

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПЛЕТЕННЫХ РУКАВОВ

Внедрение композиционных материалов (КМ) в конструкции авиационной и космической техники (АКТ) является одной из первоочередных задач, стоящих перед отраслевыми институтами и предприятиями, которые работают в этой области. Однако, применение композитов не всегда оправдано по причине их высокой стоимости и значительной трудоемкости изготовления деталей и конструкций из КМ. Задача снижения уровня трудоемкости производства в значительной мере обеспечивается применением более совершенных и универсальных армирующих наполнителей, связующих и технологических процессов производства.

В настоящее время наблюдается широкая тенденция применения армирующих полуфабрикатов, изготавливаемых на ткацких станках или оплеточных машинах с целью получения готовых заготовок (преформ) для их дальнейшего использования. Из всего многообразия армирующих преформ отдельное место занимают плетеные рукава или плетеная арматура. Плетеные рукава представляют собой замкнутую структуру, волокна и нити которой образуют углы $\pm\varphi$ [1]. Для применения плетеной арматуры в качестве армирующего материала важной задачей является определение упругих и прочностных свойств пакета КМ, который она образует. В работе [2] приведен анализ возможных подходов к моделированию физико-механических характеристик композита, армированного плетеным рукавом, и выявлены факторы, которые не позволяют применять существующие теоретические модели слоистых сред. В связи с этим предложен и обоснован ряд универсальных математических формул для прогнозирования упругих и прочностных свойств композита на основе плетеных рукавов:

- для модуля упругости вдоль волокон

$$E_x = E_x(30) \cdot c_1 \cdot \cos(2\varphi) + E_x(45) \cdot c_1 \cdot c_2 - E_x(60) \cdot c_2 \cdot \cos(2\varphi); \quad (1)$$

- для коэффициента Пуассона

$$\mu_{xy} = \mu_{xy}(30) \cdot c_1 \cdot \cos(2\varphi) + \mu_{xy}(45) \cdot c_1 \cdot c_2 - \mu_{xy}(60) \cdot c_2 \cdot \cos(2\varphi); \quad (2)$$

- для предела прочности

$$F_x = F_x(30) \cdot c_1 \cdot \cos(2\varphi) + F_x(45) \cdot c_1 \cdot c_2 - F_x(60) \cdot c_2 \cdot \cos(2\varphi), \quad (3)$$

где

$$c_1 = 4 \cdot \cos^2(\varphi) - 1; \quad (4)$$

$$c_2 = 4 \cdot \sin^2(\varphi) - 1. \quad (5)$$

Для реализации этих формул достаточно получить экспериментальные значения упругих или прочностных характеристик пакета по трем углам армирования, например $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$.

С целью экспериментального обеспечения и верификации разработанной модели прогнозирования упругих и прочностных характеристик композитов на основе плетеных рукавов, было необходимо изготовить и испытать партии образцов, армированных различными типами рукавов, что и было сделано на производстве ГП «АНТОНОВ». Для обеспечения полноты эксперимента образцы изготавливались из двух типов плетеных рукавов в два этапа.

Первый этап предусматривал изготовление образцов для определения технологических свойств плетеной арматуры. В связи с небольшим количеством имеющегося материала и отсутствием отработанных технологических режимов пропитки (данный тип армирующего полуфабриката не применялся ранее в производстве) была изготовлена опытная партия образцов размерами 100×250 мм. Пропитка осуществлялась вручную методом окунания образцов каждого типа наполнителя в ванночку с эпоксидным связующим. После этого проводилась подсушка образцов препрега в свободном состоянии при температуре цеха в течение суток и далее в термопечи при температуре 60°C в течение 15 мин. После пропитки образцы взвешивались для определения содержания связующего в препреге. По результатам взвешивания содержание связующего было оценено как недостаточное. После этого образцы были пропитаны связующим повторно (также методом окунания) и подсушивались в свободном состоянии при температуре цеха в течение 48 часов.

Образцы опытной партии изготавливались из одного слоя препрега плетеного шнура с углом укладки $\pm 45^\circ$ методом ручной выкладки с последующим вакуум -автоклавным формованием согласно типовой технологии.

Результаты физико-химического анализа данной партии образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технологические характеристики плетеной арматуры

Свойства	Тип наполнителя	
	120/4	96/33
Удельный вес, г/см ³	1,6	1,62
Содержание связующего, % масс.	31,4	32,5
Толщина монослоя, мм	0,95	1,49

Второй этап предусматривал изготовление образцов для физико-механических испытаний. Была выполнена пропитка плетеных рукавов марок 120/4 и 96/33 на основе углеродных жгутов. Пропитка осуществлялась в ванночке с эпоксидным связующим 52% концентрации с последующей сушкой при температуре цеха в течение 48 часов. После взвешивания полученный препрег был повторно пропитан с помощью валика и выдерживался в течение суток при температуре цеха.

Из препрега каждого типа наполнителя были изготовлены образцы размерами 100×500 мм с углами укладки жгутов в рукаве $\pm 25^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 40^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 50^\circ$ и $\pm 60^\circ$. Количество слоев препрега в образцах варьировалось в зависимости от толщины арматуры следующим образом: рукав 120/4 – два слоя, рукав 96/33 – один слой.

Из каждой панели были вырезаны образцы для испытаний на растяжение, сжатие и изгиб. Испытания на растяжение и изгиб проводились на испытательной машине «INSTRON», испытания на сжатие – на испытательной машине УМЭ-10ТМ.

Основные результаты для двух исследованных типов плетеных рукавов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний КМ на основе плетеных рукавов

Свойства	Угол армирования φ , град.					
	25	30	40	45	50	60
Наполнитель 96/33						
E_x , ГПа	82,17	57,60	27,78	29,87	21,47	15,32
μ_{xy}	1,608	1,190	1,306	1,094	0,679	0,479
F_{xp} , МПа	362,4	308,4	129,6	154,6	53,0	62,40
F_{xc} , МПа	180,4	203,8	102,2	131,6	99,20	122,2
Наполнитель 120/44						
E_x , ГПа	94,56	70,18	59,80	32,18	40,23	17,81
μ_{xy}	1,003	1,270	1,290	1,125	1,130	0,954
F_{xp} , МПа	634,7	451,8	413,8	208,4	296,8	87,60
F_{xc} , МПа	388,2	278,4	252,0	182,0	216,0	132,2

По экспериментальным данным для углов армирования 30° , 45° , 60° , по формулам (1 – 3) получены остальные характеристики композита. Сходимость результатов экспериментальных и теоретических данных отражена на графиках на примере зависимости модуля упругости и коэффициента Пуассона от угла армирования (рис. 1).

Анализ, полученных результатов показывает, что отклонения вполне приемлемы и их можно использовать для решения инженерных задач.

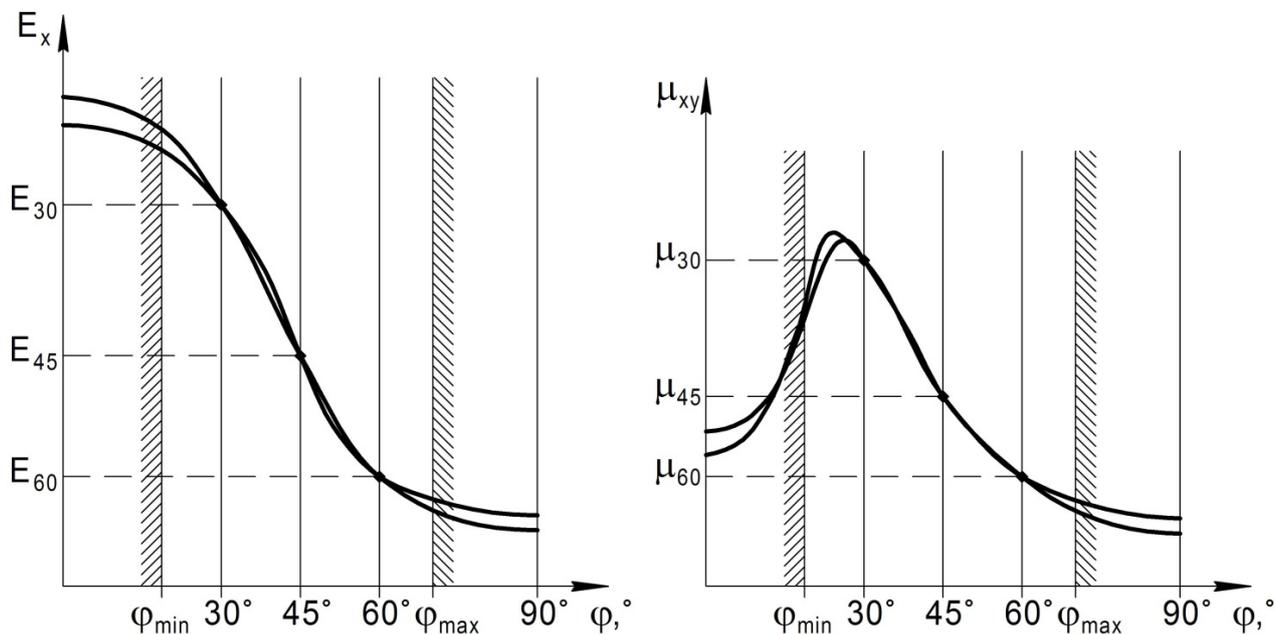


Рисунок 1 – Зависимость упругих характеристик композита от угла армирования

Таким образом, экспериментально подтверждена приемлемость предложенной методики прогнозирования упругих и прочностных свойств композита, армированного плетеным рукавом

Список использованных источников

1. Андреев, А.В. Методика определения структурных параметров композитов, армированных плетеными рукавами [Текст] / А.В. Андреев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 47. – Х., 2010. – С. 99 – 104.

2. Андреев, А.В. Моделирование упругих и прочностных свойств композитов, армированных плетеными рукавами [Текст] / А.В. Андреев, Я.С. Карпов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(64). – Х., 2010. – С. 7 – 10.

Поступила в редакцию 15.10.2012.

*Рецензент: канд. техн. наук, доц. П.М. Гагауз,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*