

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ УГЛЕТКАНИ CW200 И ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ LR285

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

LN285). 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.

Таблица – Результаты испытаний на растяжение и изгиб для композиционного материала на основе углеткани CW200 и эпоксидного связующего

Характеристика	Направление	
	0, 90°	45°
<i>Метод изготовления – контактное формование</i>		
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)	–
<i>Метод изготовления – вакуумная инфузия</i>		
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 высо-

кими механическими характеристиками, чем материал, изготовленный методом формования эластичной диафрагмой. Среднее значение прочности при растяжении (в направлении $0, 90^\circ$) 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 $0, 90^\circ$) 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 $0, 90^\circ$ 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 $0, 90^\circ$ 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 $0, 90^\circ$ 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, также 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. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.