

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ УСЛОВИЙ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА**

Ершова А.Ю., Мартиросов М.И.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
г. Москва, Россия, Yershova_a@mail.ru*

Элементы конструкций современной авиационной техники (АТ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в процессе эксплуатации подвергаются воздействию внешних нагрузок статического и динамического характера, окружающей среды (температура, влажность, удары молний, град, ультрафиолетовое облучение), а также авиационного топлива, гидравлических жидкостей, смазочных масел, противообледенительных и моющих средств и ряда других факторов. Эти факторы могут привести к снижению механических характеристик ПКМ.

Основными климатическими факторами, влияющими на прочность элементов конструкций, выполненных из ПКМ, являются изменяющиеся во времени температурно-влажностные условия окружающей среды. Известно, что ПКМ обладают способностью абсорбировать влагу из окружающей среды. Диффузия влаги в ПКМ вызывает набухание и действует на матрицу как пластификатор (размягчитель). Следствием этого является снижение температуры стеклования матрицы, что отрицательно влияет на прочностные характеристики материала.

При разработке элементов конструкций АТ с использованием ПКМ в настоящее время у нас в стране и за рубежом проводятся обязательные испытания таких материалов при следующих температурно-влажностных режимах:

- RTD (Room Temperature Dry) – испытания ПКМ при комнатной температуре $+23^{\circ}\text{C}$ и влажности – в состоянии поставки образцов (это состояние, в котором находятся образцы сразу после изготовления, содержание влаги в них не превышает 10% от максимального влагонасыщения при относительной влажности 85%);
- CTD (Cold Temperature Dry) – испытания ПКМ при отрицательной температуре -55°C и влажности – в состоянии поставки образцов;
- ETD (Evaluated Temperature Dry) – испытания ПКМ при повышенной температуре $+80^{\circ}\text{C}$ и влажности – в состоянии поставки образцов;
- ETW (Evaluated Temperature Wet) – испытания влагонасыщенных образцов из ПКМ при повышенной температуре $+80^{\circ}\text{C}$ (влажность равновесная при выдержке в условиях влажности 85% и температуре $+80^{\circ}\text{C}$).

При доказательстве прочности создаваемой АТ должны обязательно учитываться воздействия окружающей среды на механические свойства ПКМ при длительной эксплуатации.

В работе проводятся климатико-прочностные испытания элементарных образцов из углепластика с типовой укладкой монослоев $+45^{\circ} / -45^{\circ} / 0^{\circ} / 90^{\circ} / 0^{\circ} / -45^{\circ} / +45^{\circ}$ (всего 7 монослоев). Исследуются режимы RTD, ETD и ETW. Проводится их сравнение по прочностным характеристикам.

На основе препрега HexPly M21/40%/285T2/AS4C-6K (паспортная толщина монослоя $\sim 0,285$ мм) производства американской фирмы Hexcel Composites

(углеродная ткань 285T2/AS4C саржевого переплетения на основе углеродного высокомодульного волокна HexTow AS4C 6K GP, пропитанная эпоксидным связующим M21 по технологии Hot Melt) была изготовлена плоская монолитная углепластиковая панель по автоклавной технологии (толщина пакета ~2 мм). Применительно к АТ такой препрег может быть использован для производства сильнонагруженных деталей конструкционного назначения: панелей, лонжеронов и нервюр центроплана; панелей и лонжеронов консоли крыла; обшивок и лонжеронов стабилизатора и киля; нервюр консоли крыла, стабилизатора и киля; балок пола и других элементов.

Для изготовления панели использовался автоклав фирмы MASCHINENBAU Scholz GmbH & Co.KG (Германия). Далее из углепластиковой панели вырезались стандартные гладкие образцы в продольном (направление вырезки 0°) и в поперечном (направление вырезки 90°) направлениях. Все образцы были подвергнуты неразрушающему контролю. Использовался дефектоскоп ультразвуковой Erosch 1000i фирмы Olympus (США) и преобразователи этой же фирмы. Кроме проверки на отсутствие внутренних дефектов контроль качества изготовленных образцов проводился на точность их геометрических размеров и отсутствие внешних дефектов.

Разработана программа испытаний исследуемых образцов, которая включала следующие эксперименты:

- растяжение в режиме RTD,
- сжатие в режиме RTD,
- нагрев + растяжение в режиме ETD,
- нагрев + сжатие в режиме ETD,
- влагонасыщение + нагрев + растяжение в режиме ETW,
- влагонасыщение + нагрев + сжатие в режиме ETW.

Эксперименты проводились на электромеханической испытательной машине INSTRON фирмы Instron Engineering Corporation (Великобритания) по российским стандартам.

Управление машиной осуществлялось посредством программного обеспечения INSTRON Bluehill, с помощью которого проводилось задание параметров испытания, управление системой, сбор и анализ данных, полученных в ходе работ. Нагружение образцов проводилось с постоянной скоростью 1МПа/с. Испытание прекращалось при достижении разрушения образца. Получены диаграммы деформирования в осях P - Δl и σ - ε . Исследовался характер разрушения образцов.

Нагрев до заданной температуры проводился с помощью специально разработанного устройства, для контроля температуры применялись термопары. Термопары обладают определенными преимуществами перед другими контактными датчиками: имеют простую и надежную конструкцию, не требуют внешних источников питания, могут использоваться в широком диапазоне температур, недороги.

Влагонасыщение образцов проходило в климатической камере TH-TG-1500 производства фирмы Lab Companion (Южная Корея) в соответствии с ГОСТ 12423-2013 и контролировалось на образцах-спутниках. Образцы-спутники помещались в климатическую камеру вместе с образцами, предназначенными для механических испытаний, и служили для оценки количества поглощенной влаги. Наиболее интенсивное влагопоглощение наблюдалось в первые дни экспонирования. Далее этот процесс протекал с убывающей скоростью и обладал свойством насыщения. Считалось, что равновесное насыщение достигнуто, когда три последовательных взвешивания на электронных весах с интервалом 3 суток дают среднее значение изменения массы поглощенной влаги в образце-спутнике менее 1% от предыдущего значения. Содержание влаги определялось по приращению массы образцов

относительно их исходного состояния. Построена кривая влагонасыщения. Проведен теоретический расчет диффузии влаги по закону Фика с учетом переменности коэффициента диффузии в соответствии с зависимостью Аррениуса. Время влагонасыщения образцов составило 75 суток, максимальное влагосодержание 0,9%.

Для количественного учета влияния влагонасыщения и температурного нагрева на характеристики статической прочности исследуемых образцов вводятся редуцированные коэффициенты K_{BT} и K_T , которые характеризуют изменение расчетных характеристик материала по сравнению с обычными лабораторными условиями. В работе определяются коэффициенты влияния климатических воздействий при статических испытаниях образцов на растяжение (K_{T+} и K_{BT+}) и сжатие (K_{T-} и K_{BT-}) для сравнения режимов RTD, ETD и ETW. Исследуется влияние угла вырезки (0° и 90°) на прочность образцов при растяжении и сжатии.

Проведена статистическая обработка числовых данных экспериментов. Для каждой характеристики, полученной при испытании (разрушающая нагрузка, предел прочности и др.) рассчитаны среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации. Демонстрируются образцы до и после испытаний.

Формулируются практические выводы и рекомендации по результатам проведенных в работе исследований.

Ниже приводятся ссылки на некоторые публикации авторов, которые посвящены этой тематике.

Литература

1. Мартиросов М.И., Ершова А.Ю. Деформирование и разрушение элементов авиационных конструкций из полимерных композитов с углеродным наполнителем // Тезисы докладов XXVI Международной конференции «Математическое и компьютерное моделирование в механике деформируемых сред и конструкций». Санкт-Петербург, СПбГУ, 2015 г. С. 216-217.
2. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Экспериментальное изучение влияния температурно-влажностных условий окружающей среды на механические свойства полимерных композитов // Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях. М., МАИ, 2016 г. С. 513-514.
3. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Экспериментально-теоретические исследования прочностных характеристик образцов из углепластика после влагонасыщения // Материалы XXIII Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г. Горшкова. Том 1. М., МАИ, 2017 г. С. 82-85.
4. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Исследование влияния влагонасыщения на механические характеристики углепластика, изготовленного на основе препреговой технологии // Сборник материалов и конкурсных докладов LIX Международной конференции «Актуальные проблемы прочности». Тольятти, ТГУ, 2017 г. С. 144-145.
5. Ершова А.Ю., Мартиросов М.И. Влияние скорости нагружения образцов из углепластика на результаты механических испытаний при растяжении-сжатии // Тезисы докладов VI Международного научного семинара «Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы». М., МАИ, 2017 г. С. 51-52.