МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Институт авиации, наземного транспорта и энергетики (ИАНТЭ)
(наименование института (факультета), филиала)

кафедра производства летательных аппаратов
(наименование кафедры)

Направление подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
(шифр и наименование направления подготовки)

Профиль «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов»

К защите допустить
Зав. каф. ПЛА
В.И. Халиулин
«12» 06 2020г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему «Технология изготовления криволинейных сотовых заполнителей»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ В.В. Деревенец
(инициалы, фамилия) *(личная подпись)*

РУКОВОДИТЕЛЬ к.т.н., доцент Р.Ю. Петрушенко
(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) *(личная подпись)*

Казань 2020

THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION

OF THE RUSSIAN FEDERATION

federal state budgetary educational institution of higher education
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»
(KNRTU-KAI)

Institute of Aviation, Land Transportation and Power Engineering

Department for Aircraft Manufacturing

Direction of training 22.03.01 «Material science and material technology»
(code and name of the direction of preparation)

Major «Designing and manufacturing of products from composite materials»

Approved for diploma protection

Head op Department

Khaliulin V.I.

«12» 06 20 20 г.

GRADUATION QUALIFICATION WORK

on the topic «Curved honeycomb core manufacturing technology»

STUDENT V.V. Derevenets

(инициалы, фамилия) *(личная подпись)*

SUPERVISOR Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor R.U. Petrushenko

(ученая степень, звание, инициалы, фамилия) *(личная подпись)*

Казань 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

Институт (факультет), филиал ИАНТЭ
Кафедра Производство летательных аппаратов
Направление/специальность 22.04.01. «Материаловедение и технолигии материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И. Хашчулин
«04» 06 2020 г.

ЗАДАНИЕ
выпускной квалификационной работы

Деревенца Вадима Вольдемаровича
(фамилия, имя, отчество)

1 Тема выпускной квалификационной работы Технология изготовления криволинейных сотовых заполнителей

утверждена приказом по университету от "07" 04 2020 г. № 1553-С

2 Срок сдачи обучающимся законченной выпускной квалификационной работы 12.06.2020

3 Исходные данные к выпускной квалификационной работе
1. Комплект чертежей объекта сборки
2. Комплект технологической документации на сборку
3. Список технической литературы по теме

4 Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов и исходные данные к ним):

4.1

Введение

1. Конструктивно – технологический анализ изделий из КМ

1.1. Назначение и место положения криволинейных сотовых заполнителей

1.2. Описание конструкции и взаимосвязь с другими агрегатами

1.3. Применяемые материалы.

1.4. Оценка технологичности

2. Выбор и обоснование технологической схемы производства

2.1. Анализ существующих технологических схем изготовления

2.2. Выбор метода придания геометрии материала

2.3. Выбор метода формования

2.4. Составление номенклатуры оснастки для придания формы и процесса формования

2.5. Разработка схемы увязки оснастки и всего изделия в целом

2.6. Выбор необходимого оборудования

2.7. Расчет ожидаемой точности изготовления

3. Разработка технологического процесса изготовления криволинейных сотовых заполнителей

3.1. Выбор технологических режимов

3.2. Выбор вспомогательных материалов для реализации технологического процесса

3.3. Разработка маршрутного и операционных процессов на формование и сборку

3.4. Технико – экономическая оценка принятого варианта

4. Разработка технологической оснастки

4.1. Выбор материала для изготовления оснастки

4.2. Разработка технических условий на оснастку

4.3. Описание оснастки

4.4. Описание проектирования и способа изготовления оснастки

Общие выводы и результаты

Список литературы

Приложение

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Комплект слайдов презентации – 20 слайдов

6 Консультанты по проекту (работе) (с указанием относящихся к ним разделов):

Раздел	Консультант (фамилия и инициалы)	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
Раздел 1	Петрушенко Р.Ю.		
Раздел 2	Петрушенко Р.Ю.		
Раздел 3	Петрушенко Р.Ю.		
Раздел 4	Петрушенко Р.Ю		

7 Дата выдачи задания 26.03.2020

Руководитель проекта _____ Петрушенко Р.Ю.
(подпись) (фамилия и инициалы)

Задание к исполнению принял _____
(подпись)

Примечание. 1 Задание прилагается к законченному выпускной квалификационной работы и вместе с пояснительной запиской представляется в ГЭК.

2 Перед началом выполнения выпускной квалификационной работы обучающийся разрабатывает календарный план работы с указанием очерёдности выполнения отдельных этапов, согласовывает его с руководителем выпускнгой квалификационной работы.

Календарный план

№ п/п	Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов выпускной квалификационной работы	Примечание
1.	Сдача руководителю основной части выпускной квалификационной работы	01.06.2020	
2.	Оформление пояснительной записки выпускной квалификационной работы	04.06.2020	
3.	Сдача выпускной квалификационной работы на антиплагиат	08.06.2020	
4.	Предварительная защита выпускной квалификационной работы	15.06.2020	
5.	Защита выпускной квалификационной работы	18.06.2020	

Обучающийся _____

Руководитель _____

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....12

1 КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КМ.....14

1.1 Назначение и место положения криволинейного сотового заполнителя.....14

1.2 Описание конструкции.....16

1.3 Применяемые материалы.....24

1.4 Оценка технологичности.....28

2 ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА.....31

2.1 Анализ существующих технологических схем изготовления.....31

2.2 Выбор метода создания преформы.....47

2.3 Выбор метода формования.....63

2.4 Составление номенклатуры оснастки для придания формы и процесса формования.....69

2.5 Разработка схемы увязки оснастки и всего изделия в целом.....75

2.6 Выбор необходимого оборудования.....77

2.7 Выбор материалов для изготовления преформы.....80

2.8 Расчет ожидаемой точности изготовления.....83

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО СОТОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ.....84

3.1 Выбор технологических режимов.....84

3.2 Выбор вспомогательных материалов для реализации технологического процесса.....85

3.3 Разработка маршрутного и операционных процессов на формование и сборку…….86

3.4 Технико – экономическая оценка принятого варианта……...91

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ……92

4.1 Выбор материалов для изготовления оснастки……..….....92

4.2 Разработка технических условий на оснастку…….…….94

4.3 Описание оснастки……...……...……96

4.4 Описание проектирования и способа изготовления оснастки.....104

ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….…….....105

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……...…...107

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

КМ	-	композиционные материалы;
ПКМ	-	полимерные композиционные материалы;
СЗ	-	сотовый заполнитель;
КСЗ	-	криволинейный сотовый заполнитель

АННОТАЦИЯ

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО СОТОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Объектом исследования являются существующие многослойные панели, состоящие из прочных тонких внешних слоев и расположенного между ними заполнителя. Многослойные панели являются одним из наиболее перспективных конструктивных элементов современных транспортных средств, в частности, летательных аппаратов. Широкое применение нашли газонаполненные и сотовые заполнители.

Цель работы – разработка технологии изготовления криволинейного сотового заполнителя.

В ходе работы был проведен сравнительный анализ существующих технологий изготовления криволинейного сотового заполнителя. Были выбраны метод создания преформы и метод формования изделия. Спроектирована оснастка для формования криволинейного сотового заполнителя. Составлена номенклатура оснастки, выбраны материалы для изготовления ее частей и самого изделия. Разработана схема увязки оснастки и всего изделия в целом. Разработаны технологические процессы изготовления частей оснастки, оправок преформы и самого изделия. Создана анимация сборки частей оснастки и преформы, а также анимация процесса формования – вакуумной инфузии. Разработан технологический режим для связующего. Проведена технико-экономическая оценка принятого варианта. Рассчитана ожидаемая точность изготовления. Разработаны технические условия на оснастку.

В результате проделанной работы была разработана технология изготовления криволинейного сотового заполнителя из композиционного материала.

ANNOTATION

CURVED HONEYCOMB CORE MANUFACTURING TECHNOLOGY

The object of research is the existing multilayer panels, consisting of strong thin outer layers and a filler located between them. Multilayer panels are one of the most promising structural elements of modern vehicles, in particular, aircraft. Gas-filled and honeycomb aggregates are widely used.

The purpose of the work is to develop a technology for manufacturing a curved honeycomb core.

In the course of the work, a comparative analysis of the existing technologies for manufacturing a curved honeycomb core was performed. The method of creating the preform and the method of forming the product were chosen. Designed tooling for molding a curved honeycomb core. A nomenclature of equipment was compiled, materials were selected for the manufacture of its parts and the product itself. A scheme for linking equipment and the entire product as a whole has been developed. Technological processes for manufacturing parts of tooling, preform mandrels and the product itself have been developed. An animation of assembly of parts of the tooling and preform, as well as animation of the molding process - vacuum infusion was created. Technological modes for the binder have been developed. A technical and economic assessment of the adopted option was carried out. The expected manufacturing accuracy is calculated. Developed specifications for equipment.

As a result of the work done, a technology was developed for the manufacture of a curved honeycomb core from composite material.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности современной авиационной техники неразрывно связано с поиском и реализацией новых конструктивно-технологических решений. Одним из важных направлений в этой области является применение конструкций, изготовленных из композиционных материалов.

Применение полимерных композиционных материалов взамен металлических сплавов в отечественных конструкциях авиакосмической техники обеспечило снижение массы конструкций до 30-50%, повышение ресурса эксплуатации – в 2-5 раз, снижение трудоемкости изготовления – на 20-40% и материалоёмкости до 50%.

Современные технологии позволяют в цифровой среде проектировать технологический процесс, оснастку, укладку материала в будущую преформу, что обеспечивает развитие композитных технологий.

Наибольшего совершенства конструкции с заполнителем достигли в производстве летательных аппаратов. Основными требованиями к планеру всегда были высокая удельная прочность и надежность.

При выборе типа заполнителя обращают внимание на прочностные, теплоизоляционные, шумопоглощающие, энергопоглощающие и другие характеристики. Стоимость заполнителей весьма высока, а изготовление криволинейных панелей – технически сложная задача.

Основные требования к заполнителям: обеспечение высоких функциональных параметров; наличие развитой площади соединения с обшивками; отсутствие нарушения конфигурации заполнителя; многообразие материалов; высокая технологичность.

При изготовлении детали из композиционных материалов можно выбирать различные технологические схемы. Для деталей различного класса применение одной и той же схемы может иметь различную эффективность.

Поэтому актуален вопрос в выборе рационального метода изготовления деталей.

Общая цель проводимых работ - разработка технологии изготовления изделия из ПКМ. В качестве объекта исследования взят криволинейный сотовый заполнитель.

Задачи:

- Разработка и проектирование оснастки;
- Выбор метода создания преформы и метода формования изделия;
- Составление номенклатуры технологической оснастки;
- Выбор материалов для частей оснастки и преформы;
- Разработка маршрутной и операционной карт;
- Разработка технологического режима для связующего;
- Разработка технических условий на оснастку;
- Расчет ожидаемой точности изготовления;
- Разработка схемы увязки оснастки;
- Выбор необходимого оборудования;
- Создание анимации сборки и процесса формования в Siemens NX;
- Проведение технико-экономической оценки принятого варианта.

Данная работа имеет практическую важность в авиастроении, так как эта новая технология изготовления криволинейного сотового заполнителя помогает решить проблему остаточных напряжений, возникающих в результате деформации прямолинейного сотового заполнителя на криволинейной поверхности – седловидность.

1 КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КМ

1.1 Назначение и место положения криволинейного сотового заполнителя

В настоящее время сотовые трехслойные конструкции применяются в ответственных агрегатах летательного аппарата (Рис.1.1). Типичным примером использования СЗ в авиастроении являются обтекатели, створки шасси и грузолюков, рулей высоты, элероны, панели пола и интерьера [1].

В ракетно-космической технике СЗ используют в трех направлениях: конструкционное (гаргроты, обтекатели антенн, переходные отсеки); теплозащитное и теплоизоляционное (экраны, лобовые щиты); конструкции, длительно работающие в условиях открытого космоса (антенны, панели солнечных батарей).

Сотовые конструкции обладают рядом свойств: высокими разрушающими напряжениями по сравнению с другими заполнителями, акустической стойкостью, повышенной теплопроводностью и звукоизолирующей способностью, низкой массой.

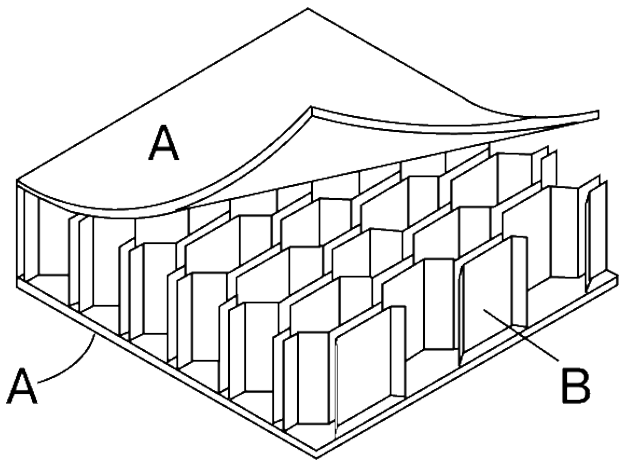


Рис.1.1. Трехслойная панель. А – обшивка; В – СЗ

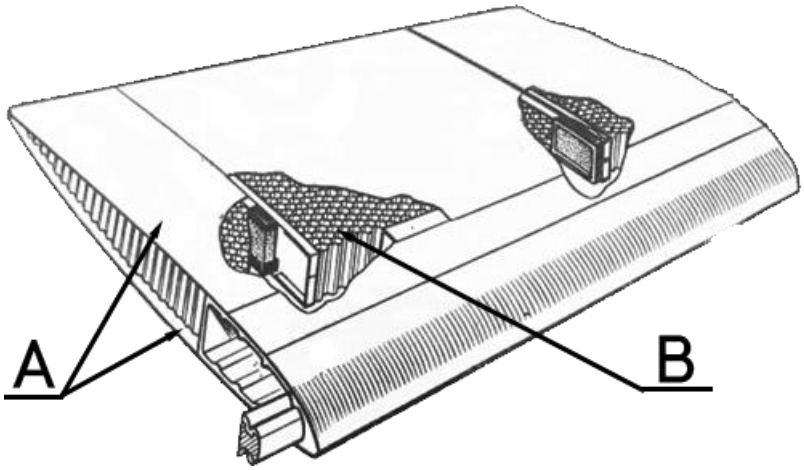


Рис.1.2. Отсек лопасти вертолета. А – обшивка; В – СЗ

Широкое внедрение ПКМ нового поколения находит свое применение в интерьере самолета, например, для панелей пола (Рис.1.3). Панели пола – это трехслойная сотовая конструкция. Она состоит из двух несущих слоев (обшивок) и сотового заполнителя, расположенного между ними, адгезионных слоев (клеевая пленка), связывающих обшивки с сотовым заполнителем и передающих нагрузку от сотового заполнителя к обшивкам и обратно.

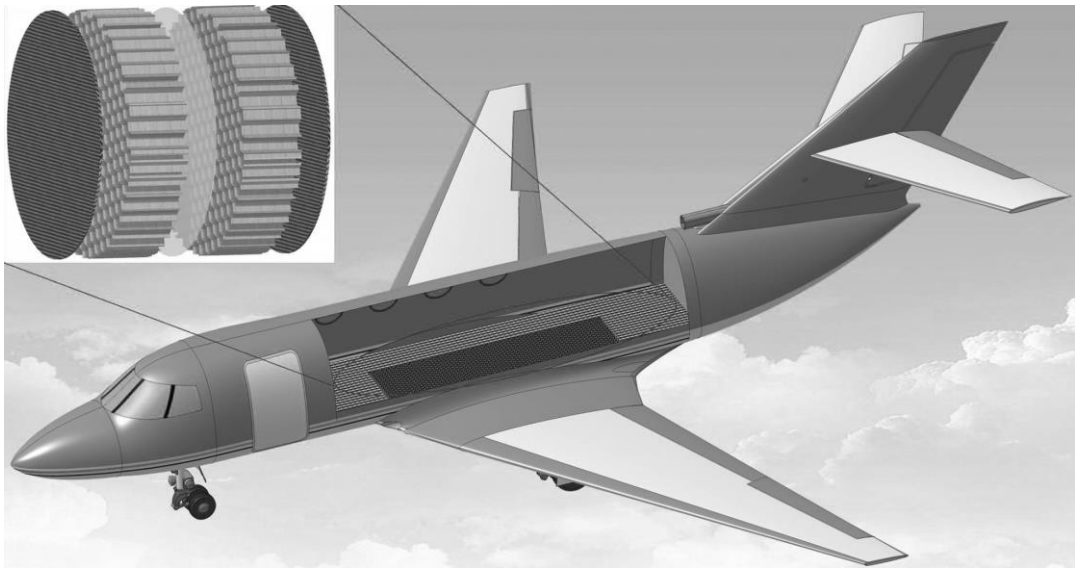


Рис.1.3. Пример применения СЗ в ЛА

1.2 Описание конструкции

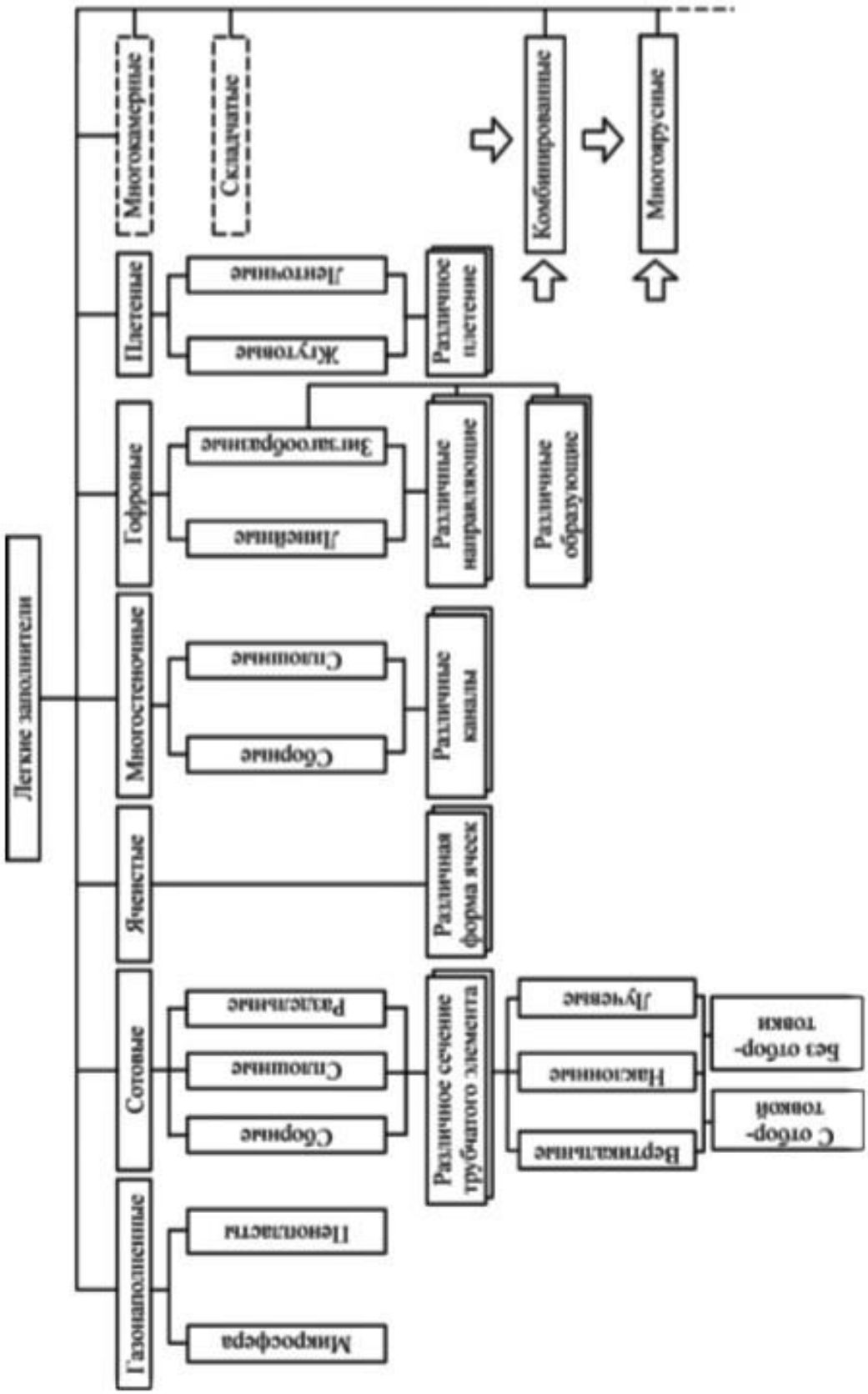


Рис.1.4. Классификация сотовых заполнителей

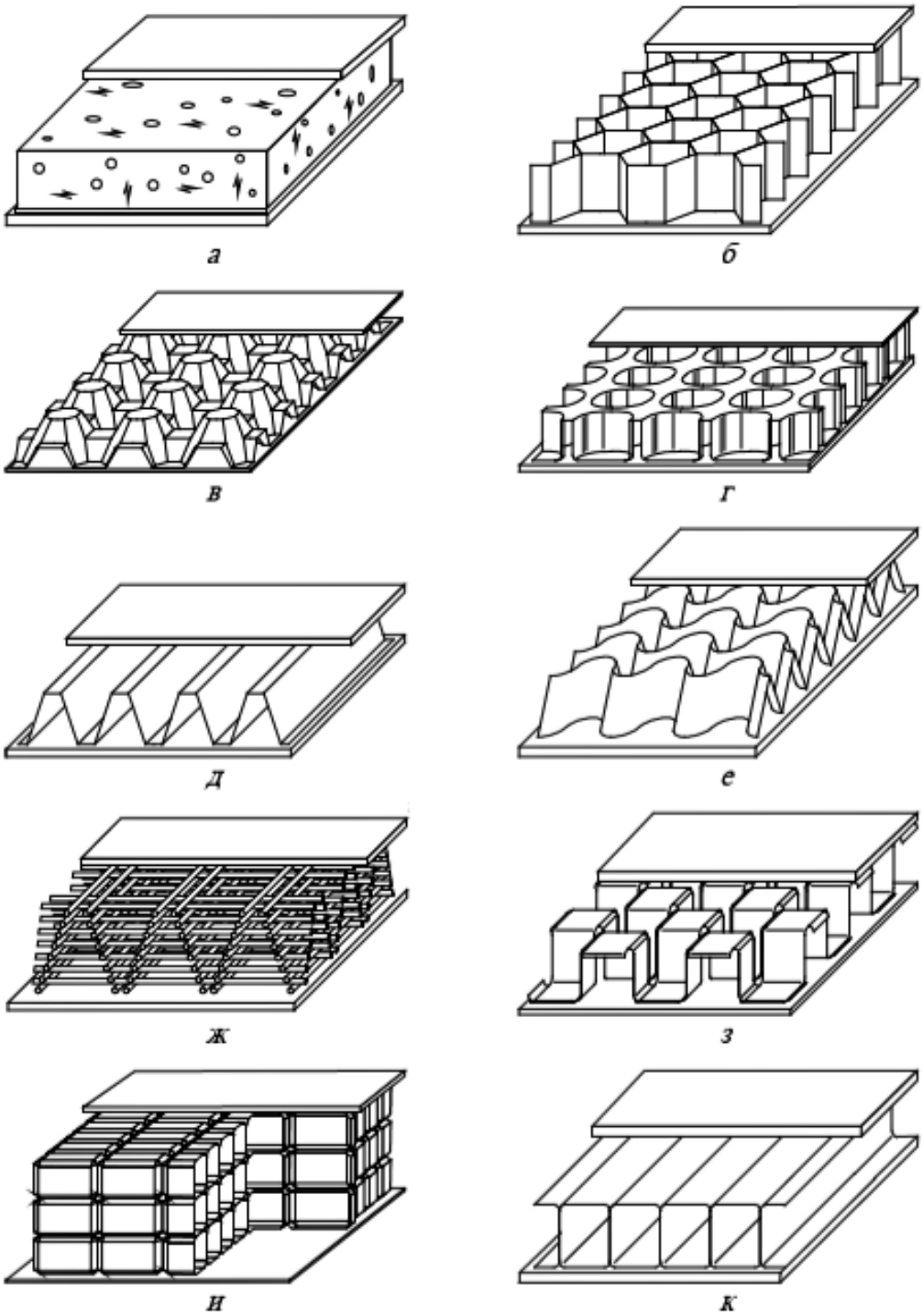


Рис.1.5. Типы легких заполнителей:

а – газонаполненные, б – сотовые, в, г – ячеистые, д – линейчатый гофр, е – зигзагообразный гофр, ж – плетеные жгутовые, з – плетеные ленточные, и - многокамерные, к - многостеночные

Можно представить шесть основных классов: газонаполненные, сотовые, ячеистые, многостеночные, гофровые, плетеные. Также, применяются комбинированные и многоярусные заполнители [1].

К легким газонаполненным заполнителям относят конструкции, большую часть объема занимают мелкие пузырьки газа, разделенные каким-либо материалом:

- вспененные, в качестве матрицы может быть широкий спектр материалов – пенопласты, пенокерамика, пенометаллы;
- композиции из полых микрообъектов, объединенных связующим.

Сотовые заполнители - это регулярные структуры, набранные из трубчатых элементов, имеющих сквозной канал между обшивками. Оси трубчатых элементов направлены по нормали к обшивке или под углом.

Можно выделить группы сот по наличию соединений в трубчатых элементах:

- сборные соты, образованные гофрированными лентами, соединенными между собой клеем, сваркой и т.д.;
- сплошные соты, не имеющие соединений, полученные ткачеством на жаккардовых станках, экструзией из металлов и полимеров или прессованием из керамики;
- раздельные соты, образованные гофрированными лентами, не имеющие соединений по высоте трубчатых элементов, только в локальных зонах.

Сотовые наполнители наиболее выгодны по соотношению прочности, жесткости и весу, но дороги и сложны в изготовлении. Поэтому они используются в основном в аэрокосмической отрасли, где себестоимость быстро окупается. Сотовые структуры обычно изготавливаются из фольги, прорезиненной бумаги, пластика или КМ.

Возможные формы сот (Рис.1.6): гексагональная, прямоугольная, шестигранная смещенная, ромбическая, мальтийский крест, флекскор, шестигранная с усиливающими лентами, чечевицеобразная и шестигранная с рифтами.

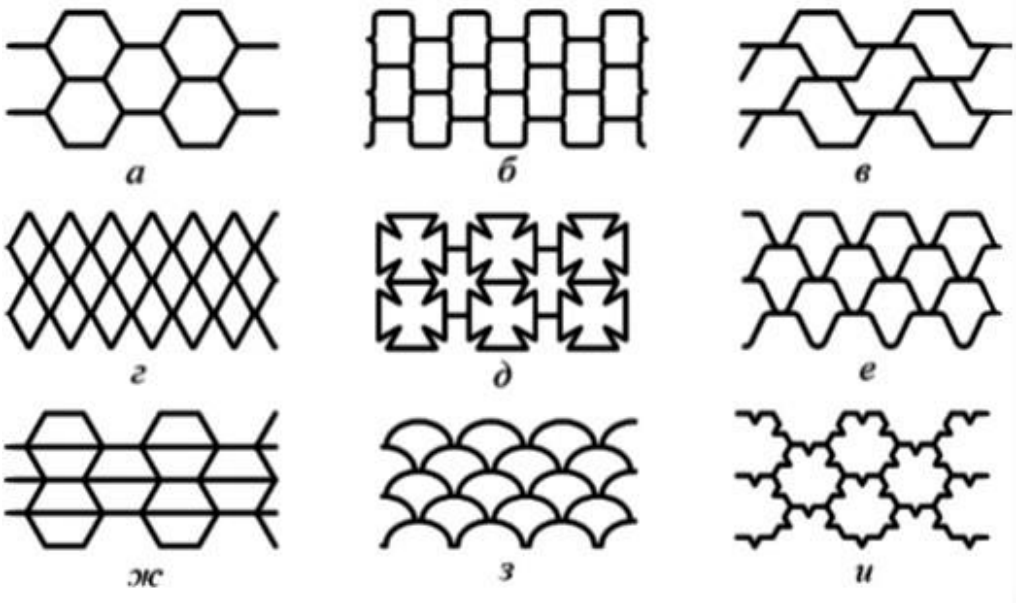


Рис.1.6. Форма трубчатых элементов сотового заполнителя:
а – гексагональная; б – прямоугольная; в – шестигранная смещенная; смещенная; г – ромбическая; д – мальтийский крест; е – флекскор; ж – шестигранная с усиливающими лентами; з – чечевицеобразная; и – шестигранная с рифтами

В большинстве случаев используют соты гексагональной формы (Рис.1.7). Они обеспечивают высокую удельную прочность и наиболее технологичны в изготовлении. Данные заполнители представляют собой шестиугольные соты, имеющие шесть одинаковых граней с углом $\theta = 120°$, высотой стенок h, и шириной l_s. Относительная плотность определяется:

$$\bar{\rho} = \frac{2t_s}{\sqrt{3}l_s},$$

где t_s - толщина стенок, l_s- расстояние между стенками.

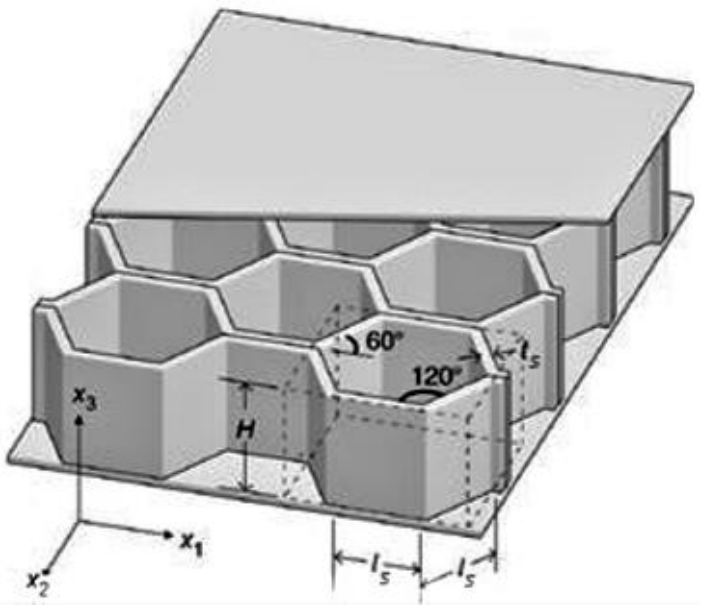


Рис.1.7. Гексагональный СЗ

Относительная плотность прямоугольного заполнителя (Рис.1.8) может быть определена отношением объема в элементарной ячейке к объему самой ячейки. Для квадратной соты, объем стенки элементарной ячейки равен $2t_s l_s H$, и объем ячейки равен $l_s^2 H$. Таким образом, относительную плотность можно найти:

$$\bar{\rho} = \frac{2t_s}{l_s}$$

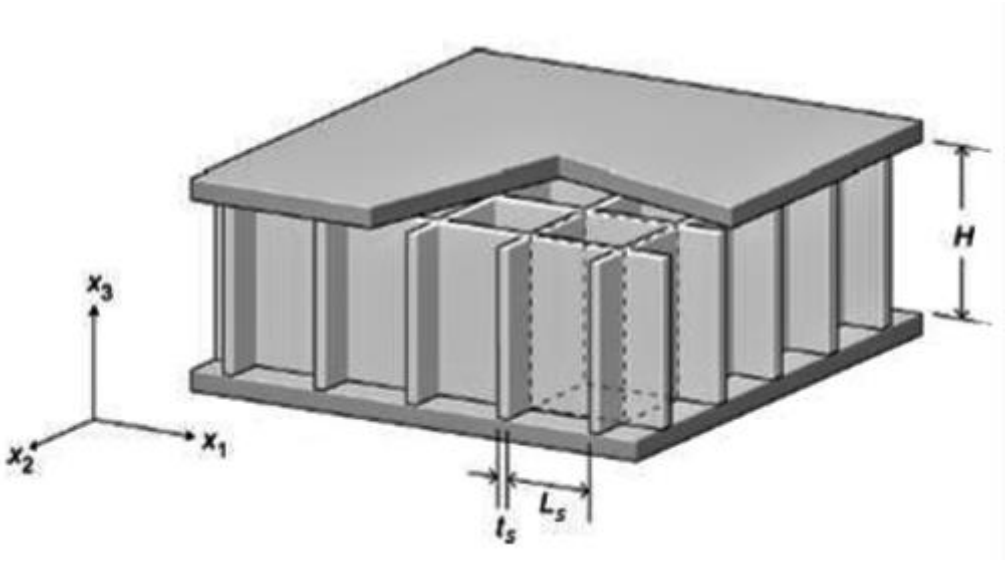


Рис.1.8. СЗ с прямоугольными ячейками

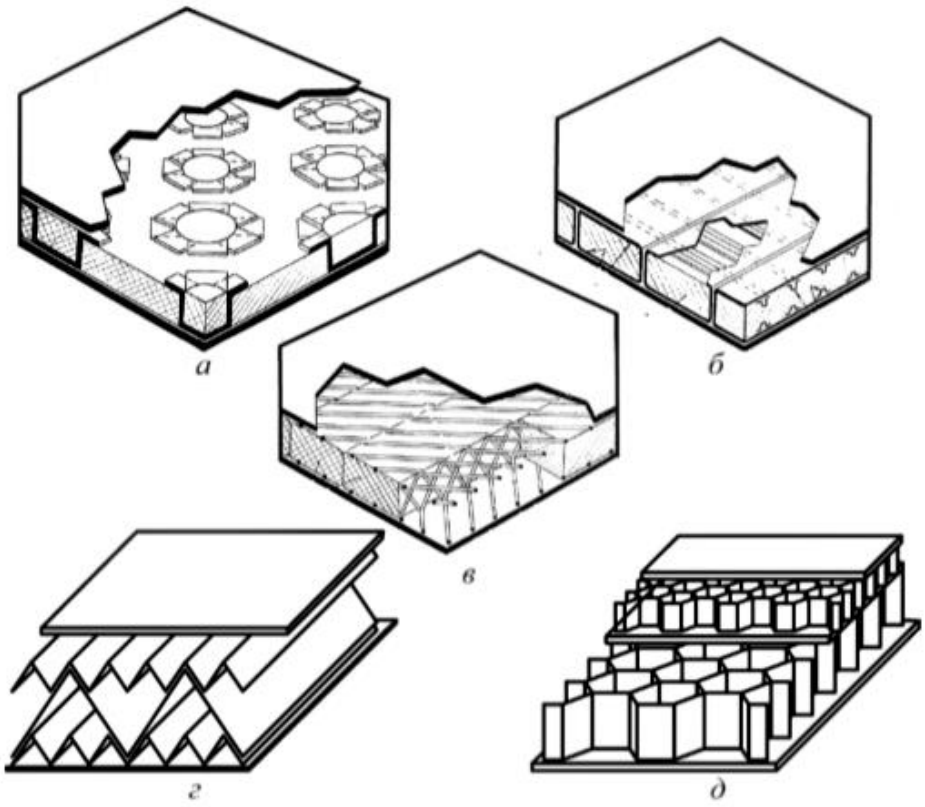


Рис.1.9. Комбинированные и многоярусные заполнители
а – пенопластовый + ячеистый; б – пенопластовый + многостеночный; в – пенопластовый + плетеный; г – многоярусный гофрированный; д – многоярусный сотовый

В отдельный класс можно выделить комбинированные заполнители (Рис.1.9). Например, для увеличения прочности пенопластовый заполнитель комбинируется с ячеистыми или многостеночными структурами. Находят применение также многоярусные конструкции, состоящие из нескольких слоев заполнителей одного или разных классов. Для повышения теплоизолирующих свойств облицовки топливных баков ракет и самолетов применяется конструкция, состоящая из сот и газонаполненного слоя.

Выбор комбинации различных структур определяется поставленной целью, например, повысить прочность увеличением сдвиговой жесткости, расширить частотный диапазон звукопоглощения и т.д.

В приведенную схему не включены:

- заполнители, не являющиеся конструкционными: нетканые изолирующие материалы (маты из минеральной ваты, базальтовых и асбестовых волокон);

- заполнители с относительно большой удельной плотностью (керамзит, арболит, пенобетон, пенобумага).

Для решения поставленной задачи выпускной квалификационной работы мною был выбран сотовый заполнитель. Была спроектирована 3D-модель КСЗ в программном обеспечении Siemens NX 10.0, а также 3D-визуализация данной модели для более полного понимания конечного результата после изготовления изделия.

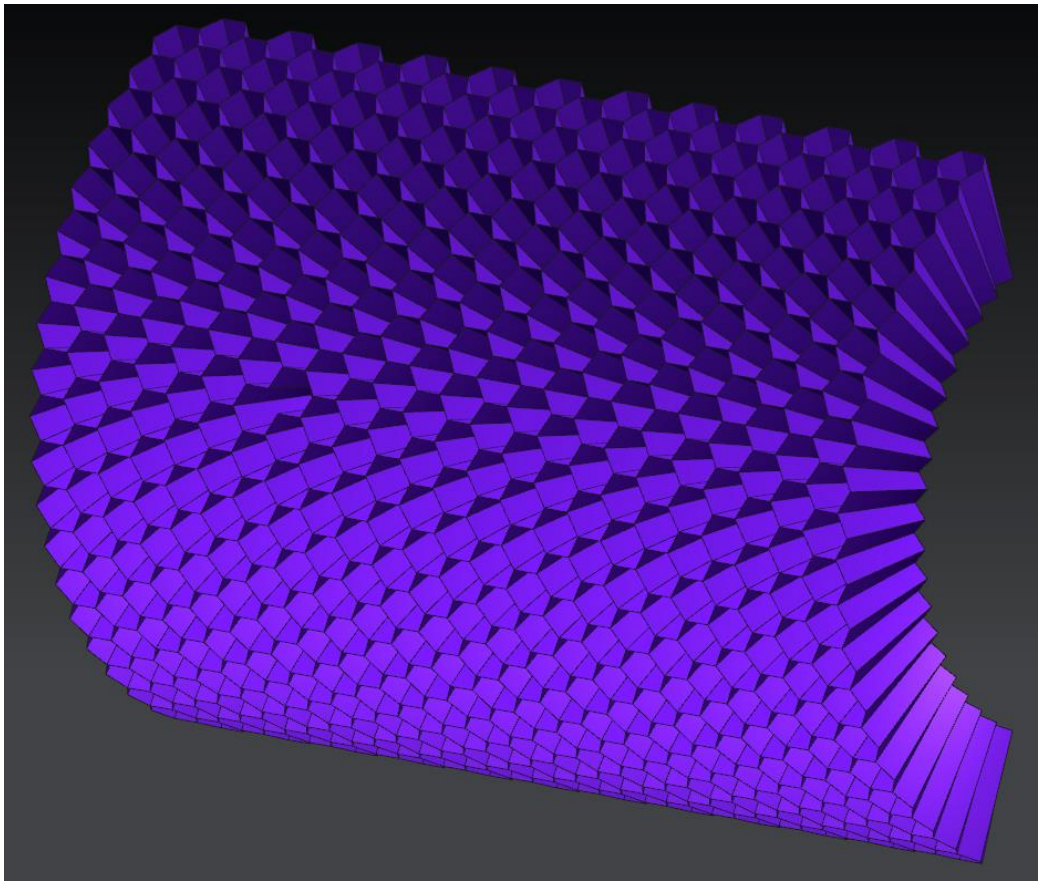


Рис.1.10. 3D-модель КСЗ в Siemens NX 10.0

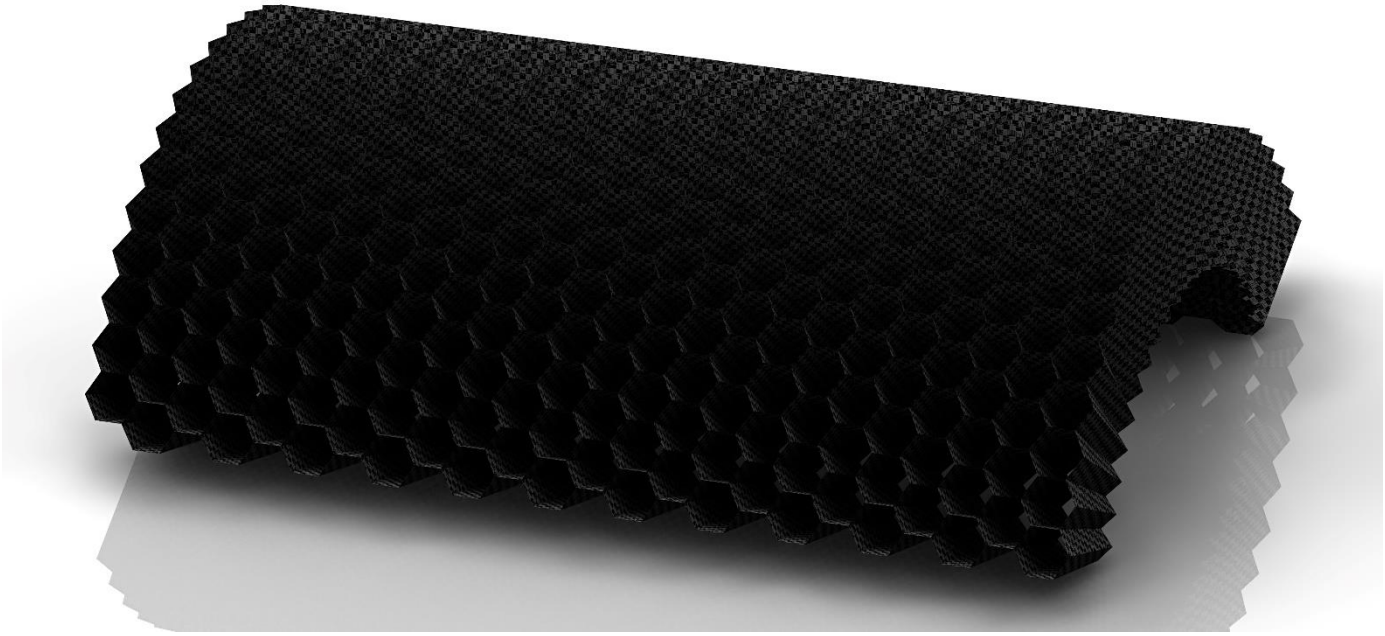


Рис.1.11. 3D-визуализация в Siemens NX 10.0

1.3 Применяемые материалы

Материалы для сотового заполнителя:

- Волокно Kevlar;
- Стекловолокно;
- Углеволокно;
- Базальтовое волокно;
- Титановый сотовый заполнитель;
- Керамический сотовый заполнитель;
- Сотовый заполнитель на основе алюминия в сплаве 3003 с коррозионной защитой без хрома;
- Сотовый заполнитель на основе алюминия в сплаве 5052 с коррозионной защитой без хрома;
- Сотовый заполнитель на основе алюминия в сплаве 5056 с коррозионной защитой без хрома;
- Сотовый заполнитель на основе алюминия анолированный фосфорной кислотой для применения в космической промышленности;
- 3D-технология сотового заполнителя на основе алюминия и волокна Nomex;
- 3D-технология сотового заполнителя на основе стекла и волокна Kevlar;
- Сотовый заполнитель на основе полиимидной смолы (стекло-Nomex-Kevlar-углерод);
- Сотовый заполнитель на основе смолы из цианатных эфиров (стекло-Nomex-Kevlar-углерод) [2].

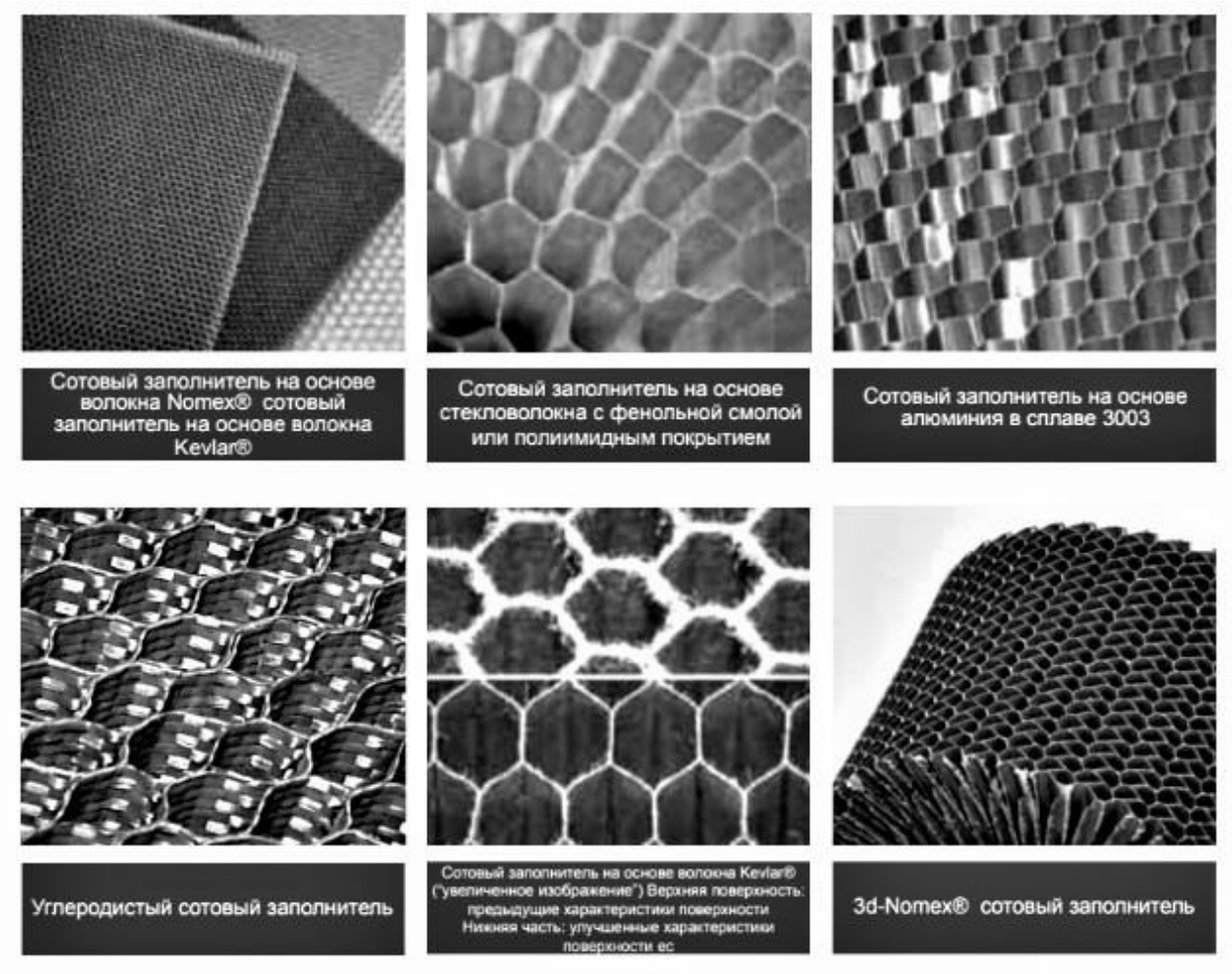


Рис.1.12. Примеры материалов для изготовления СЗ

Требования к заполнителю:

- способность обеспечения совместной работы несущих слоев;
- достаточная прочность заполнителя на сдвиговые, сжимающие нагрузки;
- отсутствие нарушения конфигурации заполнителя, структуры его материала и остаточных технологических напряжений;
- малый объемный вес;
- экономическая выгода для придания заполнителю одинарной или двойной кривизны, переменной высоты;
- возможность изготовления из широкого спектра материалов;
- требуемая адгезия к несущим слоям;

- высокая технологичность и низкая себестоимость изготовления;

- негорючесть;

- достаточные тепло- и звукоизоляционные свойства;

- высокая коррозионная стойкость.

При производстве панелей плоские панели длиной до 15 м производятся путем присоединения препрегов или металлических оболочек к сотовому заполнителю. Кроме того, помещают заливочную массу или металлические и неметаллические средства усиления в сотовый материал перед процессом соединения.

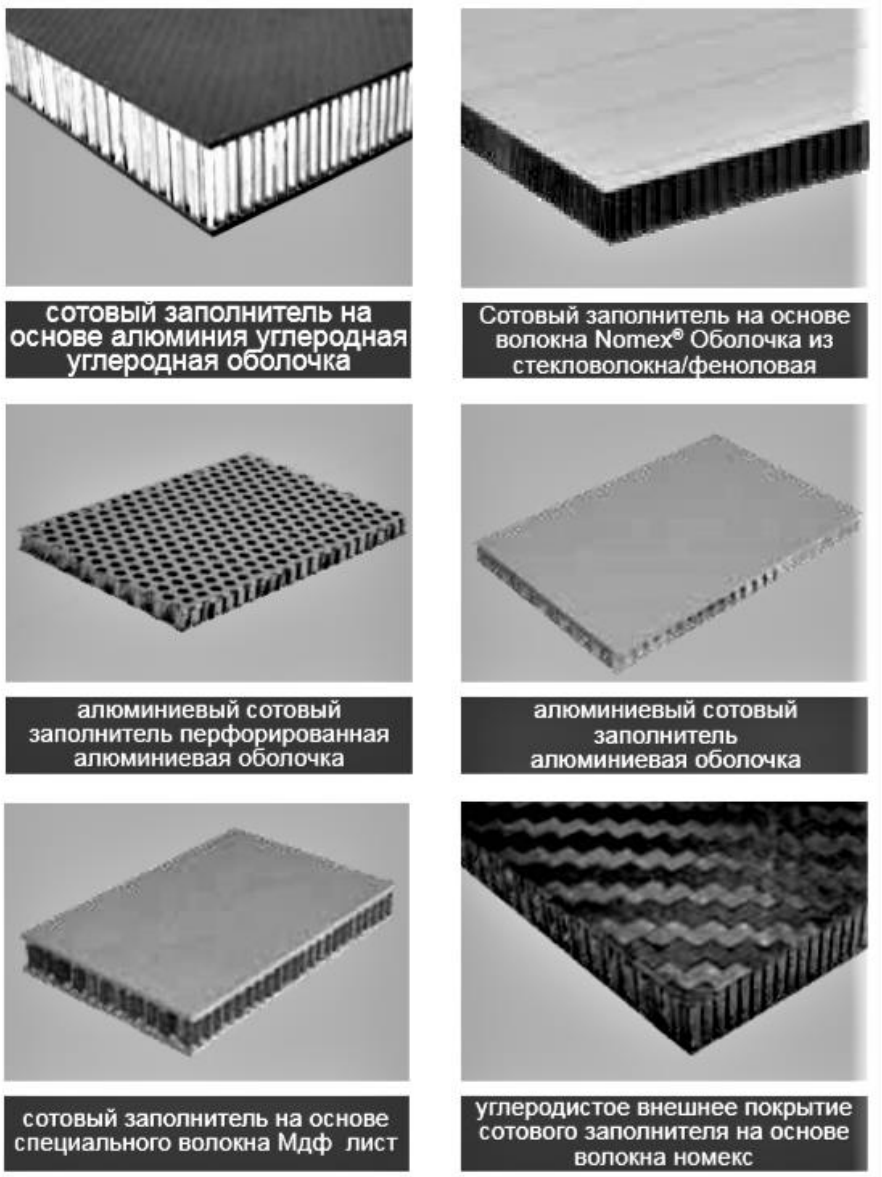


Рис.1.13. Примеры материалов для изготовления панелей

К материалам трехслойных конструкций предъявляются следующие требования:

- материал должен иметь структуру, которая соответствует силовому воздействию на конструкцию при эксплуатации;
- объемный вес материала минимален;
- пределы прочности при различных нагрузках удовлетворяют требованиям, предъявляемым к корпусным конструкциям;
- удельная ударная вязкость должна обеспечивать возможность обработки при температурах от $+40°C$ до $-200°C$;
- материал не должен выделять веществ или запахов, вредно действующих на организм человека;
- материал должен быть негорюч;
- не допускается появления в материале с течением времени трещин, расслоения, выкрашивания и других дефектов;
- усталостные характеристики материала должны быть такими, чтобы не появились трещины и не происходило расслаивание;
- теплостойкость, обеспечивающая сохранение внешнего вида;
- отсутствие остаточной деформации от длительного нагрева до $120-130°C$;
- процесс изготовления должен быть максимально автоматизирован;
- меньший объемный вес при необходимых прочностных характеристиках;
- достаточный запас пластичности без разрушения при деформациях;
- удовлетворительная сопротивляемость воздействию нагрузок с различными частотами разрушения;
- удовлетворительная сопротивляемость к ударным нагрузкам;
- способность сохранять свои свойства в пределах различных условий эксплуатации.

1.4 Оценка технологичности

Преимущества трехслойных конструкций:

- малая удельная масса по сравнению с традиционными типами конструкций;
- экономичность;
- хорошие теплоизолирующие свойства;
- равномерная подкрепленность несущих слоев с заполнителем способствует снижению концентраций напряжений;
- высокий коэффициент внутреннего поглощения энергии;
- выносливость слоистых конструкций;
- большой срок службы;
- ликвидация операции правки и устранение концентрации напряжений при изготовлении;
- невысокая трудоемкость изготовления и сборки [3].

Одним из основных достоинств трехслойных пакетов является их многофункциональность. Наряду с различными физическими и механическими свойствами в процесс проектирования изделия, можно совместить различные важные свойства.

Недостатки трехслойных конструкций:

- снижение прочностных характеристик в процессе эксплуатации клеевых соединений;
- высокое требование к стабильности технологического процесса;
- необходимость применения современных методов для неразрушающего контроля;
- сложность использования сот и складчатых структур на поверхности двойной кривизны;

- закрытая структура сотовых конструкций может задерживать влагу, которая приводит к коррозии;

- традиционные подходы проектирования и изготовления узлов стыковки и усилению зоны передачи усилий в тонкостенных конструкциях полностью ухудшают преимущества использования композитных материалов;

- в пористых пенах реализуются деформации изгиба, а в сотах и складчатых структурах – деформации сдвига.

Нетехнологичная конструкция (Рис.1.14) имеет следующие недостатки:

- Невозможно обеспечить четкое сопряжение обшивки, лонжерона и сот;

- Неизбежны зазоры, некачественное клеевое соединение в зоне обшивка-лонжерон;

- Пониженная влагостойкость;

- Ненадежное крепление законцовки с применением клея холодного отвержде-
ния;

- Искажение теоретического контура в районе законцовки;

- Коробление обшивки из-за резкого перепада ее толщины;

- Удлинение цикла сборки.

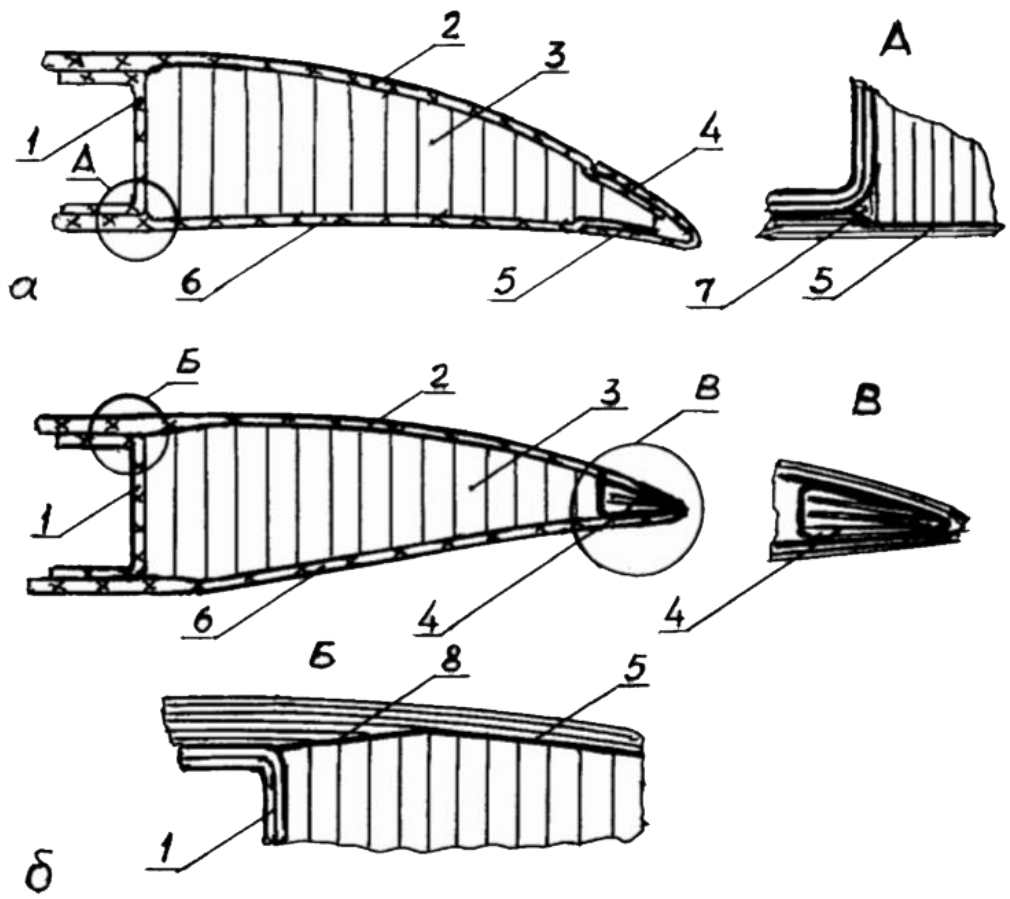


Рис.1.14. Сравнение технологичной и нетехнологичной контсрукций сотовых агрегатов из КМ: а – конструкция нетехнологичная; б – конструкция технологичная. 1 – лонжерон; 2 – обшивка верхняя; 3 – сотоблок; 4 – законцовка; 5 – клеевая пленка; 6 – обшивка нижняя; 7 – зазор; 8 – скос сотоблока

2 ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА

2.1 Анализ существующих технологических схем изготовления

Сборка из гофрированных полос

В настоящее время в основном используется сотовый заполнитель с шестигранными ячейками. При этом известны некоторые способы изготовления сотовых конструкций.

1. Последовательность операций способа изготовления сотовой конструкции при помощи профилирования ячеек (Рис.2.1) [4]:

1. Гофрирование заготовки материала;
2. Нанесение адгезива на соединяемые поверхности;
3. Сборка сотового блока;
4. Запрессовка сотового блока;
5. Соединение гофрированных заготовок материала друг с другом;
6. Разрезка сотового блока;
7. Склеивание сотовой панели;
8. Фрезерование сотовой панели.

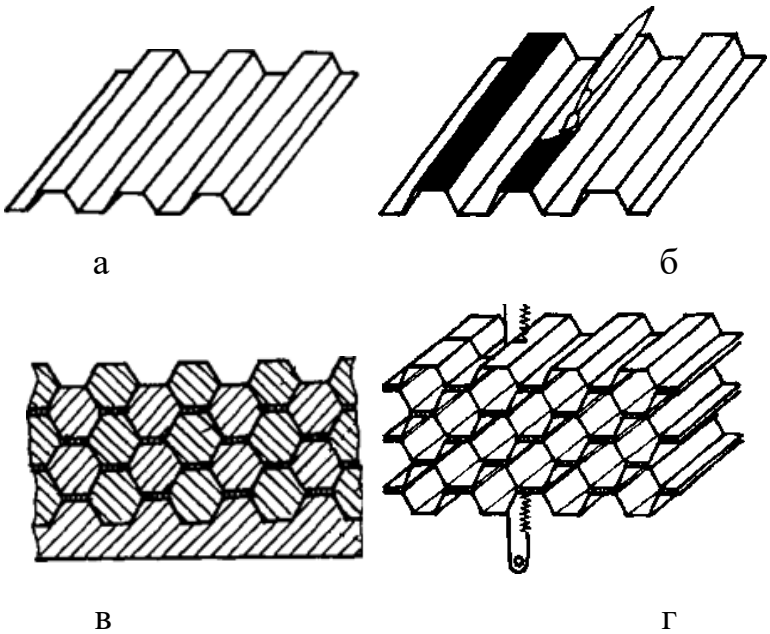


Рис.2.1. Метод профилирования ячеек: а – гофрированная заготовка материала; б – схема нанесения адгезива на соединяемые поверхности; в – сечение части приспособления с собранным сотовым блоком; г – разрезка сотовых блоков на отдельные заготовки

2. Так же известен метод гофрирования, который обычно используется для производства продукции высокой плотности. Процесс изготовления сотовой структуры методом растяжения начинается с укладки листового материала, нанесения клеевых полос. Затем слои материала склеиваются для образования блока. Сам блок может быть растянут после отверждения (Рис.2.2) [4].

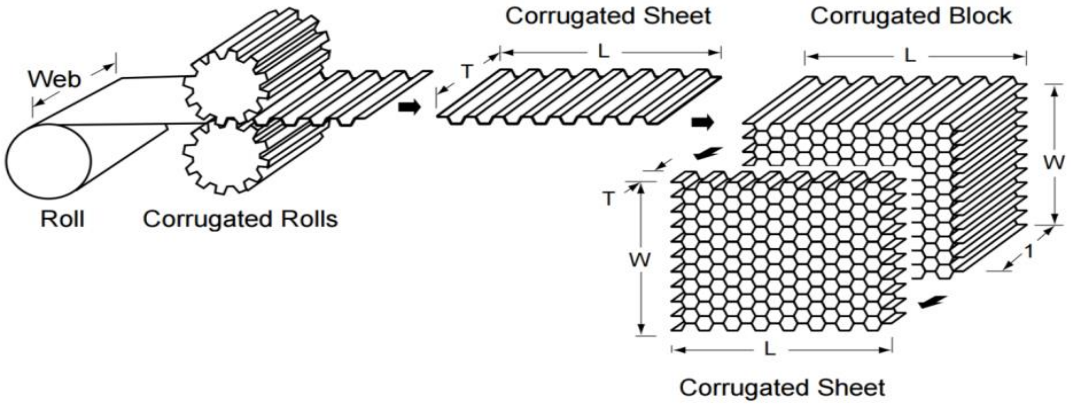


Рис.2.2. Метод гофрирования сот

3. Известен патент на способ изготовления из гофрированных лент (Рис.2.3), из которых и изготавливается сотовая конструкция - CELLULAR HONEY COMB PRODUCT AND METHOD № 3,342,666 Sept. 19, 1967 [5].

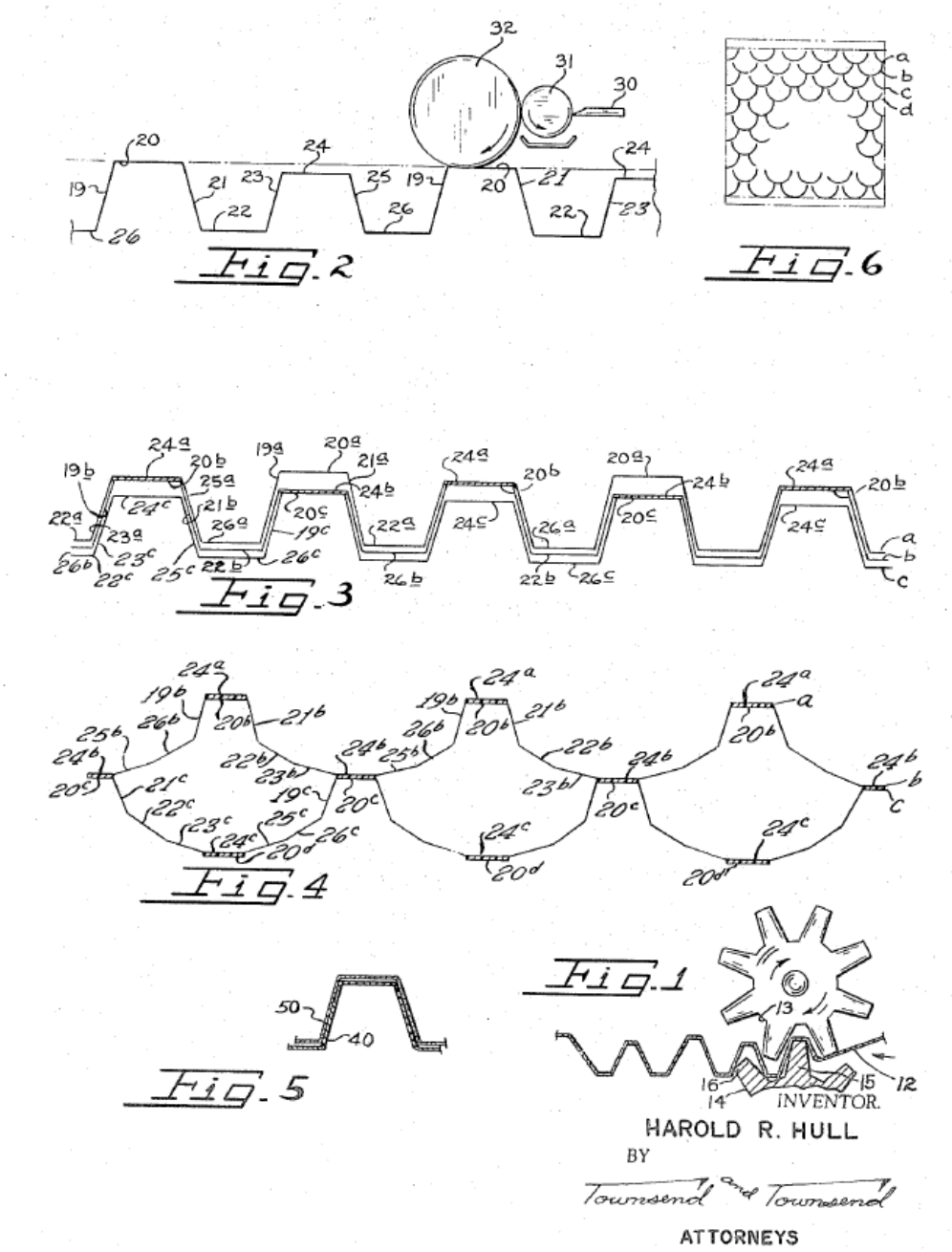


Рис.2.3. Способ изготовления расширяющихся сот с гофрированием лент

4. Патент: Method and apparatus for the manufacture of honey comb product № 3,356,555 Dec. 5, 1967 является способом получения сотовых элементов из листа материала (Рис.2.4) [6].

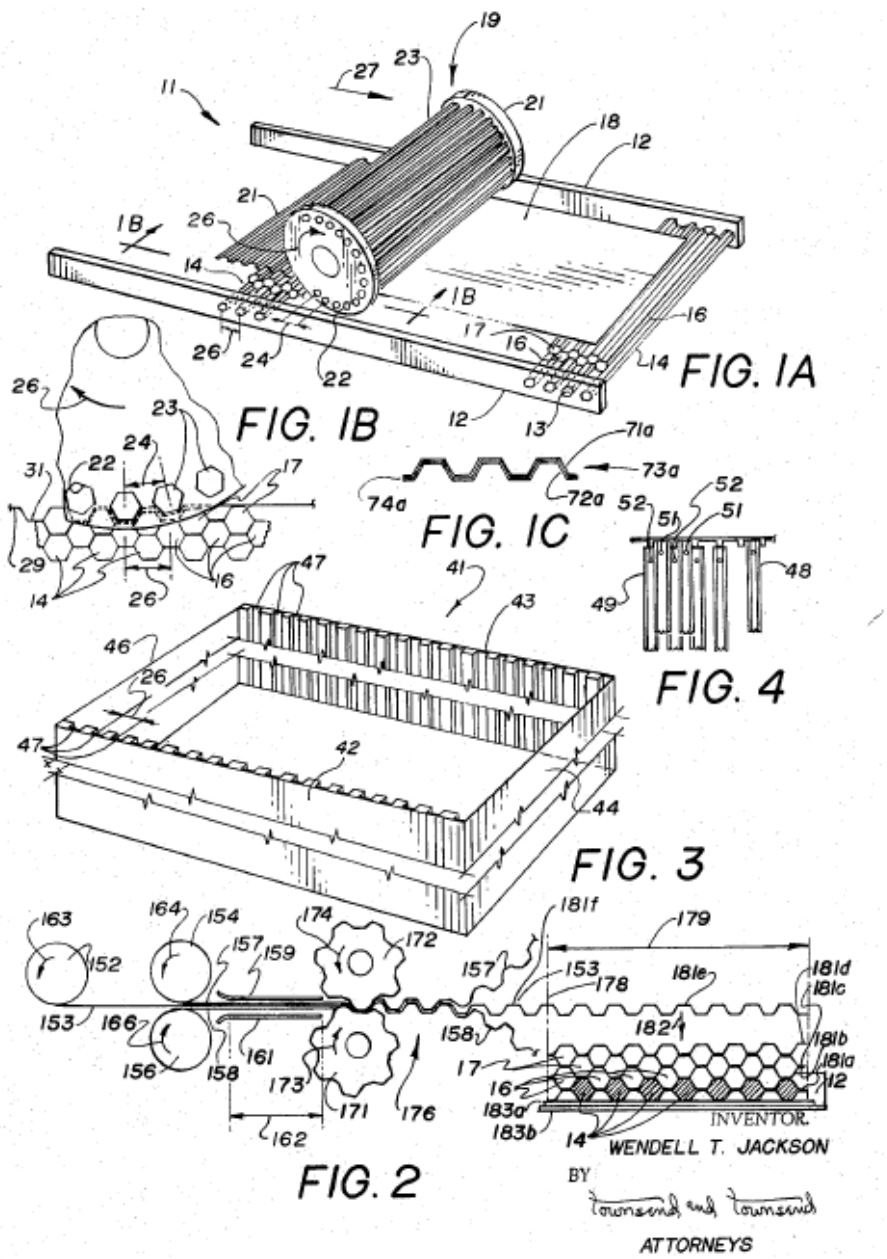


Рис.2.4. Способ получения сотового заполнителя из пластиковых листов

5. Известен патент: Method of making thermoplastic honey comb № 3,366,525 Jan. 30, 1968 на способ получения сотовых конструкций (Рис.2.5) [7]. Структура, представляет собой листы пластика, которые соединены вместе с помощью тепла и давления. Способ включает в себя этап первоначального нагрева листов, чтобы они смогли быть растянуты до максимального размера.

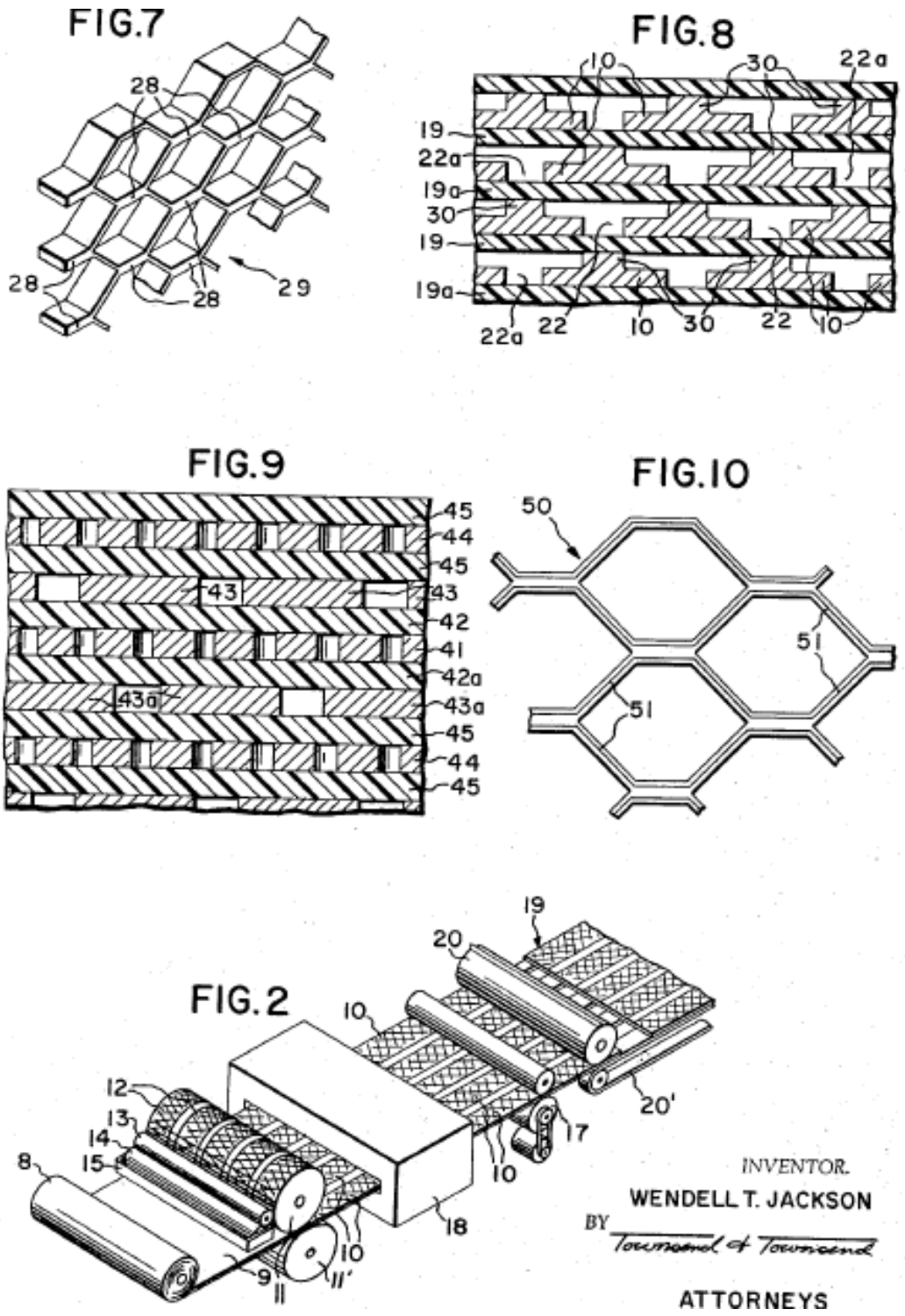


Рис.2.5. Способ изготовления сотового заполнителя из пластиковых листов под температурой и давлением

Способ соединением по полосам с последующим растяжением

1. Существует способ изготовления сотового заполнителя растяжением сотопакета или заготовки [4]. Растяжение производится на специальной установке. Схематично процесс показан на (Рис.2.6):

1. образование дренажных отверстий;
2. Разрезка материала;
3. Сборка пакетов сотовых заполнителей;
4. Склеивание пакета;
5. Разрезка пакетов на заготовки;
6. Растяжение сотопакета или заготовки;
7. Пропитка;
8. Термообработка;
9. Разрезка пропитанных сотопанелей;
10. Механическая обработка.

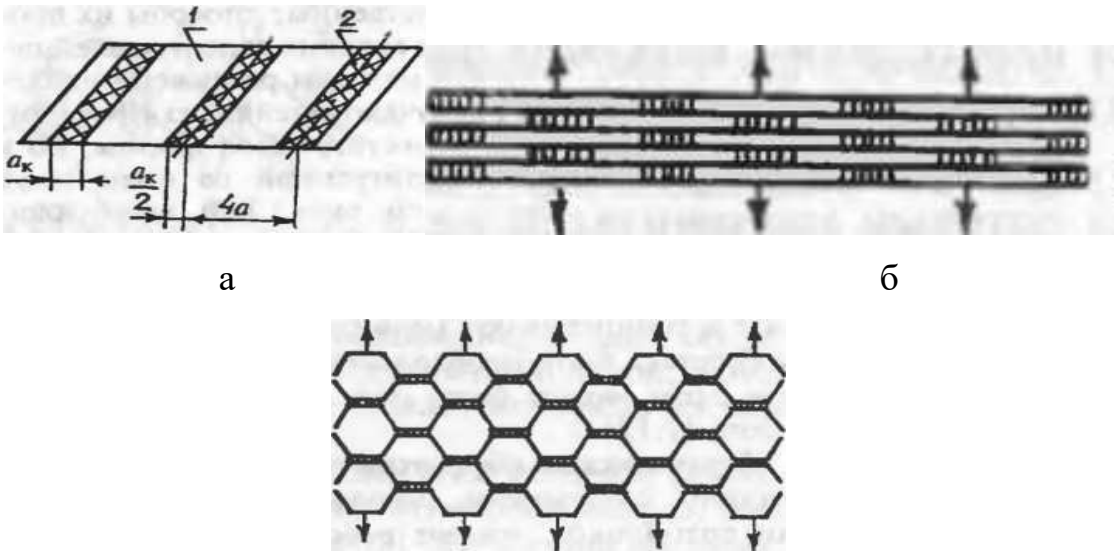


Рис.2.6. Процесс образования шестигранных сотовых ячеек при растяжении: а – схема нанесения клеевых полос; б – пакет листов сотового заполнителя; в – растяжение сотового заполнителя и образование шестигранной ячейки

2. Патент: Honey comb core machine and method № 3,493,450 Feb. 3, 1970 [8]. Данное изобретение описывает способ изготовления сотовой сердцевины из рулона с нанесением клея на этот материал, сжатия пакета при помощи пресса, а затем разрезание зачищенного материала (Рис.2.7).

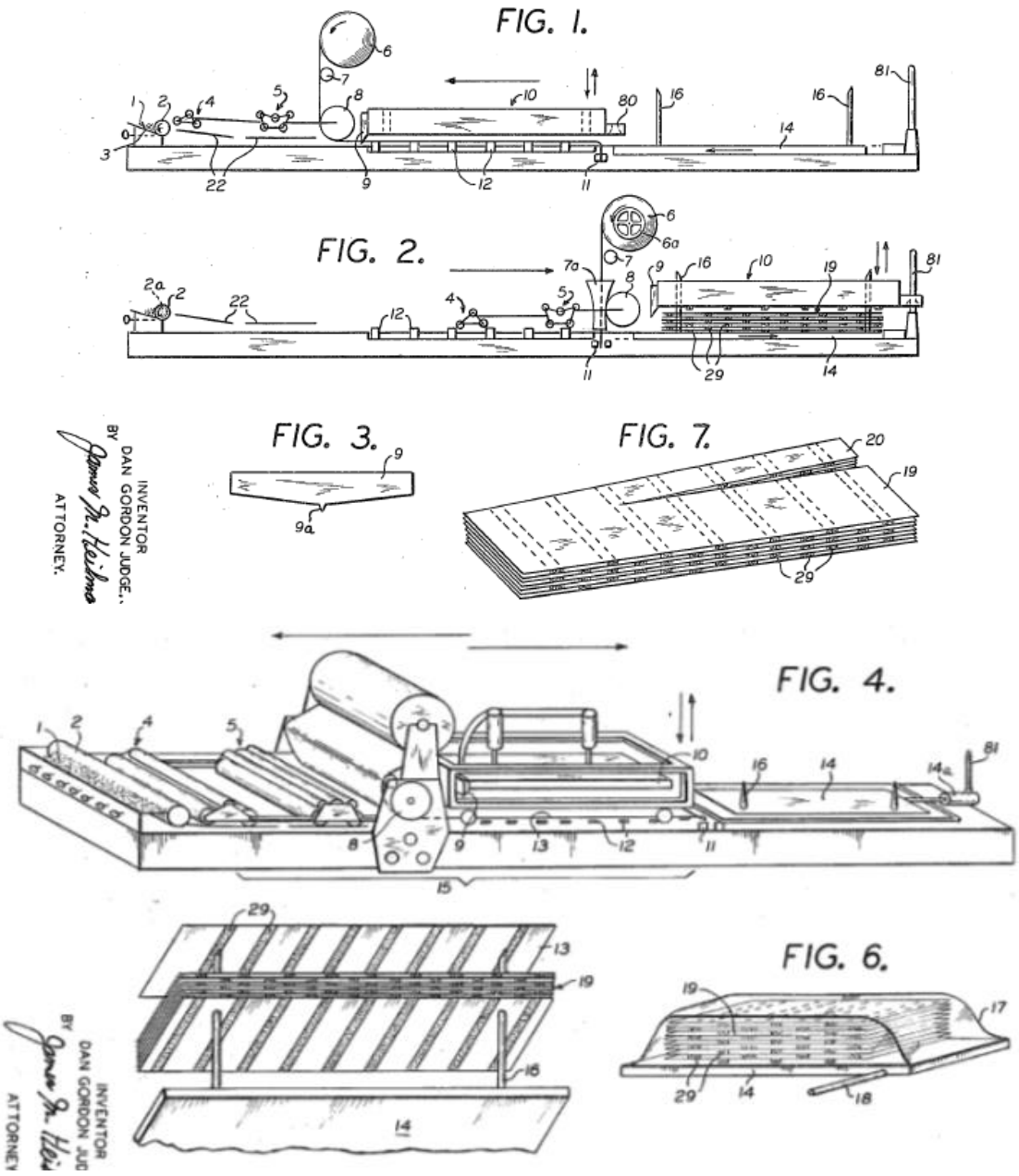


Рис.2.7. Способ изготовления сотовой сердцевины, из рулона или полотна, с нанесением клея

3. Был найден патент Formation of structural honeycomb Edward J. Ardolino, Box 169A, Robin Hood Road, Havre de Grace, Md. 21078; Joseph D. Bova, 2104 Harford Road, Fallston, Md. 21047; and Donald P. Hoover, R.D. 3, Barkess Court, Aberdeen, Md. 21001 № 3,519,510 July 7, 1970 [9]. Изобретение относится к способу формирования сот из волокнистого полотна (Рис.2.8). Процедура включает предварительную пропитку волокнистого полотна неблокирующей термопластичной пленообразующей смолой, печать линий термоотверждаемым клеем. Потом ткань преобразуется в структурные соты.

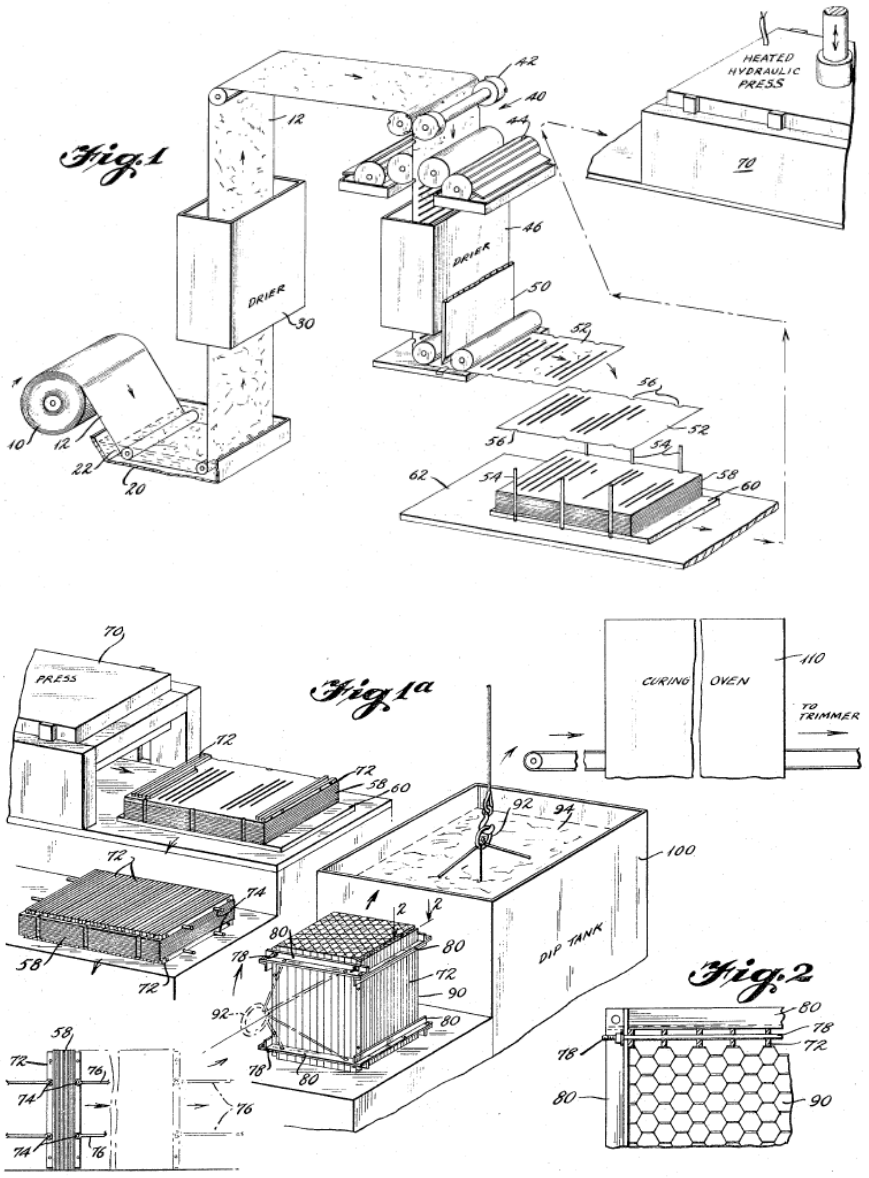
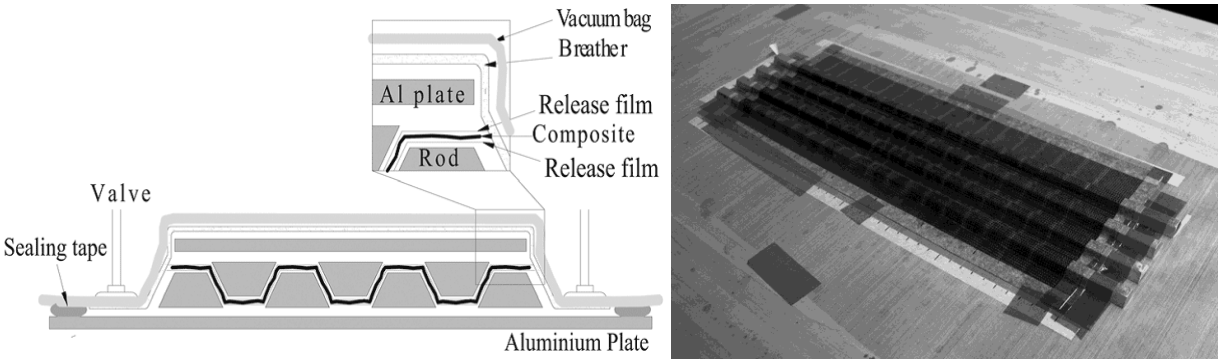


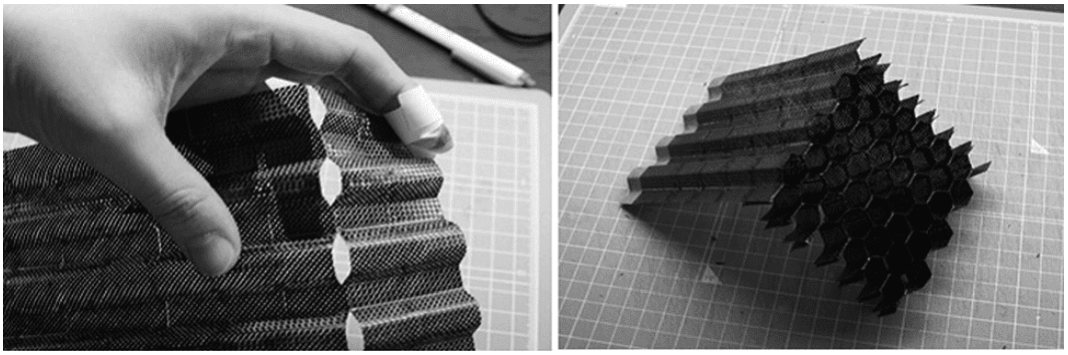
Рис.2.8. Способ формирования структурных сот из волокнистого полотна

Складывание по разрезам из гофра

1. Известен способ складывания по разрезам из гофра (Рис.2.9). На композитные соты, которые могут уменьшают вес и имеют низкое тепловое расширение, растет спрос. Однако эти специальные соты имеют высокие затраты на производство и ограниченное применение. Представленные результаты раскрывает новую стратегию изготовления произвольного сечения сот с применением современных композиционных материалов. Предложенный метод позволяет нам построить прямоугольные соты. Представляется концепция киригами. Соты, имеющие различные формы, изготовлены с использованием этого метода, и реализованы только изменением линии сгибания диаграммы.



а б



в г

Рис.2.9. Способ складывания сотовой конструкции по размерам из гофра: а – процесс формирования сотовой структуры; б – формообразующая ответная часть; в – разрезы; г – сотовая структура

Похожая техника представляет собой новое исследование создания сот, основанные на принципах дизайна киригами. Сначала берется лист, затем делаются прорези. Лист складывается в исходную геометрию и далее заготовки собирается в единую структуру сотового заполнителя (Рис.2.10).

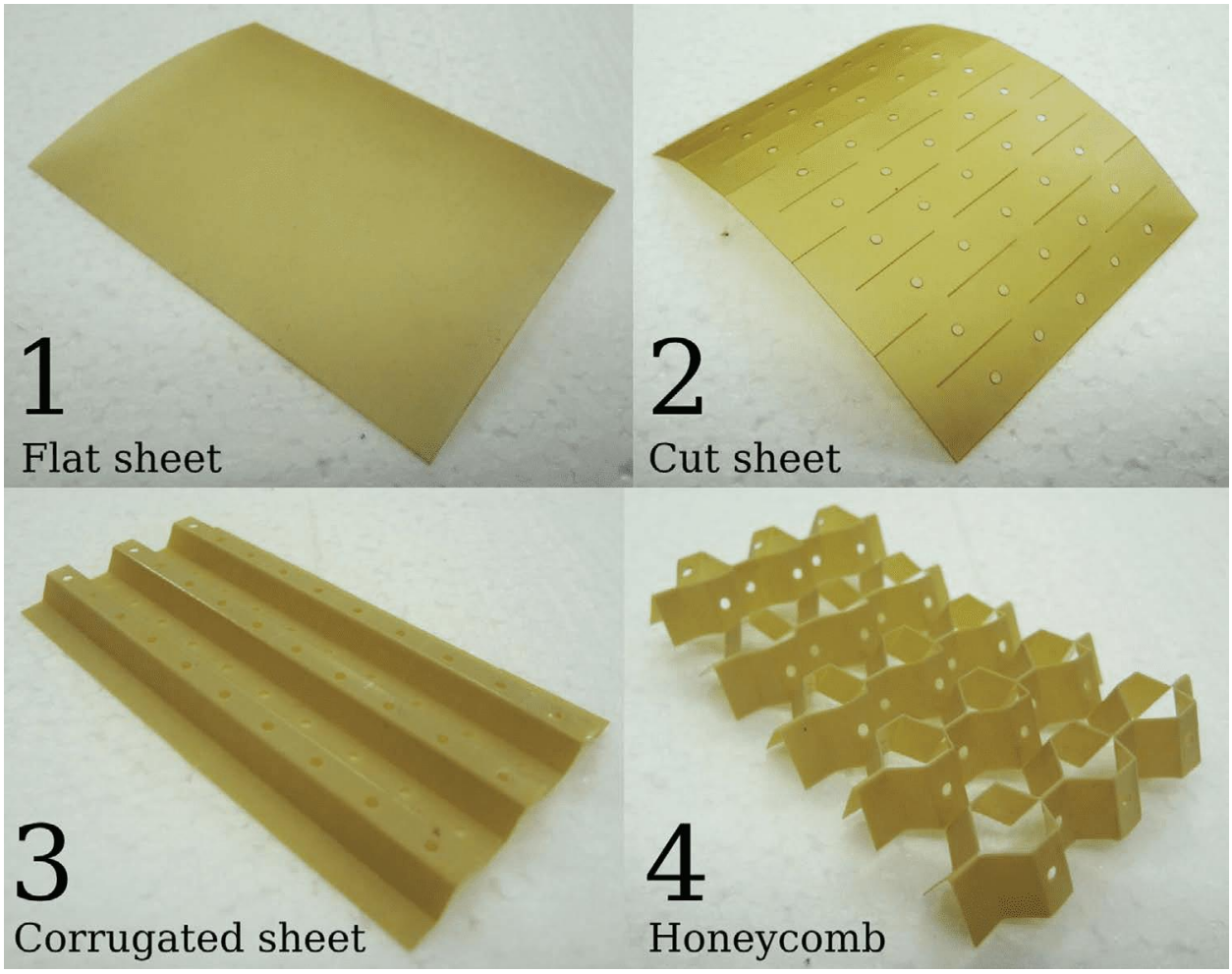
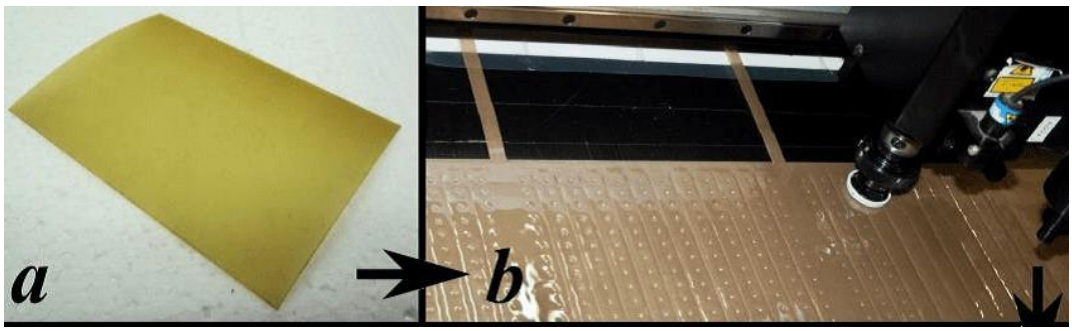
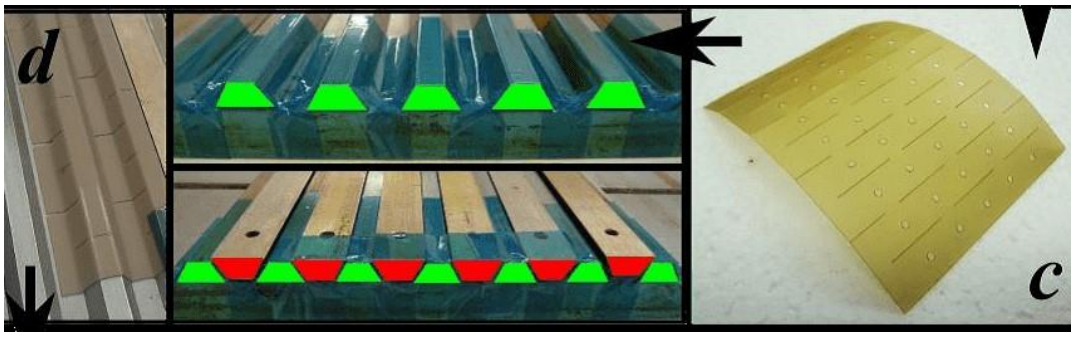


Рис.2.10. Создание сот с помощью техники киригами

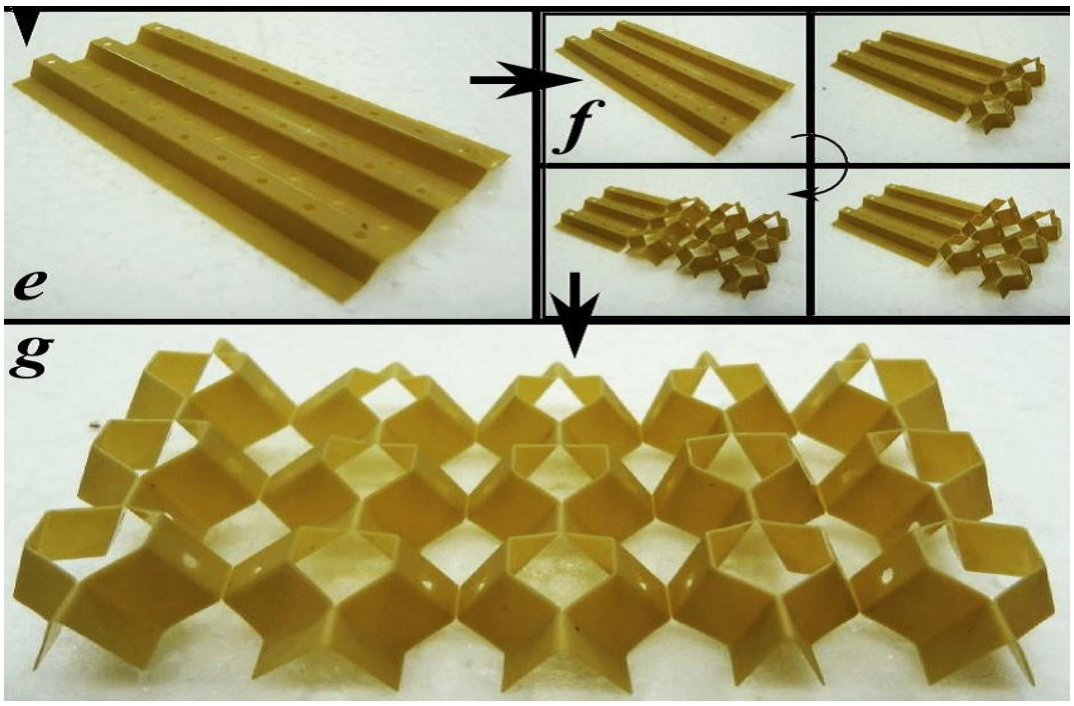
2. Другая работа представляет методы разработки и производства морфинг сотовых конфигураций с использованием киригами (Рис.2.11).



а



б

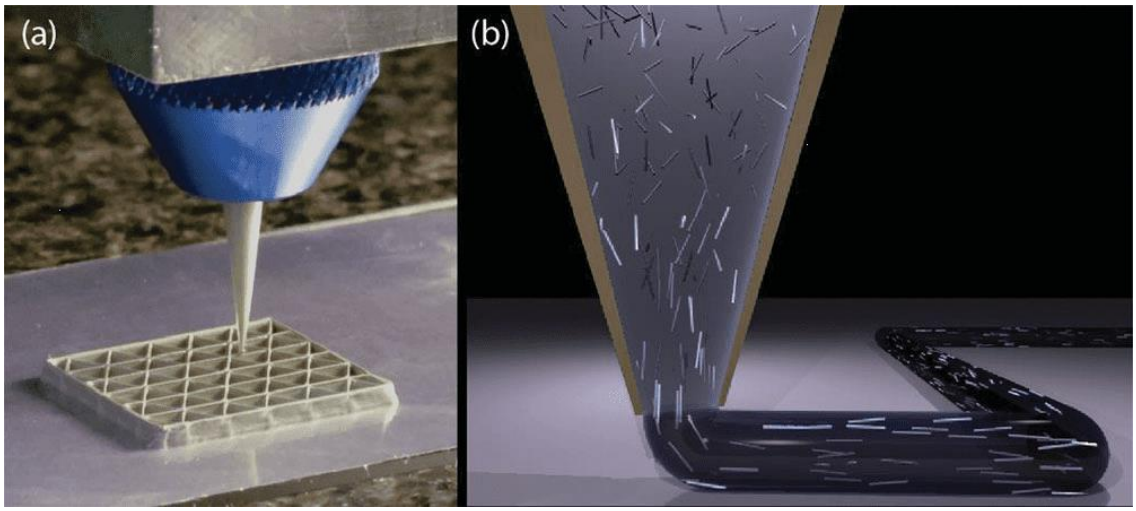


в

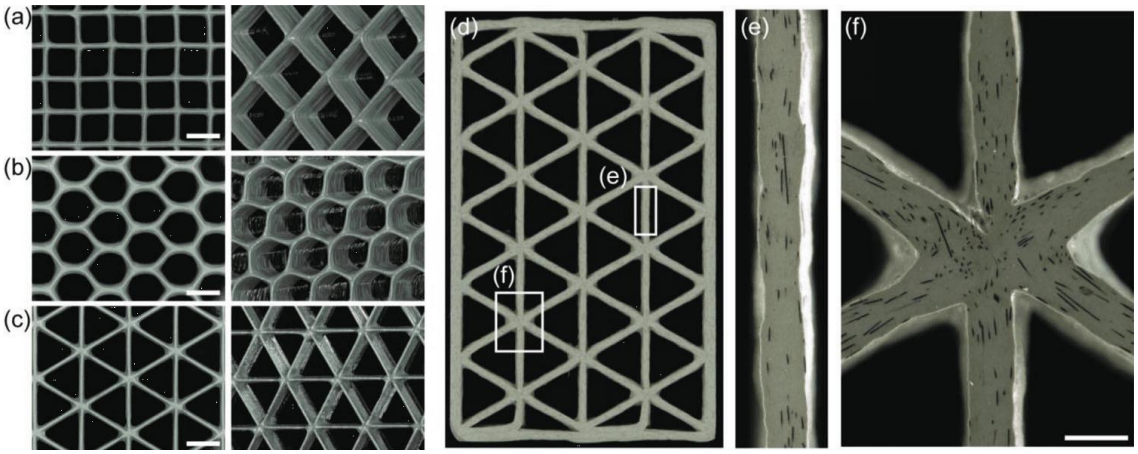
Рис.2.11. Создание сот при помощи техники киригами: а – заготовка из листа с предварительно нанесёнными разметками; б – схема придания формы в оснастке; в – схема складывания по разметке с заданными размерами и готовая конструкци

Аддитивные технологии (3D – печать)

Изготовление сотовых структур на 3D – принтере (Рис.2.12). Появились новые чернила на основе эпоксидной смолы, что позволяет осуществлять трехмерную печать легких композитов из сотовой структуры с контролируемым выравниванием многомасштабного волокнистого армирования для создания структур, основанных на древесине бальзы. Достигнуто значение модуля Юнга, в 10 раз превышающее существующие 3D-печатные полимеры, при сохранении прочности.



а



б

Рис.2.12. Способ изготовления сотовых структур на 3D – принтере: а – процесс печати на 3D - принтере; б – сотовые структуры

Это были примеры изготовления прямолинейных сотовых заполнителей. В данной работе рассматривается КСЗ. Рассмотрим способы его получения.

Первые два способа предполагают изготовление на первом этапе плоской трехслойной панели (Рис.2.13) с приданием ей кривизны: обтяжкой по пуансону (Рис.2.13, б) и гибкой-прокаткой (Рис.2.13, в) [1].

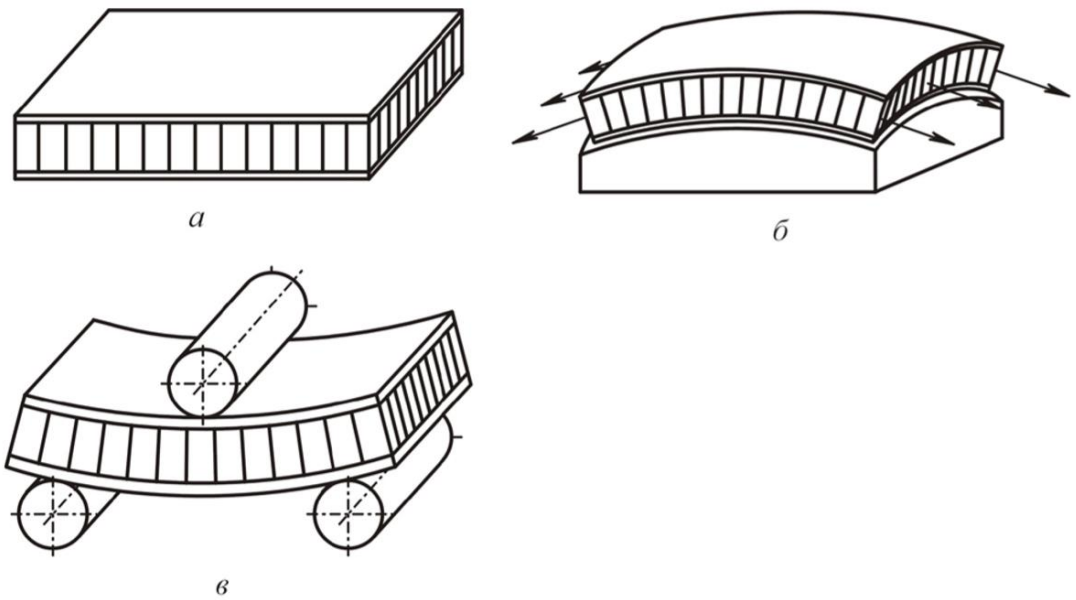


Рис.2.13. Придание трехслойным панелям кривизны: а – исходная панель; б – получение панели двойной кривизны обтяжкой; в – формообразование гибкой-прокаткой.

Недостатком является искажение формы, разрушение сот в зоне склейки, теряется устойчивость стенок ячеек.

Третий способ заключается в укладке сотоблока между обшивками, имеющими необходимую криволинейную форму. Данный метод пригоден при незначительной высоте заполнителя, так как при большой толщине сотоблока при изгибании на цилиндрической поверхности появляется вторичная кривизна другого знака в ортогональной плоскости - седловидность (Рис.2.14).

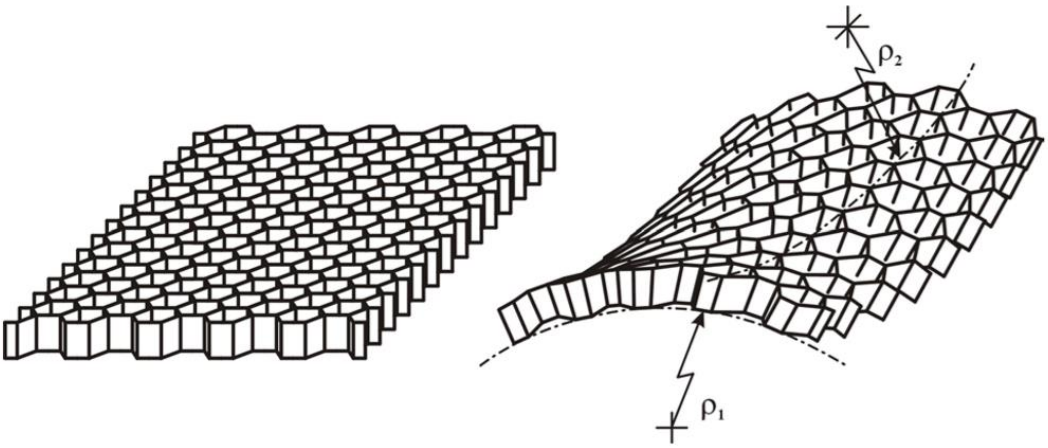


Рис.2.14. Проявление седловитости при изгибе сотового блока

Эффект седловидности усиливается с увеличением высоты сотоблоков. На практике схемы на Рис.2.13, Рис.2.14, используются, когда высота блоков находится в пределах от 5 до 8 мм. Последняя схема реализуется при значительной высоте панели, но тогда сотоблоки укладываются ввиде секций небольшой ширины (Рис.2.15, а), или в несколько слоев небольшой высоты (Рис.2.15, б).

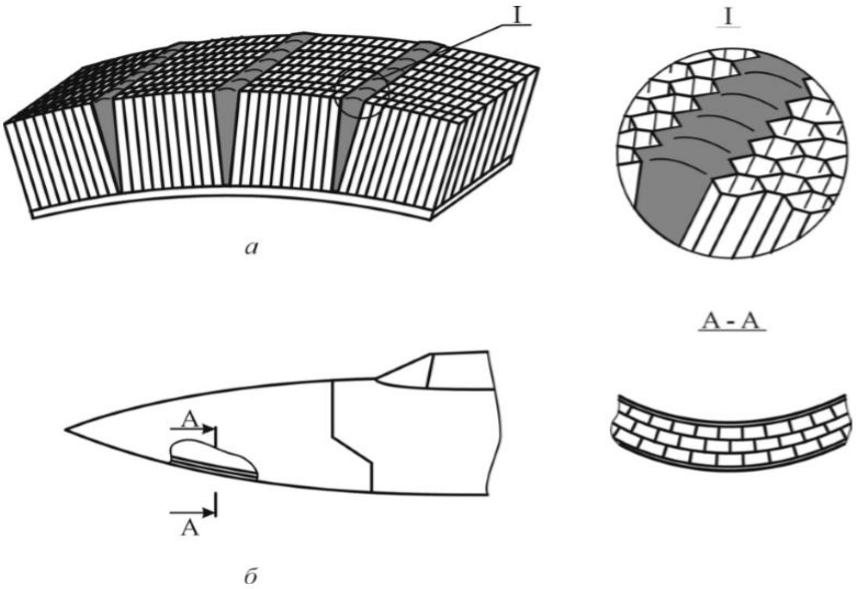


Рис.2.15. Способы изготовления криволинейных конструкций с заполнителем большой высоты: а – укладка сотоблоков мозаикой; б – наращивание высоты за счет увеличения слоев панели

В первом способе зазоры заполняются вспенивающимся клеем. Есть способы, позволяющие обеспечить кривизну огибающей поверхности сотоблока перед тем, как его соединить с обшивками. Это модификация технологической схемы склейки пакета с последующим его растяжением. Для получения заполнителя цилиндрической формы клей наносят на листы в виде полос 2 трапециевидной формы (Рис.2.16).

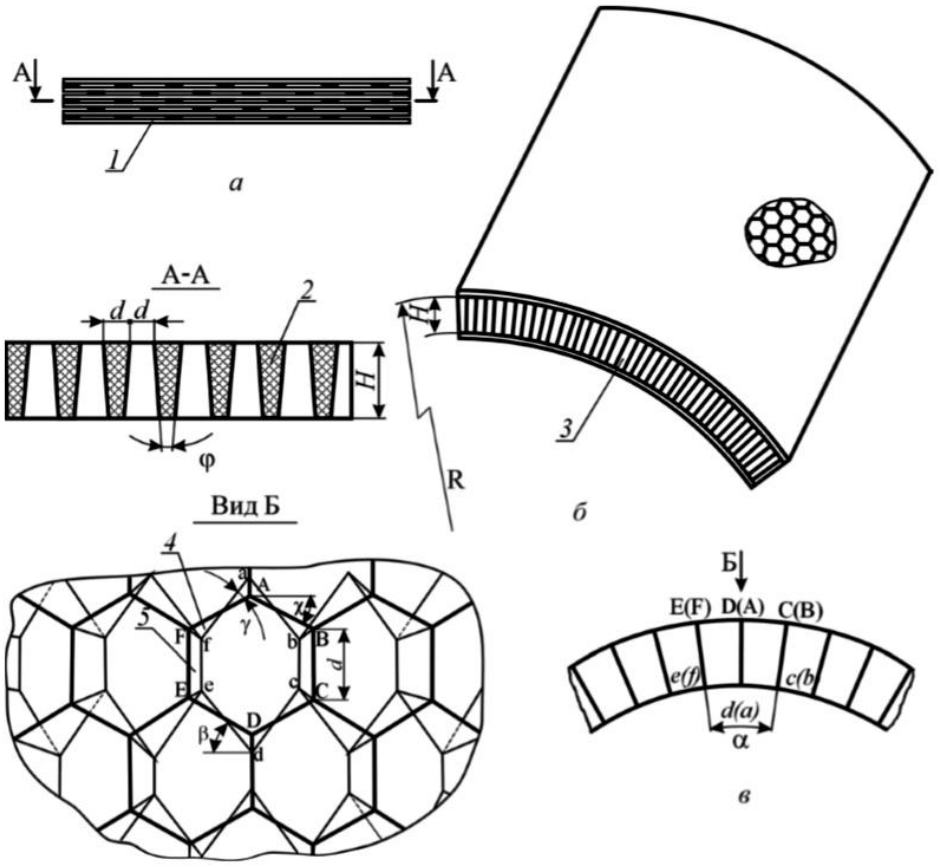


Рис.2.16. Получение заполнителя цилиндрической формы растяжением пакета

Требуемый радиус кривизны сотового заполнителя 3 выражается через геометрические параметры полос 2 зависимостью:

$$R=\frac{2H^2 d\,\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}(\sin\beta-1)\cos\chi}{\sqrt{d^2(\sin\beta-\sin\chi)^2-4H^2\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}(\sin\beta-1)^2}},$$

где R – радиус кривизны наружного обвода сотового заполнителя; H – высота сотового заполнителя.

$$H=H_1\cdot\cos\ \alpha^\circ/2,$$

H – ширина полосы ткани; α – центральный угол; d – большие основания трапециевидных полос, которые в результате становятся сторонами верхних оснований ячеек сот (в правильном шестиугольнике ABCDEFA – стороны BC и FA); χ – угол в правильном шестиугольнике; β – угол при вершине неправильного шестиугольника нижнего основания ячеек;

$$\sin\beta=\frac{(R-H)^2\cos^2\chi-R^2(1-\sin\chi)^2}{(R-H)^2\cos\chi+R^2(1-\sin\chi)^2},$$

ϕ − угол между сторонами полос смолы;

$$\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{d(\sin\beta-\sin\chi)}{\frac{H_1}{R}\sqrt{4R^2+d^2\cos\chi(\sin\beta-1)}}\ .$$

При растяжении склеенного пакета образуется блок сотового заполнителя с цилиндрической поверхностью. Свободные от клея стенки 4 закручены на некоторый угол γ, а стенки 5, на которые нанесена смола, расположенные друг к другу под углом α, определяемым по формуле:

$$\alpha=2\,\mathrm{arctg}\frac{d\cos\chi}{R}.$$

Основной причиной того, что метод не нашел практического применения, является сложность точного нанесения клеевых полос трапециевидной формы.

Метод получения конструкций двойной кривизны, в котором заполнитель образован зигзагообразно изогнутыми полосами 1 (Рис.2.17), соединяющимися в нижних участках линий изгиба 2.

Благодаря шарнирному соединению полос в нижней зоне объемный заполнитель имеет возможность изгибаться в двух плоскостях. Это обеспечивает возможность получения панелей двойной кривизны.

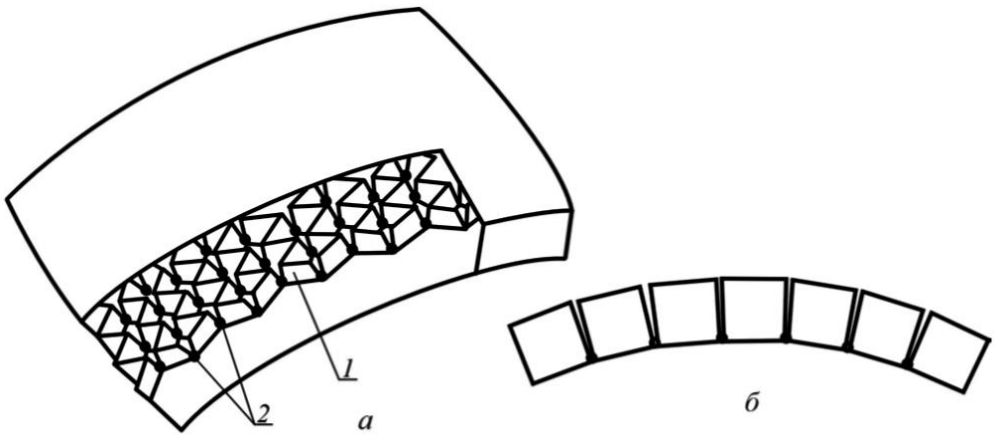


Рис.2.17. Схема получения криволинейного сотового блока путем локального соединения структурных лент

К недостаткам схемы следует отнести низкую прочность сот из-за отсутствия соединения по всей высоте лент. Также, выполнение шарнира между лентами является сложной технической задачей.

2.2 Выбор метода создания преформы

При изготовлении деталей из ПКМ их конструктивное оформление совмещено с формированием внутренней структуры КМ.

Можно выделить пять технологических схем изготовления сотовых блоков:

- сборка профилированных листов;

- растяжение склеенного пакета;

- гофрирование пакета;

- объемное ткачество;

- экструзия.

Рассмотрим некоторые методы для создания преформы КСЗ на конкретных примерах изготовления в лаборатории кафедры ПЛА.

Выкладка и склейка из гофрированных полос

Наиболее простым способом по техническому оформлению является выкладка, которая применяется для изготовления малонагруженных изделий.

Данный процесс позволяет получить СЗ, который состоит из гофрополос. Каждая гофрополоса формуется по отдельности, потом склеивается в сотовый блок. Используется формообразующая оснастка (Рис.2.18).

Процесс получения гофрополосы и сотового блока состоит из:

- Нанесение антигадгезионного состава на поверхность формообразующей оснастки;

- Получение развертки армирующего материала;

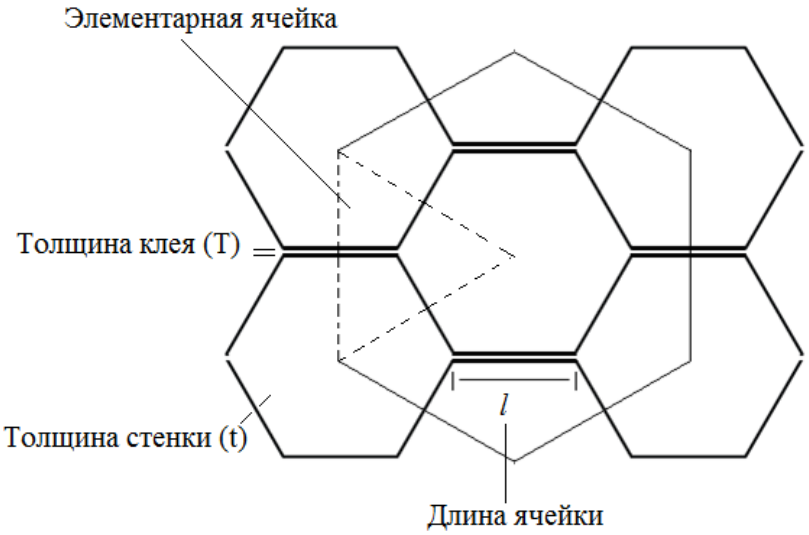
- Придание формы армирующему материалу с использованием шестигранных вкладышей;

- Прижатие преформы силиконовым вкладышем;

- Формование в печи или в прессе;

- Обрезка технологического припуска;

- Склейка гофрополос в СЗ.



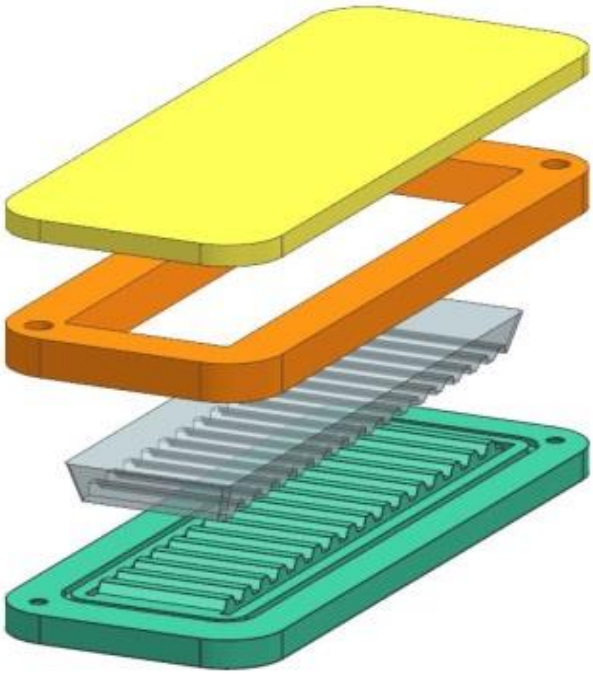


Рис.2.18. Формообразующая оснастка

Метод намотки на технологическую оправку

Одним из самых распространенных и совершенных процессов изготовления высокопрочных армированных изделий является процесс непрерывной намотки. При этом способе нить, лента или жгут, или ткань

укладываются по заданной траектории на вращающуюся оправку с внутренней геометрией изделия.

Технологический процесс состоит из этапов:

1. Определение параметров экспериментальной ячейки:

1.1 Размер под ключ

1.2 Длина ячейки H_c

2. Определение параметров намотки:

2.1 Армирование ячейки.

Скорости движения оправки и каретки определяются путями, который они пройдут за один период. Отношение данных путей дает угол армирования:

$$\tan\alpha = \frac{y}{x} = \frac{\vartheta_y \cdot t}{\vartheta_x \cdot t} = \frac{\omega_y \cdot r}{\vartheta_x} \quad (1)$$

где:

y, x – путь оправки и каретки; ϑ_y, ϑ_x – линейные скорости движения оправки и каретки; t – время; ω_y – угловая скорость движения оправки; r – радиус оправки

Определившись с углом армирования и постоянной величины угловой скорости вращения оправки, определяется скорость движения каретки по формуле (1).

3. Разработано приспособление для намотки ячейки сотового заполнителя с использованием платы Arduino Uno (Рис.2.19). Шаговые двигатели обеспечивают перераспределения сигналов от платы Arduino Uno.

Рис.2.19. Приспособление для намотки элементарной ячейки

4. Разработка программы вращения оправки и движения каретки.

Разработка приложений на базе плат, совместимых с Arduino, осуществляется в Arduino IDE. Среда предназначена для написания управляющего кода на основе языка программирования C++ с использованием библиотеки AccelStepperh.

5. Получение преформы.

Можно получить преформу несколькими способами:

- Намотка сухим волокном;

- Намотка пропитанным волокном.

У второго метода существует множество проблем:

- Необходимо определиться с типом связующего. Под горячее следует разработать приспособление для нагрева и поддержания температуры;

- Обеспечение необходимого коэффициента наполнения волокна. Это осуществляется при введении системы роликов, которые создают изгиб волокна тем самым отжимая лишнее связующее.

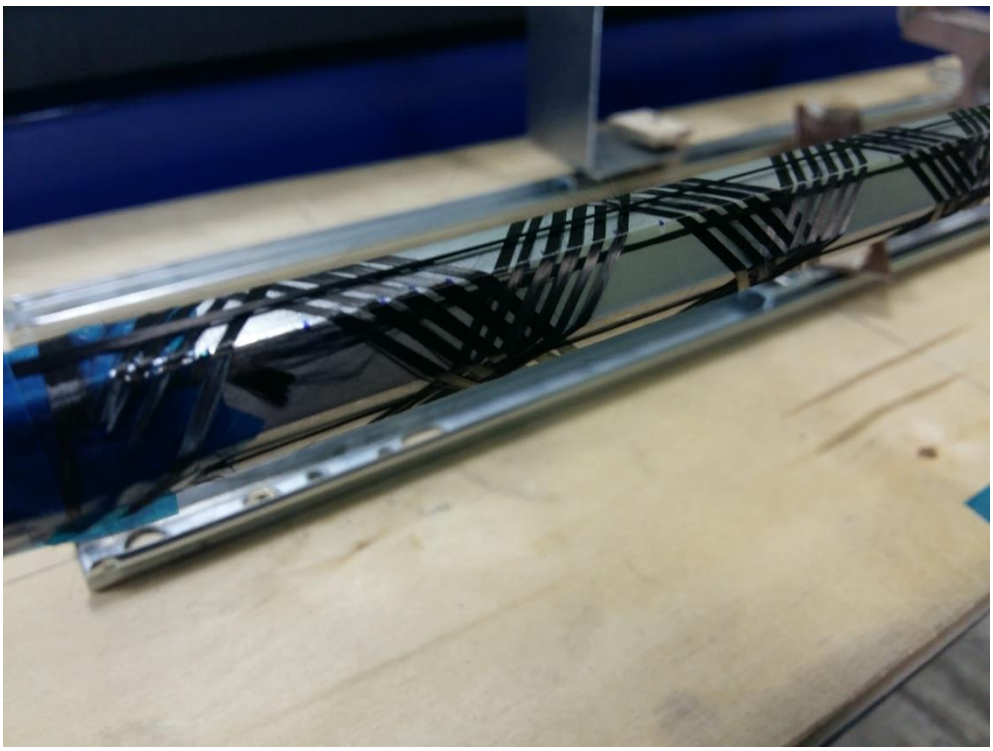


Рис.2.20. Часть намотанной преформы сухим волокном

6. Сборка технологического пакета.

Технологический пакет состоит из:

- Преформа, обернутая в фторопластовую пленку (Рис.2.21);
- Дренажный слой (Рис.2.22);
- Вакуумная пленка;
- Герметизирующая лента;
- Штуцера.

Рис.2.21. Фторопластовая пленка на поверхности преформы

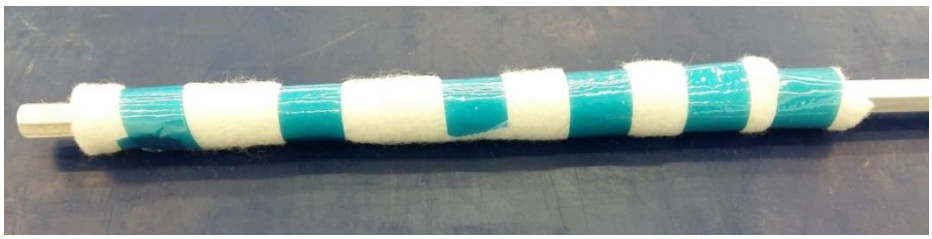


Рис.2.22. Дренажный слой

Собранный мешок создан для мокрой намотки (Рис.2.23).

Рис.2.23. Собранный технологический мешок

7. Изъятие формообразующей оправки и обрезка припуска (Рис.2.24).

Рис.2.24. Готовое изделие

Метод радиального плетения

Зависимость свойств волокнистых композитов от расположения волокнистых армирующих элементов делает решение вопроса оптимального выбора типа и схемы армирования одним из основных при разработке деталей различного назначения. Наиболее перспективным видом армирования композитов конструкционного назначения является многонаправленное пространственное армирование, когда компоненты располагаются в трех и более направлениях. Такие образования называют пространственными армирующими структурами (ПАС). Всего существует семь сбалансированных структур укладки волокон, изотропия которых растет с увеличением числа направлений − 3Д, 4Д, 6Д, 7Д, 9Д, 10Д и 13Д. Когда необходимо иметь высокое объемное содержание арматуры в одном из направлений, применяют структуры 3Д-плетения (Рис.2.25, а), 4Д-плетения (Рис.2.25, б) и 5Д-плетения (Рис.2.25, в).

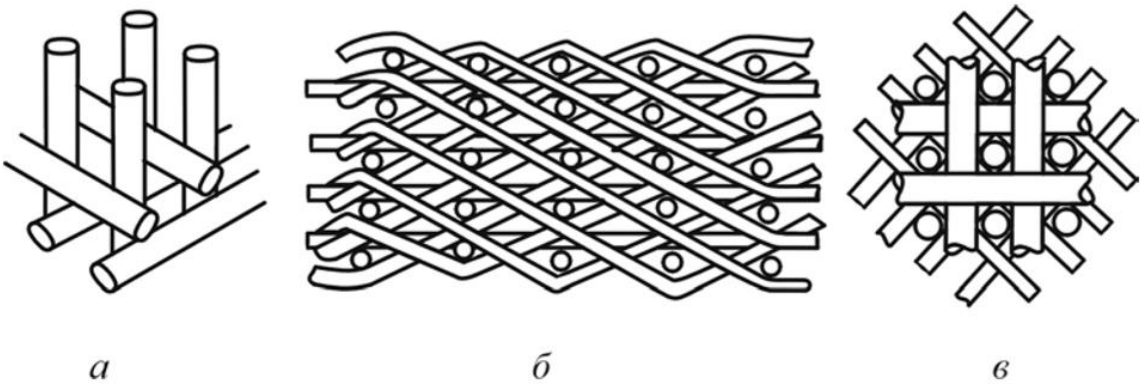


Рис.2.25. Схемы расположения волокон в плетеных структурах: а − 3Д-плетения; б − 4Д-плетения; в − 5Д-плетени

Процесс изготовления преформы сотового заполнителя при помощи роботизированного комплекса создания преформ методом радиального плетения HERZOG RF 1/144-100 (Рис.2.26).

Рис.2.26. Роботизированный комплекс создания преформ методом радиального плетения HERZOG RF 1/144-100

Формообразующая оснастка представляет из себя ряд шестигранных элементов, связанных между собой жгутом (Рис.2.27).

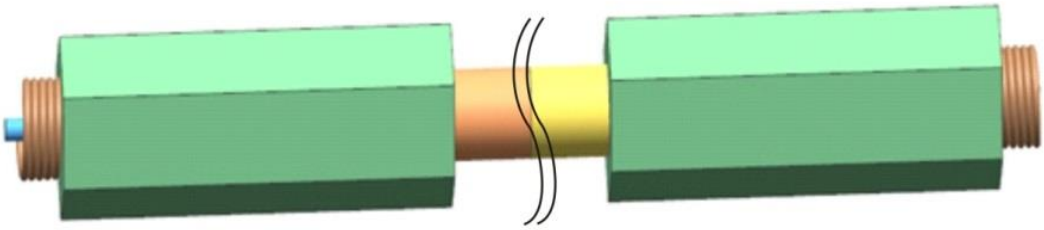


Рис.2.27. Формообразующая оснастка «бусы»

Данное решение было принято для повышения производительности процесса получения преформы. «Бусы» наматываются на намоточном барабане. Конец «бус» протягивают в сторону зоны плетения машины и наматываются на другой барабан (Рис.2.28).

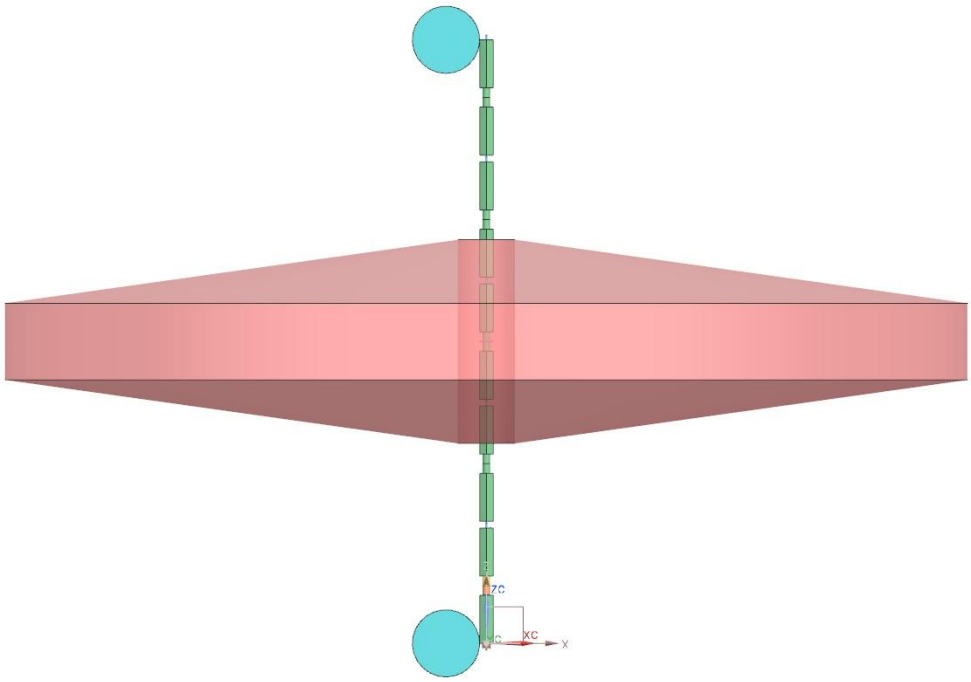


Рис.2.28. Процесс плетения

Процесс получения окончательной преформы сотового заполнителя состоит из следующих этапов:

- Фиксация чулка в зоне перехода (Рис.2.29);
- Сбор технологического пакета из ячеек;
- Обрезка излишек материала;
- Сборка технологического мешка;
- Формование по технологии вакуумная инфузия.

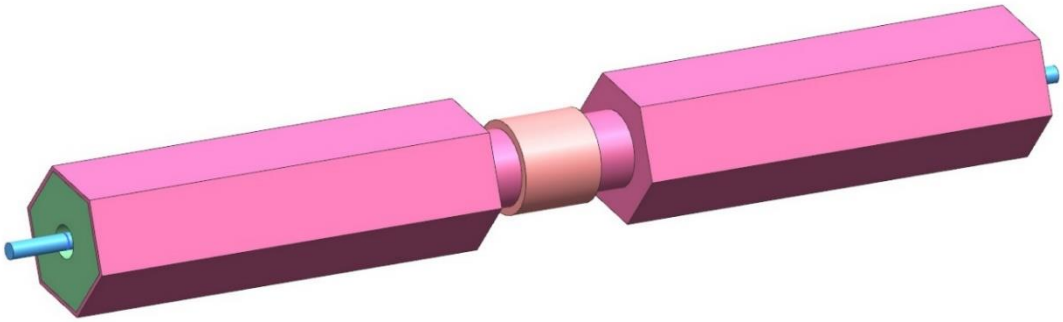


Рис.2.29. Фиксация чулка в зоне перехода

Выкладка из непрерывной ленты – получение интегральной конструкции

Технологическая схема получения интегрального СЗ позволяет повысить производительность за счет отсутствия операции получения гофрополос. Существуют недостатки:

- Данная технология требовательна к формообразующим вкладышам;

- Трудоемкость тех. процесса;

- Нарушение схемы армирования.

Этапы изготовления интегрального СЗ из препрега:

- Нанесение на поверхность формообразующих вкладышей и поддержки разделительного состава Lactite 770 NC Frekote;

- Получение развертки армирующего материала на плоттере;

- Выкладка армирующего материала на подставку и прижатие первым рядом вкладышей (Рис.2.30). Это повторяется многократно;

Рис.2.30. Выкладка армирующего материала

- Поджатие полученного блока струбцинами до полного соприкосновения граней вкладышей с армирующим материалом (Рис.2.31);

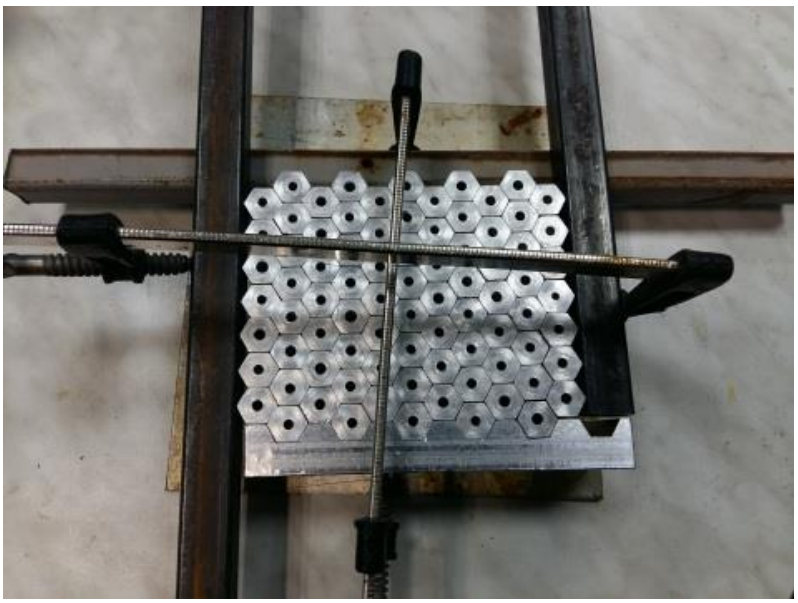


Рис.2.31. Поджатие блока струбцинами

- Процесс формования СЗ в печи при температуре 140˚С с выдержкой в 2ч;

- Удаление вкладышей из изделия (Рис.2.32);

Рис.2.32. Удаление вкладышей из изделия

- Готовый интегральный СЗ представлен на (Рис.2.33).

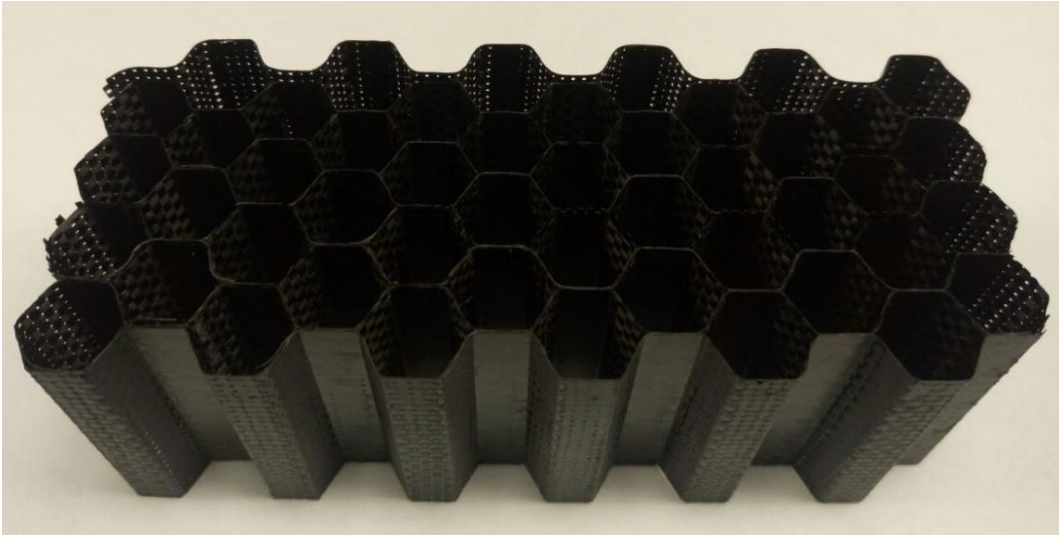


Рис.2.33. Готовый СЗ

Технология 3D ткачества

Используя технологию 3D ткачества можно изготавливать на специальном ткацком оборудовании цельнотканые обьемно-армирующие преформы. На оборудовании «Текстор» была изготовлена цельнотканая многослойная преформа из нитей TOHO 6K. Все геометрические параметры преформы можно задавать и изменять в необходимом диапазоне.

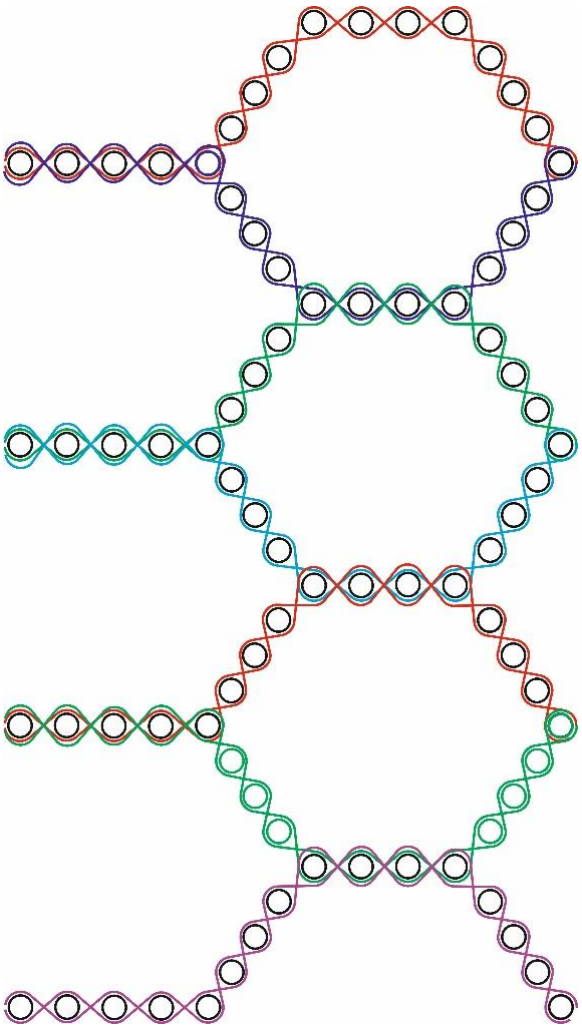


Рис.2.34. Смоделированная структура переплетения изготовленной преформы

Рис.2.35. Полученная преформа с использованием технологии 3D ткачества

Изготавливаемая преформа состоит из тканых слоев, соединенных в определенном порядке друг с другом по толщине. Следовательно, в месте соединения слоев возникает удвоение количества нитей основы. Данную особенность избежать нельзя.

От количества слоев зависит количество сот в ширине. Возможно изготовить максимум шесть сот в ширину. Толщина стенок преформы зависит от применяемой нити.

Сравнение и выбор окончательного варианта метода придания геометрии

Недостатки изготовления СЗ выкладкой из гофрированных полос:

- Необходимость формообразующей оснастки под гофрополосу;

- Габариты прижимных плит в прессе ограничивают количество изделий, помещающихся за один раз;

- Количество нанесенного клея на поверхность соприкасающихся граней;

- Проблема с адгезией между гофрополосой и клеем.

Выводы по изготовлению СЗ методом придания формы намоткой:

- Так как оправка имеет форму шестигранника, то площадь будет больше, нежели у круга. Это затрудняет изъятие оправки из изделия. Было принято решение обернуть оправку в фторопластовую пленку, между оправкой и фторопластом нанести слой масла для уменьшения коэффициента трения;

- Преформу необходимо обернуть впитывающим слоем для удаления залитых зон - лавсаном;

- Высокая трудоемкость;

Выводы по изготовлению СЗ методом радиального плетения:

- Высокая скорость получения преформы;

- Большой диапазон рабочих углов армирования;

- Сложность при сборки технологического пакета;

- Повышенные физико-механические характеристики;

- Высокая плотность СЗ.

Выводы по изготовлению интегрального СЗ непрерывной лентой:

- Трудоемкость тех. процесса;

- Требовательность к точности изготовления;

- Непостоянство углов армирования.

Выводы по изготовлению СЗ с использованием технологии 3д ткачества:

- Преимущество перед другими методами - отсутствие межслоевого разрушения;

- Недостаток данного метода - нестабильность геометрических параметров преформы СЗ, что делает невозможным использование данного метода.

Сравнивая предложенные технологии получения СЗ было принято решение использовать технологию изготовление СЗ с использованием метода радиального плетения. Данная технология позволяет получить СЗ со стабильными физико-механическими свойствами. Что объясняется большим диапазонам изменения углов армирования, а также возможностью регулирования коэффициента линейного термического расширения. К тому же поставлена задача изготовить КСЗ, что проблематично осуществить, а то и вовсе невозможно с помощью остальных методов.

2.3 Выбор метода формования

Формование − это этап технологического процесса, при котором происходит отверждение связующего. В этот период создается конечная структура материала, формируются его свойства и фиксируется форма изделия.

Отверждение связующего является результатом роста молекул и образования полимерной сетки под воздействием катализатора (отвердителя) и соответствующих внешних условий. При этом выделяют две характерные стадии отверждения:

- Начальная − до формирования полимерной сетки;

- Конечная − в процессе формирования полимерной сетки.

Эти две стадии отделены друг от друга так называемой фазой гелеобразования.

Фаза гелеобразования соответствует такому моменту, когда связующее утрачивает способность переходить в текучее состояние и растворяться. Это одна из наиболее важных технологических характеристик процесса отверждения. Также существует фаза постотверждения. Происходит уже без технологической оснастки.

Классификация схем формования

В настоящее время существует много различных способов формования изделий из ПКМ (Рис.2.36). Это объясняется разнообразием свойств исходных компонентов композитов, а также различными требованиями к прочности и другим параметрам изделий [1].

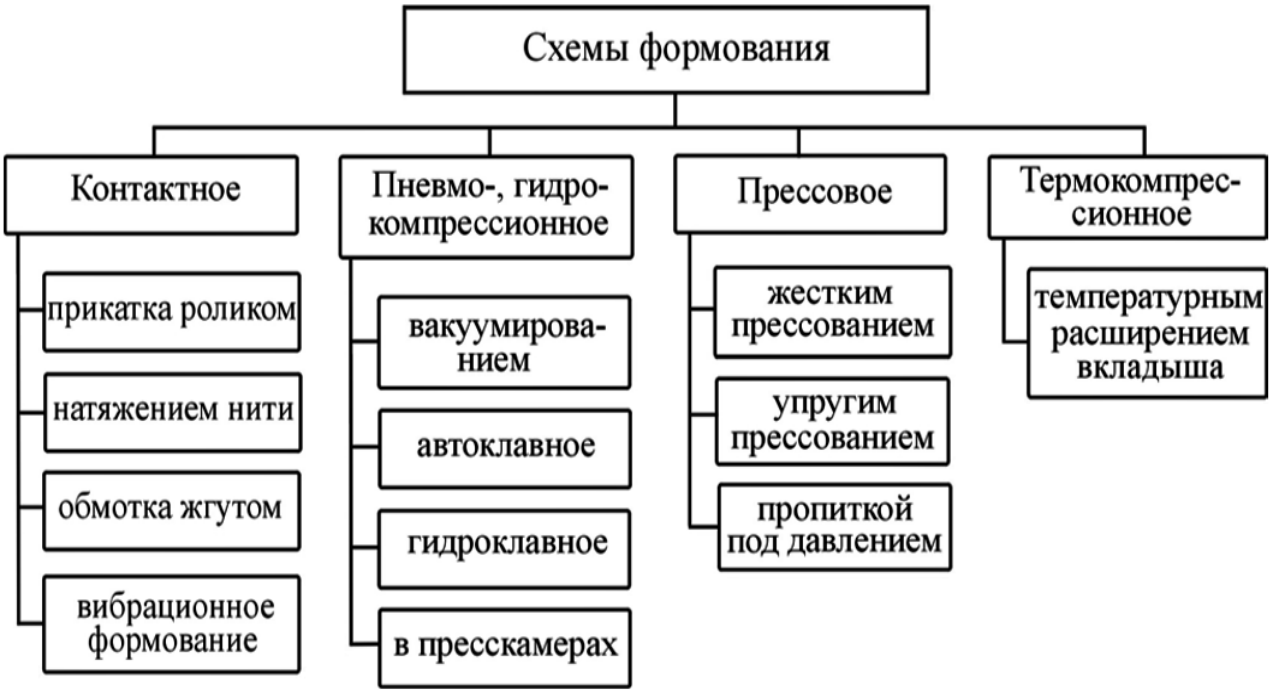


Рис.2.36. Классификация схем формования

Из всех групп методов рассмотрим более подходящую данной работе − пневмо-, гидро-компрессионное формование, включающую в себя 4 метода:

- Вакуумирование;

- Автоклавное формование;

- Гидроклавное формование;

- В прессскамерах.

Рассмотрим вкратце каждый метод.

Вакуумирование

Процесс формования (Рис.2.37) содержит следующие операции: на форму оснастки 1 укладывают технологический пакет 3, состоящий из раскроенных листов КМ с разделительными, дренажными слоями и т.д. На пакет 3 укладывают герметичную оболочку 2, по краям прижимают к фланцу. Из полости откачивают воздух.

Давление на формуемый материал зависит от глубины вакуума и не может превышать 1 кг на квадратный сантиметр.

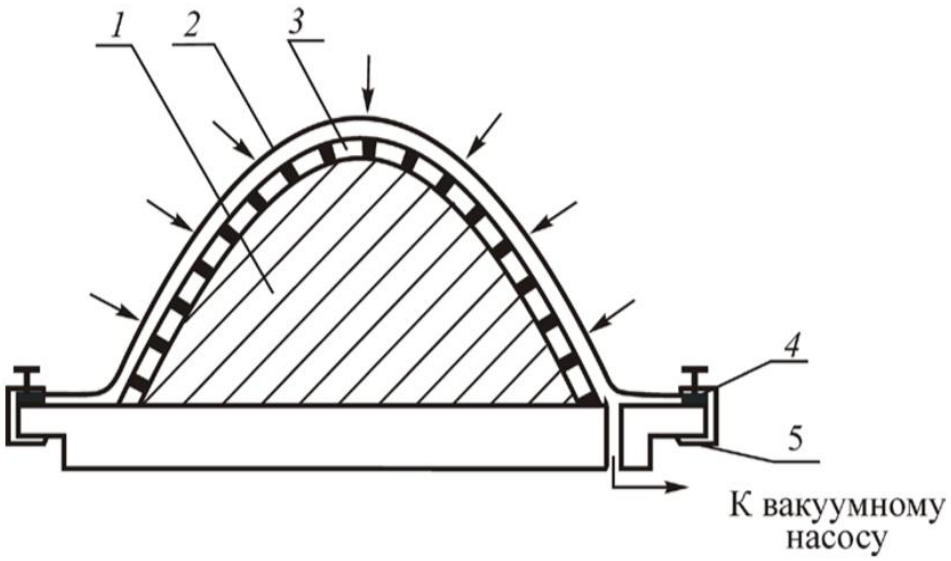


Рис.2.37. Формование вакуумированием: 1 – оснастка; 2 – герметичная оболочка; 3 – препрег; 4 – герметизирующий жгут; 5 – зажим

К достоинствам метода относится простота его реализации, отсутствие ограничения на размеры детали и безопасность при работе. К недостаткам – ограничение реализуемого давления одной атмосферой.

Автоклавное формование

Автоклавное формование отличается тем, что формуемое изделие помещают в специальное оборудование – автоклав, где создается избыточное давление.

Автоклав (Рис.2.38) представляет собой герметичную емкость в виде прочного, цилиндрической формы корпуса 7 с открывающейся крышкой 8.

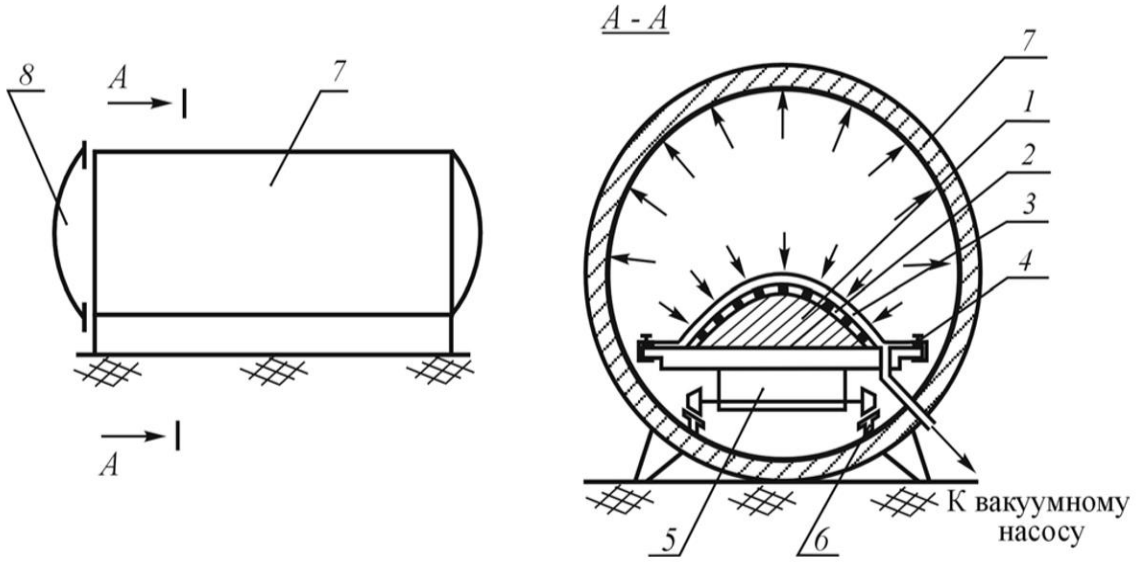


Рис.2.38. Формование в автоклаве: 1 – форма; 2 – препрег; 3 – эластичная мембрана; 4 – уплотнители; 5 – тележка; 6 – рельсы; 7 – корпус автоклава; 8 – крышка

Он позволяет осуществлять формование изделий различного конструктивного исполнения - больших размеров и сложной конфигурации. При этом давление на любой части поверхности изделия одинаково.

К недостаткам следует отнести большую стоимость автоклава и большие энергетические затраты в пересчете на одну деталь. Автоклав является взрывоопасным объектом. Мощность взрыва пропорциональна объему и давлению в емкости.

Гидроклавное формование

Для создания давлений большей величины, чем возможно в автоклавах, используют гидроклавы (Рис.2.39). Как и автоклавы, они имеют корпус 1 цилиндрической формы с герметично закрывающейся крышкой 2. Их устанавливают, как правило, вертикально, заглубляя в грунт. В качестве рабочего тела используют жидкости, которые можно нагреть до температуры 200-250°С без выделения газов. В основном применяют глицерин или кремний-органические масла. Размеры гидроклавов меньше, чем у автоклавов.

Процесс формования в автоклавах и гидроклавах на первом этапе содержит все операции, присущие формованию вакуумированием. На втором этапе форму с препрегом и герметичной оболочкой помещают в емкость и выдерживают там при температуре и давлении.

Гидроклавы безопасны в работе, и в них можно реализовать давление до 30-50 атмосфер. Но жидкость снижает культуру производства.

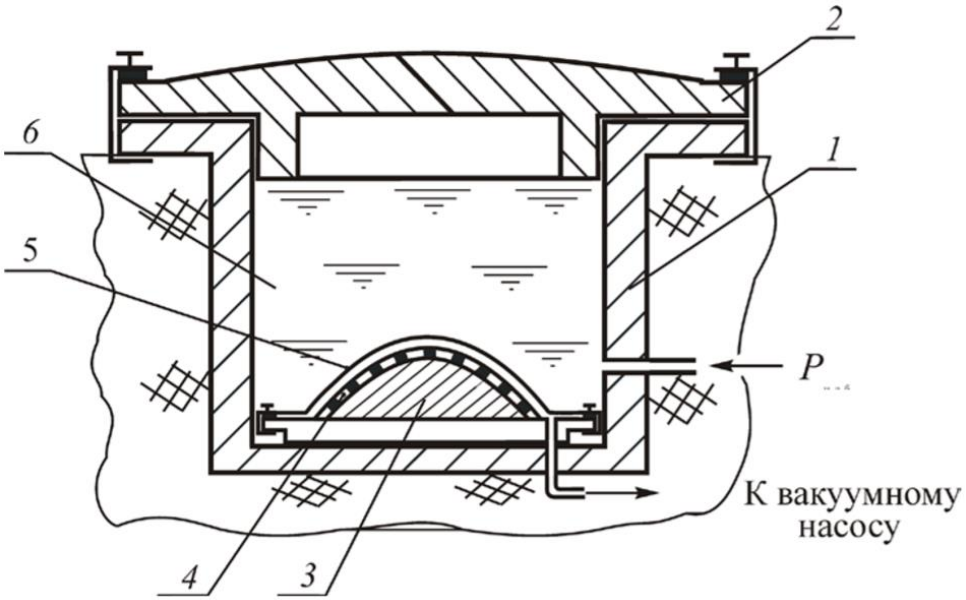


Рис.2.39. Гидроклав: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – форма; 4 – препрег; 5 – герметичная диаграмма; 6 – рабочая жидкость

Формование в пресскамерах

Суть процесса показана на схеме (Рис.2.40). В негативную форму 1, являющуюся одновременно прочным корпусом, укладывается препрег 3 и эластичная оболочка 2. Из-под оболочки откачивается воздух, а в полость, образуемую пространством между оболочкой и крышкой 4, подается рабочее тело (разогретый пар, вода, воздух).

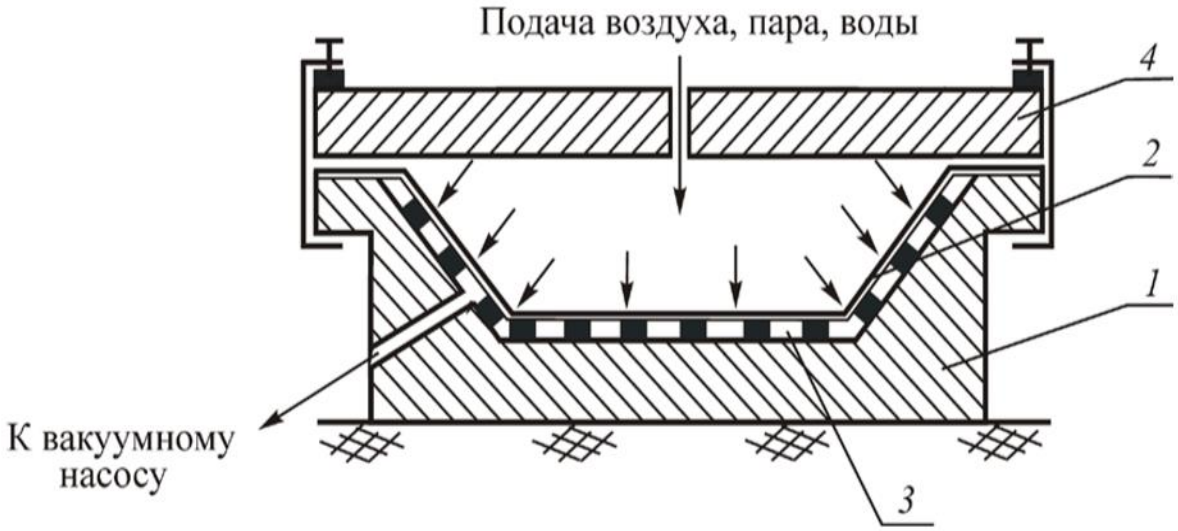


Рис.2.40. Формование в пресскамере: 1 – форма; 2 – эластичная диафрагма; 3 – препрег; 4 – крышка

В пресскамерах можно реализовать давление до 20-30 атмосфер. По энергозатратам значительно эффективнее авто- и гидроклавов. Их применение оправдано только при больших сериях производства изделия.

Сравнив данные 4 методов, было принято решение использовать метод вакуумирования (вакуумная инфузия) в силу его простоты, безопасности и достаточном давлении.

2.4 Составление номенклатуры оснастки для придания формы и процесса формования

Для изготовления формообразующей оснастки предъявляют следующие требования:

- легкость механической обработки;

- низкая стоимость и не дефицитность;

- совпадающие коэффициенты теплового расширения оснастки и формуемого материала;

- хорошая теплопроводность;

- оснастка должна иметь минимальную массу с целью сокращения времени прогрева и экономии материала при обеспечении требуемой жёсткости.

Для изготовления оправок преформы КСЗ методом литья необходимо:

- Форма для литья – 1шт. (Рис.2.41).

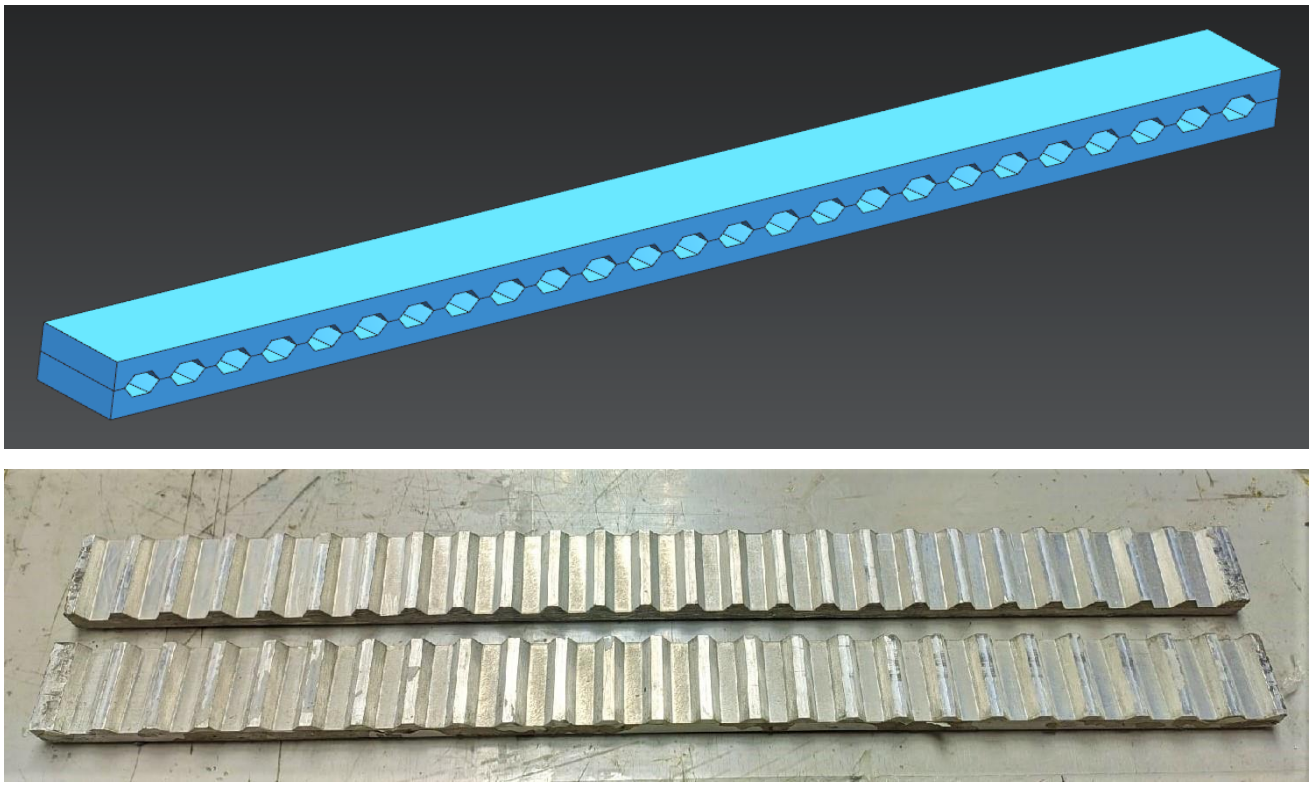


Рис.2.41. Форма для литья оправок

Для изготовления преформы КСЗ методом радиального плетения необходимо:

- Оправки преформы – 468 шт. (Рис.2.42).

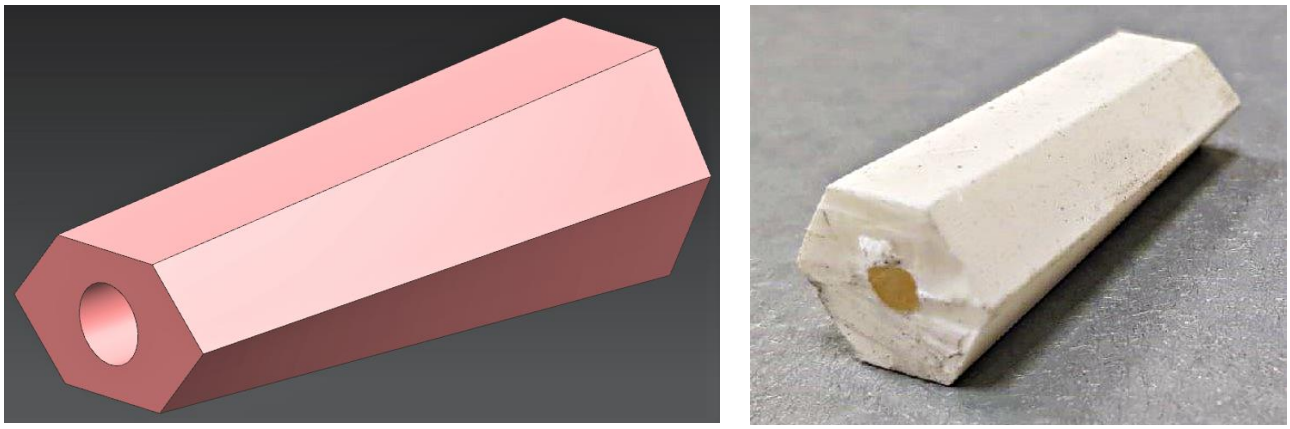


Рис.2.42. Оправка для создания преформы

КСЗ имеет ячейки шестигранной формы. Следовательно, при расчете формулы будет рассматриваться сечение в виде шестиугольника. Существуют зависимости (1) и (2) параметров сечения ячейки от высоты КСЗ (Рис.2.43):

$$\beta = arc\cos\left(\frac{2-\left(\frac{b_1}{r_1}\right)^2}{2}\right) \quad (1);$$

$$b_2 = 2(r_1 + h)\cos\left(\frac{180-\beta}{2}\right) \quad (2),$$

где:

b_1, b_2 – расстояние шестигранника под ключ;

h – высота сотового заполнителя;

r_1 – радиус, образующий внутреннее основание;

β – угол при вершине.

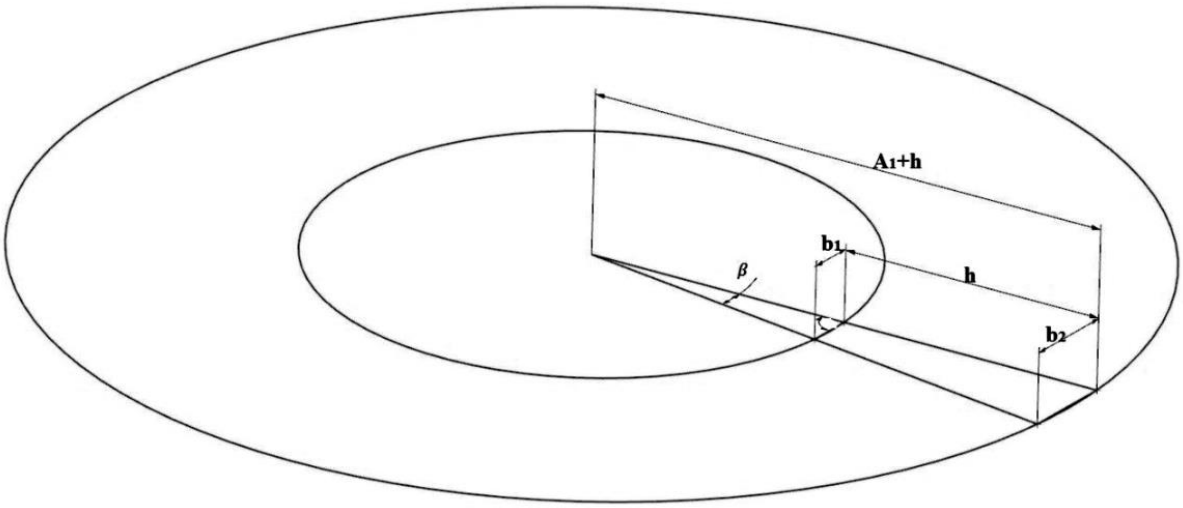


Рис.2.43. Параметры сечения ячейки

Для процесса формования преформы КСЗ методом вакуумной инфузии необходимо:

- Придерживающие вкладыши из PLA – пластика (Рис.2.44);
- Придерживающие вкладыши из силикона (Рис.2.45);
- Придерживающая задняя стенка из текстолита 1мм (Рис.2.46);
- Связующее холодного отверждения;
- Штуцера для подачи смолы и откачки вакуума;
- Вакуумные трубки;
- Вакуумная пленка;
- Жертвенная ткань;
- Распределительная сетка;
- Герметизирующий жгут.

Т.к. будет использоваться связующее холодного отверждения, то нет необходимости изготавливать вкладыши оснастки из металла и фрезеровать на станке с ЧПУ, т.к. это, к тому же, трудозатратно. Проще будет использовать печать на 3D – принтере с использованием PLA – пластика.

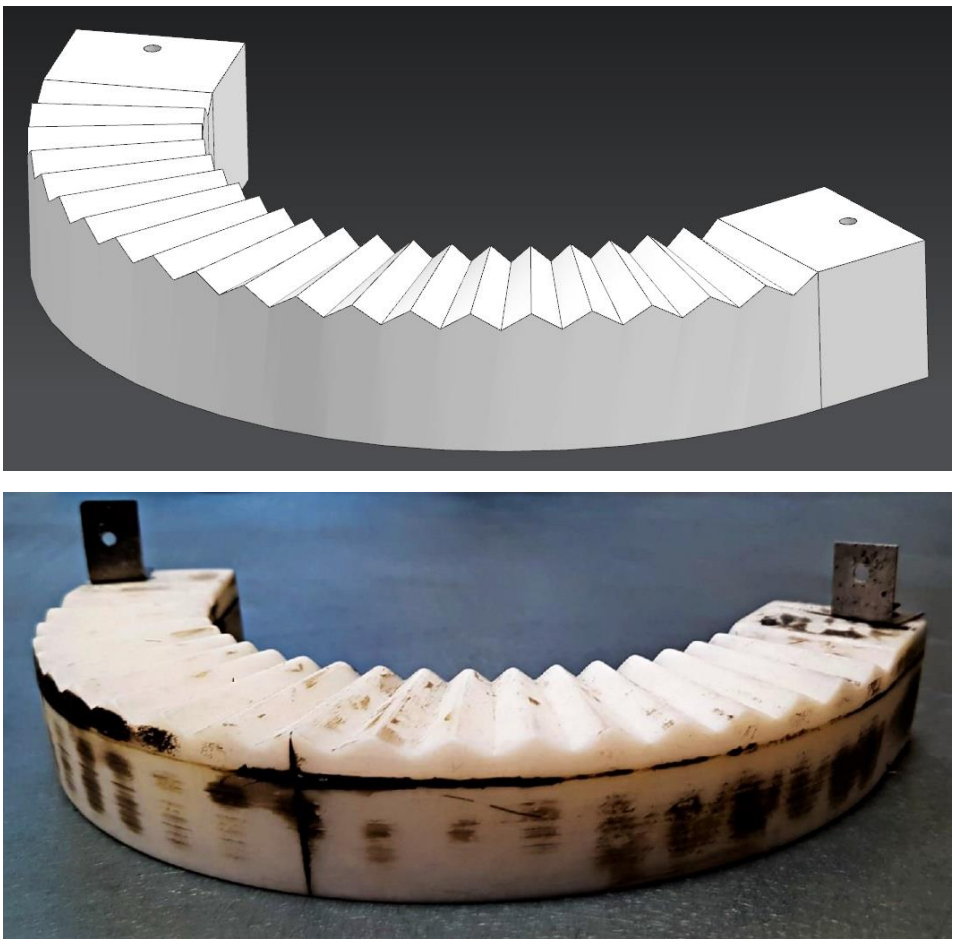


Рис.2.44. Вкладыш оснастки из PLA – пластика

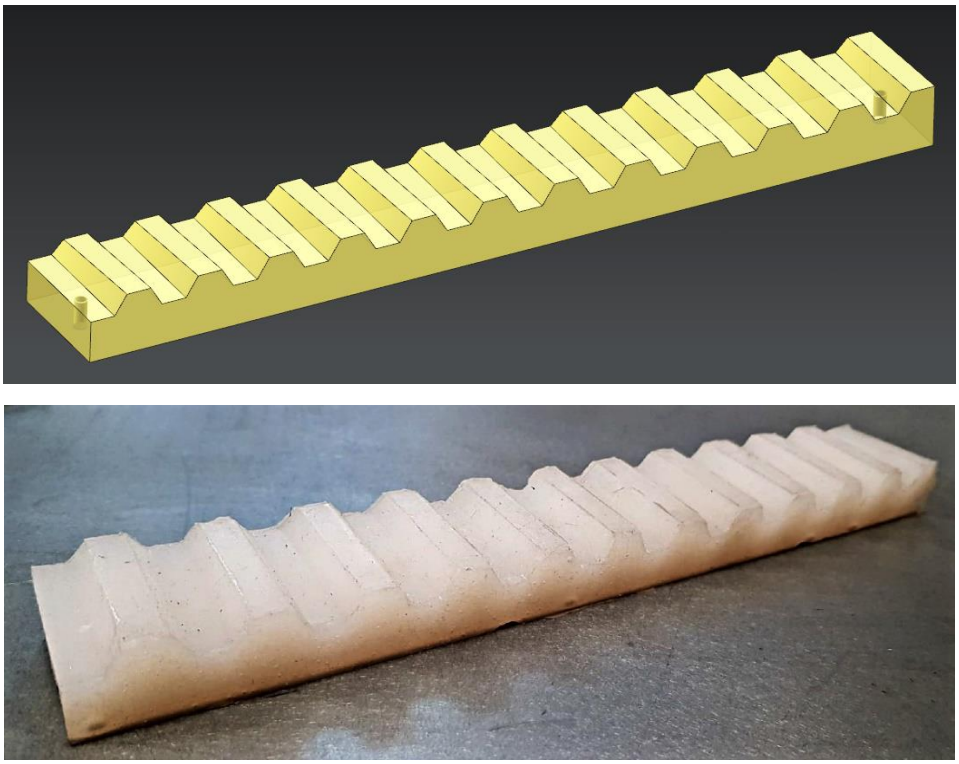


Рис.2.45. Вкладыш оснастки из силикона

Боковые придерживающие вкладыши будут отливаться из силикона, а не печататься на 3D – принтере из пластика для того, чтобы можно было подкорректировать положение вкладышей между собой. Так как может получиться так, что боковые вкладыши не влезут или влезут вплотную между верхним и нижним вкладышами, а также, чтобы верхний вкладыш можно было плотнее прижать к оправкам сот.

Также, чтобы забазировать оправки для предотвращения их сдвига вдоль своей оси, было принято решение изготовить дополнительную заднюю перегородку (стенку), которая будет вспомогательным элементом, и после завершения сборки оснастки удалится.

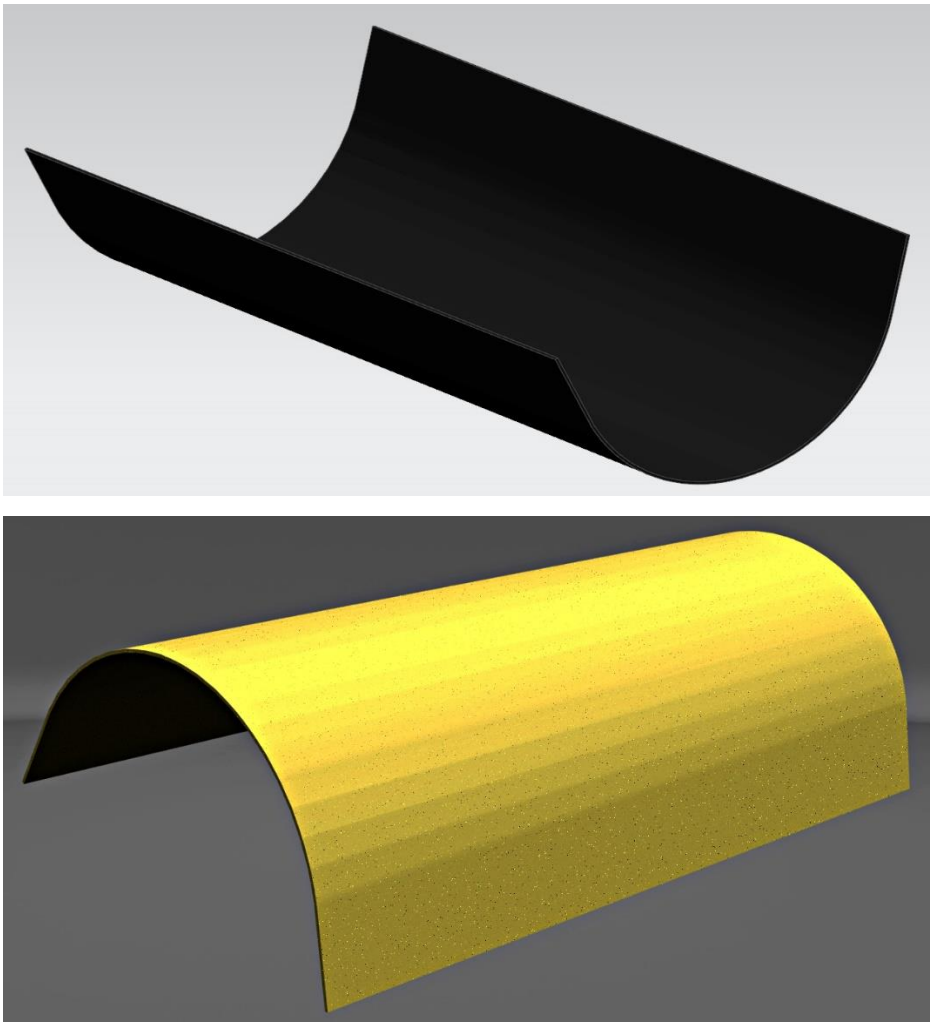


Рис.2.46. Задняя придерживающая стенка

В свою же очередь задняя стенка будет крепиться и зажиматься к верхнему и нижнему вкладышам с помощью струбцин (Рис.2.47) в количестве 4-х штук.

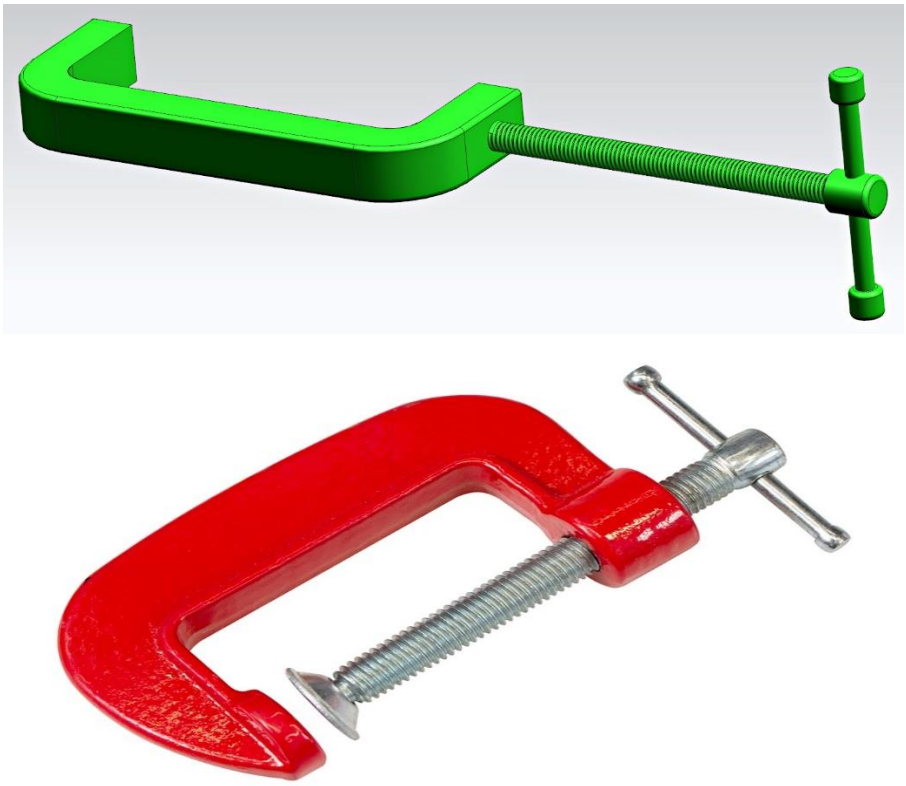


Рис.2.47. Струбцина

2.5 Разработка схемы увязки оснастки и всего изделия в целом

Увязка представляет собой согласование размеров сопрягаемых элементов конструкции и оснастки на различных этапах изготовления и сборки изделия. Она нужна для обеспечения точности изготовления и получения взаимозаменяемых конструкций.

Увязка - это соответствие одних и тех же размеров у нескольких объектов. Способы увязки разделяются на две группы, характеризующиеся зависимым и независимым образованием размеров. К первой группе относятся инструментально-шаблонный и эталонно-шаблонный методы.

Ко второй группе относится машиностроительный метод и метод электронного моделирования, основанный на математическом задании поверхности агрегатов с последующим пересчетом размеров на оснастку с помощью специального ПО и ЭВМ.

Лучше всего использовать методы второй группы, потому что они имеют преимущества:

- не нужно производить трудоемкие и дорогостоящие шаблоны и эталоны;
- сокращение цикла подготовки производства;
- сочетание с оборудованием с ЧПУ;
- высокая точность изготовления за счет сокращения количества этапов переноса размеров.

В данной работе используется метод электронного моделирования.

Рис.2.48. Схема метода электронного моделирования увязки

2.6 Выбор необходимого оборудования

Автоматизированный комплекс (Рис.2.49):

- Радиальная плетельная машина GERZOG RF 1/144-100;

Основные характеристики:

- 144 веретена;

- Катушка 55 х 170 х 130 мм = 265 см3;

- Мощность двигателя: 4 х 0,55 кВт;

- Скорость: 150 об/мин.

- Многоосевой манипулятор с ЧПУ KUKA;

- Устройство автоматической смены инструмента, устанавливаемое на манипуляторе;

- Головка односторонней сшивки по тафтинговой технологии Tuftinghead;

- Головка односторонней сшивки потайным стежком Blindstitchhead;

- Перемоточная рабочая станция для шпулей прошивных головок;

- Инструментальный магазин для автоматической смены головок;

- Вытяжное устройство мультироликового типа;

- Шпулярник для угле- и стеклоровинга.

Рис.2.49. Автоматизированный комплекс

3D-принтер ЗВЕРЬ 3.0 PRO (Рис.2.50):

Данный принтер российского производства стоимостью около 620.000 руб.

Его характеристики указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики принтера

Технология печати	FDM/FFF
Область печати (шхдхв)	600x580x800мм
Кол-во экструдеров	2
Температура нагрева экструдеров	до 260 градусов
Кинематика движения по осям ХУ	H-bot
Система подачи	Direct
Диаметр пластиковой нити	1,75 мм
Диметр сопла	0,6 / 0,8 / 1,0 мм
Мин.слой печати	от 50 мкм
Материал сопла	латунь/сталь
Подогреваемая платформа	Есть

Окончание таблицы 1

Рабочая зона печати (стол)	Стеклянный с интегрированной системой прогрева до 140 градусов
Закрытый корпус	Есть
Движение рабочего стола по оси Z	4 линейные направляющие.
Экран	Панель управления портативный компьютер
Авто калибровка	Есть
Поддержка внешних карт памяти	Есть
Элементы крепления модулей	Сталь 3 мм
Материалы*	ABS,PLA, Hips, SBS, Neylon, PVA, Wood, Flex и др
Программное обеспечение	Cura, Repetier-Host
Электропитание	220В
Мощность	2 квТ
Производство	Россия
Гарантия	12 месяцев
Обучение	Бесплатное, удаленное
Поддержка	Онлайн, телефон

Подходит для коммерческого назначения. Область печати: 600*580*800 мм позволяет печатать детали больших размеров. Мощность двигателей исключает риски перебоев в процессе печати или перегрев. Крепления из стали и алюминия в конструкции 3д принтера и профильные рельсовые направляющие не допускает смещений по всем трем осям. Конструкция стола позволяет нагреваться за короткое время до 150°С.

Наличие двух экструдеров и прямой подачи пластика позволяет использовать как твердые, так и мягкие пластики в качестве основных и поддержек. Корпус закрытого типа не допускает перепадов температур в камере во время печати.

Рис.2.50. 3D-принтер ЗВЕРЬ 3.0 PRO

2.7 Выбор материалов для изготовления преформы

Выбор материала для оправок преформы

Двухкомпонентный ненаполненный полиуретан *RAKU-TOOL® PF-3701-2 (Полиол) / PH-3977 (Изоцианат)*, (RAMPF GROUP - German), (Рис.2.51) [10].

Преимущества:

- Быстрое отверждение и готовность к работе;

- Очень низкая вязкость;

- Хорошая термоустойчивость;

- Хорошая влагостойкость;

- Высокая прочность.

Применяется для изготовления матриц, негативов, реплик, форм для вакуумного метода, а также шаблонов.

Рис.2.51. Литьевой пластик *RAKU-TOOL® PF-3701-2 / PH-3977*

Выбор материала для преформы

Углеродный жгут *Tenax®-J HTS40 E13 6K 400tex* (Toho Tenax America, Inc.; Teijin Ltd. - Japan, US, Germany), (Рис.2.52):

- Количество филаментов – 6000;

- Линейная плотность – 400 *текс*;

- Прочность при растяжении – 4400 *МПа*;

- Модуль упругости при растяжении – 240 *ГПа*;

- Удлинение – 1,8 %;

- Плотность 1,77 $\frac{г}{см^3}$.

Жгуты *Tenax*® характеризуются высокой прочностью и модулем упругости при растяжении. Идеально подходят для основных технологий переработки: производства препрегов, намотки, пултрузии, ткачества и плетения.

Рис.2.52. Углеродный жгут *Tenax®-J HTS40 E13 6K 400tex*

2.8 Расчет ожидаемой точности изготовления

Точность изготовления стержневого заполнителя будет зависеть от точности получения формообразующей оснастки, а также от метода формования. Другими словами, точность определяется числом погрешности, т.е. чем ниже погрешность, тем точнее получается изделие.

Погрешность изготовления вкладышей оснастки: $\delta_1 = \pm 0{,}05$ мм ;

Погрешность изготовления оправок преформы: $\delta_2 = \pm 0{,}1$ мм ;

Погрешность базирования преформ: $\delta_3 = \pm 1{,}0$ мм ;

Общая погрешность готовой детали: $\delta_{общ} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = \pm 1{,}15$ (мм).

3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО СОТОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

3.1 Выбор технологических режимов

Выбор технологических режимов для вакуумной инфузии заключается в выборе значений температуры пропитки связующим, времени и давления подачи вакуума (Рис.3.1).

Режим пропитки с помощью вакуумной инфузии назначается в зависимости от свойств связующего, внутренних термических, усадочных и технологических напряжений, возникающих в деталях и т.д.

В роли связующего для КСЗ было выбрано двухкомпонентное эпоксидное связующее холодного отверждения ТО-29-2. Отличается низкой вязкостью при температурах пропитки и формования (25°С), что обеспечивает возможность получения ПКМ с низкой пористостью. Предотверждение при комнатной температуре.

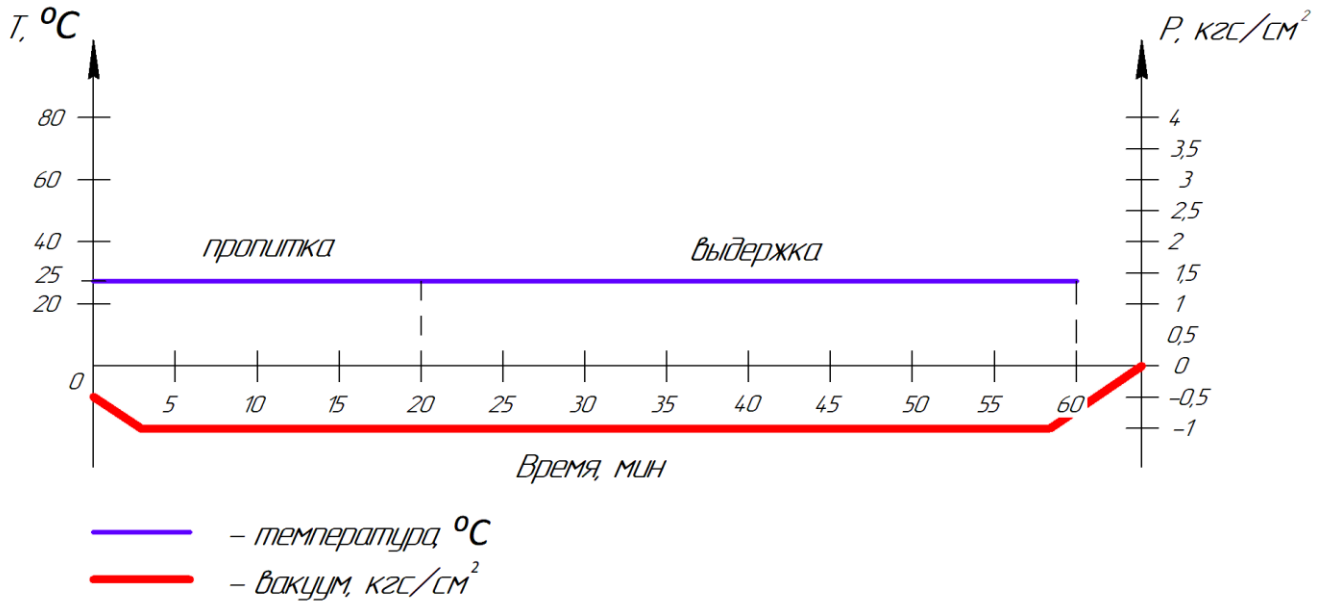


Рис.3.1. Технологический режим для ТО-29-2 при вакуумной инфузии

3.2 Выбор вспомогательных материалов для реализации технологического процесса

Для процесса вакуумной инфузии необходимо:

- Штуцера для подачи смолы и откачки вакуума – 2 шт.;
- Полиэтиленовые трубки – 1 рулон;
- Спиральные трубки – 1 рулон;
- Вакуумная пленка – 1 рулон;
- Жертвенная ткань – 1 рулон;
- Инфузионная сетка – 1 рулон;
- Герметизирующий жгут – 1 рулон;
- Клей - аэрозоль – 1 шт.;
- Антиадгезионный состав *Frekote 770 NC* – 1шт.;
- Перчатки резиновые - 1 уп.;
- Защитный костюм КАСПЕР – 1 шт.;
- Маска – респиратор – 1 шт.;
- Двухкомпонентное эпоксидное связующее холодного отверждения ТО-29-2 (Рис.3.2) [11]:

Рис.3.2. Двухкомпонентное эпоксидное связующее ТО-29-2

ТО-29-2 - двухкомпонентное эпоксидное связующее, разработано для изготовления термостойкой композитной оснастки методами вакуумной инфузии.

Предотверждение при комнатной температуре позволяет применять недорогие мастер-модели.

Преимущества:

- Температура пропитки составляет 25°С;
- Температурный режим эксплуатации ПКМ – до 190°С;
- Низкий КЛТР;
- Температура стеклования после отверждения составляет 220°С;
- Низкое влагонасыщение;
- Отверждение при комнатной температуре;
- Время саморазогрева связующего от 20°С до 60°С составляет более 8 часов.

3.3 Разработка маршрутного и операционных процессов на формование и сборку

Маршрутный технологический процесс:

005 Выходной контроль материалов и комплектующих

010 Проектирование моделей оснастки и изделия в Siemens NX

015 Изготовление верхнего и нижнего вкладышей на 3D – принтере

020 Изготовление боковых вкладышей с помощью формы для литья

025 Изготовление задней придерживающей стенки из листа стеклотекстолита

030 Изготовление оправок преформы с помощью формы для литья

035 Плетение оправок преформы на автоматизированном комплексе HERZOGRF 1/144-100

040 Подготовка вкладышей оснастки и оправок преформы к процессу формования

045 Подготовка вспомогательных материалов для процесса формования

050 Сборка частей оснастки и преформы

055 Сборка вакуумного мешка

060 Подготовка к вакуумной инфузии

065 Процесс вакуумной инфузии

070 Съем готового изделия

075 Контроль готовой детали

Операционный технологический процесс:

005 Выходной контроль материалов и комплектующих

010 Проектирование моделей вкладышей оснастки в Siemens NX

015 Проектирование моделей оправок преформы в Siemens NX

020 Проектирование модели КСЗ Siemens NX

025 Подготовка к печати 3D – принтера ЗВЕРЬ 3.0 PRO

030 Загрузка моделей верхнего и нижнего вкладышей с помощью флеш-накопителя в пункт управления принтером

035 Создание траектории печати для 3D – принтера

040 Установка стола принтера в рабочее положение

045 Проверка всех узлов на дефекты и надежное закрепление

050 Зарядка катушки с PLA – пластиком в 3D – принтер

055 Процесс печати

060 Съем напечатанных изделий

065 Проверка изделий на дефекты и пригодность к дальнейшей эксплуатации

070 Механическая обработка шкуркой поверхностей изделий от заусенцев при необходимости

075 Подготовка формы для литья боковых вкладышей

080 Обработка внутренней поверхности формы для литья

085 Подготовка двухкомпонентного силиконового компаунда *ПентЭласт®-750 марка А* для литья в форму

090 Процесс литья вкладышей

095 Съем готовых вкладышей

100 Проверка изделий на дефекты и пригодность к дальнейшей эксплуатации

105 Подготовка 1 мм листа стеклотекстолита к его дальнейшей резке

110 Процесс вырезания задней придерживающей стенки из 1мм листа стеклотекстолита по заданным размерам

115 Механическая обработка краев готового листа от заусенцев при необходимости

120 Подготовка формы для литья оправок преформы КСЗ

125 Обработка внутренней поверхности формы для литья

130 Подготовка литьевого пластика *RAKU-TOOL® PF-3701-2 / PH-3977* для литья в форму

135 Процесс литья оправок преформы в количестве 468 штук

140 Съем готовых оправок

145 Проверка изделий на дефекты и пригодность к дальнейшей эксплуатации

150 Механическая обработка краев оправок от заусенцев при необходимости

155 Подготовка к радиальному плетению

160 Намотка необходимого количества волокна на катушки

165 Зарядка пружин под выбранный тип волокна - углеродный жгут *Tenax®-J HTS40 E13 6K 400tex*

170 Равномерная зарядка веретен в HERZOGRF 1/144-100

175 Сборка пучка

180 Нанесение на поверхность бус разделительного состава

185 Фиксация бус к руке KUKA

190 Процесс плетения волокна на оправки преформы

195 Фиксация чулка в зоне перехода

200 Обрезка по серединной линии в зоне перехода

205 Изъятие префрмы

210 Нарезка бус на элементарные ячейки

215 Проверка изделий на дефекты и пригодность к дальнейшей эксплуатации

220 Подготовка к сборке вкладышей оснастки

225 Сборка оснастки

230 Подготовка преформы к выкладке на оснастку

235 Обработка верхнего и нижнего вкладышей антиадгезионным составом *Frekote 770 NC* – 3 слоя с сушкой по 10-15 мин.

240 Выкладка оправок преформы на оснастку

245 Поджатие верхнего вкладыша оснастки для надежного крепления

250 Нанесение герметизирующего жгута по всему периметру оснастки

255 Раскрой жертвенной ткани – 2 шт.

260 Раскрой проводящей сетки – 1 шт.

265 Нарезание вакуумных трубок необходимой длины для откачки вакуума и пропитки связующим – 2 шт.

270 Установка жертвенных слоев на оснастку

275 Установка проводящей сетки на оснастку

280 Установка штуцеров для подачи смолы и откачки вакуума – 2 шт.

285 Установка вакуумных трубок на штуцера (поставить зажим на трубку подачи)

290 Подготовка вакуумного пакета

295 Сборка технологического пакета

300 Подключение насоса к трубке для откачки вакуума

305 Проверка пакета на герметичность (скорость падения вакуума должна быть не более 1 мбар в минуту, остаточное давление в пакете должно быть не более 10 мбар.)

310 Подготовка двухкомпонентного эпоксидного связующего ТО-29-2 холодного отверждения

315 Тщательно смешать компоненты А и В при температуре 25°С в весовой пропорции 100:58 (Погрешность при дозировке компонентов не должна превышать 2%)

320 Провести дегазацию в течение 15-30 мин, при давлении не более 10 мбар. (во время дегазации следует интенсивно перемешивать связующее)

325 Поддерживать температуру 20-25 °С (Рекомендуемая температура пропитки 25 °С. Предварительно рекомендуется высушить армирующий наполнитель в вакуумном пакете не менее 3 часов)

330 Поддерживая температуру оснастки 20-25 °С, начать процесс инфузии

335 Поместить трубку подачи в емкость с приготовленным связующим

340 Убрать зажим от вакуумной трубки подачи

345 После полной пропитки пакета перекрыть вводы связующего, но не останавливать вывод связующего в течение 30 минут

350 Выключить вакуумный насос

355 Выдержать вакуумный пакет до гелирования (~24 ч при 25°С)

360 Подготовка к снятию готового изделия

365 Удаление расходных материалов (вакуумный мешок, вакуумные трубки, штуцера, жертвенная ткань, распределительная сетка, герметизирующий жгут)

370 Снятие верхнего вкладыша оснастки

375 Снятие отвержденного изделия с оснастки

380 Выбивка оправок из готового изделия с помощью молотка

385 Удаление технологического припуска

390 Проверка полученного изделия на пригодность к дальнейшей эксплуатации

395 Механическая обработка готового изделия

400 Контроль готового изделия

3.4 Технико – экономическая оценка принятого варианта

- Литьевой пластик *RAKU-TOOL® PF-3701-2 / PH-3977* – 6000 руб./10кг;

- PLA – пластик для 3D – печати – 4000 руб./4шт.;

- Двухкомпонентный силиконовый компаунд *ПентЭласт®-750 марка А* – 1500 руб.;

- Углеродный жгут *Tenax®-J HTS40 E13 6K 400tex* – 48000 руб./3кг;

- Связующее холодного отверждения *ТО-29-2* – 5000 руб./кг;
- Текстолит 1мм – 250 руб.;
- Штуцера для подачи смолы и откачки вакуума – 80 руб.;
- Полиэтиленовая трубка – 100 руб.;
- Спиральная трубка – 50 руб.;
- Вакуумная пленка – 600 руб.;
- Жертвенная ткань – 200 руб.;
- Инфузионная сетка – 300 руб.;
- Герметизирующий жгут – 750 руб.;
- Клей - аэрозоль – 2000 руб.;
- Антиадгезионный состав *Frekote 770 NC* – 14000 руб./5 л;
- Перчатки резиновые 1 упаковка – 1000 руб.;
- Защитный костюм КАСПЕР – 500 руб.;
- Маска – респиратор – 300 руб.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

4.1 Выбор материалов для изготовления оснастки

Материал для нижнего и верхнего придерживающих вкладышей оснастки

Исходя из вышесказанного имеем связующее холодного отверждения и трудозатратность изготовления вкладышей на станке с ЧПУ из метлла. Поэтому было принято решение изготовить вкладыши на 3D – принтере из PLA-пластика (полилактид). (Рис.4.1).

Рис.4.1. PLA – пластик для 3D – печати

Преимущества:

- Нетоксичен;

- При печати нет необходимости в нагретой платформе;

- Размеры стабильны;

- Экономия энергозатрат из-за низкой температуры размягчения нити;

- Нет необходимости применять каптон для смазывания поверхности для наращивания прототипа;

- Гладкость поверхности напечатанного изделия;

- Получение более детальных и полностью готовых к применению объектов.

Материал для боковых придерживающих вкладышей оснастки

Было принято решение боковые придерживающие вкладыши изготовить из двухкомпонентного силиконового компаунда *ПентЭласт®-750 марка А* (Рис.4.2).

Пентэласт-750 выпускается трех марок: А, Б и В. Состоит из компонента А и компонента Б, при смешении которых, отверждается при комнатной температуре.

Полностью отвержденный Пентэласт-750 имеет превосходную химическую устойчивость, исключая щёлочь. Рабочий интервал температур от $-600°C$ до $2000°C$ для технического применения.

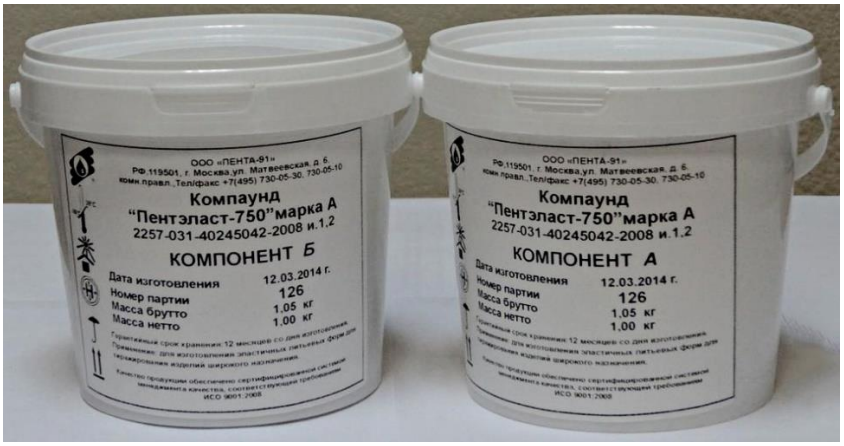


Рис.4.2. Двухкомпонентный силиконовый компаунд *ПентЭласт®-750 марка А*

Материал для задней придерживающей стенки

Было принято решение использовать лист стеклотекстолита толщиной 1мм (Рис.4.3). Из-за малой толщины лист легко деформируется для придания нужной формы.

Рис.4.3. Лист стеклотекстолита толщиной 1мм

4.2 Разработка технических условий на оснастку

К формообразующей оснастке предъявляются следующие требования:

- Оптимальный срок службы;

- Малая шероховатость образующей поверхности;

- Стабильность получаемых форм и размеров изделия;

- Оптимальная стоимость материалов;

- Технологичность изготовления оснастки;

- Ремонтопригодность;

- Оптимальная масса оснастки;

- Возможность контроля геометрических параметров;

- Устойчивость к повреждениям;

- Совместимость с применяемыми химическими составами;

- Конструкция оснастки должна обеспечивать формование детали методом вакуумной инфузии;

- Формообразующая поверхность оснастки должна быть выполнена по наружной поверхности детали;

- Поверхность оснастки должна выдерживать не менее 20 производственных циклов без потери рабочих характеристик.

4.3 Описание оснастки

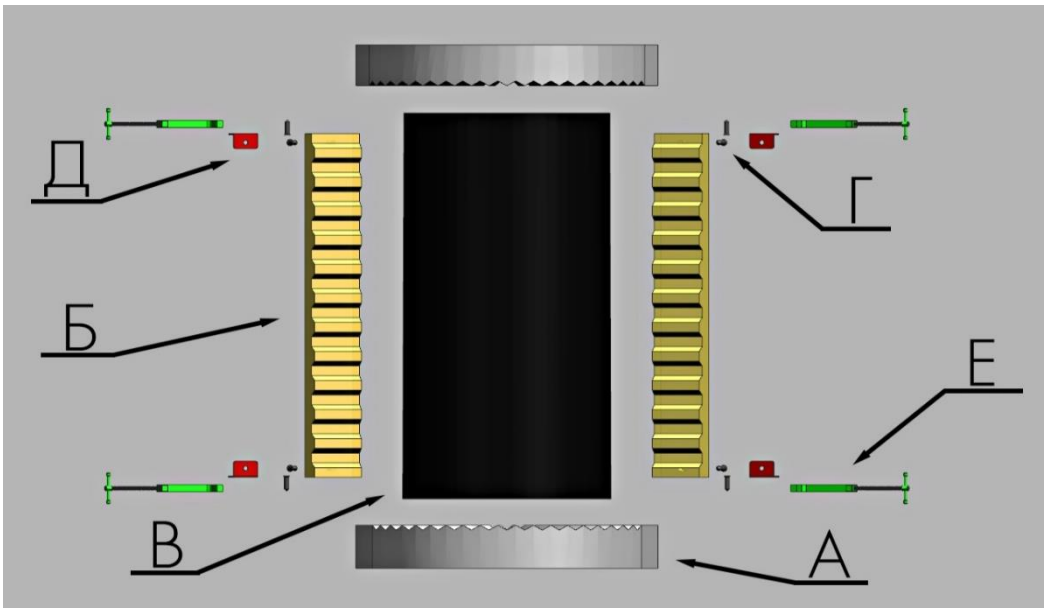


Рис.4.4. Части оснастки: А – верхний и нижний вкладыши, Б – боковые вкладыши, В – задняя придерживающая стенка, Г – саморезы, Д – крепежные уголки, Е - струбцины

Формообразующая оснастка для изготовления криволинейного сотового заполнителя представляет собой конструкцию из четырех соединенных между собой вкладышей: верхнего и нижнего (Рис.4.4, А), и двух боковых (Рис.4.4, Б). Также имеется дополнительный временный элемент – задняя придерживающая стенка (Рис.4.4, В). Остальное – это крепежные элементы, такие, как саморезы (Рис.4.4, Г), уголки (Рис.4.4, Д) и струбцины (Рис.4.4, Е).

Материалы частей оснастки:

- Верхний и нижний вкладыши - PLA – пластик для 3D – печати;

- Боковые вкладыши - двухкомпонентный силиконовый компаунд *ПентЭласт®-750 марка А;*

- Задняя придерживающая стенка – стеклотекстолит 1мм;

- Другие материалы (саморезы – латунь; уголки – сталь; струбцины – пластик).

Далее представлены модели оснастки в сборе (Рис.4.5), а также ее фотореалистичное изображение (Рис.4.6), оснастка в сборе вместе с задней придерживающей стенкой (Рис.4.7), а также ее фотореалистичное изображение (Рис.4.8), оснастка в сборе вместе с КСЗ без задней придерживающей стенки (Рис.4.9), а также ее фотореалистичное изображение (Рис.4.10).

Представлен комплект чертежей на оснастку в сборе без задней придерживающей стенки (Рис.4.11), вместе с задней придерживающей стенкой (Рис.4.12), а также вместе с КСЗ (Рис.4.13).

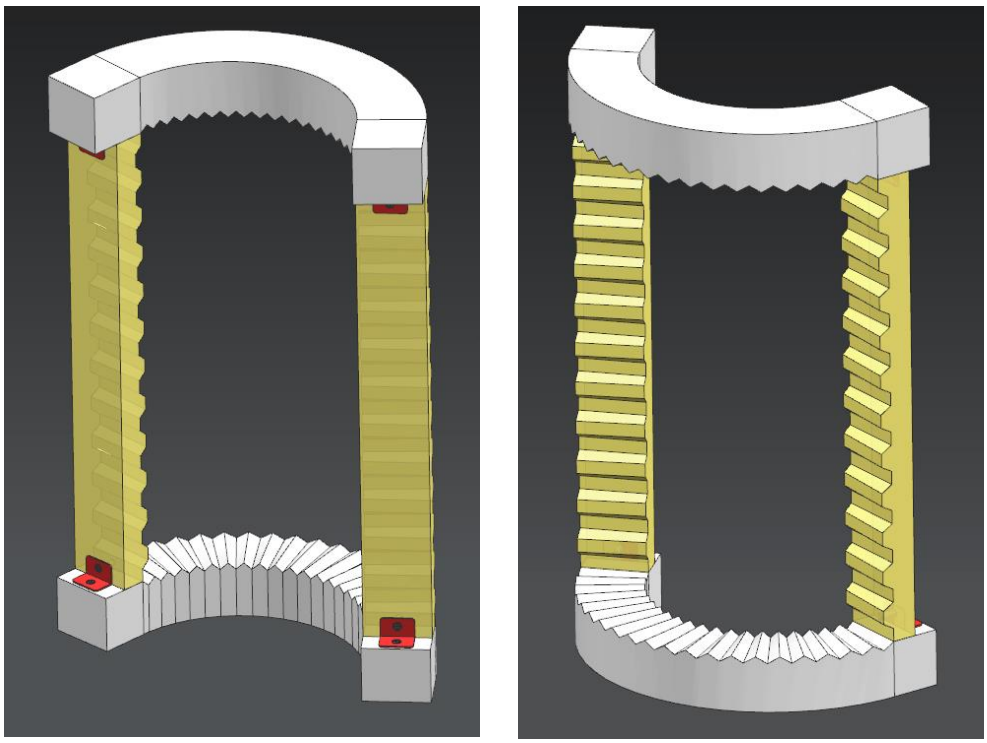


Рис.4.5. Оснастка для изготовления КСЗ в сборе

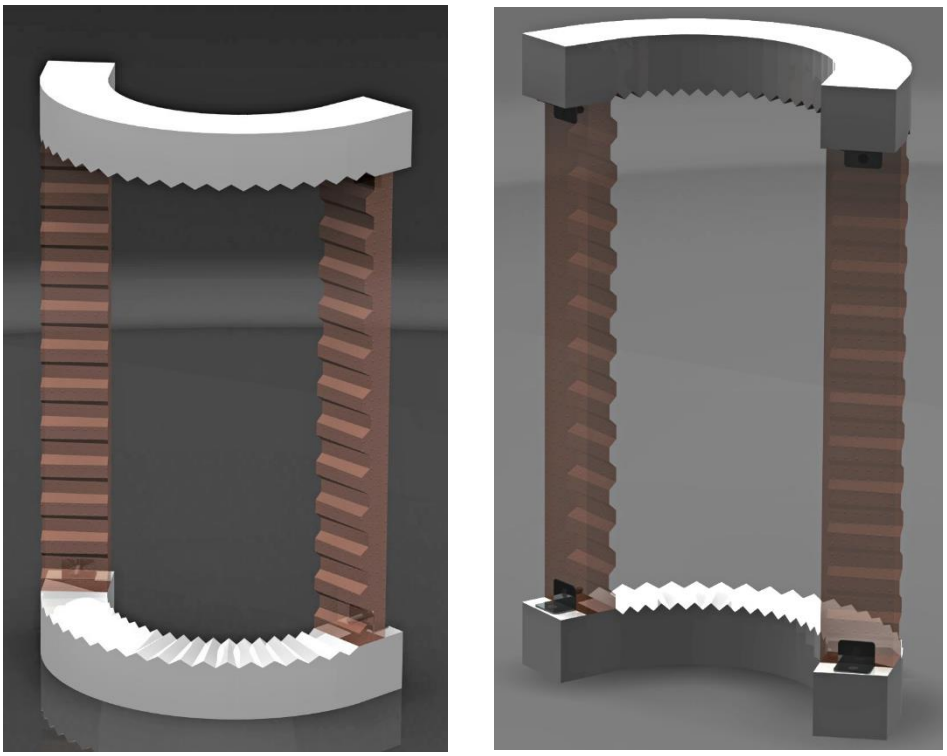


Рис.4.6. 3D – визуализация оснастки в Siemens NX 10.0

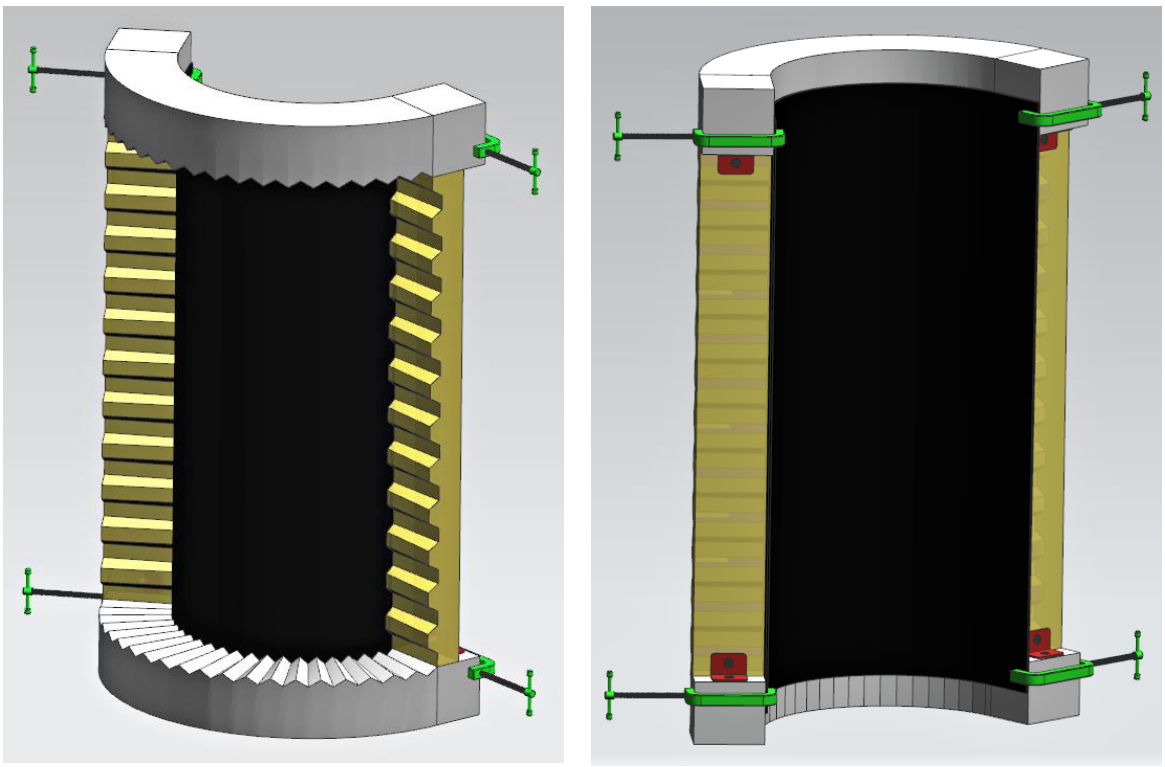


Рис.4.7. Оснастка в сборе с задней придерживающей стенкой

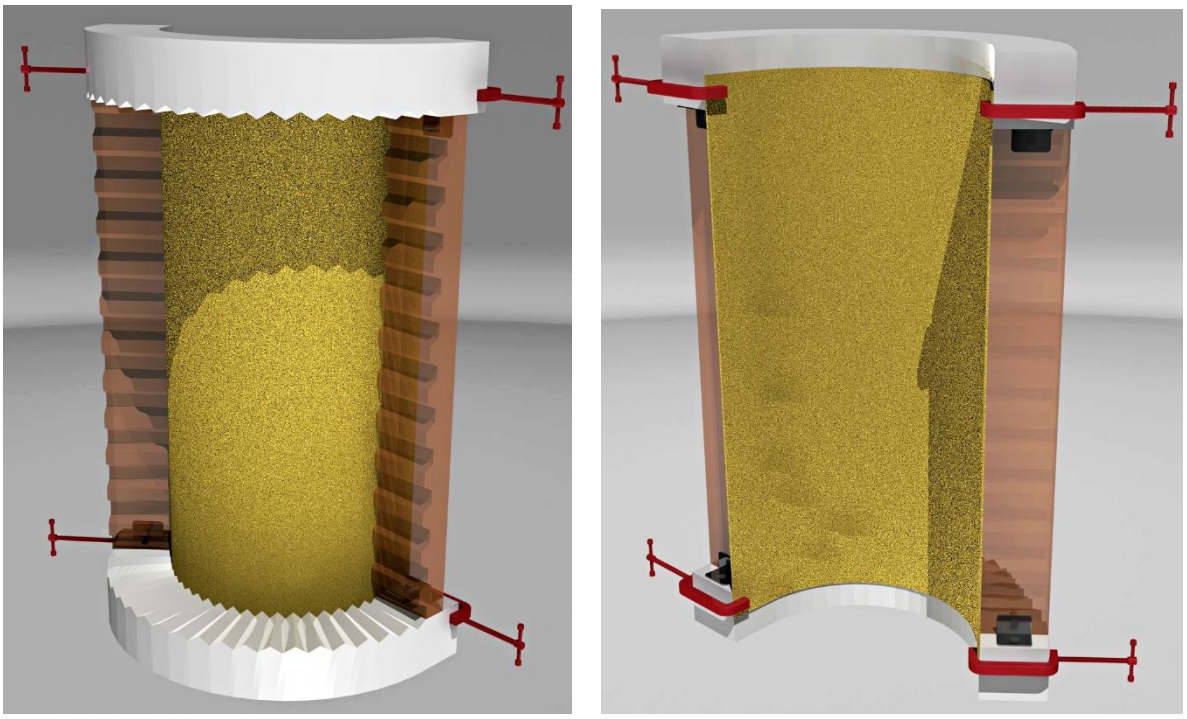


Рис.4.8. 3D – визуализация оснастки с задней стенкой в Siemens NX 10.0

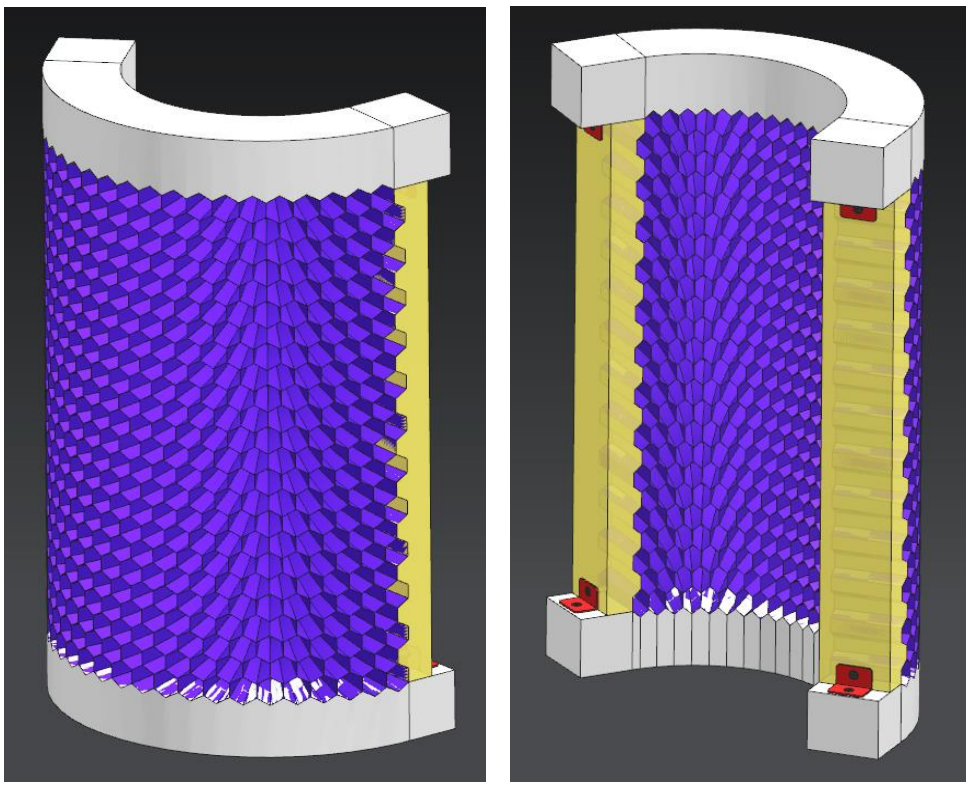


Рис.4.9. Оснастка вместе с КСЗ в сборе

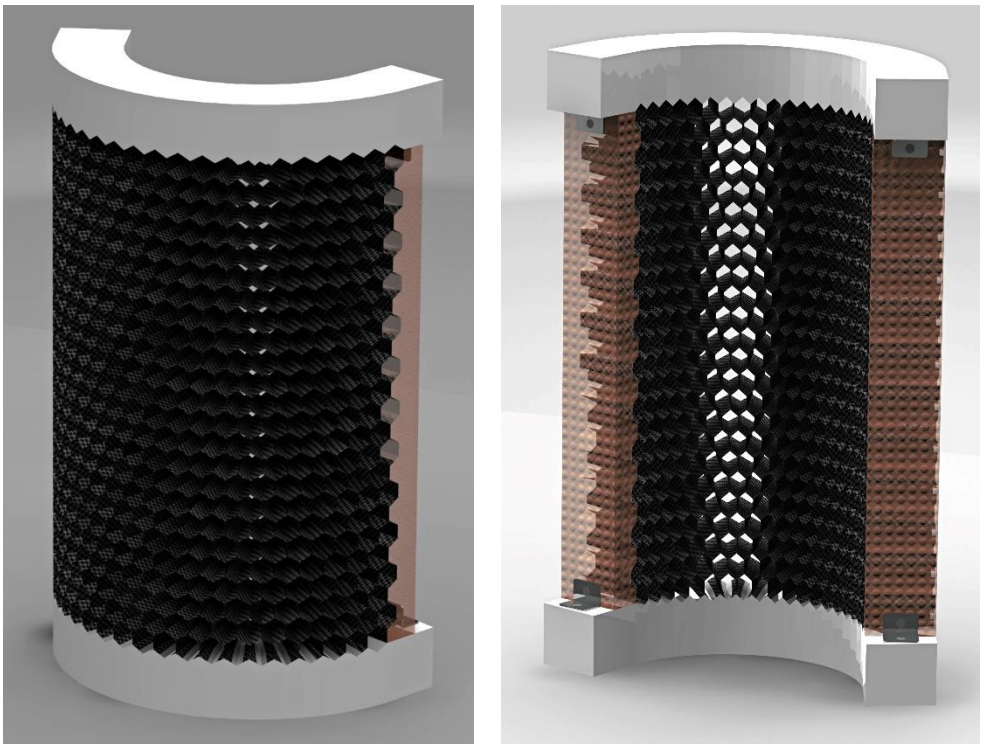


Рис.4.10. 3D – визуализация оснастки вместе с КСЗ в Siemens NX 10.0

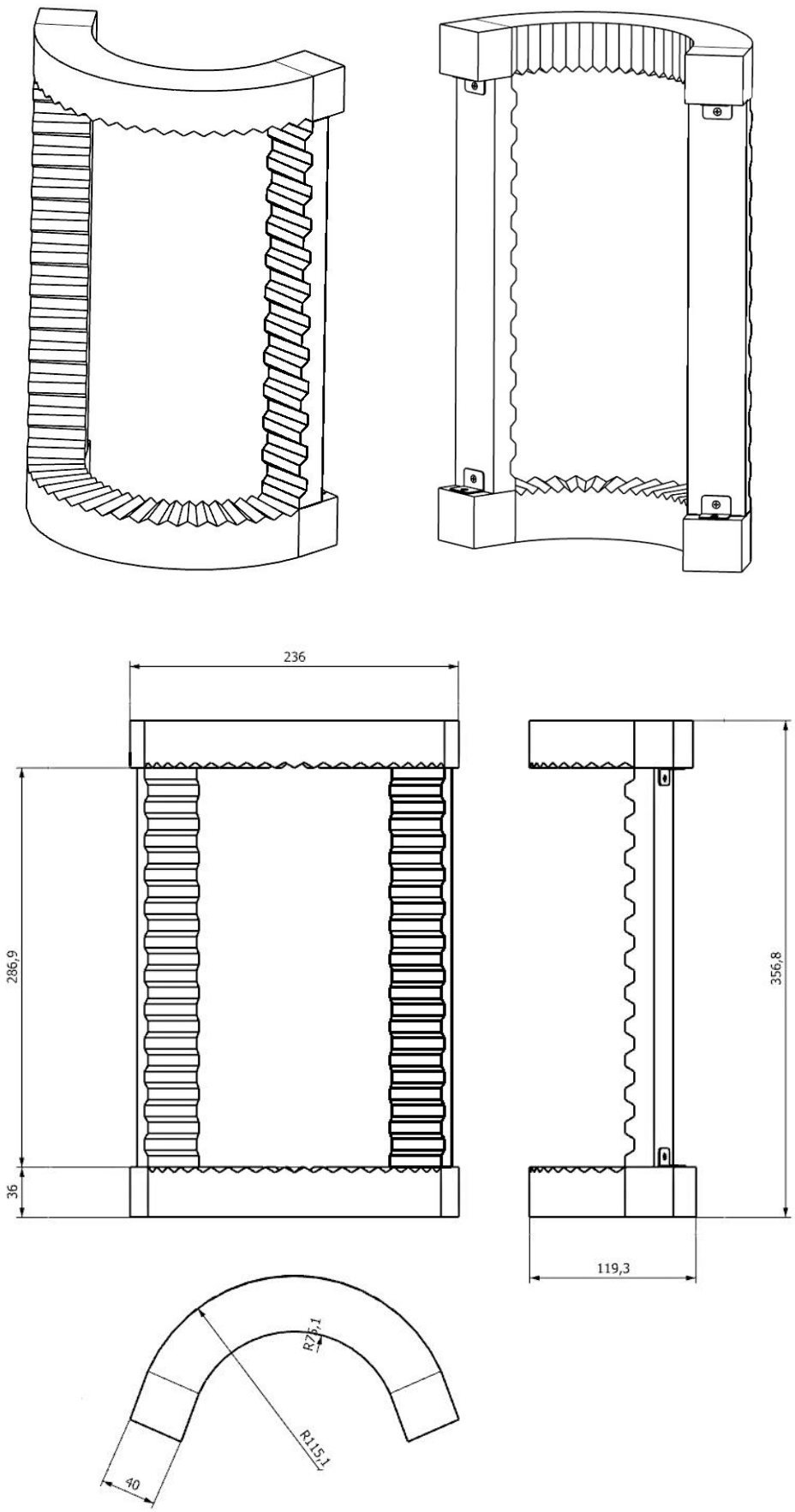


Рис.4.11. Чертеж оснастки в сборе без задней придерживающей стенки

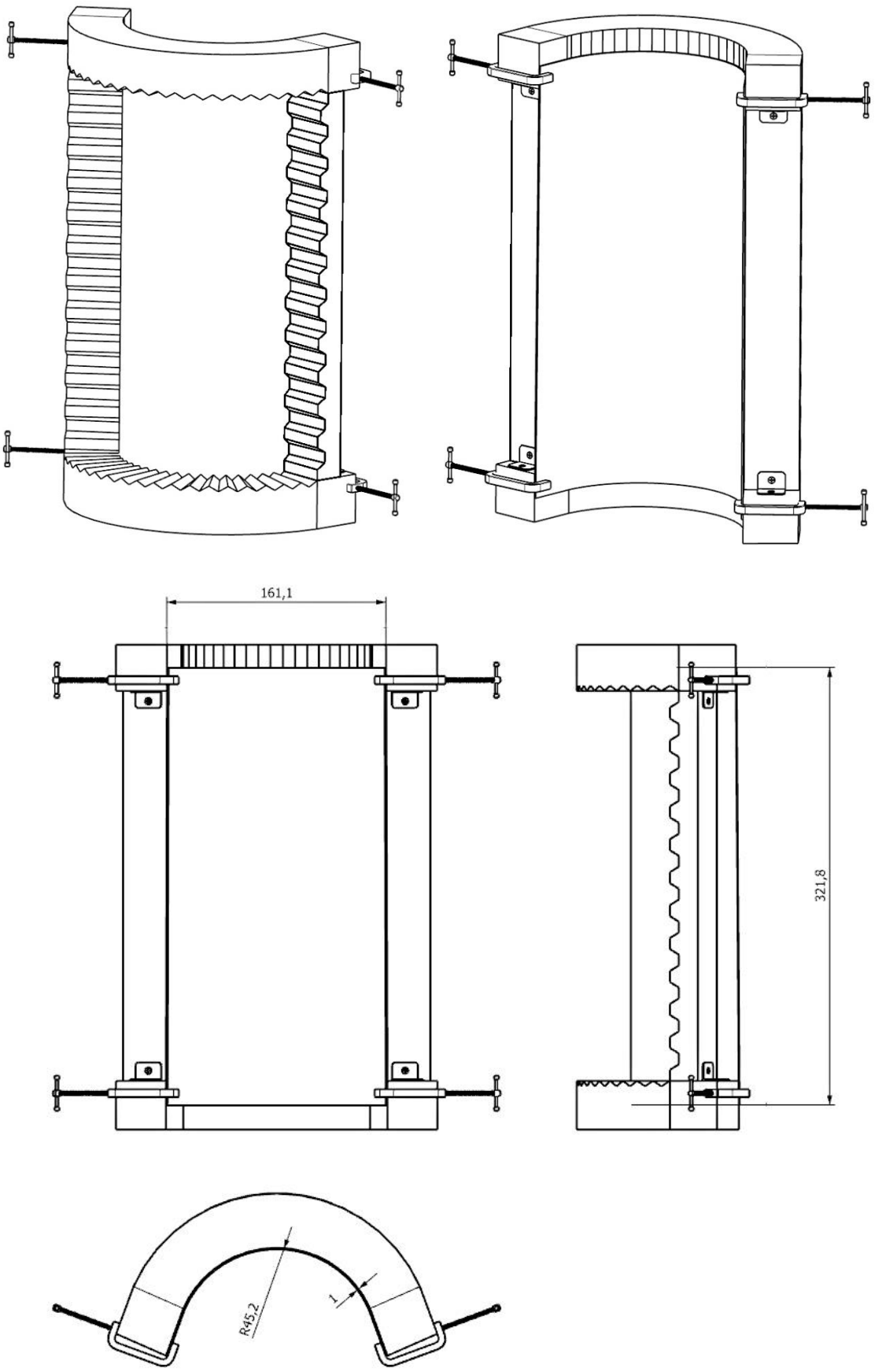


Рис.4.12. Чертеж оснастки в сборе с задней придерживающей стенкой

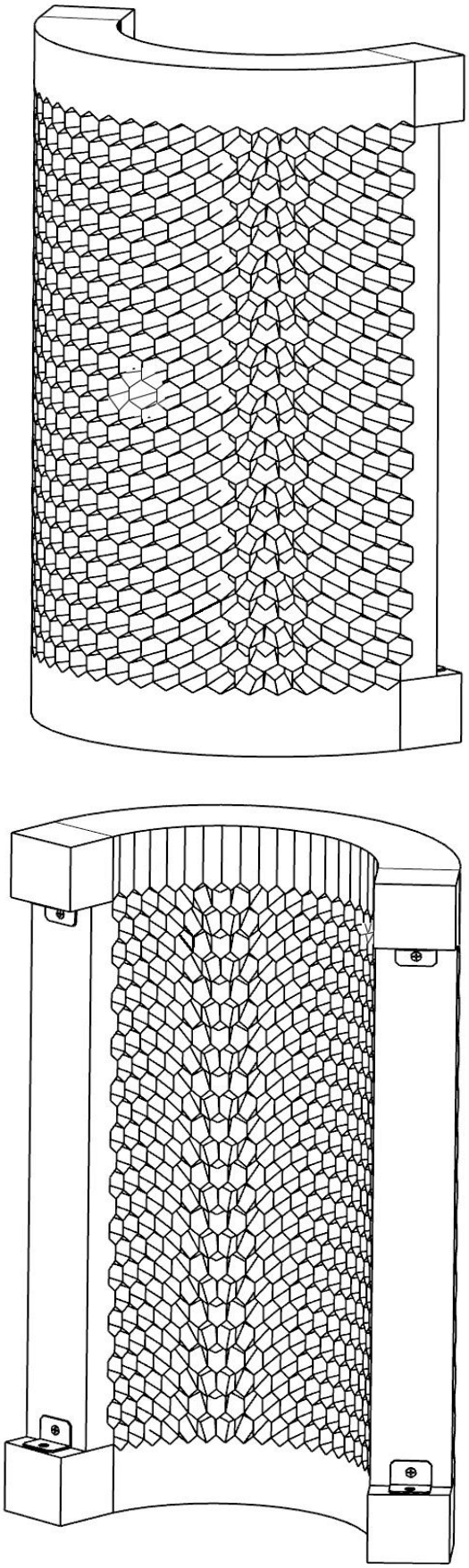


Рис.4.13. Чертеж оснастки в сборе вместе с КСЗ

4.4 Описание проектирования и способа изготовления оснастки

Оснастка была изначально спроектирована в виде отдельных частей 3D – моделей в системе автоматизированного проектирования NX версии 10.0 от компании Siemens PLM Software. Это 2 боковых вкладыша, 2 вкладыша (верхний и нижний), 1 задняя стенка, 4 уголка, 8 саморезов, 4 струбцины, 468 оправок.

Далее модели верхнего и нижнего вкладыша были преобразованы в формат 3D – принтера STL или OBJ, оптимизированы и подготовлены к печати. Для печати был использован обычный PLA – пластик для 3D – принтера.

Для боковых вкладышей была изготовлена форма для литья, и далее в ней отлиты сами вкладыши из силиконового двухкомпонентного компаунда.

Задняя придерживающая стенка была вырезана по размерам из обычного 1-милимметрового листа стеклотекстолита.

По 3D – моделям оправок преформы была также изготовлена форма для литья и далее вылеты в ней 468 оправок из литьевого пластика.

Готовые уголки и саморезы можно просто купить необходимого размера в строительном магазине. Струбцины были позаимствованы у лаборатории кафедры.

Далее готовые части оснастки собираются. Боковые и верхние вкладыши соединяются уголками на саморезы. Задняя стенка является лишь вспомогательным элементом для последующего выкладывания и выравнивания по ней оправок преформы. Она крепится к верхнему и нижнему вкладышу с помощью струбцин. После завершения выкладки оправок преформы задняя придерживающая стенка удаляется. Таким образом осуществляется сборка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы была разработана технология изготовления криволинейного сотового заполнителя из композиционного материала, а именно:

- Разработана и спроектирована конструкция технологической оснастки;
- Выбран метод создания преформы и метод формования изделия;
- Составлена номенклатура технологической оснастки;
- Выбраны материалы для частей оснастки и преформы;
- Расчитана точность изготовления;
- Разработана схема увязки оснастки;
- Выбрано необходимое оборудование;
- Разработана маршрутная и операционная карты;
- Разработан технологический режим для связующего;
- Разработаны технические условия на оснастку;
- Создана анимация сборки и процесса формования в Siemens NX;
- Проведена технико-экономическая оценка принятого варианта.

CONCLUSION

As a result of this work, a technology was developed for the manufacture of a curved honeycomb core from composite material, namely:

- The design of tooling was developed and designed;
- The method was chosen to create the preform and molding of the product;
- The nomenclature has been compiled for tooling;
- Materials were selected for tooling and preform parts;
- Manufacturing accuracy calculated;
- Snap linking scheme developed;
- Required equipment selected;
- Route and operational map was developed;
- Technological mode was developed for the binder.;
- Specifications were developed for snap;
- Build and molding animations were created at Siemens NX;
- A feasibility study of the adopted option was carried out.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Халиулин В.И., Шапаев И.И. Технология производства композитных изделий: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003.

2 Презентация Компании Euro-Composites Group [Электронный ресурс]. – URL: https://www.euro-composites.com/ru/EC_Company_Russian.pdf (дата обращения 27.04.2020).

3 Технологичность авиационных конструкций, пути повышения [Электронный ресурс]. – URL: http://window.edu.ru/resource/052/26052/files/1009.pdf (дата обращения 29.05.2020).

4 Иванов А.А., Кашин С.М., Семенов В.И. Новое поколение сотовых заполнителей для авиационно-космической техники. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 436 с.: ил. представлена классификация форм ячеек сотового заполнителя.

5 Патент 3,342,666 CELLULAR HONEYCOMB PRODUCT AND METHOD Harold Robert Hull, San Leandro, Calif., assignor to Hexcel Products Inc., Berkeley, Calif. Filed Sept. 18, 1963, Ser. No. 309,725 10 Claims. (CI. 161–135).

6 Патент 3,356,555 METHOD AND APPARATUS FOR THE MANU FACTURE OF HONEYCOMB PRODUCT Wendell T. Jackson, Pleasant Hill, Calif., assignor to Hexcel Corporation, a corporation of California Filed Oct. 29, 1964, Ser. No. 407,322 4 Claims. (Cl. 156–205).

7 3,366,525 METHOD OF MARING THERMOPLASTIC HONEYCOMB Wendell T. Jackson, Pleasant Hill, Calif., assignor to Hexcel Corporation, a corporation of California Fiied Feb. 6, 1964, Ser. No. 342,999 3 Claims. (Ch. 156–197).

8 Патент 3,493,450 Honeycomb core machine and method Dan Gordon Judge, Jr., Sarasota, Fla., assignor to Honey comb Company of America Inc., a

corporation of New York Filed Oct. 23, 1965, Ser. No. 503,304 Hnt. Cl. B310 3/02; B32b 7/14, 31/04 U.S. CI. 156–197 19 Claims.

9 Патент 3,519,510 Formation of structural honeycomb Edward J. Ardolino, Box 169A, Robin Hood Road, Havre de Grace, Md. 21078; Joseph D. Bova, 2104 Harford Road, Fallston, Md. 21047; and Donald P. Hoover, R.D. 3, Barkess Court, Aberdeen, Md. 21001 Filed May 26, 1967, Ser. No. 641,634 Int. Cl. B31d 3/02 U.S. Cl. 156—197 6 Claims.

10 RAKU-TOOL PF-3701-2/PH-3977 [Электронный ресурс]. – URL: https://skm-polymer.ru/wp-content/uploads/2016/04/PF-3701-2_PH-3977_TDS_GB.pdf (дата обращения 17.05.2020).

11 Оснасточное связующее ТО-29-2 [Электронный ресурс]. – URL: http://itecma.ru/upload/iblock/968/968dfc986bc81dff17cdc0416bbfb812.pdf (дата обращения 19.05.2020).

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»
(КНИТУ-КАИ)

ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

студента Деревенца Вадима Вольдемаровича
(фамилия, имя отчество)

1411 учебной группы АНТЭ института

Тема проекта: Технология изготовления криволинейного сотового заполнителя

Руководитель: к.т.н., доцент Петрушенко Руслан Юрьевич

Выпускная квалификационная работа Деревенца В.В. включает в себя пояснительную записку и комплект из презентационных слайдов. Содержание диплома полностью соответствует заданию.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы обучающимся Деревенцом В.В. были рассмотрены существующие способы формообразования деталей из композиционных материалов. В результате была выбрана наиболее подходящая по технико-экономическим свойствам технологическая схема

Новизной выпускной квалификационной работы является конструкция криволинейного сотового заполнителя из КМ и разработанный технологический процесс, позволяющий изготавливать данный заполнитель. Для реализации технологического процесса была спроектирована и частично изготовлена технологическая оснастка.

Результаты выпускной квалификационной работы могут быть использованы в усовершенствовании изготовления элементов конструкции летательного аппарата, а также для нужд учебного процесса при подготовке будущих бакалавров

Графическая часть и пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполнены с использованием современной компьютерной техники.

В процессе работы над выпускной квалификационной работой обучающимся Деревенцом В.В. были использован презентационный пакет Microsoft Office PowerPoint и программное обеспечение «NX», что обуславливает хорошее качество графической части и пояснительной записки.

В целом, выпускная квалификационная работа производит хорошее впечатление и заслуживает оценки «отлично», а обучающийся Деревенец Вадим Вольдемарович присвоения ему степени бакалавр по направлению подготовки бакалавров 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов».

Научный руководитель
к.т.н., доцент Р.Ю.Петрушенко

Заключение о проведении проверки выпускной квалификационной работы системой «Антиплагиат КНИТУ-КАИ»

В результате проверки системой «Антиплагиат КНИТУ-КАИ» ВКР студента Деревенца Вадима Вольдемаровича установлено:
Ф.И.О. обучающегося

Оригинальность ВКР составляет 76 %, что соответствует, требованиям порядка и условиям допуска **выпускных квалификационных работ кафедры производства летательных аппаратов** к защите с учетом объемов заимствований с использованием системы «Антиплагиат КНИТУ-КАИ».

08.06.2020
Дата представления ВКР

подпись Ответственного Бодунов Н.М.
Фамилия И.О.

подпись Руководителя Петрушенко Р.Ю.
Фамилия И.О.

подпись зав.кафедрой ПЛА Халиулин В.И.
Фамилия И.О.