

УДК 621.396.67:620.168

Разработка полимерных композиционных материалов для производства составных частей рефлектора антенны радиолокатора

Меликянц Давид Георгиевич

mdg@bmstu.ru

Александров Евгений Викторович^(*)

aleksandrov@bmstu.ru

SPIN-код: 8730-4970

Хина Александр Григорьевич

hinalex@bmstu.ru

SPIN-код: 2946-6467

Булкатов Денис Павлович

bulkatov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассмотрена возможность применения углекомпозитов с эпоксивинилэфирной матрицей, полученных различными способами, в качестве материалов для рефлекторов антенн космических РЛС. Представлены результаты механических испытаний полученных образцов. Показано, что метод прессования обеспечивает наилучшие показатели прочности, жесткости и КЛТР углепластика. Возможным ограничением для применения разработанного композита является низкая межслойная прочность сцепления и недостаточная трещиностойкость. Для решения данной проблемы было предложено использовать термопластичную матрицу, а также провести модификацию термореактивной смолы термопластичным полиэфирсульфоном.

Ключевые слова: углепластик, рефлектор антенны, радиолокатор, термопласты, прессование, эпоксивинилэфирные смолы

Введение. Создание отечественных систем дистанционного зондирования Земли, ключевое место в инфраструктуре которых играют, в том числе, орбитальные радиолокационные средства, является одной из приоритетных задач развития космической деятельности России [1]. Ранее в МГТУ им. Н.Э. Баумана был разработан углепластик на основе эпоксидной смолы, который был использован в качестве материала для рефлектора антенны космического радиолокатора жесткого типа (см. рисунок).



Расчетная САЕ модель и образец рефлектора антенны космического радиолокатора жесткого типа

Другим типом рефлекторов являются разворачиваемые сетчатые рефлекторы, позволяющие выводить апертуры значительно большего диаметра при меньшей массе и компактной укладке в объеме обтекателя. Основными требованиями к материалам для антенн космического радиолокатора являются: высокие механические свойства, низкая плотность, низкий КЛТР, высокая трещиностойкость и работоспособность в интервале температур от -150 до $+170$ °С. Целью настоящей работы является разработка углепластиков, соответствующих указанным требованиям и сравнение их технико-эксплуатационных свойств в зависимости от технологии изготовления.

Методы и материалы; результаты. Для изготовления испытательных образцов композита на основе эпоксивинилэфирного связующего и двуправленной углеткани марки CW384 были использованы следующие методы: прессование, инжекция под давлением, инфузия и ручная выкладка. Полученные данные испытаний образцов углепластика приведены в таблице.

Результаты испытаний образцов углепластика, полученных различными методами

Метод изготовления	σ_p , МПа	E_p , ГПа	ε_p , %	ρ , г/см ³	КЛТР, 10^{-6} К ⁻¹
Прессование	$894,4 \pm 56,0$	$68,3 \pm 5,4$	$3,1 \pm 0,2$	$1,50 \pm 0,01$	$1,1 \pm 0,3$
Инжекция	$820,1 \pm 45,3$	$66,1 \pm 4,7$	$2,2 \pm 0,2$	$1,48 \pm 0,02$	$1,2 \pm 0,4$
Инфузия	$469,8 \pm 18,0$	$38,5 \pm 1,6$	$1,7 \pm 0,5$	$1,48 \pm 0,02$	$1,6 \pm 0,4$
Ручная выкладка	$563,2 \pm 48,2$	$57,9 \pm 8,3$	$1,2 \pm 0,3$	$1,44 \pm 0,03$	$2,2 \pm 0,5$

Межслойная прочность при отрыве для всех испытанных образцов лежала в интервале $0,15$ – $0,25$ кДж/м², что может быть недостаточно для лицевых слоев и силовых элементов рефлекторных панелей. Для увеличения данного показателя предлагается использовать разработанные в МГТУ им. Н.Э. Баумана суперконструкционные термопласты, такие как полиарилаты (ПАР), полиэфирсульфоны (ПЭС) и полиэфиримиды (ПЭИ), в качестве полимерных матриц углекомпозитов [2]. Для таких материалов характерны значения трещиностойкости порядка $0,6$ – $1,5$ кДж/м² и выше, что достигается благодаря вязкому рассеянию энергии в пластичной матрице при росте трещины. Другим подходом увеличения трещиностойкости может стать модификация эпоксидных связующих термопластичным ПЭС, что, в зависимости от типа эпоксидной смолы, позволяет увеличить данный показатель на 50 – 200 % [3]. Это достигается за счет индуцированного при отверждении фазового разделения, формирования дисперсных термопластичных доменов и развития пластичности в межфазной области, что в совокупности увеличивает извилистость пути трещины и работу разрушения.

Заключение. Полученные результаты испытаний образцов углекомпозитов значительно различаются в зависимости от метода их получения, что очевидно обусловлено различием в качестве пропитки волокна и консолидации препрегов, а также пористости полученных композитов. Исходя из полу-

ченных данных, для изготовления деталей составных частей рефлектора антенны радиолокатора рекомендуется метод прессования. Возможным ограничением для применения разработанного материала может быть недостаточная трещиностойкость, которую предлагается повысить переходом к термопластичным матрицам (ПЭИ/ПЭС/ПАР) либо модификацией эпоксидных связующих термопластичными ПЭС, разработанными в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Список источников

- [1] Meng L., Yan C., Lv S. et al. Synthetic Aperture Radar for Geosciences. *Revol. Geophys.*, 2024, vol. 63, no. 3. <https://doi.org/10.1029/2023RG000821>
- [2] Storozhuk I.P., Khina A.G., Bulkatov D.P. et al. Synthesis and Study of Melt Processing of Polyarylate-Polysulfone Cardo Block Copolymers. *Pol. Sci., Series B*, 2024, vol. 66, no. 6, pp. 693–702. <https://doi.org/10.1134/S1560090425600275>
- [3] Storozhuk I.P., Bulkatov D.P., Khina A.G. et al. Development of Polyethersulfones for Modification of Epoxy Resins. *Pol. Sci., Series B*, 2024, vol. 66, no. 4, pp. 514–523. <https://doi.org/10.1134/S1560090424601481>