

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ СОТОВЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ЛЕГКОВЕСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. В. ДЕГТЯРЕВ, канд. экон. наук, А. М. ПОТАПОВ, канд. техн. наук
(ГП КБ «Южное», г. Днепропетровск)

Сотовые структуры, состоящие из углепластиковых обшивок и алюминиевых сот, применяются при создании космических аппаратов. Это требует проведения широкого объема исследований их свойств. Приведены примеры исследования физико-механических характеристик этих структур, определения коэффициента теплопроводности и оптических характеристик, газовыделений и описано поведение материала обшивки при воздействии потоков атомарного кислорода, эквивалентных присутствующим на околоземных орбитах. Рассмотрено применение метода электронной широгрaфии и теплового метода для неразрушающего контроля качества сотовых панелей. Проведены исследования по определению степени ослабления электромагнитного излучения и излучения космических электронов сотовыми структурами.

Honeycomb structures consisting of coal-plastic shells and aluminium honeycombs, are applied in design of space vehicles. This requires conducting extensive research of their properties. Examples of investigation of physico-mechanical characteristics of these structures, determination of heat conductivity factor and optical characteristics, as well as gas emissions are given, and behaviour of shell material under the impact of atomic oxygen flows, equivalent to those present in near-earth orbits, are described. Application of the method of electron shearography and thermal method for nondestructive testing of honeycomb panel quality is considered. Investigations were conducted to determine the degree of weakening of electromagnetic radiation and space electron emission by honeycomb structures.

Композиционные материалы, имея высокую удельную прочность, отличаются большим преимуществом перед металлами, что обуславливает их использование в ракетно-космических конструкциях. Однако их применение в космосе возможно после проведения широкого объема исследований по определению свойств материалов.

Объектом исследований являются сотовые панели, состоящие из двух углепластиковых обшивок и соединяющих их сот из алюминиевой фольги. Цель работы — исследование характеристик материала для обеспечения применения сотовых панелей в космосе (рис.1) в качестве панелей солнечных батарей (СБ) [1] и защитных экранов.

С целью получения минимальной массы сотовых панелей из углепластика при выборе оптимальных технологических параметров изготовления, а именно, схемы укладки слоев композита, подбора разрежения углеродных нитей в препреге, количества наносимого клея использовали определение таких характеристик, как предел прочности

при растяжении, предел прочности при испытаниях на отрыв и изгиб.

Испытания проводили на испытательной машине TiraTest 2300. Результаты испытаний образцов из обшивки сотовых панелей на растяжение приведены в табл. 1.

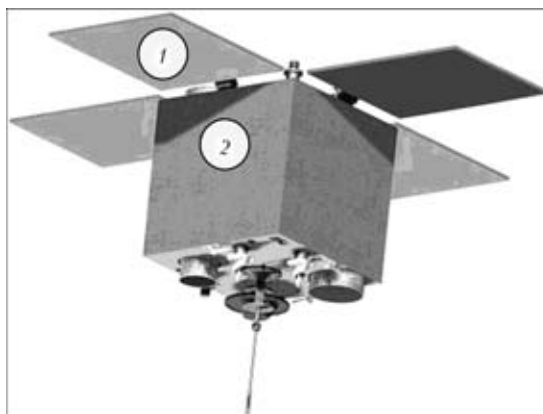


Рис. 1. Панели СБ (1) и экраны (2) космического аппарата «Січ-2» из композиционного материала

Таблица 1. Результаты определения свойств обшивок, предназначенных для изготовления трехслойной панели

Вариант	Наименование материала наполнителя обшивки	Схема укладки, град	Предел прочности при растяжении, МПа	Средняя толщина, мм
1	ТС36S-12К	0; 90	547	0,122
2	ТС36S-12К	0; -45; +45; 90	545	0,165
3	ТС36S-12К	0; 90; 0	895	0,156
4	УКН-5000	0; -45; +45; 90	604	0,192
5	УКН-5000	0; 90	466	0,179



Полученные данные послужили основанием для выбора схемы укладки варианта 1 как имеющего минимальную толщину и достаточную прочность.

В связи с тем, что при изготовлении трехслойных панелей для каркасов СБ существует ограничение по прочности соединения «сотовый наполнитель–обшивка» на отрыв ($\sigma_{отр} \geq 1 \text{ МПа}$), испытывали образцы из панелей, изготовленных с применением различных клеев и различной технологией их нанесения.

Из образцов-свидетелей к каркасам вырезали образцы трехслойной конструкции, имеющие в плане форму правильного шестиугольника со стороной 40 мм. Образцы приклеивали эпоксидным клеем холодного отверждения к технологическим болтышкам диаметром 80 мм.

При испытании фиксировалась разрушающая нагрузка образца и отмечался характер разрушения образца: по сотовому наполнителю или между обшивкой и сотовым наполнителем.

Испытания на изгиб проводили по схеме трехточечного изгиба со свободно опертыми краями. При измерении деформаций (прогибов) для определения удельной жесткости образцы нагружались пуансоном радиусом 10 мм и опирались на опоры радиусом 15 мм (рис. 2). Прогиб при этом фиксировался по перемещению траверсы нагружающей опоры примерно до 80 % разрушающей нагрузки. База образцов (расстояние между опорами) составляла 360 мм.

В настоящей работе для изготовления облегченных трехслойных сотовых панелей использовали жидко-вязкий эпоксидный клей холодного отверждения марки Эпофлекс-04. Для оценки эффективности использования клея Эпофлекс-04 предварительно проводили его экспериментальную отработку с учетом предлагаемых конструктивно-технологических решений.

Установлено, что клей Эпофлекс-04, имея тиксотропные свойства, практически не стекает с сотозаполнителя (СЗ) на поверхность обшивки. При

изготовлении облегченных сотовых панелей клей Эпофлекс-04 наносили как на торцы СЗ, так и на углепластиковые обшивки.

Поскольку уменьшение расхода клея является одним из важных путей снижения массы трехслойных панелей, было установлено влияние нанесения клея на СЗ (x_1) и обшивки (x_2) на прочность сотовых панелей при изгибе и отрыве. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, в опыте № 4 достигнуто минимально допустимое значение прочности соединения «СЗ-обшивка» на отрыв, для которого значения исследованных факторов составляют 56 г/м^2 для x_1 и 32 г/м^2 для x_2 .

По результатам испытаний получено, что при минимально допустимом значении $\sigma_{отр}$ разрушение образцов происходило с отрывом СЗ с клеевыми галтелями от обшивки, а при большем расходе клея и, как следствие, более высоком значении $\sigma_{отр}$ (более 1,2 МПа) картина разрушения образцов изменилась, качество соединения обшивка — СЗ улучшилось и образцы разрушались по сотам. Было выбрано, что оптимальными значениями исследованных факторов следует считать значения опыта № 2.

Использование сотопанелей в качестве защитных тепловых экранов требует знания теплофизических характеристик: коэффициента теплопроводности λ , степени черноты ε и интегрального коэффициента поглощения A_s .

Определение эффективной теплопроводности проводилось на трехслойной сотовой конструкции с обшивками из углепластика ЭЛУР-08+ЭДТ-10П и наполнителем из алюминиевой фольги с размерами грани сот 6 мм и высотой 12 мм.

Используемая методика определения теплопроводности в нестационарном режиме основана на регистрации роста температуры теплоприемника, нагреваемого тепловым потоком, проходящим через исследуемый образец, на боковой поверхности которого поддерживается нулевой тепловой поток (теплоприемник теплоизолирован от окружающей среды).

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Теплопроводность трехслойной углепластиковой конструкции монотонно возрастает от 0,14 Вт/(мК) при 20°C до 0,30 Вт/(мК) при 130 °С.

Таблица 2. Результаты испытаний на изгиб и отрыв образцов сотовых панелей с различным количеством нанесенного клея

Номер опыта	$x_1, \text{ г/м}^2$	$x_2, \text{ г/м}^2$	$\sigma_{изг}, \text{ МПа}$	$\sigma_{отр}, \text{ МПа}$
1	74	38	17,2	1,27
2	68	36	16,7	1,20
3	62	34	15,7	1,12
4	56	32	15,0	1,04
5	50	30	14,2	0,96



Рис. 2. Общий вид балочного образца при испытаниях на изгиб

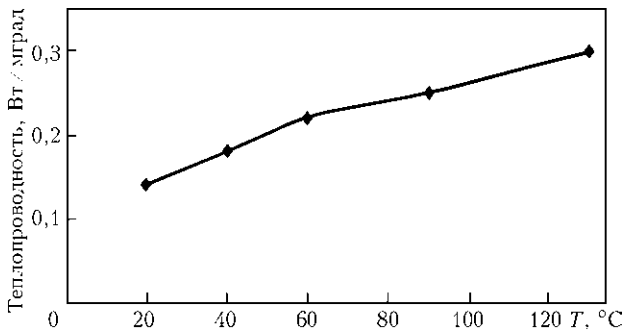


Рис. 3. Зависимость теплопроводности исследуемой сотовой структуры от температуры

Степень черноты (коэффициент излучения в инфракрасной области) углепластика, измеренный с помощью прибора эмиссометра модели АЕ-1, находится в диапазоне 0,74...0,9.

Интегральный коэффициент поглощения A_s , измеренный фотометром ФМ-59 в области длин волн 0,3...2,4 мкм, составляет 0,9.

Проведенные тепловые расчеты КА показывают, что уровень теплофизических и термооптических характеристик сотовой панели с углепластиковыми обшивками и алюминиевым сотозаполнителем, обеспечивает требуемые температуры в рабочих зонах аппарата.

Важным параметром, определяющим дальнейшее использование изготовленной сотовой панели, является коробление, т. е. отклонение поверхности обводов панелей выше допустимых [2]. Форма каркаса СБ и технология изготовления обеспечивали отсутствие коробления после изготовления. Техническими требованиями задано, что в условиях эксплуатации при перепаде температур между верхней и нижней обшивками в 8 °С, прогиб каркаса не должен превышать 0,1 мм на 100 мм длины.

Каркас размером 694×576 мм испытывался в условиях теплового нагрева лучистым и конвективным потоками с наружной стороны над массивной разогретой стальной плитой с конвективным теплообменом внутри трехслойной конструкции.

В результате испытаний получено, что при разности температур между обшивками в 10 °С прогиб каркаса составил 0,4 мм, что на 100 мм длины составляет величину < 0,1 мм, т. е. результаты испытаний показали, что прогиб каркаса соответствует заданным требованиям по тепловому короблению.

Для обеспечения чистоты оптических поверхностей приборов все неметаллические материалы КА при нагреве до 125 °С в течение 24 ч в вакууме должны иметь строго регламентированный уровень газовой выделенности, включающий общую потерю массы (не более 1 %) и количество летучих конденсирующихся веществ (не более 0,1 %). Для рассматриваемых сотовых панелей эти параметры определялись в соответствии с ECSS-Q-70-02А и составляли соответственно 0,66 и 0,09 % [3].

На низких околоземных орбитах необходимо учитывать эрозию материалов под действием атомарного кислорода.

Параметры потока атомарного кислорода на орбите для высоты порядка $z \approx 700$ км следующие, атом/(см²·год): $\Phi_O^{\text{ном}} \approx 1 \cdot 10^{19}$; $\Phi_O^{\text{max}} \approx 3 \cdot 10^{20}$; $\Phi_O^{\text{min}} \approx 5 \cdot 10^{16}$.

Для максимальных значений интегральных флюенсов атомарного кислорода, соответствующих пяти- и десятилетним срокам эксплуатации СБ, атом/см²: $F_O^{\text{max}} \approx 1,5 \cdot 10^{21}$; $F_O^{\text{max}} \approx 3 \cdot 10^{21}$;

для номинальных условий эксплуатации, атом/см²: $F_O^{\text{ном}} \approx 5 \cdot 10^{19}$; $F_O^{\text{ном}} \approx 1 \cdot 10^{20}$.

Воздействие потока атомарного кислорода на углепластик ЭЛУР 0,08+ЭДТ-10 проводили на плазмозлектродинамическом стенде [4]. После испытаний определяли изменение весовых и термооптических характеристик углепластика (см. табл.3).

После воздействия атомарного кислорода наблюдается увеличение как коэффициента поглощения A_s , вызванное потерей блеска углепластика из-за уноса полимерной матрицы, так и коэффициента излучения ϵ , вызванное повышением степени шероховатости поверхности.

Для обеспечения качества сотовой панели подвергается неразрушающим испытаниям для определения внутренних дефектов. Характерным дефектом для сотовой панели является неприклеив обшивки к сотам.

Для отработки методов неразрушающего контроля выбрано два бесконтактных метода неразрушающего контроля: метод электронной широкографии [5] и тепловой [6].

Метод электронной широкографии позволяет зарегистрировать неравномерности деформации объекта контроля, для чего объект необходимо осветить когерентным источником света и приложить механическую или тепловую нагрузку к

Таблица 3. Дegrадация весовых и термооптических характеристик углепластика в потоке атомарного кислорода

Номер образца	Измеряемые характеристики материалов						
	t, ч	F ₀ , см ⁻²	Удельный унос массы Δm, г/см ²	A _s		ε	
				до экспозиции	после экспозиции	до экспозиции	после экспозиции
1	20,53	1,07·10 ²¹	2,676·10 ⁻³	0,879	0,957	0,900	0,915
2	2,108	1,16·10 ²⁰	1,164·10 ⁻³	0,879	0,984	0,900	0,900
3	9,67	4,9·10 ²⁰	2,2·10 ⁻³	0,879	0,990	0,900	—

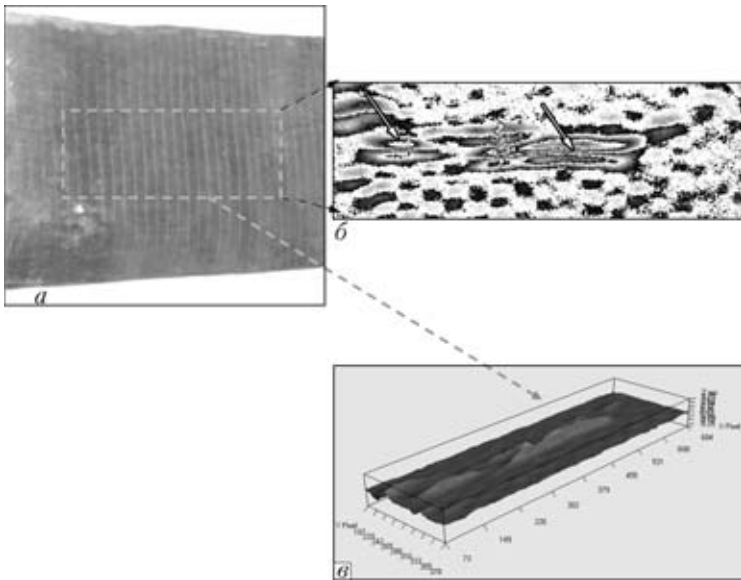


Рис. 4. Контроль качества трехслойной панели методом электронной ширографии: *а* — внешний вид панели; штриховой линией выделена зона контроля; *б* — широграмма выбранной зоны контроля. Стрелками указаны неоднородности деформации, вызванные нарушением клеевого соединения между обшивкой и сотами; *в* — трехмерная картина деформации выбранной зоны контроля

объекту. Изучение деформации объекта позволяет косвенно определить границы или сплошность приклея в многослойных сотовых панелях.

При контроле поверхность объекта условно разбивалась на зоны контроля. К каждой зоне контроля прикладывалась тепловая нагрузка и проводилась запись начального и конечного нагруженного состояния с помощью установки ширографического контроля.

Для выявления неприклея сотовую панель достаточно нагреть на 5...10 °С конвективным или лучевым способом. Нагрев образца вызывает тепловое расширение углепластиковой обшивки, а форма деформации определяется механическими связями между обшивкой и сотами. На рис. 4 показаны результаты сравнения начального и конечного состояния зоны контроля обшивки, что позволяет оценить качество приклея по неравномерности деформации. Нарушение связи между обшивкой и сотами вызывает неоднородность деформации. Обычно области с неоднородной деформацией хорошо видны и реагируют на слабую нагрузку в виде локальных возмущений (рис. 4, *б*). Трехмерная картина таких возмущений показана на рис. 4, *в*. Вся обработка сводится к поиску локальных возмущений.

Неразрушающий контроль тепловым методом позволяет оценить качество или сплошность клеевого соединения по распределению температур на поверхности во время теплопередачи. Изучение распределения температур позволяет косвенно определить нарушения клеевого соединения.

Методика контроля в основном состоит из следующих шагов. Поверхность объекта условно раз-

бивается на зоны контроля. Каждая зона контроля нагревается до температуры воздуха у поверхности 60 °С. Предварительно подбирается мощность и длительность нагрева и с помощью установки для теплового контроля (рис. 5) регистрируется с противоположной стороны распределение температур для выбранной зоны. Регистрация представляет собой серию тепловых снимков с заданной периодичностью. Анализ серии снимков позволяет выявить нарушение клеевого соединения в виде нарушения периодического рисунка сот (рис. 6, *б*).

В местах отсутствия или нарушения клеевого соединения между обшивкой и сотами нарушается тепловой контакт, что выражается в виде уменьшения температуры над клеевым соединением. Обработка сводится к поиску областей с нарушенным тепловым контактом. Отсутствие теплового контакта легко определить, построив тепловой профиль для зоны контроля (рис. 6, *в*). Тепловой профиль показывает распределение температур в заданном направлении и позволяет сравнивать тепловые контакты, их периодичность и качество. Каждый пик соответствует хорошему тепловому контакту, расстояние между пиками приблизительно соответствует размеру ячейки. Место отсутствия теплового контакта обозначено на рис. 6 вертикальными линиями.

Области с нарушением клеевого соединения, полученные обоими методами, совпадают. Таким образом, методы могут заменять друг друга.

Применение сотопанелей в составе КА в качестве защитных экранов требует проведения исследований ослабления ими электромагнитного и радиационного излучений.

Экспериментальное исследование ослабления энергии электромагнитного излучения (ЭМИ) со-



Рис. 5. Общий вид установки для теплового контроля: 1 — тепловизор; 2 — ЭВМ

топанелью проводили двумя методами: трактовым (при размещении образца исследуемого материала в коаксиально-волноводном тракте) и в свободном пространстве (или в безэховой камере).

Измерения проводили на образцах с различными параметрами сотового заполнителя с размерами ребра ячейки шестигранниками 1,5, 2,5 мм, высотой 19, 25, 35 мм. Толщина исследуемых углепластиковых обшивок составляла 1...1,4 мм.

Измерение степени ослабления электромагнитного излучения трактовым методом проводили путем прямого измерения отношения мощности на входе и выходе волноводной секции и методом измерения коэффициента передачи четырехполосника с помощью анализатора цепей. Образцы размещались в секции прямоугольного волновода сечением 28,5×12,6 мм.

Экспериментальное исследование ослабления энергии электромагнитного излучения сотовых панелей в свободном пространстве проводилось в безэховой камере с использованием экранирующего стенда, который представляет собой конструкцию с двумя опорами, на которой закреплен алюминиевый экран размером 3000×2000 мм. Общий вид экранирующего стенда представлен на рис. 7. В центре экранирующего стенда размещается испытуемый образец. Щели между образцом и экраном тщательно экранируются специальной лентой с токопроводящим адгезивным слоем.

Результаты экспериментального определения эффективности экранирования ЭМИ приведены в табл. 4.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

– степень ослабления электромагнитного излучения исследуемыми трехслойными сотовыми образцами в диапазоне частот 1...12 ГГц составляет 11...60 дБ. Минимальное значение ослабления наблюдается на более низких частотах исследуемого диапазона частот;

– уменьшение размера ячейки сот приводит к увеличению степени ослабления ЭМИ;

– на образцах, имевших большие геометрические размеры, получены лучшие результаты в сравнении с образцами малых размеров.

Достигнутая эффективность экранирования ЭМИ в полосе частот 1...12 ГГц соответствует требованиям, предъявляемым к экранированным сооружениям I–III-го классов [5]. Таким образом, конструкции сотовых панелей, аналогичные исследуемым, могут быть использованы для обеспечения электромагнитной герметичности КА.

Определение эффективности экранирования радиационного излучения проводилось расчетным и экспериментальным путем. В качестве примера рассмотрим экранирование космических излучений электронов.

Сравнительный анализ эффективности различных материалов, введение которых в состав трехслойных углепластиковых панелей при минимальных затратах массы позволит обеспечить такой же уровень экранирования космических излучений электронов, что и алюминиевая пластина толщиной 2 мм, показал, что наилучшим решением является введение в состав углепластиковых обшивок слоя вольфрама толщиной 50 мкм [7].

Общий вид визуализации прохождения электронов сквозь алюминиевую пластину толщиной 2 мм, трехслойную углепластиковую панель без вольфрамового заполнителя и такую же панель, в углепластиковые обшивки которой введены слои вольфрама толщиной 50 мкм, представлен на рис. 8.

Как видно, частицы с энергией 1 МэВ проникают сквозь исходную панель, в то время как алюминиевая пластина и модифицированная панель экранируют излучение.

Расчетные удельные дозы электронного излучения, накопленные в кремниевой мишени, размещенной за защитными, образованными алюминиевой пластиной толщиной 2 мм, исходной панелью и панелью, в каждую из обшивок которой введены слои вольфрама толщиной 50 мкм, представлены на рис. 9.

Как видим, результаты расчетов полностью подтверждают правильность разработанной схемы улучшения экранирующих характеристик многофункциональных панелей по отношению к радиационным излучениям кос-

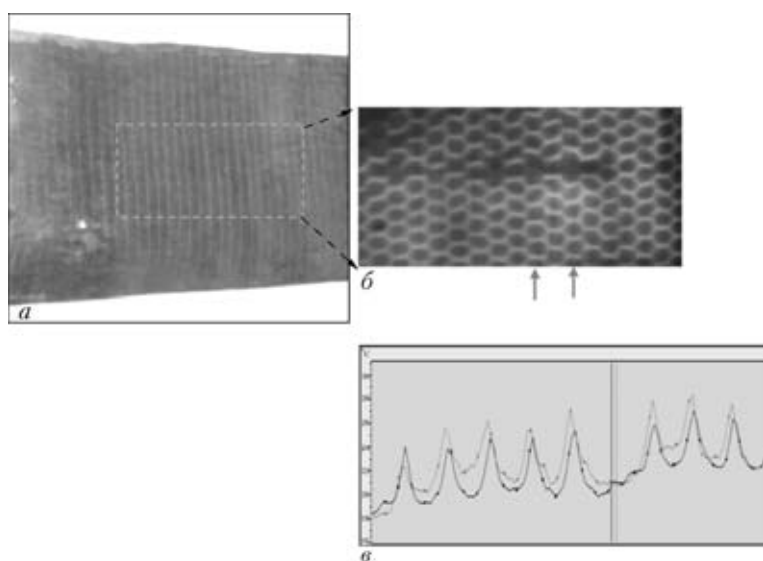


Рис. 6. Контроль качества трехслойной панели тепловым методом: *a* — внешний вид трехслойной панели (пунктиром выделена зона контроля; *b* — тепловой снимок панели (стрелками обозначены направления построения теплового профиля температур); *c* — график двух тепловых профилей

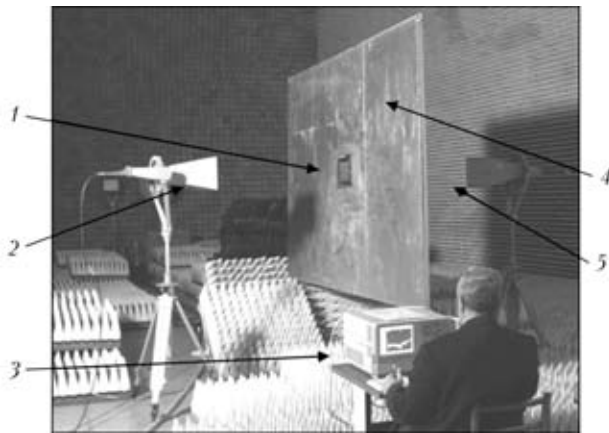


Рис. 7. Общий вид экранирующего стенда, установленного в безвоздушной камере: 1 — испытуемый образец; 2 — передающая антенна П6-23А; 3 — анализатор цепей N5230А; 4 — экранирующий стенд; 5 — приемная антенна П6-23А

мического пространства: во всем энергетическом диапазоне, характерном для электронного излучения космического пространства, доза, накопленная за защитой, образованной многофункциональными панелями, в обшивки которых введен вольфрамовый наполнитель, на 6...22 % ниже, чем за алюминиевой пластиной толщиной 2 мм.

Для получения экспериментальных данных и их сравнения с расчетной моделью алюминиевая пластина толщиной 2 мм, исходная сотопанель и доработанная панель с улучшенными характеристиками экранирования радиационных излучений

были облучены потоками электронов с энергиями 2, 4, 5, 6 и 7 МэВ под различными углами по отношению к нормали к поверхности образца на ускорителе электронов Микротрон М-30.

В ходе каждого единичного испытания определялось значение безразмерного параметра D_{st} , характеризующего экранирующие свойства образцов в поле электронного излучения, который рассчитывался по формуле

$$D_{st} = D/F,$$

где D — поток электронов, прошедших сквозь образец; F — поток электронов на внешней поверхности образца.

Зависимости обработанных таким образом экспериментальных данных от энергии электронов для нулевого угла падения приведены на рис. 10.

Как видим, данные, приведенные на рис. 10, качественно повторяют картину, полученную в результате расчетов с использованием трехмерного моделирования транспорта частиц сквозь материалы образцов. Как и на рис. 9, кривые, характеризующие эффективность экранирования электронного излучения, расположены в следующем порядке: исходная сотопанель → алюминиевая пластина толщиной 2 мм → панель, в состав углепластиковых обшивок которой введены вольфрамовые слои толщиной 50 мкм. Полученные результаты подтверждают правильность выбора схемы доработки сотопанели.

Таблица 4. Эффективность экранирования ЭМИ материалами сотопанелей

Размеры образца, мм	Размер ячейки СЗ, мм	Метод измерения эффективности экранирования	Эффективность экранирования, дБ		
			1 ГГц	7,0...8,5 ГГц	11,5 ГГц
28,5×12,6×25	1,5×1,5	отношения мощностей	—	24,8	—
		коэффициента передачи четырехполюсника	—	25,1	—
150×125×35	2,5×2,5	в свободном пространстве	11,6	40–47	55
28,5×12,6×19		отношения мощностей	—	20,9	—
		коэффициента передачи четырехполюсника	—	19,1	—
265×205×25		в свободном пространстве	16	37–42	46
490×695×25	в свободном пространстве	36	—	60	

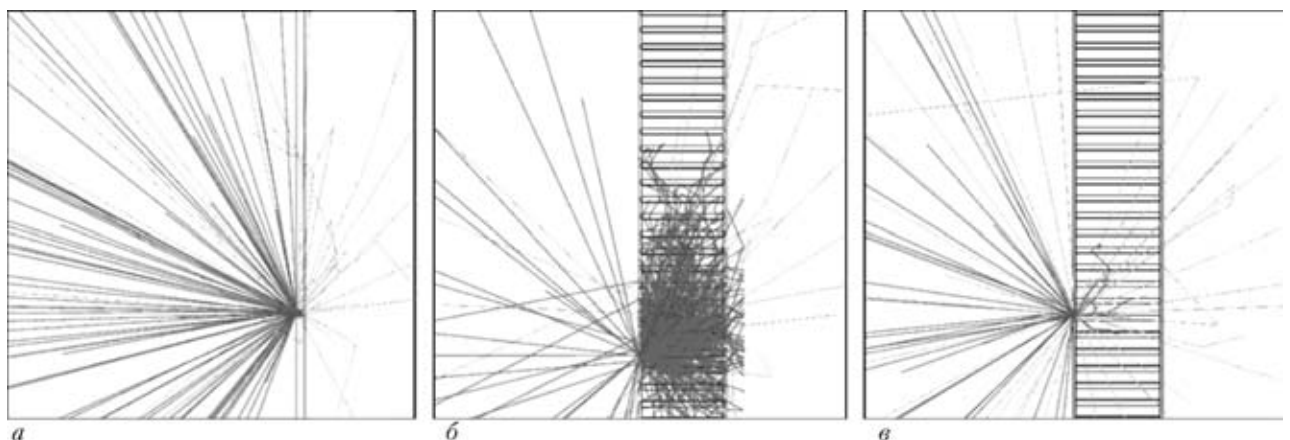


Рис. 8. Прохождение электронов с энергией $E = 1$ МэВ сквозь образцы при воздействии пучка под углом 50° от нормали к поверхности: а — Al 2 мм; б, в — соответственно исходный и модифицированный образцы сотовой конструкции

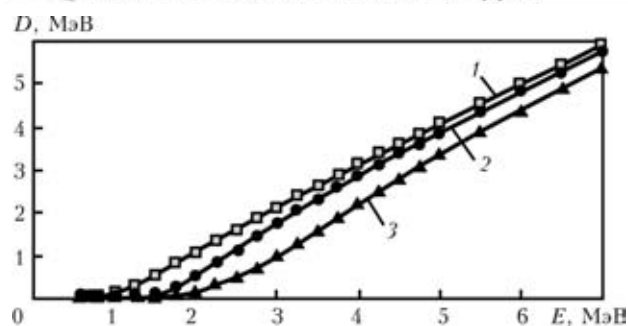


Рис. 9. Доза электронов при падении под нулевым углом: 1 — исходная панель; 2 — алюминий, 2 мм; 3 — панель с вольфрамом

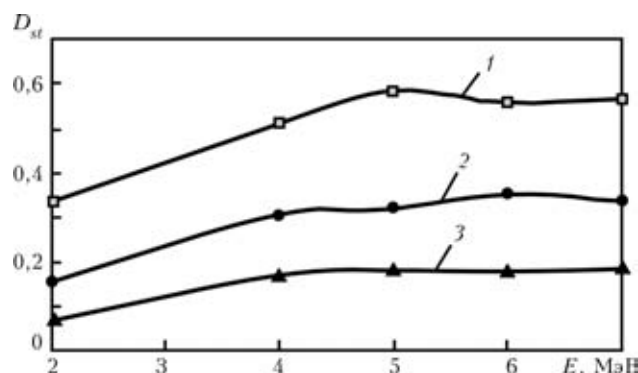


Рис. 10. Зависимость относительной дозы от энергии электронов при нулевом угле падения (обозначения те же, что и на рис. 9)

панелей с целью улучшения их характеристик в части экранирования космических излучений.

Влияние радиационного воздействия на физико-механические характеристики исследуемой модифицированной вольфрамом сотовой структуры проверялось путем облучения панели потоками электронов с энергией 7 МэВ, которые составляли $6,9 \cdot 10^{14}$, $1,38 \cdot 10^{15}$, $2,76 \cdot 10^{15}$, $1,1 \cdot 10^{16}$ и $4,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Накопленные дозы составили соответственно 22, 44, 88, 320 и 1400 Мрад. После облучения определялось разрушающее напряжение при равномерном отрыве обшивки, которое колебалось в пределах

2,0...2,9 МПа и практически не зависело от поглощенной дозы. Таким образом, вплоть до дозы $1,4 \cdot 10^3$ Мрад ионизирующее излучение не влияет на разрушающее напряжение при отрыве обшивки от сотового заполнителя.

Вывод

Таким образом, композиционные материалы на основе углепластиков могут быть не только конструктивными материалами, но и выполнять теплоизоляционные и радиационнозащитные функции, обеспечивать электромагнитную совместимость электронной аппаратуры, что обуславливает их широкое применение в ракетно-космической технике.

1. ГОСТ 30373-95. Межгосударственный стандарт: Оборудование для испытаний. Камеры экранированные. — Киев: Госстандарт Украины, 2002.
2. Тихий В. Г., Примаков В. Д., Судницин В. В. Исследование тепловой деформативности каркасов панелей солнечных батарей для микроспутников // Космическая техника. Ракетное вооружение. — Науч.-техн. сб. ГП «КБ «Южное», 2006. — Вып. 1-2. — С. 168-177.
3. Газовыделения неметаллических материалов космического аппарата «Сич-2» / Ю. А. Меленевский, В. Г. Тихий, А. М. Потапов и др. // Там же. — 2012. — Вып. 1. — С. 86-98.
4. Деградиация полимерных материалов обшивок солнечных батарей КА при длительном воздействии потоков атомарного кислорода / В. А. Шувалов, В. Г. Тихий, А. И. Приймак и др. // Космічна наука і технологія. — 2005. — 11, № 5/6. — С. 78-86.
5. Диагностика элементов и узлов конструкций с применением метода электронной ширографии / Л. М. Лобанов, В. А. Пивторак, Е. М. Савицкая, И. В. Киянец // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2008 — № 4. — С. 7-13.
6. Стороженко В. А., Вавилов В. П., Волчек А. Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. — Киев: Техніка, 1988. — 125 с.
7. Улучшение характеристик углепластиковых сотовых конструкций для защиты от ионизирующих излучений / О. В. Доценко, В. Т. Маслюк, В. Б. Тарасов и др. // Космічна наука і технологія. — 2009. — 15, № 4. — С. 58-71.

Поступила в редакцию
05.05.2012

НОВАЯ КНИГА



МЕТАЛЛУРГИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

— Киев: Академперіодика, 2012. — 526 с. Твердый переплет, 200×290 мм.
Сборник включает 120 статей сотрудников отдела исследований физико-химических процессов в сварочной дуге Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, опубликованных ранее, преимущественно в журнале «Автоматическая сварка», которые обобщают полувековой опыт научно-исследовательской деятельности отдела. Представленные статьи охватывают широкий круг вопросов металлургии дуговой сварки плавлением и разработки сварочных материалов.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов, занимающихся изучением металлургии дуговой сварки, разработкой сварочных материалов и технологий их производства.