

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ УГЛЕТКАНИ CW200 И ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ LR285

О.И. КАРПОВИЧ¹, Г.А. ВЕЛИЧКО², Д.Ю. ВЕШТОРТ³

¹Белорусский государственный технологический университет,

²УП «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»

³РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов» НАНБ
Минск, Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) относятся к наукоемкой высокотехнологичной авиационной отрасли, требующей значительных капиталовложений в научные исследования, технологии, конструктивные разработки и производство. Данный вид продукции востребован на мировом рынке и характеризуется высокой добавленной стоимостью.

На данный момент существуют БЛА разных типов, отличающиеся по конструкции, размерам, грузоподъемности и другим параметрам. Элементы конструкции, чаще всего, представляют собой детали простой формы, что позволяет применять стандартизированные изделия в качестве деталей для сборки. По этой причине для изготовления аппаратов закупают стандартизированные элементы. В существующих конструкциях рам БЛА мультироторного типа используются импортные материалы и комплектующие, в том числе и элементы несущей системы.

В Республике Беларусь имеется необходимая база и технологические процессы для изготовления всех необходимых элементов несущей системы беспилотных летательных аппаратов, в том числе из композиционных материалов. Применяя методы, распространенные на предприятиях, такие как контактное формование, намотка, вакуумная инфузия и формование эластичной диафрагмой, можно осуществить импортозамещение стандартных деталей [1].

Механические характеристики композиционных материалов существенно зависят от выбора технологии изготовления и технологических параметров процесса [2]. Поэтому установление влияния выбора технологии изготовления на механические характеристики материалов получаемых изделий является актуальной задачей.

Исследовали композиционные материалы на основе углеткани CW200 и эпоксидного связующего. Массовое содержание наполнителя (углеродной ткани) – 50 %. В качестве связующего использовали эпоксидную смолу

LR285 и отвердитель LH285. Массовое содержание связующего – 50 % (100 м.ч. смола LR285 и 50 м.ч. отвердитель LH285). Из указанных компонентов методами формования эластичной диафрагмой (на базе РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов» НАНБ) и вакуумной инфузии (на базе ООО «Современные композиты») изготавливали плиты с размерами 250×250 мм. Количество слоев – 8. При изготовлении плит слои ткани чередовали, укладывая под углом 0 и 90°. Из полученных плит вырезали образцы для определения механических характеристик. Образцы вырезали вдоль и под углом 45°.

Для композиционных материалов на основе углеткани CW200 и эпоксидного связующего определяли коэффициент Пуассона, модуль упругости E_p , разрушающее напряжение σ_p при растяжении, модуль упругости $E_{из}$, разрушающее напряжение $\sigma_{из}$ при изгибе.

Коэффициент Пуассона, модуль упругости E_p , разрушающее напряжение σ_p при растяжении определяли на испытательной машине MTS Criterion по ГОСТ 32656 – 2017, используя образцы типа 3. При определении коэффициента Пуассона и модуля упругости использовали двухосевой экстензометр MTS.

Модуль упругости $E_{из}$, разрушающее напряжение $\sigma_{из}$ при изгибе определяли по трехточечной схеме по ГОСТ Р 56805–2015.

В таблице содержатся результаты испытания композиционного материала на основе углеткани CW200 и эпоксидного связующего на растяжение и изгиб, изготовленных методами формования эластичной диафрагмой и вакуумной инфузии.

Результаты испытаний на растяжение и изгиб

Характеристика	Направление	
	0, 90°	45°
Метод изготовления – контактное формование		
Модуль упругости при растяжении E_p , ГПа	42,0 (3,5)	12,6 (6,2)
Коэффициент Пуассона	0,048 (15,4)	0,73 (1,6)
Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	410,9 (12,2)	91,2 (6,4)
Модуль упругости при изгибе $E_{из}$, ГПа	20,4 (13,8)	–
Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$, МПа	484,3 (11,4)	–
Метод изготовления – вакуумная инфузия		
Модуль упругости при растяжении E_p , ГПа	57,2 (4,1)	14,9 (3,7)
Коэффициент Пуассона	0,052 (8,5)	0,74 (1,3)
Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	730,3 (5,7)	118,3 (3,0)
Модуль упругости при изгибе $E_{из}$, ГПа	32,2 (11,9)	–
Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$, МПа	646,2 (15,0)	–

Примечание. В скобках указан коэффициент вариации, %.

Из результатов испытаний видно, что композиционный материал, изготовленный методом вакуумной инфузии обладает более высокими механическими характеристиками, чем материал, изготовленный методом формования эластичной диафрагмой. Среднее значение прочности при растяжении (в направлении 0, 90°) для образцов, изготовленных методом вакуумной инфузии на 77 % выше, чем для образцов, изготовленных методом формования эластичной диафрагмой. Среднее значение модуля упругости при растяжении (в направлении 0, 90°) для образцов, изготовленных методом вакуумной инфузии на 36 % выше, чем для образцов, изготовленных методом формования эластичной диафрагмой.

Для образцов, изготовленных методом вакуумной инфузии среднее значение прочности и модуля упругости при растяжении в направлении 0, 90° в 6,1 и 3,8 раза соответственно выше, чем характеристики в направлении 45°. Для образцов, изготовленных методом формования эластичной диафрагмой среднее значение прочности и модуля упругости при растяжении в направлении 0, 90° в 4,5 и 3,3 раза соответственно выше, чем характеристики в направлении 45°.

Коэффициент Пуассона практически не зависит от технологии изготовления образцов, и составляет около 0,05 для направления 0, 90° и около 0,70 для направления 45°.

При изгибе модуль упругости получили в среднем в два раза ниже, чем модуль упругости при растяжении.

Для вакуумной инфузии при изгибе, так же, как и при растяжении, получили значения прочности и модуля выше, чем для формования эластичной диафрагмой.

В целом результаты испытаний говорят о том, что при вакуумной инфузии (при тех же степенях наполнения) получается материал с более высокими механическими характеристиками. Т.е. данный метод более целесообразен для изготовления несущих элементов БЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимцова А.В., Величко Г.А., Карпович О.И. Применение композиционных материалов в элементах конструкции беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа // Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024»: сб. ст. Междунар. молодежного форума. Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за изд. И. В. Войтов. Минск: БГТУ, 2024. – с. 198–201.

2. Ставров В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов: учеб. Пособие / В.П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.