



УДК 629.7.02, 608

Гирченко А.Г.¹, Скурский П.П.²

¹ Институт химии поверхности НАН Украины. Украина, г. Киев.

² Аппарат Совета национальной безопасности и обороны Украины. Украина, г. Киев.

ВАФЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ АРМИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анотація

Запропоновано нову схему будови вафельної стінки стосовно для композитних армованих матеріалів. Розглянуто можливість створення на її основі більш міцних, легких і жорстких стінок у порівнянні із широко розповсюдженими тришаровими (сендвичевими) варіантами будови.

Abstract

The new chart of structure of a waffle wall from the composite reinforced materials is offered. Possibility of creation on her basis of more durable, easy and hard walls as compared to the widespread three-layered (sandwich) variants of structure is considered.

Введение

Под вафельными понимаются ортотропные конструкции, состоящие из обшивки с часто расположенным подкрепляющим набором в виде пересекающихся тонких ребер [1]. Вафельные металлические конструкции впервые были применены для обечаек боевых ракет [2]. Они вытеснили в конструкциях ракетных баков силовые схемы с поперечным и продольным подкреплением, выполненные из прессованных панелей и профилей [3].

На основе такой технологии выполнена, например, вторая ступень ракеты-носителя "Энергии" — блок Ц. Ее продольно-поперечный набор образуется системой перекрещивающихся ребер и имеет вид решетки с квадратными ячейками, а в отдельных случаях — с неправильной формой. Секция, подготовленная к механической фрезеровке ячеек вафельного полотна, ставилась на многошпиндельный станок СВО-22 с программным управлением. В результате в автоматическом режиме фрезеровались в оболочке с исходной толщиной около 45 мм около трех тысяч ячеек каждой секции. Для РН "Зенит" "вафли" выфрезеровываются из плит толщиной 30 мм [4]. При необходимости доведения оболочечной конструкции до веса с минимальным превышением расчетного значения предусматривалось химическое фрезерование. Гибка секции в кольцо и сварка производилась после фрезерования. Прокаткой можно получать панели вафельного типа для конструкции крыла самолетов [5]. Перед прокаткой заготовку и матрицу нагревают до температуры горячей штамповки.

Широко применялись вафельные панели в конструкции, например, самолета Су-27, многие из которых имели одинарную или двойную кривизну [6]. Для фрезерования таких панелей был создан специализированный цех, оборудованный крупногабаритными станками с ЧПУ, а процессы формообразования и поверхностного упрочнения таких панелей производились в специализированном штамповочном цеху.

Недостатки известных вафельных структур

Такая структура обеспечивает при прочих равных условиях минимальную массу конструктивных элементов. Однако "вафельные" обечайки очень сложны в изготовлении и требуют для своего производства дорогостоящего уникального оборудования [4]. Кроме того, при значительных нагрузках, ведущих к потере устойчивости оболочечных конструкций, необходимо делать "вафельные" обечайки с высокими ребрами жесткости, что в свою очередь, резко увеличивает их стоимость.

Сходное по форме строение образуется при изготовлении оболочек из композитных материалов путем их непрерывной намотки на оправку [7]. Ребра выполняются в виде сетки из намотанных с шагом пересекающихся прядей арматуры, а обшивка — сплошной их намоткой.

Но, если в металлических вариантах элементы подкрепляющего набора прочно соединены с обшивкой за счет выполнения их заодно с нею («с одного куска»), то в «мотанной» оболочке прочное соединение обеспечивается за счет толщины их стенки, обеспечивающей ее контакт с обшивкой. Это условие, а также метод изготовления не позволяет рационально размещать по высоте сечения армирующие элементы по отношению к нейтральной оси с целью достижения максимальной жесткости стенки.

Суть предлагаемого решения

Предлагается новое строение вафельной конструкции из композитных материалов, показанной на рис. 1. В нем обшивка 1 соединена с соединительным элементом 2, в полых ребристых каналах которого размещены силовые элементы 3. Благодаря этому обеспечивается их прочное соединение с обшивкой по развитой площади склейки, мало зависящей от толщины ребер. Силовые элементы 3 выполняются различной формы, определяя и форму каналов соединительного слоя.

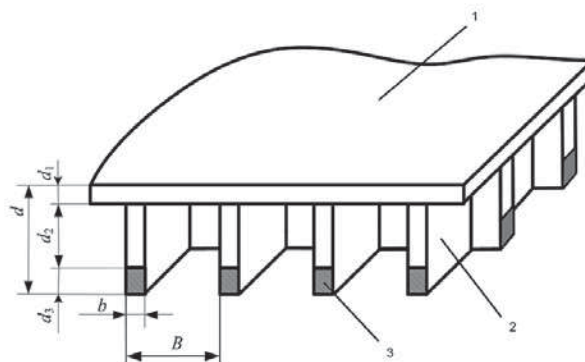


Рис. 1

Разработаны различные конструкции соединительного слоя, позволяющие осуществить разнесение подкрепляющего силового набора по отношению к обшивке на необходимое расстояние при минимальной толщине стенки ребра [8]. Варианты таких конструкций, изготовленных из стеклопластика и углепластика приведены на рис. 2.

За счет этого можно изготовить силовой набор в виде тонких и высоких ребер с уменьшенной массой материала в той их части, которая находится вблизи нейтральной оси. Толщина ребер не является при этом лимитирующей для

обеспечения их прочной связи с обшивкой. Ребра можно выполнить разновысокими за счет соответствующего выполнения каналов и размещающегося в них подкрепляющего набора. Таким образом,

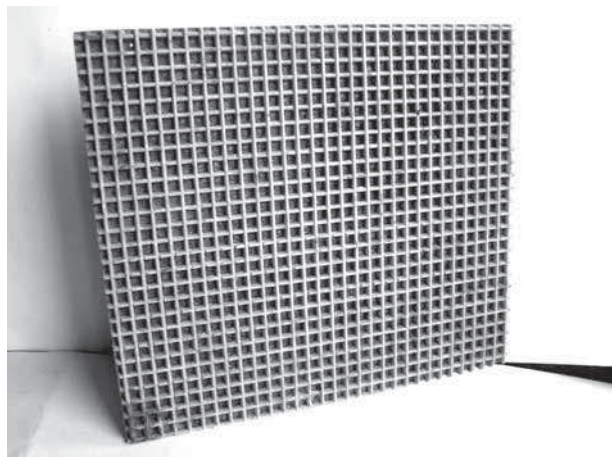
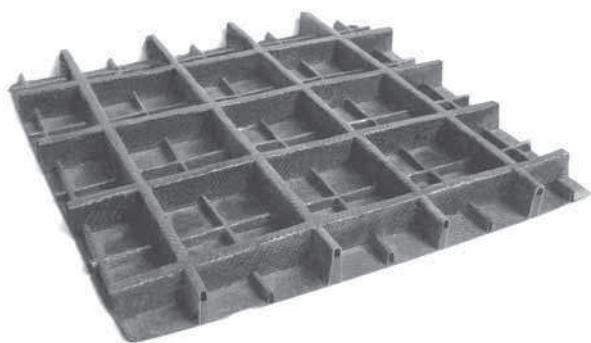


Рис. 2

можно обеспечить устойчивость как в «большом», так и местную устойчивость обшивки в пределах ограниченного ребрами участка.

Массовая эффективность новых вафельных конструкций

Рассмотрим эффективность размещения материала в сечении вафельной структуры, схематически показанной на рис. 1. В качестве оценивающего параметра применим отношение J/G момента инерции к массе материала в единице сечения.

Будем полагать, что разрушение слоистой вафельной стенки будет происходить в результате отслаивания несущих слоев обшивки от подкрепляющего набора или исчерпания прочностных свойств этими элементами. Тогда сечение такой стенки можно представить в виде трех силовых прослоек: обшивки толщиной d_1 , соединительного слоя толщиной d_2 и подкрепляющего слоя толщиной d_3 , состоящего из распределенных по его сечению подкрепляющих элементов.

Пусть объемная масса материала обшивки и подкрепляющих элементов выполненных из стеклопластика, равна γ_{KM} , а соединительного слоя, заполняющего пространства между ними – γ_3 .

Получим отношение:

$$J/G = \frac{d^2 \left[(d_1/d)^3 (1+k^3t) + \frac{3(d_1/d)kt [2-(d_1/d)-(d_1/d)k]^2}{1+kt} \right]}{\gamma_3 t + (d_1/d) [\gamma_{KM} - \gamma_3 t + kt (\gamma_{KM} - \gamma_3)]}$$

где $t=b/B$ – частота ребер, $k=d_3/d_1$ – параметр, характеризующий заполнение ребер, b – ширина дополнительного промежутка, B – расстояние между ребрами.

При $k=t=1$ имеем трехслойную конструкцию с обшивками толщиной d_1 и d_3 .

На рис. 3 показаны зависимости J/G от d_1/d для трехслойной стенки с симметричными слоями и вафельной структуры при $t=0,2$ и $k=1,5$, $\gamma_{KM}=1,8$ г/см³ и $\gamma_3=0,1$ г/см³.



Рис. 3

Из рисунка видно, что вафельная структура обладает значительно большими значениями J/G , что позволяет с большей массовой эффективностью использовать применяемые конструкционные материалы при создании облегченных силовых конструкций. За счет разнесения несущих слоев вафельной структуры толщиной

d_1 и d_3 при увеличении высоты пустотелых ребер повышается жесткость стенки. Кроме того, предложенный вариант вафельного строения позволяет получить более прочное соединение слоев, чем в трехслойном варианте, где соединение происходит по торцам сотового заполнителя.

В качестве примера рассмотрим массовые характеристики вафельного подкрепления, полученные для вафельной конструкции, показанной на рис. 1 (см. таблицу ниже).

Толщина слоя d_3 , отнесенная к единице сечения, мм	0,1	0,5	0,01
H , мм	20,9	27,1	56,0
Расчетная масса слоя d_3 , отнесенного к единице сечения, кг/м ²	0,16-0,6	0,7	0,014
Масса вафельного набора, кг/м ²	0,16-0,26	0,21-0,31	0,27-0,37

При высоте H набора, определяемой из условия обеспечения момента инерции 300 мм⁴, толщине обшивки из углепластика, равной 0,3 мм, и

толщине подкрепляющего набора d_3 из углепластика, указанного в таблице, масса 1 м^2 вафельной панели будет равна приблизительно 1 кг . Такой показатель практически недостижим для стенки трехслойного («сэндвичевого») строения.

Применение вафельных структур для создания обтекателей антенн СВЧ летательных аппаратов

Благодаря отсутствию замкнутых объемов, приводящих к накоплению концентрированной влаги и легкому промежутку между несущими слоями, обеспечиваемым пустотелыми ребрами, предложенная вафельная структура может быть применена для использования в качестве радиотехнических стенок обтекателей антенн СВЧ летательных аппаратов при условии согласования ее размеров слоев и ребер для обеспечения требуемого уровня радиопрозрачности обтекателей.

На рис. 4 приведены расчетные области допустимых значений толщин слоев трехслойной панели и вафельной структуры для максимальных уровней радиопрозрачности ($T = 0,7$ и $0,8$) в секторе углов падения от 0 до 50° и перпендикулярной поляризации электромагнитных волн, выполненный по методике [9]. Как видно из рисунка, при равных толщинах обшивки вафельная структура имеет более высокий уровень радиопрозрачности.

Другим достоинством таких структур является технологическая возможность изменения их конструктивных параметров с целью оптимизации радиотехнических и прочностных характеристик обтекателей. Образцы широкополосных авиационных обтекателей антенн СВЧ в диапазоне частот $1\text{--}18\text{ ГГц}$, изготовленных из стеклопластика с вафельной структурой стенки и различной формой поверхности показаны на рис. 5, 6.

Выводы

Результаты проведенного анализа показывают, что применение предложенного варианта вафельной структуры позволяет создавать разнообразные нагруженные конструкции ответственных элементов со специальными свойствами с лучшими массовыми характеристиками по сравнению с традиционными трехслойными структурами. На основании предложенного варианта нового строения вафельной конструкции из композитных материалов могут изготавливаться изделия практически любой формы.

Литература

1. Лизин В.Г., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. – М.: Машиностроение, 1985, С. 50.
2. Клейман В.Л., Мочалов Г.Б. Опыт разработки морских жидкостных ампулизованных баллистических ракет. – <http://makeyev.msk.ru/pub/msys/1994/ОпытMBR.html>.
3. Губанов Б.И. Триумф и трагедия «Энергии». Вторая степень – блок Ц. – <http://www.buran.ru/htm/15-3.htm>.

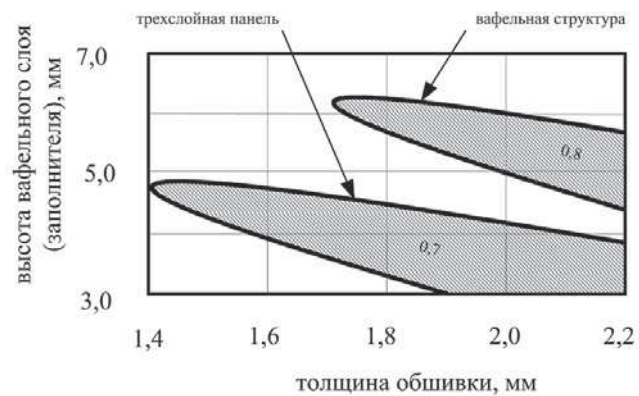


Рис. 4

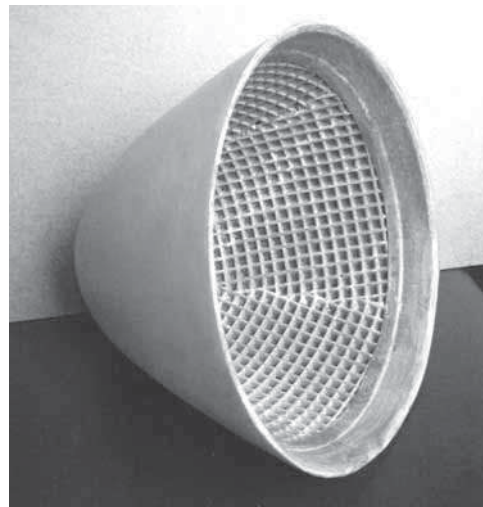


Рис. 5

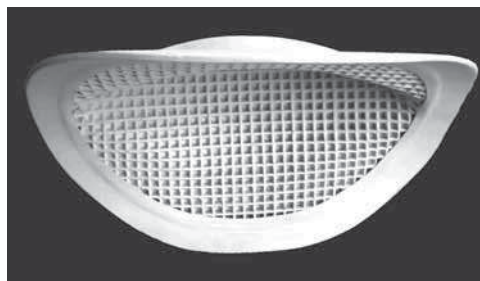


Рис. 6

4. Катков Р.Э., Тулицын Н.Н. Топливный бак. Патент Российской Федерации. №2149126, В64G1/40, заявка №99108384/28 от 20.04.1999, опубл. 20.05.2000, заявитель Открытое акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева». – <http://ru-patent.info/21/45-49/2149126.html>.

5. <http://aeroconstruction.ru/obshivka/1>.

6. Конструкция самолета. – <http://www.airwar.ru/enc/fighter/su27.html>.

7. Механика композитных материалов и элементов конструкций. В трех томах. Под общ. Ред. А.Н. Гузя. Т.3 Прикладные исследования, Киев, Наукова думка, 1983, стр. 242, рис. 1, 4, 5.

8. А.с. №1306019, МКИ В 64 С 3/26. Панель крыла летательного аппарата /А.Г. Гирченко. – Заявл. 02.04.85 №3912329/40-23; опубликовано Б.И. №749024.

9. Скурский П.П., Каминский В.В., Шумило Т.В. Синтез радиопрозрачных плоскостойких сред. – Изв. ВУЗов СССР, Радиоэлектроника. – 1982. – Т. XXV. – № 8. – С.97–99.