

## **РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕСТОВОЙ ПАНЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

Рост мощности источников электрической энергии космических аппаратов (КА), орбитальных станций – солнечных батарей (СБ) и увеличение их энергопотребления, реализующих обширные космические программы создания новых систем связи, зондирования различных параметров и наблюдение, приводят к необходимости увеличения площади поверхности СБ с помощью размещения их на специальных выдвижных или раскрывающихся после вывода на орбиту панелях, что повышает предъявляемые к ним требования [1].

Решение задачи повышения эффективности панелей СБ заключается в использовании новых конструктивно-технологических решений (КТР). Примером этого является каркас тестовой панели СБ, конструктивно-силовая схема (КСС) которого состоит из склеенных между собой гофрированного полукаркаса, нижней обшивки, верхней установочной рамы и рамок для монтажа линз Френеля (рис. 1)\* [2].

Известно, что эффективность разработанной КСС конструкции во многом зависит от прочностных и физико-механических характеристик (ФМХ) всех входящих в нее элементов и их стабильности, обеспечиваемой технологией производства [4].

Одним из основных конструкционных материалов для вновь создаваемых или модернизируемых панелей СБ космического назначения в настоящее время являются высокопрочные и высокомодульные полимерные композиционные материалы (ПКМ) с супертонкими монослоями на основе углеродных или органических волокон [5]. Однако традиционно проблемные вопросы проектирования изделий из ПКМ являются предметом технической подготовки производства, а именно ее составляющей – конструкторской подготовки производства. Поэтому технические мероприятия, обеспечивающие техническую подготовку производства композитных панелей СБ, представляются актуальными и имеющими практическую значимость.

---

\* При проведении исследований были использованы данные ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева [3].

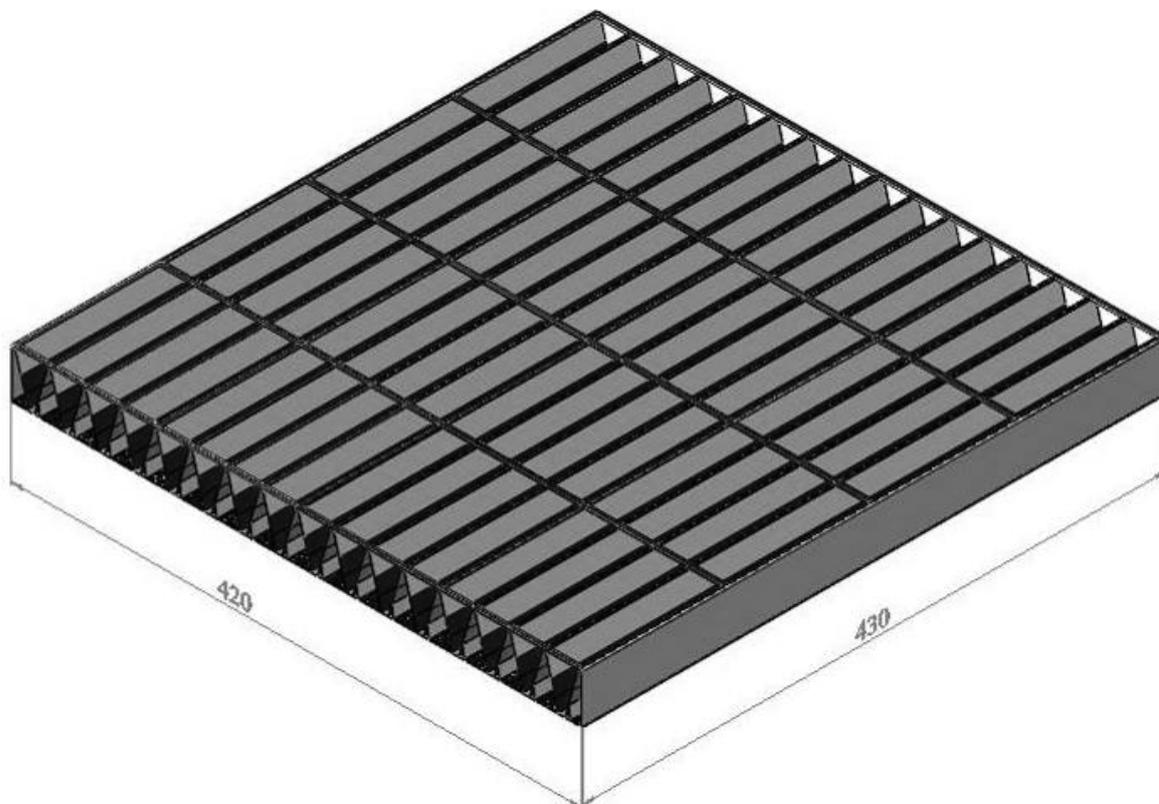


Рисунок 1 – Модель тестовой панели СБ  
(линзы Френеля и штатные фотопреобразователи не показаны)

Ранее нами в [2] был проведен выбор рациональных параметров элементов КСС каркаса тестовой панели СБ с линейными концентраторами на основе линз Френеля. К тестовой панели СБ были приняты следующие требования:

- минимальная масса панели (обеспечение поверхностной массы панели СБ, меньшей или равной  $0,8 \text{ кг/м}^2$ ).
- обеспечение несущей способности панели на всех расчетных случаях нагружения;
- максимально возможная жесткость панели во время ее эксплуатации в космосе.

На основе полученных результатов было сделано заключение о том, что при различных толщинах гофрированного полукаркаса и нижней обшивки их прочность обеспечивается для ряда рассмотренных схем армирования с учетом существенно меньшей по сравнению с необходимой ( $0,8 \text{ кг/м}^2$ ) поверхностной массой панели СБ. Учитывая, что схема армирования  $[0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ]$  для гофрированного полукаркаса и  $[90^\circ, 0^\circ, 90^\circ]$  для нижней обшивки все же обеспечивает наименьший прогиб панели с учетом существенно меньшей, чем  $0,8 \text{ кг/м}^2$ , массой конструкции, этот вариант был принят как основной для последующего изготовления.

После выбора оптимальных параметров элементов КСС каркаса тестовой панели СБ была разработана экспериментальная конструкторская документация (ЭКД).

### **Изготовление оснастки (пресс-формы)**

Конструктивно пресс-форма состоит из алюминиевых основания и матрицы гофрированного полукаркаса, а также силиконовых пуансонов.

Наиболее сложной частью пресс-формы является формующая матрица гофрированного полукаркаса. Ее рабочая поверхность имеет очень сложную форму и, кроме того, должна обеспечивать минимальное отклонение формуемой детали от теоретического контура. Изготовление этой части формы производилось на трехкоординатном фрезерном станке с программным управлением. Исходя из размеров обрабатываемой детали и имеющих место «обратных» углов уклона, обеспечивающих выемку изделия после формования, была спроектирована и изготовлена фреза специальной формы из твердосплавного материала. Наименьший диаметр этой фрезы не превышал двух миллиметров при длине 36 мм. Эта фреза позволила выполнить обработку всей формы без смены инструмента и с одной установки, обеспечив необходимые профиль и шероховатость поверхности.

В процессе изготовления пресс-формы были выбраны и обеспечены режимы фрезерования:

- количество черновых и чистовых проходов;
- обороты шпинделя, подача фрезы и др.;
- разработана технология обработки металлической заготовки, обеспечивающая её минимальную поводку после снятия поверхностного слоя с наклепом.

Были изготовлены металлические детали формы для гофрированного полукаркаса в соответствии с разработанной ЭКД и произведена сборка всей формы.

После завершения механической обработки пресс-формы путем заливки в матрицу были изготовлены специальные формующие вкладыши из силикона, которые должны обеспечивать передачу необходимого давления прессования по всей поверхности гофрированного полукаркаса при его формовании. Для выполнения зазора, необходимого для укладки препрега, использовалась полипропиленовая пленка толщиной около 30 мкм.

### **Изготовление углепластикового полукаркаса**

Изготовление углепластикового полукаркаса было разделено на следующие основные этапы:

- подготовка препрега;
- прессование заготовок для изготовления рамок линз Фринеля, верхней решетки, основания и пластин для наклейки фотопреобразователей;
- вырезка рамок линз Фринеля, верхней решетки, основания и подложки для наклейки фотопреобразователей;
- формование гофрированного полукаркаса;

- склейка-сборка конструкции.

Для изготовления препрега использовалось углеродное волокно марки IMS 65 в структуре однонаправленного жгута линейной плотности 830 текс. Для получения монослоя толщиной 20 мкм жгут на специально изготовленной установке раскатывали до ширины 50 мм и укладывали на полипропиленовую пленку, закрепленную на барабане. После раскладки на барабане проводилась ручная нормированная пропитка углеволокна связующим ЭДТ-10П и выдержка до удаления основной массы летучих. Далее пропитанные монослои укладывались в пакеты по заданной схеме армирования. Пакеты укладывались в пресс-форму.

Изготовление углепластиковых заготовок производилось вакуумно-автоклавным способом в плоском автоклаве с рабочей зоной 1100x1100x100 мм. При этом заготовки препрега различной толщины прессовались одновременно в разных слоях, разделенных между собой металлическими цулагами. Полимеризация пакета проводилась под вакуумом 0,09...0,097 МПа и рабочем давлении 0,5 МПа. Максимальная температура полимеризации составляла 120°C.

После проведения полимеризации углепластиковые заготовки очищались от облоя и передавались на вырезку из них соответствующих деталей.

Обработка рамок линз Фринеля и верхней решетки, имеющих толщину 0,3 мм, проводилась по следующему алгоритму:

- на первом этапе заготовки обрезались на циркулярной пиле алмазным диском с зерном 120-160 со специальными отверстиями для охлаждения и отвода стружки. Необходимую геометрию в пределах заданных допусков обеспечили установочные приспособления, закреплённые на подвижную каретку циркулярной пилы;

- после обрезки поэтапно выполнялись внутренние надрезы окон (рис. 2) таким образом, чтобы пропилен максимально близко подходил к каждому углу, но не ближе 0,5 мм. Эти пропилы выполнялись на специально собранном мини-станке на основе бормашины типа DREMEL с использованием алмазных дисков Dremel SpeedClic® SC545 диаметром 38 мм;

- удалялись остатки материала в углах с помощью ножа с высококачественными японскими лезвиями и специально собранного приспособления, исключающего возможность зареза рамки (рис. 3);

- доведение детали до нужной толщины. Проводилась вручную наждачной бумагой № 240, наклеенной на плитку Йохансона. При этом использовалось специальное приспособление, обеспечивающее нужную толщину.

- вырезка нижней обшивки и подложки для наклейки фотопреобразователей, имеющих толщину 0,1 мм, проводилась ножом по разметке и линиалу.



Рисунок 2 – Внутренние надрезы окон для рамок линз Фринеля

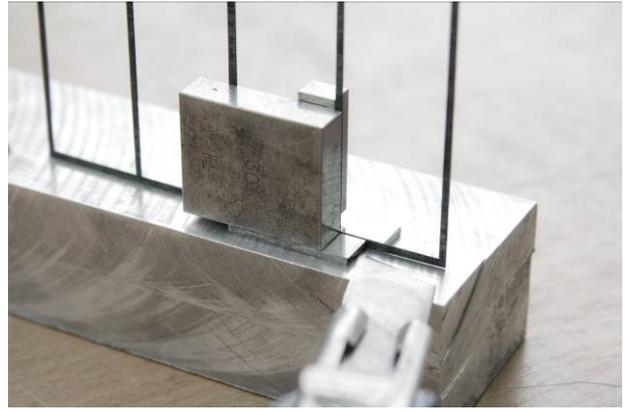


Рисунок 3 – Специально приспособления, исключающее возможность зареза рамки

На рис. 4 показана принципиальная схема формирования самой сложной детали – гофрированного полукаркаса на технологической оснастке, описанной выше.

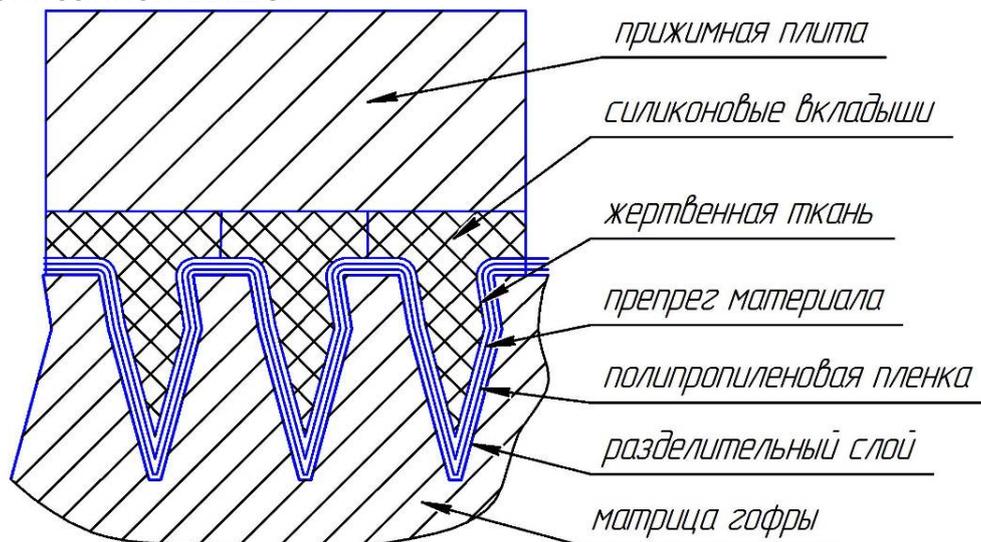


Рисунок 4 – Принципиальная схема формирования гофрированного полукаркаса на изготовленной оснастке

Для отделения формованной детали от формы использовалась полипропиленовая пленка толщиной 30...35 мкм. Матрица была изготовлена с дополнительным зазором от теоретического контура детали, равным 40 мкм. Применение пленки обеспечило удобство изготовления и раскроя препрега.

На изготовленной оснастке была отформована заготовка гофрированного полукаркаса, общий вид которого в матрице представлен на рис. 5.

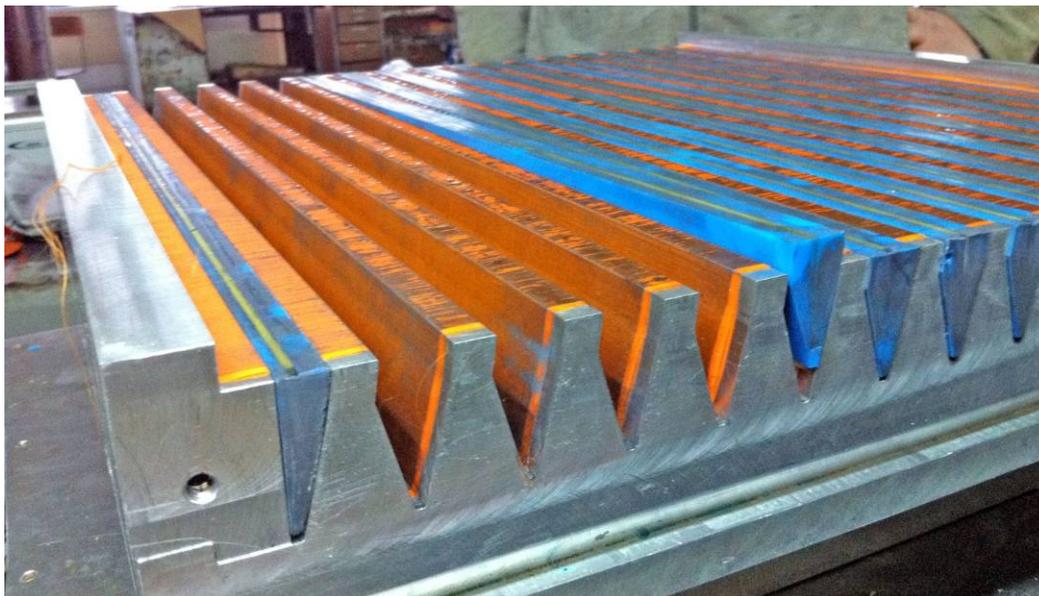


Рисунок 5 – Общий вид второго гофрированного полукаркаса в матрице

### **Склейка-сборка конструкции**

На первом этапе проводилась склейка гофрированного полукаркаса с основанием, для чего он помещался в пресс-форму и фиксировался в ней с помощью силиконовых вкладышей, устанавливаемых в каждый паз. Склеиваемые поверхности обезжиривались, после чего на них наносился клей. Основание после обезжиривания укладывалось сверху на гофрированный полукаркас, придавливалось к нему с помощью цулаги и грузов. Склейка проводилась эпоксидным клеем «Эпотерм-3т». На рис. 6 показана собранная для проведения режима склейки пресс-форма.



Рисунок 6 – Собранная для проведения режима склейки пресс-форма

В результате проведения всех операций сборки-склейки был получен опытный вариант тестовой панели СБ, показанный на рис. 7.

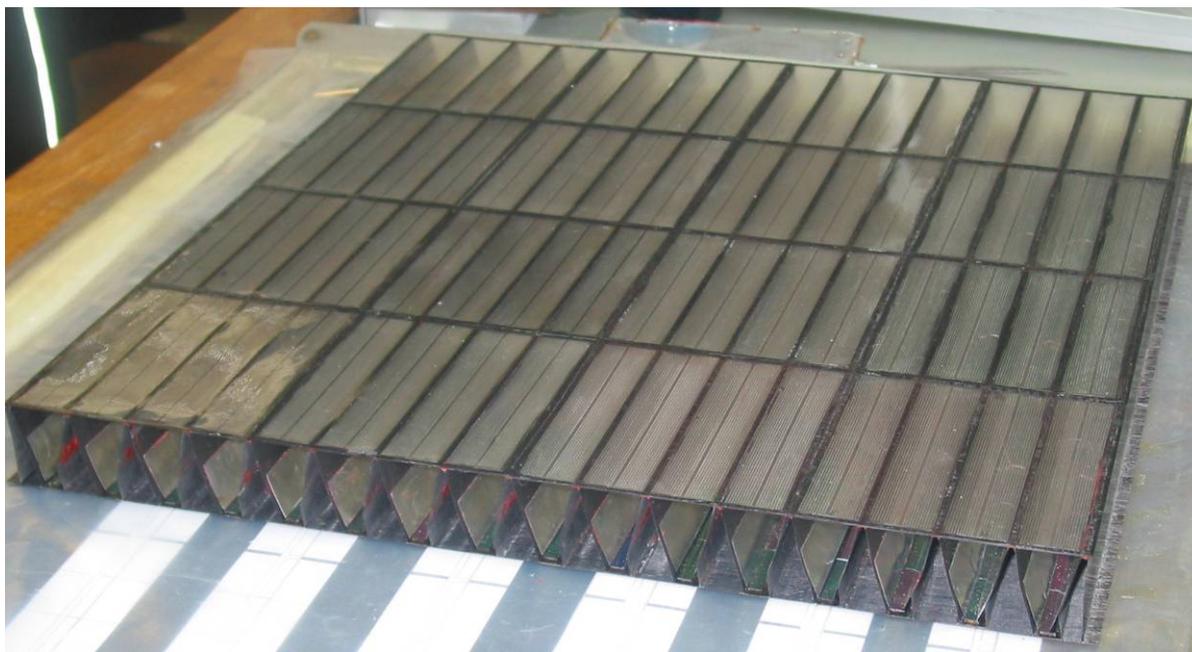


Рисунок 78 – Собранный вариант тестовой панели СБ

### Выводы

В табл. 1 приведена фактическая масса элементов конструкции, полученная путем взвешивания на аналитических весах, и конструкции в целом с учетом слоя клея толщиной 0,1 мм.

Таблица 1 – Фактическая массовая сводка по разработанной панели СБ

Элемент панели СБ	Масса в панели 420x430 мм, г	Удельная масса г/м <sup>2</sup>
Гофрированный полукаркас	58,55	324,21
Рамка линзы Фринеля (16шт)	7,7	42,64
Верхняя решетка	8,13	43,45
Основание	16,32	90,37
Подложка для фотопреобразователей	11,88	65,80
Полная сборка с учетом клея	111,89	617,95

Как следует из табл. 1, изготовленная конструкция тестовой панели СБ обеспечивает удельную массу, существенно меньшую регламентированной 0,8 кг/м<sup>2</sup>.

## Список использованных источников

1. Композиционные материалы в ракетно-космическом аппарато-строении [Текст] / Г.П. Гардымов, Е.В. Мешков, А.В. Пчелинцев и др. – СПб.: СпецЛит, 1999. – 271 с.

2. Выбор рациональных параметров элементов конструктивно-силовой схемы каркаса тестовой панели солнечной батареи космического аппарата [Текст]/ В.В. Гаврилко, В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев, А.М. Потапов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 54. – Х.: ХАИ, 2012. – С. 5 – 13.

3. Техническое задание на разработку, изготовление и поставку панелей солнечных батарей с линейными концентраторами [Текст] // Открытое акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева». – 2011. – 12 с.

4. Коваленко, В.А. Фундаментальные характеристики полимерных композиционных материалов и их влияние на показатели качества конструкций ракетно-космической техники [Текст] / В.А. Коваленко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 51. – Х.: ХАИ, 2011. – С. 66 – 74.

5. Гаврилко, В.В. Сверхтонкие препреги из углеродных волокон [Текст] / В.В. Гаврилко, М. Гавел // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники: сб. материалов IV междунар. науч.-практ. конф., Днепропетровск 1 – 3 июня 2011 г. / Укр. НИИ технологий машиностроения. – Днепропетровск, 2011. – С. 37 – 39.

*Поступила в редакцию 15.06.2012.*

*Рецензент: канд. техн. наук, доц. О.В. Ивановская,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*