

УДК 629.783

Повышение равномерности прогрева заготовки рефлектора зеркальной космической антенны при его изготовлении за счет совершенствования состава оборудования автоклава

Григорян Вадим Игоревич^{1(*)}

grigvadim10@gmail.com

SPIN-код: 1826-3428

Просунцов Павел Викторович¹

pavel.prosuntsov@mail.ru

SPIN-код: 8865-0800

Тимошенко Валерий Павлович^{1,2}

moltim@yandex.ru

Федюнина Екатерина Руслановна¹

ashikhmina.ekaterin@gmail.com

SPIN-код: 2106-6482

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² АО «НПО «Молния», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача обеспечения размеростабильности заготовки рефлектора зеркальной космической антенны за счет повышения равномерности ее нагрева в процессе изготовления. Предложено расширить состав оборудования, размещаемого в рабочей зоне автоклава, применив выравнивающую решетку и дополнительные вентиляторы. Показано, что наличие дополнительного оборудования позволяет повысить равномерность нагрева заготовки рефлектора. В результате решения задачи оптимизации выбраны параметры дополнительного оборудования, обеспечивающие наилучшее соотношение между равномерностью и интенсивностью нагрева заготовки рефлектора в процессе автоклавного формования.

Ключевые слова: зеркальная космическая антенна, рефлекторы, автоклав, математическое моделирование, оптимизация

Введение. Одной из важнейших проблем при проектировании рефлекторов зеркальных космических антенн является сохранение формы отражающей поверхности рефлектора под действием неравномерного нагрева в условиях космического полета [1]. Однако отклонения формы отражающей поверхности от теоретического контура могут возникнуть еще на этапе изготовления в результате внутренних напряжений, вызванных усадкой связующего и короблением [2]. Существуют походы к снижению уровня деформаций рефлектора на основе управления температурно-временным режимом отверждения и изменением схемы укладки ткани [3], использованием композитной оснастки [4], а также установкой рамы с регулировочными узлами на тыльную поверхность рефлектора [5]. Но эти меры не затрагивают саму причину неравномерности прогрева заготовки, которая связана с характером конвективного теплообмена в рабочей зоне. Поэтому предложены варианты повышения равномерности прогрева заготовки рефлектора за счет совершенствования состава оборудования автоклава и снижения перепада температуры и коэффициента теплоотдачи по ее поверхности.

Методы и материалы; результаты. Было проведено моделирование процесса обтекания оснастки из инвара с углепластиковым рефлектором в рабочей зоне автоклава при помощи комплекса программ Ansys Fluent. Для увеличения равномерности поля скоростей потока газа внутри рабочего пространства автоклава и интенсификации теплообмена на поверхности рефлектора предложено использовать следующее дополнительное оборудование: перфорированную решетку с круглыми отверстиями на входе газа в рабочее пространство автоклава, дополнительные вентиляторы, расположенные под оснасткой (нижние вентиляторы) и над оснасткой (верхние вентиляторы). В качестве варьируемых параметров дополнительного оборудования выступали: диаметр отверстий решетки, конфигурация нижних и верхних вентиляторов, высота верхних вентиляторов над поверхностью рефлектора.

Критериями оптимизации были перепад и среднее значение коэффициента теплоотдачи на поверхности рефлектора. Перепад коэффициента теплоотдачи характеризует равномерность нагрева заготовки рефлектора, а его среднее значение — интенсивность нагрева, влияющую на скорость отверждения связующего. Расчеты показали, что эти два критерия являются конкурирующими, поэтому задачей оптимизации являлась минимизация перепада коэффициента теплоотдачи и максимизация его среднего значения.

Решение задачи оптимизации осуществлялось в несколько этапов. Вначале был определен диаметр отверстий решетки, далее выбрана конфигурация нижних вентиляторов, затем верхних вентиляторов и, наконец, высота установки верхних вентиляторов над поверхностью заготовки рефлектора. В результате было определено, что установка решетки с отверстиями диаметром 60 мм и 15 нижних вентиляторов позволяет снизить перепад коэффициента теплоотдачи в 4,43 раза, хотя при этом среднее значение коэффициента теплоотдачи также снизится в 2,29 раза.

Заключение. Таким образом, представленная схема расположения дополнительного оборудования внутри автоклава позволяет значительно повысить равномерность нагрева заготовки рефлектора в процессе автоклавного формования, что снизит отклонения формы отражающей поверхности готового рефлектора от теоретического контура.

Список источников

- [1] 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. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2020-3-84-91>
- [2] Михайловский К.В., Резник С.В. Разработка математико-алгоритмического обеспечения для расчета внутренних напряжений в тонкостенных рефлекторах из углепластика во время технологического процесса их изготовления. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2013, № 8, с. 151–166.

-
- [3] Shah D.B., Patel K.M., Patel A.I., Pariyal V., Joshi S.J. Experimental investigation on spring-back deformation during autoclave curing of parabolic antenna reflectors. *Composites: Part A. Applied Science and Manufacturing*, 2018, vol. 115, pp. 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.09.017>
 - [4] Бердникова Н.А., Белов О.А., Лопатин А.В. Исследование и оптимизация режима изготовления высокоточного композитного рефлектора антенны космического аппарата. *Космические аппараты и технологии*, 2019, т. 3, № 2 (28), с. 59–72. <https://doi.org/10.26732/2618-7957-2019-2-59-72>
 - [5] Тайгин В.Б., Лопатин А.В. Метод обеспечения высокой точности формы рефлекторов зеркальных антенн космических аппаратов. *Космические аппараты и технологии*, 2019, т. 3, № 4 (30), с. 200–208. <https://doi.org/10.26732/2618-7957-2019-4-200-208>