

ЛИТЕРАТУРА

1. Hairi S. M. F. B. S. et al. A review on Composite Aerostructure Development for UAV application //Green Hybrid Composite in Engineering and Non-Engineering Applications. – 2023. – С. 137-157.
2. Negoita C., Cristache N., Bodor M. The epoxy resin-History and perspectives //Mater. Plast. – 2016. – Т. 53. – №. 3.

УДК 678.7.027:629.735.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАНЕРЫ В ТЕХНОЛОГИИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

А.А. МАКАРУК, М.В. АНДРЮХОВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

С развитием технологий построения летательных аппаратов древесины как древесный композиционный материал (ДКМ) вытеснили металлы и синтетические композиты, превосходившие ее по стабильности и прочности в суровых условиях эксплуатации.

Однако развитие материаловедения привело к использованию древесины в виде многослойной структуры, которая благодаря модифицированию приобрела повышенную прочность, влагостойкость, долговечность и минимальный вес.

В процессе проектирования планера беспилотных летательных аппаратов (БЛА) необходимо учитывать полезную нагрузку, дальность, скорость, высоту, время полета, срок службы, коэффициент перегрузки. Конструкторами уделяется внимание возможности уменьшения массы БЛА исходя из внешних геометрических размеров, аэродинамики, силовой установки и свойств используемых материалов (прочность, жесткость, плотность) с учетом технологии изготовления деталей из них. Максимальной экономии веса и стоимости в прогрессивных самолетных конструкциях можно добиться за счет современных композитных конструкций, а также внедрения дешевых методов изготовления деталей и оснастки, сборки, ремонта [1].

Ключевыми причинами интереса к ДКМ для беспилотных систем являются высокое удельное отношение прочности и жесткости к весу. Материал должен быть максимально прочным и жестким, но при этом

как можно более легким. Многие современные ДКМ (например, модифицированная древесина или высококачественная авиационная фанера) по этому показателю сопоставимы со стеклопластиком и даже некоторыми алюминиевыми сплавами, но при этом часто дешевле и проще в обработке.

Древесина и материалы на ее основе эффективно гасят вибрации. Это критически важно для БЛА, так как снижает нагрузки на планер, увеличивая его ресурс и защищает чувствительную бортовую электронику (гироскопы, акселерометры, камеры) от тряски, что значительно улучшает качество стабилизации и съемки.

ДКМ не экранируют радиоволны, что делает их идеальным материалом для изготовления обтекателей антенн, корпусов для приемопередающей аппаратуры и других элементов, где главным является обеспечение беспрепятственного прохождения сигналов GPS, управления и телеметрии.

Данные материалы являются наиболее экологичным вариантом, так как они производятся из такого возобновляемого сырья, как древесина и имеют значительно меньший углеродный след по сравнению с синтетическими композитами на основе эпоксидных смол, стекло- и углеволокна, производство и утилизация которых сопряжены с большими экологическими издержками.

Высокая технологичность и обрабатываемость ДКМ упрощает и удешевляет процесс прототипирования и мелкосерийного производства, позволяя быстро вносить изменения в конструкцию, так как относительно легко режутся, фрезеруются на станках с ЧПУ, склеиваются и обрабатываются.

Стоимость древесных композитов меньше композитов на основе углеродного и стекловолокна, что позволяет снизить общую стоимость [2].

Наиболее подходящим ДКМ для беспилотных систем является авиационная фанера. Основное ее отличие от фанеры общего назначения заключается в повышенных требованиях к прочности и жесткости. Авиационная фанера изготавливается из наиболее прочных сортов древесины и подвергается более жесткому прессованию для обеспечения максимальной прочности при минимальном весе, что является критическим параметром для авиастроения.

Данный вид фанеры изготавливается в основном из березового шпона, количество слоев — три и более. За счет этого варьируется толщина пласта — минимальный показатель составляет 3 мм, максимальный — 16 мм. Это стандартные показатели фанеры, но есть и листы, толщина которых составляет всего 1 мм.

При этом авиационная фанера отличается повышенной плотностью и гибкостью. Тонкие шпонированные листы можно сгибать под

значительным углом без риска растрескивания, что позволяет изготавливать различные изогнутые элементы, которые отличаются надежностью и длительным сроком службы.

Фанера подразделяется в зависимости от используемой основы. Древесина, которая делается с пропиткой из фенолформальдегидной смолы с добавлением пластика, называется дельта-древесиной и используется для изготовления любых конструкций, в том числе и БЛА.

В зависимости от вида прослойки авиационная фанера выпускается нескольких марок. Марки БП-А и БП-В пропитываются смолой изнутри, а наружные слои покрываются пленкой, которая обеспечивает влагостойчивость.

Есть также марка БПС-1В, где шпонированная прослойка дублируется, что повышает прочность листа. Толщина такого пласта —

10 мм. И самая прочная марка — БС-1. Здесь используется смоляной состав СФЖ 3011, что позволяет увеличить нагрузку на лист до 96 МПа.

Кроме деления на марки фанера классифицируется по типу обработки поверхности. Она может быть шлифована с одной или с обеих сторон либо быть с шероховатой поверхностью. Ширина стандартного шпонированного листа может быть от 800 до 1500 мм, а длина от 1220 до 1550 мм.

Стоит отметить, что у шпонированного листа повышенная прочность — он выдерживает большие нагрузки и экстремальные условия. Его можно использовать в жару, мороз и при повышенной влажности, а также ставить на пласт большой вес.

Авиационная фанера находит применение практически во всех элементах конструкции самолета. Она используется для изготовления наружных обшивок фюзеляжа и крыльев, отделки пассажирских салонов, изготовления мебели и дверей в салонах. Кроме того, авиационная фанера применяется для изготовления внутренних переборок и перегородок в фюзеляже, что позволяет обеспечить высокую прочность конструкции самолета при минимальном весе [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение перспективных композиционных материалов в беспилотных авиационных комплексах // РУП «Издательский дом «Белорусская наука». — 2017 — №6. — 172 с.

2. Wood Plastic Composites: Their Properties and Applications [Electronic resource] / Kaimeng Xu, Guanben Du and Siqun Wang. — Engineered Wood Products for Construction, 2021. — Mode of access: <https://www.intechopen.com/chapters/77629>. — Date of access: 10.09.2025.

3. Авиационная фанера: что это такое и в чем преимущества [Электронный ресурс] / Аркадий Валерьевич – FANERA PITER. – Санкт-Петербург, 2024. – Режим доступа: <https://fanerapiter.ru/blog/aviacionnaya-fanera-chto-eto-takoe-i-v-chem-preimuschestva3546/>. – Дата доступа: 10.09.2025.

УДК 669.715:620.197:621.793

КОРРОЗИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16 ПОВЕРХНОСТНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДАМИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ И ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ ЦЕРИЯ

В.Г. МАТЫС, О.Г. БОБРОВИЧ, В.В. ПОПЛАВСКИЙ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) предъявляют всё более жёсткие требования к массо-габаритным характеристикам конструкционных материалов. Снижение веса конструкции напрямую влияет на дальность полёта, манёвренность, полезную нагрузку и энергетическую эффективность БПЛА. В этой связи особую актуальность приобретает замена традиционных высокопрочных стальных элементов используемых, например в шарнирных узлах и осях на более лёгкие, но при этом прочные и коррозионно-стойкие алюминиевые сплавы. Алюминиевый сплав Д16 широко используется в авиационной промышленности благодаря высокому отношению прочности к массе [1]. Однако его ограниченная коррозионная стойкость и сравнительно низкая твёрдость поверхности требуют дополнительных методов модификации. В настоящей работе предлагается комбинированный подход к упрочнению поверхности сплава Д16, включающий ионно-плазменное азотирование для упрочнения поверхности [2] и последующее нанесение тонких (~30–50 нм) цериевых плёнок методом вакуумного ионно-ассистируемого осаждения для повышения коррозионной стойкости [3].

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка коррозионной стойкости алюминиевого сплава Д16 в трёх состояниях: исходном (Д16), после ионно-плазменного азотирования (Д16N), а также после азотирования с последующим нанесением цериевого покрытия методом ионно-ассистируемого осаждения (Д16N\Се). Особое