ с учетом вида связующего и направления нагружения по отношению к направлению армирования.

Цель работы – оценка стабильности механических свойств высокопрочных однонаправленных полимерных углекомполитов при дифференцированном воздействии атомарного кислорода и гамма-квантового излучения.

Материалы и методы. На одноосное растяжение было испытано 16 серий образцов двух углекомполитов (№ 1 и 2) с аналогичной структурой (вид волокна, степень наполнения), но с разным связующим. Серии включали контрольные (К) и экспериментальные (Э) образцы до и после дифференцированного воздействия гамма-излучения и атомарного кислорода соответственно.

Деформационно-прочностные характеристики изучаемых композитов при одноосном растяжении определялись на машине Инстрон 5567 с использованием высокоточного средства измерения деформаций в виде навесного контактного экстензометра (рисунок 1).



Рисунок 1 – Универсальная машина Инстрон 5567 и навесной контактный экстензометр

Для надежной фиксации образцов в виде лопаток в захватах машины и предотвращения разрушения материала за пределами рабочей зоны применялись накладки из стеклопластика. Скорость нагружения составляла 0,1 мм/мин на начальной стадии деформирования при определении модуля упругости E^0 и 1 мм/мин при определении предела прочности σ_p . Испытывались образцы материалов с укладкой волокон вдоль оси образца (0°) и поперек оси (90°).

Гамма-квантовое облучение оказало следующее влияние на механические свойства углекомпозиата № 1: предел прочности материала, армированного в продольном направлении, остался практически неизменным, а модуль упругости снизился на 8 %. Для материала, армированного в поперечном направлении, напротив, было установлено значительное увеличение прочности (на 23 %) при небольшом снижении модуля упругости (на 4 %).

Гамма-квантовое облучение углекомпозиата № 2 привело к снижению всех механических характеристик как в продольном (предел прочности уменьшился на 4 %, модуль упругости – на 8 %), так и в поперечном направлении (предел прочности уменьшился на 5 %, модуль упругости – на 8 %).

Воздействие атомарного кислорода также выявило различные тенденции изменения механических характеристик углекомпозиата № 1 (в продольном направлении наблюдался рост прочности на 10 % при незначительном (2 %) изменении модуля упругости; в поперечном направлении произошло снижение прочности на 13 % и модуля упругости на 7 %).

Воздействие атомарного кислорода вызвало разноплановые изменения свойств углекомпозиата № 2 (в продольном направлении предел прочности снизился на 7 %, модуль упругости изменился незначительно на 1 %), а в поперечном направлении предел прочности увеличился на 10 %, а модуль упругости не изменился). По рисунку 2 можно судить о характере разрушения образцов углекомпозиатов до и после воздействия атомарного кислорода в зависимости от направления укладки: веерообразное продольное растрескивание при 0° и поперечный разрыв, в том числе с фрагментацией рабочей части образца, – при 90° .

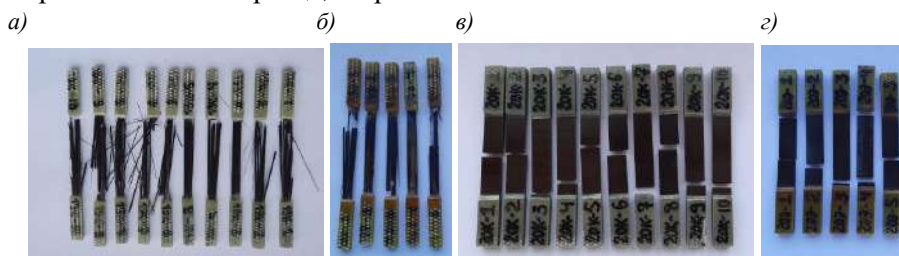


Рисунок 2 – Серия образцов с укладкой 0° (а, б) и 90° (в, г), испытанных на растяжение до (а, в) и после (б, г) воздействия атомарного кислорода

Для наглядности средние значения предела прочности и модуля упругости композитов с укладкой 0° и 90° до и после гамма-квантового облучения, а также воздействия атомарного кислорода приведены в виде диаграмм на рисунке 3.

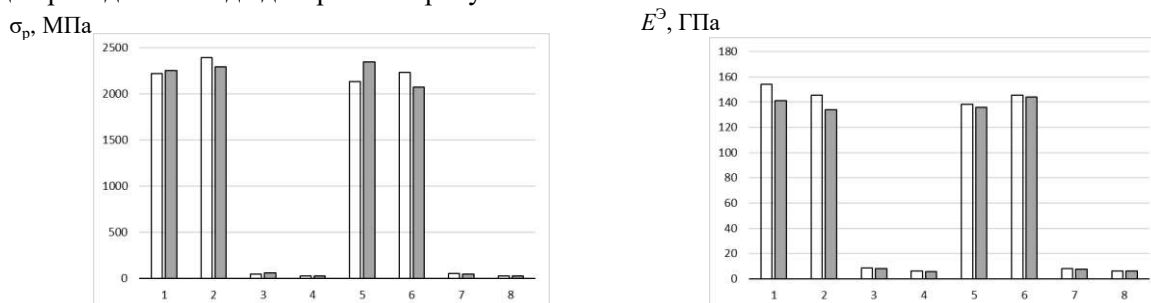


Рисунок 3 – Предел прочности углекомпозиатов № 1, 2 (а) и модуль упругости (б) до и после гамма-квантового облучения и воздействия атомарного кислорода: 1, 3, 5, 7 – углекомпозиат № 1; 2, 4, 6, 8 – углекомпозиат № 2

Результаты для контрольных образцов отмечены белым фоном, экспериментальных – серым фоном. Заключение. Анализ результатов испытаний на одноосное растяжение однонаправленных углекомполитов выявил сложный и разноплановый характер изменения их механических свойств при воздействии физико-химических факторов космической среды, зависящий от вида полимерного связующего, типа воздействия и направления армирования. Так, гамма-облучение в большинстве случаев привело к снижению модуля упругости на 4–8 %, в то время как прочность демонстрировала как рост до 23 % для поперечного направления углекомполита № 1, так и снижение до 5 % в этом направлении при испытании углекомполита № 2.

Воздействие атомарного кислорода также проявилось в разноплановых изменениях механических свойств, например, в одних случаях наблюдалось увеличение прочности (на 10 % в продольном направлении углекомполита № 1 и поперечном направлении углекомполита № 2), в других – ее снижение (до 13 % в поперечном направлении углекомполита № 1).

Полученные данные показали существенную роль полимерной матрицы, деградация или модификация которой под действием факторов космической среды определяет прочность и модуль упругости углекомполитов, что является критическим фактором, обеспечивающим долговечность и формостабильность ответственных композитных конструкций аэрокосмического назначения.

Исследование поддержано БРФФИ (проект № Т24Т-067 «Биоподобные композиты конструкционного и триботехнического назначения на основе полимеров и эластомеров, реализующие самоупрочнение и самозалечивание структурных повреждений».

Список литературы

1 Аттестация физико-механических свойств направленно-армированных полимерных композитов для элементов конструкций, эксплуатируемых в экстремальных условиях / С. В. Шилько, Т. В. Рябченко, И. В. Ермолкиевич [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. ОИМ. – Минск, 2017. – Вып. 6. – С. 329–333.

2 **Bansal, N.** Exploring the impact of gamma rays and electron beam irradiation on physico-mechanical properties of polymers & polymer composites: a comprehensive review / N. Bansal, S. Arora // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2024. – Vol. 549. – 165297. – DOI: org/10.1016/j.nimb.2024.165297.

3 **Нуруллаев, Э. М.** Механические характеристики полимерного композитного материала на основе низкомолекулярных каучуков, подвергнутых воздействию гамма-излучения / Э. М. Нуруллаев, В. Д. Онискив // Химия высоких энергий. – 2021. – Т. 55, № 2. – С. 150–154. – DOI: 10.31857/S0023119321020108.

4 **Гайдар, А. И.** Воздействие кислородной плазмы на структуру и физико-механические свойства полимерных и полимеродных материалов : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.07 / Гайдар Анна Ивановна. – М., 2013. – 113 с.

УДК 621.762.-52:620.191

ДЕФЕКТНОСТЬ СТРУКТУРЫ ЕДИНИЧНЫХ ТРЕКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

И. В. ШКОБАРА, Т. Л. НГУЕН, В. Н. ДОБРЯНСКИЙ
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе исследован процесс селективного лазерного плавления (СЛП) порошка сплава AlSi10Mg различного гранулометрического состава. Установлено существенное влияние среднего размера частиц на теплофизические свойства порошкового слоя, оптимальные параметры его плавления, а также морфологию ванны расплава и дефектность единичных треков.

Экспериментальные исследования проводились на 3D-принтере AddSol D50 (ООО «Титан-Авангард», г. Москва). В исследовании использовался порошок различного гранулометрического состава, полученный путем просеивания стандартного порошка AlSi10Mg, мкм (ОК РУСАЛ, г. Москва): 35,5 (Стандарт); 20,2; 26,4; 36,9; 50,2 и 73,4.

Для каждого порошка были получены единичные треки в широком диапазоне варьирования скоростей (100 до 1980 мм/с с шагом 235 мм/с) и мощностей (40–400 Вт с шагом 36 Вт) лазерного источника. Толщина слоя для всех экспериментов оставалась неизменной – 60 мкм.