

При проектировании трипода, была поставлена задача обеспечить его функциональность и технологичность. В трипode применены три биполярных двигателя PL15S-020. Для предотвращения проворачивания цилиндрической направляющей в шаровом шарнире необходимо обеспечить требуемую силу трения через регулируемый натяг в шарнире [4].

В ходе работы были выявлены определяющие параметры работы привода: 1 шаг = 0,223 мм; 1 мм = 4,483 шага, погрешность позиционирования из-за дискретности шагов равна половине шага – 0,111 мм.

Таким образом, разработана система управления шаговыми двигателями. В ходе работы усовершенствован контроллер униполярных шаговых двигателей. Он стал совместим с унифицированным форматом передачи сигналов шаг/направление. Также разработана программа управления шаговыми двигателями с компьютера. Она способна управлять тремя и менее униполярными или биполярными двигателями. Для отработки процессов управления создана модель трипода с приводами линейного перемещения на биполярных шаговых двигателях.

Библиографические ссылки

1. Крайнев А. Ф. Идеология конструирования. М. : Машиностроение, 2003.
2. Пестериков А. А. Устройство ориентации лепестков рефлектора космического телескопа «Миллиметрон» // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем : материалы науч.-техн. конф. / ОАО «ИСС». Железногорск, 2011. С. 211–212.

3. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления : пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1987.

4. Мирзаев Р. А. Разработка системы управления для механизмов параллельной кинематики // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем : материалы науч.-техн. конф. / ОАО «ИСС». Железногорск, 2011. С. 258–260.

5. Махов А. А. Моделирование механических систем с помощью пакета расширения SimMechanics [Электронный ресурс] // Экспонента.ру : сайт. 2009. URL: <http://exponenta.ru/educat/systemat/mahov/simmechanics.asp> (дата обращения 18.12.2010).

6. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение. М. : Машиностроение, 2007.

7. Авраменко Д. С. Печатные платы контроллера VRI-CNC [Электронный ресурс] // Самодельный станок ЧПУ : сайт. 2008. URL: <http://www.vri-cnc.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=9> (дата обращения 15.11.2009).

8. Мирзаев Р. А. Разработка управляющей программы для униполярного шагового двигателя // Молодежь, техника, космос : сб. тез. докл. II Общерос. молодежной науч.-техн. конф. / Балтийский гос. техн. ун-т. СПб., 2010. С. 249–250.

R. A. Mirzaev, N. A. Smirnov

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF CONTROL OF MECHANISMS OF PARALLEL STRUCTURES

Aspects of control of devices of parallel kinematics are considered. The control system of stepper motors is created. The controller of stepper motors is improved, the program of control for bipolar and unipolar motors is developed.

Keywords: devices of parallel kinematics, the controller, a control system, stepper motors, mechatronics.

© Мирзаев Р. А., Смирнов Н. А., 2011

УДК 629.78.023

М. М. Михнев, Н. Н. Ишенина, В. Н. Наговицин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КЛЕЕВОГО ШВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

Представлены критерии прочности клеевого соединения «обшивка – сотовый наполнитель». Проведен расчет теоретической высоты клеевой галтели, необходимой для обеспечения требуемой прочности клеевого соединения с учетом особенностей конструкции изготавливаемых сотовых панелей.

Ключевые слова: сотовая панель, клеевой шов, критерии прочности.

Создание рациональных конструкций, обладающих комплексом требуемых свойств, низкой материалоемкостью, высокой жесткостью и геометрической стабильностью связано с поиском и реализацией новых конструктивно-технических решений. Увеличение длительного срока активного существования современных КА (не менее 10 лет) потребовало изменений традиционной-герметичной схемы компоновки

КА на негерметичную схему. В связи с этим и с учетом необходимости сокращения сроков создания КА и уменьшения риска актуальным и целесообразным является разработка и запуск модификации космических аппаратов на базе, создаваемых в рамках Федеральной космической программы, унифицированной космической платформы негерметичного исполнения, обеспечивающей ресурс КА до 10...15 лет.

В качестве примера можно привести единую термостатированную силовую платформу модуля полезной нагрузки (МПН), представленную на рис. 1. Основная часть приёмо-передающей аппаратуры: ретранслятор, антенны, механические блоки поворота антенн, волноводы, кабели МПН монтируются на платформе, которая воспринимает все факторы силовых воздействий от элементов ретранслятора и обслуживающих его систем, принимая на себя всё тепло, выделяемое приборами КА, а также факторы космического пространства.



Рис. 1. Общий вид модуля полезной нагрузки современного КА безконтейнерного типа

Описанию методов расчета трехслойных конструкций на прочность и устойчивость посвящено достаточно большое количество научных работ, не менее подробно рассмотрены и вопросы производства, однако получение стабильной прочности клеевого соединения сотовой панели (СП) с обеспечением высоких точностных параметров (плоскостность панели не более $0,1/200 \times 200$ мм) является сложной технологической задачей, на практике зависящей от ряда факторов. Фактически для получения прочного клеевого соединения необходимо получить оптимальную величину приливов клея к торцам сотового заполнителя в виде галтелей.

Практика изготовления СП в ОАО «ИСС» показала достаточно большой диапазон прочностных характеристик испытываемых образцов-свидетелей. Выявление и исследование существующих факторов, влияющих на прочность клеевого соединения, позволит более точно управлять процессом полимеризации клеевого соединения, а следовательно, повысить качество изготовления СП.

Получение стабильных прочностных характеристик клеевого соединения является сложной задачей, которая может быть решена при обеспечении факторов, влияющих на качество клеевых соединений сотовых панелей:

- подготовка поверхности входящих деталей и сборочных единиц;
- качество клеевых материалов;
- размерная точность входящих элементов;
- материал оснастки для склеивания и её геометрическая точность;
- режимы полимеризации (температура, давление, скорость изменения температуры, продолжительность полимеризации).

Схема основных факторов, влияющих на качество клеевого соединения, представлена на рис. 2.

Образование клеевых галтелей объясняется поверхностным натяжением клея после его перехода в жидкое состояние и подъемом, основанным на явлении смачивания твердого тела жидкостью.

При склеивании многослойной сотовой конструкции необходимо обеспечить высокую прочность и надежность при незначительной площади контакта склеиваемых поверхностей. Основной задачей при разработке режимов склеивания сотового заполнителя с обшивками является получение у стенок ячеек приливов клея в виде плавных галтелей, прочно связывающих соты с обшивками (рис. 3). В процессе склеивания происходит перетекание части клея в пределах каждой ячейки от центра к стенкам, в результате чего у стенок образуются клеевые галтели.

Проведены замеры геометрических размеров клеевых галтелей на верхней и нижней обшивках образцов – свидетелей, изготовленных совместно со штатными сборочными единицами (табл. 1). Замеры проводились с целью проверки влияния силы тяжести на размеры клеевых галтелей при одновременной полимеризации клея на верхней и нижней обшивках сотопанели.

Таблица 1

Экспериментальные данные по геометрическим размерам клеевых галтелей для клея ВК-36РТ

Номер образца	Место проведения замеров	Размеры в мм		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>
№ 1	На верхней обшивке	0,50	0,75	0,75
	На нижней обшивке	0,60	0,60	0,50
№ 2	На верхней обшивке	0,75	1,25	1,0
	На нижней обшивке	0,50	0,60	0,50
№ 3	На верхней обшивке	0,75	1,0	1,0
	На нижней обшивке	0,60	0,65	0,5
№ 4	На верхней обшивке	0,75	0,75	0,1
	На нижней обшивке	0,75	0,1	0,75

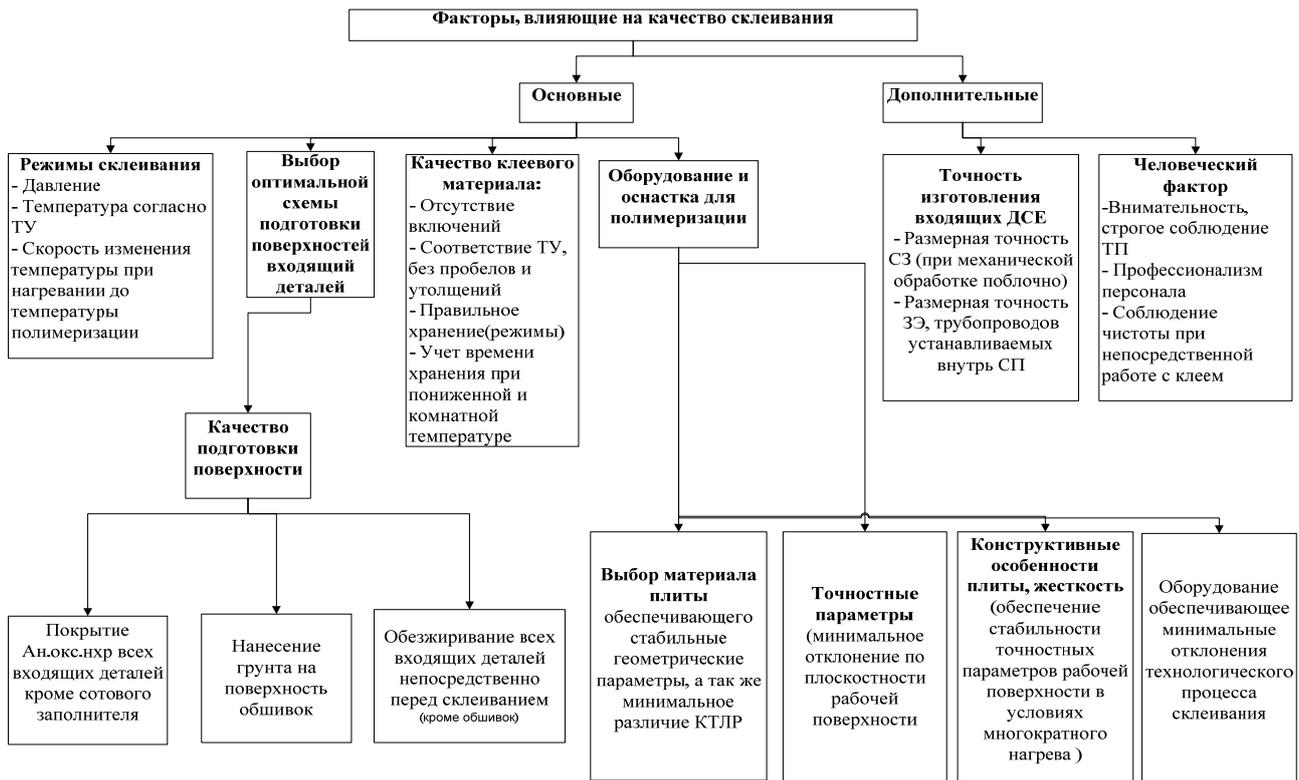


Рис. 2. Схема классификации факторов, влияющих на качество изготовления сотовых панелей

На практике геометрические размеры галтелей отличаются от расчетных и в значительной степени зависят от толщины применяемой клеевой пленки, а также от погрешностей, связанных с некоторыми операциями технологического процесса.

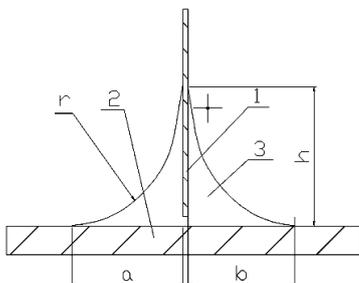


Рис. 3. Схема клеевой галтели:

1 – стенка ячейки сотового заполнителя; 2 – обшивка сотовой панели; 3 – клеевая галтель; h – высота поднятия галтели; a, b – ширина основания клеевой галтели; r – радиус клеевой галтели

Прочность соединения сот с обшивкой в клеевом шве обеспечивается на трех основных участках, по которым действуют различные виды напряжений. В месте стыка сотового заполнителя с обшивкой по периметру ячейки наблюдаются напряжения неравномерного отрыва, в минимальном сечении клеевой галтели действуют нормальные и касательные напряжения. По линии контакта стенки сот с клеевым швом происходит нагружение, аналогичное нагружению при испытаниях клеевых соединений на сдвиг [1].

Сотовый наполнитель соединяется с несущими слоями склеиванием, поэтому должна быть обеспечена равнопрочность сотового наполнителя и клевого соединения:

$$\sigma_{\text{отр.н.с}}^{\text{пр}} = \sigma_{\text{кл}} \geq \sigma_{\text{рас.з}}^{\text{пр}}$$

Прочность сотовой панели при испытании на равномерный отрыв характеризуется величиной напряжений, приведенных к единице площади обшивки σ_p . Учитывая, что площадь обшивки, занимаемой одной ячейкой сот, равна:

$$F_{\text{яч}} = 2,1a^2, \quad (1)$$

где a – размер стороны шестигранника.

Усилие равномерного отрыва, приходящееся на одну ячейку, составляет [1]:

$$Q_p = 2,1\sigma_p a^2, \quad (2)$$

где σ_p – напряжение отрыва, приведенное к единице площади обшивки.

Усилие равномерного отрыва, приходящееся на торец ячейки сотового заполнителя с учетом двойных ячеек сот (рис. 4), имеет вид:

$$Q_3 = \sigma_p a \delta_c 8. \quad (3)$$

Следовательно, усилие равномерного отрыва в соединении «обшивка – сотовый наполнитель», учитывая выражение (3), будет иметь вид:

$$Q_{\text{отр}} = 2,1\sigma_p a^2 + \sigma_p a \delta_c 8. \quad (4)$$

Сдвиговое напряжение, действующее в клеевом шве, определяется следующим образом:

$$\tau_{сд.кл.ш} = \frac{Q_{отр}}{h \cdot L_{к.ш}} = \frac{2,1\sigma_p \cdot a^2 + \sigma_p \cdot a \cdot \delta_c \cdot 8}{h \cdot L_{к.ш}}, \quad (5)$$

где h – размер клеевой галтели; $L_{к.ш}$ – периметр клевого шва, приходящийся на одну ячейку.

Таким образом, расчетное значение размера клеевой галтели рассчитывается по формуле:

$$h = \frac{2,1\sigma_p \cdot a^2 + \sigma_p \cdot a \cdot \delta_c \cdot 8}{\tau_{сд.кл.ш} \cdot L_{к.ш}}. \quad (6)$$

Расчетное значение высоты клеевой галтели для клевого соединения «обшивка – сотовый наполнитель» для ячейки размером 2,5–1,23 мм, для ячейки размером 3,5–1,7 мм, для ячейки размером 6–2,86 мм.

Проведен анализ результатов прочности склеивания образцов клеевых соединений на сдвиг с применением клеевой пленки ВК-36РТ-260; ВК-36РТ-170; ВК-51; ВК-41 (табл. 2).

Результаты проведения сравнительного анализа средних значений прочности образцов – свидетелей

склейки штатных сборочных единиц в количестве более 750 штук для пленочного клея ВК-36РТ на равномерный отрыв представлены в табл. 3.

Проведенные исследования процесса склеивания позволили уточнить технологические режимы полимеризации клевого соединения «обшивка – сотовый наполнитель» с применением универсального оборудования, что обеспечило повышение качества клевого соединения, увеличение стабильности получения высоких прочностных характеристик клевого соединения на 15 %.

Результаты исследований реализованы при изготовлении сотовых панелей корпусов космических аппаратов безконтейнерного варианта серии Экспресс; Экспресс-1000; Экспресс-2000; AMOS; Телком; Ямал; Гланасс-К и др.

Библиографическая ссылка

1. Огурек О. Н., Стариков Л. М., Бондарь В. Г. О выборе параметров клея для сотовых конструкций // Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций. Харьков, 1977. Вып. 3. С. 74–79.

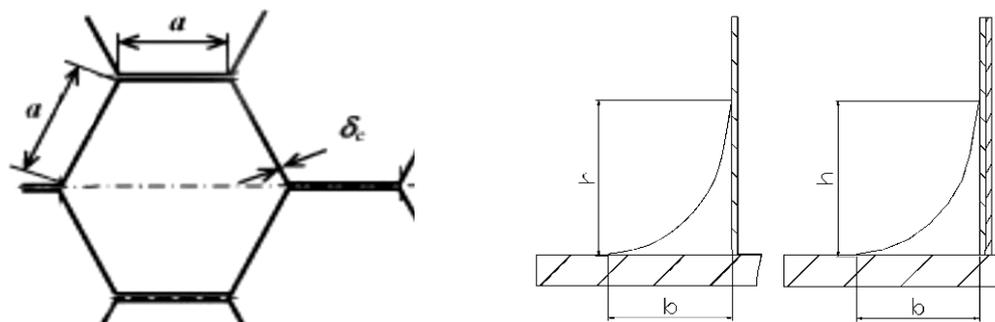


Рис. 4. Геометрические размеры клеевой галтели для сотового наполнителя с шестигранной формой ячейки

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на сдвиг

Марка клея	ВК-36РТ-260	ВК-36РТ-170	ВК-41	ВК-51
Предел прочности при сдвиге при температуре испытания 20 °С (МПа)	среднее значение – 39,55	среднее значение – 38,58	среднее значение – 35,04	среднее значение – 38,43

Таблица 3

Результаты испытаний образцов на отрыв

Обшивка	Размер ячейки сотового наполнителя a_c , мм	Толщина фольги δ_c , мм	ρ_0 , кг/м ³	Предел прочности на отрыв $\sigma_{отр.экс}$, МПа
В95п.ч.АТ1-0,5	2,5	23	40	5,32
В95п.ч.АТ1-0,5	6	23	17	2,43
В95п.ч.АТ1-0,8	2,5	40	70	5,84
В95п.ч.АТ1-0,5	2,5	40	70	5,15
В95п.ч.АТ1-0,8	2,5	23	40	3,5
В95п.ч.АТ1-0,8	3,5	30	39	3,47
В95п.ч.АТ1-0,5	3,5	30	39	3,53

M. M. Mikhnev, N. N. Ishenina, V. N. Nagovitsin

DETERMINATION OF THE ADHESIVE-BONDED JOINT PARAMETERS DURING HONEYCOMB PANELS MANUFACTURING

The paper covers the strength criteria of adhesive joint skin jacket – honeycomb filler.

The calculation of the theoretical height of the adhesive fillet which is necessary for the required strength of adhesive joint, based on structural peculiarities of manufactured honeycomb panels, is presented.

Keywords: honeycomb panel, adhesive-bonded joint, strength criteria.

© Михнев М. М., Ишенина Н. Н., Наговицин В. Н., 2011

УДК 66.097.5

М. М. Симунин, С. В. Хартов, И. В. Немцев, А. В. Шиверский, А. С. Воронин

МОРФОЛОГИЯ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ*

В качестве средства формирования субстрата для синтеза углеродных нанотрубок разработана экспериментальная технология модификации анодного оксида алюминия углеродными нанотрубками. Рассмотрена морфология пористого анодного оксида алюминия на промежуточном этапе формирования активного нановорсистого материала.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, пористый оксид алюминия, каталитические субстраты, наномембраны.

Углеродные нанотрубки (УНТ) является весьма распространённым материалом в электронной технике [1]. Наибольших успехов в этом вопросе удалось достичь в эмиссионной технике [2]. К сожалению, плотный «лес» углеродных нанотрубок представляет собой однородную эмитирующую поверхность уже на сравнительно небольших расстояниях от концов нанотрубок, поэтому синтез направленных, удалённо отстоящих нанотрубок является актуальной научной задачей. Кроме того, получение направленных углеродных нанотрубок связано с рядом технологических затруднений, например, введения направляющего поля или прецизионного контроля скорости и однородности потока парогазовой смеси в процессе роста УНТ. Следует отметить, что получение массива раздельных вертикальных углеродных нанотрубок важно также для создания мембран нового типа – активных наномембран, в частности, НЭМС-мембран, в которых каждая нанопора содержит 2 независимых электрода (в случае НЭМС-мембран один из электродов способен контролируемо изменять своё механическое состояние). Данный подход является одним из приложений активного нановорсистого материала, концепция и технология которого развивается авторами [3].

Перспективным способом получения массива нанотрубок, удовлетворяющего выдвигаемым требованиям, является синтез направленных нанотрубок

в порах анодного оксида алюминия. В этом случае одновременно разрешаются обе вышеупомянутые проблемы. Таким образом, исследование морфологии пористого анодного оксида алюминия (ПАОА), модифицированного нанотрубками, представляется актуальной научной задачей.

Методика получения образцов. Образцы 1-го типа представляют собой ПАОА с углеродными нанотрубками в порах и на поверхности. Их формирование производилось следующим методом. Фольга алюминия марки А0 подвергалась анодированию в щавелевом электролите в течение 40 мин, в гальваностатическом режиме при токе 70 мА. Анодирование приводило к образованию 15 мкм слоя пористого анодного оксида. Полученный ПАОА напитывался прекурсором катализатора роста углеродных нанотрубок [4], после чего производился их синтез методом каталитического пиролиза этанола [5].

Образцы 2-го типа представляют собой ПАОА только с углеродными нанотрубками в порах, которые были подтравлены жидкостным методом с целью обнажить УНТ. Образец получался методом, аналогичным 1 типу, однако после синтеза УНТ с поверхности ПАОА механически удалялись нанотрубки, таким образом, оставались только нанотрубки в порах, и затем проводилось травление ПАОА в $\text{CrO}_3\text{-H}_3\text{PO}_4$ -травителе.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.