

УДК 629.7:620.22:536.2

Исследования теплопроводности композитного рефлектора с применением локального контактного нагрева углеродными лентами

Щербаков Павел Игоревич

pashasherbakov101@gmail.com

Денисов Олег Валерьевич

denisov.sm13@mail.ru

SPIN-код: 6884-6227

Денисова Лилиана Валентиновна

u.pasika@yandex.ru

SPIN-код: 3508-7617

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Апробирована методика расчетно-экспериментального определения коэффициента теплопроводности композиционных материалов в плоскости армирования для натурных космических конструкций. Методика основана на применении углеродной ленты в качестве источника тепла, регистрации температурных полей тепловизором и последующем математическом анализе данных путем решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности в экстремальной постановке.

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, тепловизор, рефлектор зеркальной космической антенны, углепластик, измерение температуры

Введение. Обеспечение высокой размерной стабильности композитных рефлекторов космических антенн требует точного определения их теплофизических характеристик, которые используются при моделировании напряженно-деформированного состояния. Наиболее значимым среди этих параметров является коэффициент теплопроводности в плоскости армирования. Именно он регулирует величину температурных перепадов, которые влияют на термические деформации конструкции.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработано семейство методик определения теплофизических характеристик на элементах натурных конструкций в виде тонкостенных анизотропных и многослойных квазиизотропных пластин, полых и сплошных стержней [1–3]. Однако для монолитных конструкций сложной геометрии (например, рефлекторов антенн) отбор таких образцов невозможен без нарушения целостности. Применение образцов-свидетелей не учитывает различие в напряженно-деформированном состоянии и кривизне поверхности на теплопроводность в плоскости армирования. В связи с этим, актуальной задачей является разработка методик теплофизических исследований на натурных конструкциях с использованием локального нагрева.

Методы и материалы; результаты. Объектом испытаний служил рефлектор, изготовленный методом вакуумной инфузии из эпоксидной смолы Huntsman Araldite LY8615 US/XB 5173 Hardener и углеволокна Аспро-А80 [4]. Конструкция представляла собой открытую тонкостенную параболическую

скую оболочку толщиной 0,6 мм и диаметром 1200 мм с ребрами жесткости в форме шестиконечной звезды.

В качестве нагревателя использовались гибкие углеродные ленты длиной 350 мм, которые обеспечивали плотный контакт с криволинейной поверхностью рефлектора. Ленты крепились на тыльную сторону рефлектора с помощью полиимидного скотча толщиной 0,14 мм и шириной 16 мм. Температура нагрева контролировалась тепловизором SATIR D300. Для защиты рабочей зоны рефлектора от неконтролируемых конвективных потоков на его радиоотражающей и тыльной сторонах были установлены камеры спокойного воздуха.

Для регистрации тепловых полей использовался тепловизор с настройкой коэффициента черноты 0,9. После оцифровки изображений были построены термограммы для четырех точек на поверхности рефлектора, отстоящих от края ленты на расстоянии 1, 5, 15 и 40 мм.

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью решения обратной задачи теплопроводности. Температура в краевых точках использовалась в качестве граничных условий I рода. Искомая теплопроводность определялась из условия минимума функционала невязки экспериментальных и расчетных температур в двух точках на расстоянии 5, 15 мм от края ленты.

Заключение. Искомый коэффициент теплопроводности материала рефлектора в интервале температур 20–50 °С составил $18,7 \pm 15$ % Вт/(м·К). Это хорошо согласуется с результатами испытаний образцов-свидетелей на установке контактного нагрева, при которых теплопроводность материала составила $15,0 \pm 15$ % Вт/(м·К) [4]. Различие в 20,5 % может быть связано с влиянием методических погрешностей измерения температуры и криволинейной формы рефлектора.

Список источников

- [1] Резник С.В., Просунцов П.В., Денисов О.В., Петров Н.М., Шуляковский А.В., Денисова Л.В. Расчетно-экспериментальное определение теплопроводности углепластика в плоскости армирования на основе бесконтактного измерения температуры. *Тепловые процессы в технике*, 2016, т. 8, № 12, с. 557–563.
- [2] Резник С.В., Просунцов П.В., Денисов О.В., Петров Н.М., Ли Вонхеонг. Расчетно-экспериментальная методика определения теплопроводности композиционного материала корпуса наноспутника. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*, 2017, т. 18, № 3, с. 345–352.
- [3] Ван Ц., Денисов О.В., Денисова Л.В. Методика определения коэффициента теплопроводности в окружном направлении полых стержневых элементов композитных космических конструкций. *Тепловые процессы в технике*, 2024, т. 16, № 2, с. 86–99.
- [4] Новиков А.Д., Резник С.В., Денисов О.В. Экспериментальное определение механических и теплофизических характеристик углепластика тонкостенной оболочки антенного рефлектора. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 3 (720), с. 84–91.