

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ПАНЕЛЕЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

И. Н. АНДРОСОВ

Уральский завод гражданской авиации, г. Москва, Российская Федерация

М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В настоящее время в области гражданского авиастроения широко применяются элементы конструкций, изготовленные из полимерных композиционных материалов (ПКМ). ПКМ сочетают в себе высокие прочностные и жесткостные характеристики. Это позволяет проектировать и конструировать детали с оптимальными прочностными и весовыми свойствами, что способствует повышению безопасности и топливной эффективности воздушных судов.

В работе проводится сравнительный анализ механических характеристик панелей, изготовленных из двух марок современных ПКМ, широко применяемых для производства авиационных деталей и конструкций: препрег на основе углеродной ленты КМКУ-2м.120.Э0,1 и препрег на основе углеродной ткани АСМ 102-С200Т.

Проводится сравнение панелей путем оценки их жесткостных характеристик с одинаковыми схемами укладки монослоев-

Оценка прочности проводится согласно современным теориям разрушения применительно к ПКМ [1, 2]. Теория разрушения Hoffmaп относится к полиномиальным критериям разрушения по объединенным значениям, которые объединяют компоненты тензора напряжений. Теории разрушения Hashin-Rothem и Chang-Chang относятся к критериям по виду разрушения, которые оценивают разрушение волокна и матрицы независимо друг от друга.

Препрег КМКУ-2м.120.Э0,1,45 изготавливается из углеродной ленты ЭЛУР-0,1П марки А, формируется автоклавно-вакуумным или прессовым методами. Предназначен для изготовления деталей конструкционного назначения.

Препрег АСМ 102-С200Т изготавливается на основе углеродной ткани саржевого типа плетения на основе эпоксидного связующего марки АСМ 102. Предназначен для изготовления средненагруженных изделий.

Механические характеристики ПКМ КМКУ-2м.120.Э0,1,45 и АСМ 102-С200Т применительно к монослоям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические характеристики материалов

Препрег	$E_1, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$E_2, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$G_{12}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	μ_{12}	$t, \text{мм}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}$
1	2	3	4	5	6	7
КМКУ-2м.120.Э0,1,45	11519	826	510	0,33	0,12	$1,43 \cdot 10^{-6}$
АСМ 102-С200Т	6626	6443	498	0,046	0,21	$1,56 \cdot 10^{-6}$

Окончание таблицы 1

Препрег	$\sigma_1, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$\sigma_{-1}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$\sigma_2, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$\sigma_{-2}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$\tau, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$
1	8	9	10	11	12
КМКУ-2м.120.Э0,1,45	90	90	4,5	11,7	7,4
АСМ 102-С200Т	76,5	72,8	85,7	54,5	7,6

В таблице 1 E_1, E_2 – модули упругости в направлении укладки монослоя и перпендикулярно направлению укладки монослоя соответственно; G_{12} – модуль сдвига; μ_{12} – главный коэффициент Пуассона; t – толщина монослоя; ρ – плотность; σ_1, σ_2 – пределы прочности на растяжение в направлении укладки монослоя и перпендикулярно направлению укладки монослоя соответствен-

но; σ_{-1} , σ_{-2} – пределы прочности на сжатие в направлении укладки монослоя и перпендикулярно направлению укладки монослоя соответственно; τ – предел прочности на сдвиг.

Согласно полученным оценкам приведенных жесткостей жесткость панели из материала АСМ 102-С200Т в главном направлении на 19 % ниже жесткости панели из материала КМКУ-2м.120.Э0,1.45 и выше на 45 % в побочном направлении; сдвиговая жесткость панели из АСМ 102-С200Т ниже на 7 %. Однако при вычислении общих жесткостей панелей вследствие почти вдвое большей толщины монослоя у препрега АСМ 102-С200Т жесткость панели из материала АСМ 102-С200Т на растяжение в направлении укладки монослоев выше в 1,42 раза, в направлении, перпендикулярном направлению укладки монослоев, жесткость на растяжение выше в 2,82 раза, цилиндрическая жесткость в направлении укладки монослоев выше в 4,34 раза, цилиндрическая жесткость в направлении, перпендикулярном направлению укладки, выше в 8,62 раза. При этом вес панели, изготовленной из препрега АСМ 102-С200Т, выше всего на 9 %.

Оценка прогибов и прочностных характеристик панелей проводится для двух случаев закрепления: панель шарнирно-оперта по краям и панель шарнирно закреплена по трем углам [3]. На панель действует нормальное статическое давление: $1 \cdot 10^{-3}$ кгс·мм² для случая опирания по краям и $1 \cdot 10^{-4}$ кгс·мм² для случая закрепления по трем углам. Вследствие более высокой жесткости панели из материала АСМ 102-С200Т ее прогибы оказались меньше в 6,72 раза для случая опирания по краям и в 7,82 раза для случая закрепления по трем углам.

Для данных граничных условий вычислены индексы разрушения по трем теориям разрушения ПКМ, данные вычислений сведены в таблицы 2, 3. Таблица 2 содержит данные вычислений для случая шарнирного опирания панелей из двух рассматриваемых ПКМ по краям. Таблица 3 содержит данные вычислений для случая шарнирного закрепления панелей из этих же материалов по трем углам.

Таблица 2 – Значения огибающих по слоям индексов разрушения панелей по двум краям

Препрег	Hoffmann	Hashin-Rothem	Chang-Chang
КМКУ-2м.120.Э0,1.45	1,42	$3,96 \cdot 10^{-2}$	0,14
АСМ 102-С200Т	$1,35 \cdot 10^{-2}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-2}$

Таблица 3 – Значения огибающих по слоям индексов разрушения панелей по трем углам

Препрег	Hoffmann	Hashin-Rothem	Chang-Chang
КМКУ-2м.120.Э0,1.45	0,2	$9,74 \cdot 10^{-2}$	0,19
АСМ 102-С200Т	$6,61 \cdot 10^{-3}$	$9,11 \cdot 10^{-4}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$

По результатам сравнительного анализа можно сделать вывод, что панель, изготовленная на основе препрега из углеткани АСМ 102-С200Т, обладает более высокими жесткостными и прочностными свойствами, несмотря на меньшие значения пределов прочности и модуля упругости препрега в главном направлении по сравнению с препрегом КМКУ-2м.120.Э0,1.45. Это происходит из-за большей толщины монослоя препрега АСМ 102-С200Т, вследствие чего толщина панели возрастает, что благоприятно сказывается на её жесткостных свойствах (за счёт кратного увеличения моментов инерции поперечного сечения панели). При этом плотность монослоя препрега АСМ 102-С200Т выше всего на 9 % по сравнению с плотностью монослоя препрега КМКУ-2м.120.Э0,1.45.

Список литературы

- 1 Муйземнек, А. Ю. Механика деформирования и разрушения полимерных слоистых композиционных материалов : учеб. пособие / А. Ю. Муйземнек, Е. Д. Карташова. – Пенза : ПГУ, 2017. – 77 с.
- 2 Гриневич, Д. В. Критерии разрушения полимерных композиционных материалов (обзор) / Д. В. Гриневич, Н. О. Яковлев, А. В. Славин // Труды ВИАМ, 2019. – № 7 (79). – С. 92–111.
- 3 Андросов, И. Н. Исследование прочности фюзеляжных створок шасси самолёта под действием статической нагрузки / И. Н. Андросов, М. И. Мартиросов // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXIX Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. – Т. 1. – М. : МАИ, 2021. – С. 11–12.