

УДК 778.533(088.8)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ К ДЕЙСТВИЮ ГРАДИЕНТОВ РАЗМЕРНОСТАБИЛЬНОЙ СИЛОВОЙ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

© 2010 Н.Р. Стратилатов, А.Н. Шайда, О.С. Кулькова, В.Д. Байкин

ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Изложен метод проектирования корпусов космических телескопов, позволяющий получить простые и надёжные конструктивно-анизотропные силовые конструкции, адаптивные к действию градиентов температур.

Размерностабильная силовая конструкция, конструктивно-анизотропная силовая оболочка, телескоп

В современной космической технике при проектировании и создании силовых конструкций корпусов космических телескопов серьёзной проблемой, наряду с сохранением прочности и обеспечением жёсткости, является обеспечение их размерной стабильности в заданном направлении в условиях воздействия значительных перепадов температур и механических нагрузок.

Особенно актуальна эта задача при разработке корпусов космических телескопов дистанционного зондирования Земли.

Одним из путей уменьшения деформаций силовых конструкций корпусов космических телескопов в заданном направлении, обусловленных воздействием неравномерного поля температур, является использование конструктивных элементов, выполненных из материалов с низким коэффициентом линейного расширения (типа ИНВАР, $\alpha=1\cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, $\gamma=8,2 \text{ г/см}^3$) [1, 4].

Уменьшить температурные деформации можно также за счёт создания требуемого теплового режима, обеспечивающего снижение перепадов температур на конструкции корпуса телескопа, и за счёт применения активных и пассивных средств обеспечения теплового режима [3].

Однако указанные способы обеспечения размерной стабильности приводят к усложнению конструкции, снижению её надёжности и, как правило, к увеличению её массы. Применение

неметаллических материалов на основе углепластиков не позволяет в полной мере обеспечить достаточную геометрическую стабильность силовой конструкции телескопа, поскольку эта характеристика напрямую зависит от значения коэффициента линейного расширения применяемого полимерного композитного материала, который имеет конечную, хотя и малую, величину.

Таким образом, существует потребность в простом и надёжном способе обеспечения размерной стабильности корпусов космических телескопов.

Рассматриваемый в настоящей статье метод проектирования адаптивных к действию градиентов температур силовых конструкций предлагается к реализации в конструкциях КА ДЗЗ, разрабатываемых ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

На рисунке 1 изображён общий вид корпуса космического телескопа с высокой геометрической стабильностью конструкции по длине L при воздействии неравномерного поля температур.

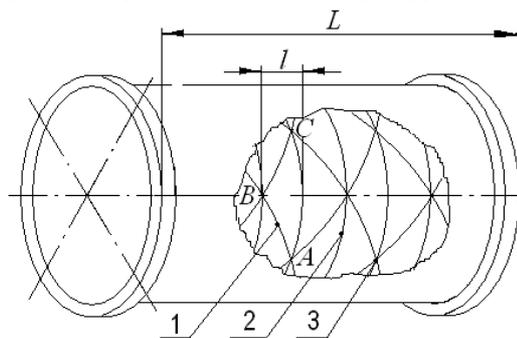


Рис. 1

Оболочка корпуса выполнена из конструктивно-анизотропного материала, часть волокон 1 которого с коэффициентом линейного расширения α_a направлены вдоль оси оболочки по правой и левой винтовым линиям. Волокна 2 , криволинейные в плоскости, перпендикулярной оси оболочки, направлены поперёк оси и выполнены из материала с коэффициентом линейного расширения α_b , превышающим коэффициент линейного расширения материала продольных волокон. Волокна 1 и 2 пересекаются в узлах 3 , образуя криволинейные треугольные элементы, заполненные связующим и симметричные относительно оси оболочки.

При действии перепада температур ΔT на криволинейный треугольный элемент ABC , состоящий из продольных волокон с длиной хорды a и поперечных волокон с длиной хорды b , продольные и поперечные волокна изменяют свои размеры, то есть удлиняются (рисунок 2) или укорачиваются (рисунок 3) на величины Δa , Δb соответственно. В деформированном состоянии треугольный элемент будет иметь вид A_1BC_1 или A_2BC_2 (рисунки 2, 3) [2, 5].

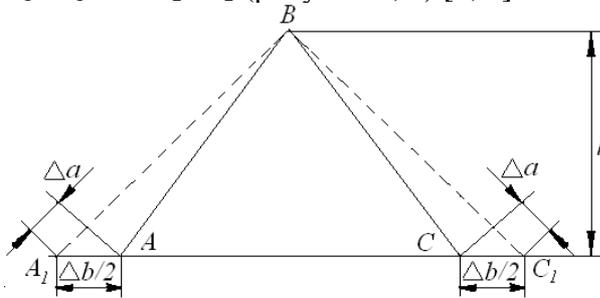


Рис. 2

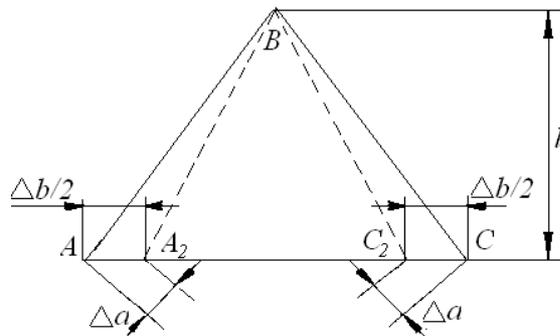


Рис. 3

Значения Δa и $\Delta b/2$ определяются по формулам:

$$\Delta a = \alpha_a \cdot \Delta T \cdot a, \quad (1)$$

$$\Delta b/2 = \alpha_b \cdot \Delta T \cdot b/2. \quad (2)$$

Высоту треугольного элемента l можно найти из следующих соотношений:

в исходном положении

$$l_1 = \sqrt{a^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2}, \quad (3)$$

после действия перепада температур

$$l_2 = \sqrt{(a + \Delta a)^2 - \left(\frac{b}{2} + \frac{\Delta b}{2}\right)^2}. \quad (4)$$

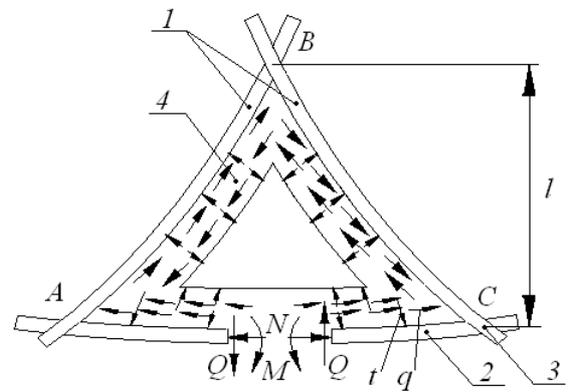


Рис. 4

На рисунке 4 показано, что треугольный элемент является статически неопределимой системой, лишними неизвестными которой являются усилия t , q связи волокон со связующим внутри треугольного элемента.

При определённом соотношении сторон треугольного элемента ABC , значений температурных деформаций волокон Δa и Δb , зависящих от коэффициентов линейного расширения материалов продольных и поперечных волокон α_a , α_b и физико-механических характеристик материала волокон и связующего, можно добиться того, что высота треугольного элемента при действии перепада температур ΔT изменяться не будет. Из условия $l_1 = l_2$ для треугольного элемента можно определить зависимость:

$$\frac{a}{b} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sqrt{\frac{\alpha_b}{\alpha_a}}, \quad (5)$$

где K_1 , K_2 – коэффициенты, учитывающие физико-механические характеристики материала связующего и волокон.

Поскольку конструктивно-анизотропная оболочка состоит из множества стабильных по высоте l криволинейных треугольных элементов, то она обеспечивает и суммарную длину L постоянной. Следовательно, корпус космического телескопа термически стабилен по длине в неравномерном поле температур.

По оценкам, для случая, когда модуль упругости первого рода связующего на порядок меньше соответствующих величин материалов волокон, а толщины волокон относятся к длинам хорд как $1/10$, значение $K_1 \cdot K_2$ составляет:

$$K_1 \cdot K_2 = 0.5. \quad (6)$$

Описанная конструктивно-анизотропная оболочка корпуса космического телескопа формируется следующим образом: углеродные (продольные) и стекловолокна (поперечные), предварительно пропитанные связующим (эпоксидным или фенольным), наматываются на цилиндрическую оправку. При этом шаг и углы намотки волокон выбираются с учётом соотношения (5).

Применение в корпусе космического телескопа конструктивно-анизотропной оболочки позволяет уменьшить массу конструкции и повысить термическую стабильность до 30%.

Область применения предлагаемой конструкции не исчерпывается космической техникой. Простота, надёжность, технологичность и низкая стоимость позволяют предположить, что данная конструкция может найти широкое применение во всех случаях, когда нужно создать размерностабильную в условиях

воздействия неравномерного поля температур конструкцию.

Библиографический список

1. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов.- М.: Машиностроение.- 1988.
2. Фомин Г.Е. Проектирование адаптивных к действию градиентов температур размерностабильных силовых конструкций летательных аппаратов [Текст]/ Фомин Г.Е., Шайда А.Н., Байкин В.Д./ Полет.- 2000.- №06.- С. 42-45.
3. Биткин В.Е. Особенности проектирования стержневых размерностабильных крупногабаритных космических конструкций [Текст]/ Биткин В.Е., Сальников И.В., Шайда А.Н./ Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике.- 1991.- С. 43-49.
4. Лапоткин А.В. Особенности проектирования, изготовления и экспериментальной отработки стержневой размерностабильной конструкции из углепластика [Текст]/ Лапоткин А.В., Соболев А.А., Суханов А.В./ Технологии. Конструкции из композиционных материалов.- 1989.- №2.7.
5. Фомин Г.Е. Проектирование размерностабильных стержневых конструкций рефлекторов антенн, адаптивных к действию градиентов температур [Текст]/ Фомин Г.Е., Шайда А.Н./ Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике.- 1991.- С. 61-64.

References

1. Vasilev V.V. Mechanics of composite constructions.- M.: Mashinostroenie.- 1988.
2. Fomin G.E. Designing of dimension stable spacecraft load-bearing units adapted to temperature gradient effect. / Fomin G.E., Shayda A.N., Baykin V.D./Polet.-2000.- N6.-P.42-45.
3. Bitkin V.E. Designing characteristics of rod, dimensionstable and bulky space constructions. /Bitkin V.E., Salnikov I.V., Shaida A.N. /Collected scientific and

technical papers on space-rocket subject.-1991.-P.43-49.

4. Lapotkin A.V. Principals of designing, production and experimental adjustment of rod dimensionstable coal-plastic construction. /Lapotkin A.V., Sobol A.A., Sukhanov A.V. /Technologies. Composite constructions. 1989.-N2.7.

5. Fomin G.E. Designing of dimensionstable rod reflector-type parasitics constructions, adapted to temperature gradient effect. /Fomin G.E., Shayda A.N. / Collected scientific and technical papers on space-rocket subject.-1991.-P.61-64.

DEVELOPMENT OF LOAD – BEARING FRAMES OF SPACE TELESCOPES WITH INVARIABLE DIMENSIONS ADAPTIVE TO TEMPERATURE GRADIENTS

© 2010 N.R. Stratilatov, A.N. Shaida, O.S. Kulkova, V.D. Baikin

State Research and Production Space Center “TsSKB-Progress”, Samara

The article describes a method used to design frames of space telescopes. The mentioned method allows to have simple and robust load-bearing anisotropic structures, which may be adapted to temperature gradients impact.

Dimensionstable load-bearing unit, constructively-anisotropic load-bearing covering, telescope

Информация об авторах

Стратилатов Николай Ремирович: Главный конструктор – начальник отделения проектных и научно-исследовательских разработок КК и КА, e-mail: csdb@samtel.ru.

Шайда Анатолий Николаевич: начальник сектора; e-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование адаптивных к действию градиентов температур и анизотропных конструкций.

Байкин Виталий Дмитриевич: начальник отдела; e-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование перспективных конструкций ракетно-космической техники.

Кулькова Ольга Сергеевна: инженер-конструктор; e-mail: csdb@samtel.ru. Область научных интересов: проектирование перспективных средств выведения, автоматизация проектирования аэрокосмической техники.

Stratilatov Nikolay Remirovich: Chief Designer- Head of Space Systems and satellites Design and Research Division, e-mail: csdb@samtel.ru.

Shayda Anatoly Nikolaevich: Head of Sector; e-mail: csdb@samtel.ru. Research interests: designing of adapted to temperature gradient effect and anisotropic constructions.

Baykin Vitaly Dmitrievich: Head of Department; e-mail: csdb@samtel.ru. Research interests: designing of perspective space-rocket equipment constructions.

Kulkova Olga Sergeevna: Design Engineer, e-mail: csdb@samtel.ru. Research interests: designing of perspective spacecraft, automation of aerospace equipment designing.