Боровкова С.И., Бородушкина Е.Г.

Исследование возможности изготовления отдельных элементов летательного аппарата из ПКМ

*«Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ) Филиал ДВФУ в г. Арсеньеве
(Россия, Арсеньев)*

doi: 10.18411/lj-02-2020-31

idsp: ljjournal-02-2020-31

Аннотация

Целью данной статьи является определение возможности замены алюминиевого сплава на полимерно-композиционный материал, обладающий более низкой плотностью, легкостью и высокими свойствами прочности, надежности. С помощью инженерного анализа выявлены прочностные характеристики материалов, а также определен более современный метод безавтоклавного получения изделий из ПКМ.

Ключевые слова: авиационная промышленность, летательные аппараты, полимерно-композиционные материалы, инженерный анализ, углеродно-волоконные материалы, ручная выкладка, безавтоклавный метод формования.

Abstract

The purpose of this article is to determine the possibility of replacing an aluminum alloy with a polymer-composite material having a lower density, lightness, and high strength and reliability properties. Using engineering analysis, the strength characteristics of materials have been identified, as well as a more modern method has been determined for the non-autoclave production of PCM products.

Keywords: aviation industry, aircraft, polymer-composite materials, engineering analysis, carbon-fiber materials, manual laying out, autoclave-free molding method.

Учитывая непростую геополитическую обстановку и введение против различных секторов экономики России санкций, зависимость отечественной авиационной промышленности от импорта создает потенциальные риски, что отражается в документе «Стратегия развития авиационной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» [4].

Ключевой проблемой в сфере импортозамещения комплектующих остается отсутствие российских производителей, способных поставлять на рынок продукцию, которая была бы конкурентоспособной в сравнении с зарубежными аналогами.

Все более важным трендом становится уже начавшийся переход мирового авиастроения на принципиально новые технологии, включая замену металлоконструкций композиционными материалами, что позволяет значительно снизить массу летательного аппарата, улучшить качество поверхности и соответственно существенно повысить летно-технические характеристики.

Учитывая непростую геополитическую обстановку и введение против различных секторов экономики России санкций, зависимость отечественной авиационной промышленности от импорта создает потенциальные риски.

В свете решения задач, поставленных в документе «Стратегия развития авиационной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» в статье рассматривается возможность замены металлических конструкций деталей и узлов летательного аппарата на более прочные и легкие из ПКМ.

Так, углеродно-волоконные материалы (УВМ) выпускаемые на основе полиакрилонитрильного (ПАН) волокна широко применяются как в изготовлении продукции военного, так и гражданского назначения и являются армирующими наполнителями конструкционных углепластиков (композитов).

Выделяют несколько видов углеродных, волоконных материалов на основе ПАН, таких как ЛУ-П-02, ЭЛУР-П, ЛУ-П-01, которые обеспечивают в изделиях:

- высокую прочность при растяжении и сжатии;

- высокую жесткость
- низкую плотность по удельным характеристикам (отношению прочности и жесткости к плотности).

Конструкционные углепластики превосходят все известные металлические аналоги, такие как сталь, титан, алюминий сплав в 5-8 раз, применяемые в авиастроении.

Сравнительная характеристика механических свойств углеродных волокнистых материалов на основе ПАН и алюминиевого сплава представлена в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристики механических свойств материала

Характеристики	Д16АМ	углеродные волокнистые материалы на основе ПАН		
		ЛУ-П-02	ЭЛУР-П	ЛУ-П-01
Прочность при растяжении, МПа	0,45	0,6-0,7 *10 ³	0,8-0,9*10 ³	0,6-0,7 *10 ³
Прочность при сжатии, МПа	0,25	0,6-0,7*10 ³	0,8-0,9*10 ³	0,6-0,7*10 ³
Модуль упругости, МПа	0,72 МПа	(157+25) *10 ³	(145+20) *10 ³	(157+25) *10 ³
Толщина монослоя, мм		0,12+0,01	0,11+0,01	0,11+0,01
Ширина ленты, мм		255+20	245+30	255+20

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что наилучшими характеристиками обладает углеродный волокнистый материал на основе ПАН марки ЛУ-П-02 [5].

Для оценки целесообразности применения углеродного волокнистого материала на основе ПАН марки ЛУ-П-02 в деталях силового набора отдельных агрегатов и секций летательного аппарата вместо алюминиевого сплава Д16АМ, проводился инженерный анализ для стенки килевой части фюзеляжа.

С этой целью стенка нагружается равномерной нагрузкой 1000 кг/м³. Действие нагрузки на стенку представлено на рисунке 1.

Рисунок 1 – Стенка килевой части фюзеляжа

Результаты анализа для обоих вариантов представлены на рисунках 2 и 3.

Рисунок 2 – Результаты анализа для стенки из Д16АМ

Рисунок 3 – Стенка из ЛУ-П-02

По результатам инженерного анализа видно, что в стенке из материала Д16АМ при нагрузке в 1000 кг/м^3 , имеются места изгиба по краям и середине детали, а у детали из материала ЛУ-П-02 нагрузка распределяется равномерно и без изгибов.

Таким образом, применение материала ЛУ-П-02 позволит увеличить прочность и снизить вес отдельных агрегатов и секций.

Кроме этого, используемый в настоящее время метод ручной выкладки для изготовления изделий и полимерной оснастки с использованием автоклавного оборудования увеличивает цикл подготовки производства и изготовления изделий, а также себестоимость их производства.

Возможными направлениями совершенствования и сокращения цикла технологических процессов создания конструкций из ПКМ является внедрение безавтоклавных методов формования конструкций, которые обладают большими преимуществами по сравнению с традиционными препреговыми технологиями (рис. 4) [6].

Рисунок 4 –Динамика роста безавтоклавных методов производства деталей из ПКМ (анализ зарубежных источников)

Одним из множества технологических приемов безавтоклавного формования является технология RFI (Resin Film Infusion), которая подразумевает использование безрастворных пленочных связующих (ПС) [1].

Эта технология получила широкое распространение благодаря комплексу преимуществ в сравнении с препреговым методом, среди которых можно отметить следующие:

- снижение энергетических затрат за счет исключения автоклавов при полимеризации;
- сокращение производственного цикла изготовления деталей за счет исключения процесса пропитки сухих армирующих материалов;
- снижение стоимости материальных затрат за счет использования пленочных связующих (по сравнению с растворными связующими снижение затрат более чем в 1,5 раза);
- уменьшение влияния вредных и опасных паров растворных эпоксидных и фенольных связующих на организм рабочего персонала.

Технология RFI заключается в послойной выкладке сухих армирующих наполнителей ПС, взятого в определенном массовом соотношении. При нагревании, под воздействием вакуумного давления, происходит расплавление связующего и его просачивание в структуру армирующего наполнителя.

Преимуществами ПС является также то, что в отличие от применяемых растворных связующих их можно использовать для изготовления монолитных и трехслойных конструкций, причем в трехслойных конструкциях ПС используются как для ламинирования слоев армирующих наполнителей, так и в качестве пленочного клея в соединениях сотового заполнителя с обшивками.

Исследование технологических свойств ПС и прочностных характеристик ПКМ на их основе является актуальной задачей, в результате решения которой может определиться область применения некоторых типов ПС в конструкциях летательных аппаратов с обеспечением требований, предъявляемых к применяемым в настоящее время паспортизованным материалам.

Технологический процесс изготовления деталей с применением пленочных связующих очень простой, производителен и не требует специального оборудования и приспособлений.

Кроме этого, применение ПС позволяет получить:

- стабильное относительное содержание компонентов в пластике с достаточно высокой степенью наполнения, обеспечивая при этом беспористую герметичную структуру материала;
- пластики с достаточно высокими прочностными характеристиками при оптимальном содержании компонентов.

Таким образом, изучение современных технологий получения изделий из композитных материалов позволило определить более производительные и простые технологии, снижающие не только материальные затраты, но и энергоресурсы. К таким технологиям относятся технологии изготовления деталей с применением пленочных связующих.

1. Метод RFI (Resin Film Infusion)//Электронный ресурс: <https://medlec.org/lek2-65676.html>
2. Перепелкин К.Е., Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства. Часть 2 // Химические волокна, 2005. - №5. – С.54-
3. Свойства и области применения углеродных волокон//Электронный ресурс: <https://mykonspekts.ru/1-76780.html>
4. Стратегия развития авиационной промышленности РФ до 2030 года// Электронный ресурс: <https://strategy24.ru/rf/news/strategiya-razvitiya-aviatsionnoy-promyshlennosti>
5. Углеродные волокна на основе полиакрилонитрила (ПАН) //Электронный ресурс: <https://docplayer.ru/41731749-Uglerodnye-volokna-na-osnove-poliakrilonitrila-pan-86-96-5-s-t-s2.html>
6. Чурсова Л.В., Пленочные связующие для RFI-технологии/ Л.В. Чурсова, М.И.Душкин, Д.И. Коган, Н.Н.Панина, М.А. Ким, Я.М.Гуревич, А.А.Платонов: ВИАМ/2009//Электронный ресурс: <https://docplayer.ru/58498253-Plenochnye-svyazuyushchie-dlya-rfi-tehnologii.html>