

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.Е. Косенко  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
«Повышение точности изделий из композиционных материалов с помощью  
применения термокамер с равномерным тепловым контуром»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»  
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	доцент МБК ПФиКТ канд. техн. наук _____	<u>В.Н. Наговицин</u> инициалы, фамилия
	подпись, дата	должность, ученая степень	
Выпускник	_____		<u>С.С. Бацаев</u> инициалы, фамилия
	подпись, дата		
Рецензент	_____	начальник группы АО «ИСС» _____	<u>В.Е. Чичурин</u> инициалы, фамилия
	подпись, дата	должность, ученая степень	
Нормоконтролер	_____	профессор МБК ПФиКТ д-р техн. наук, доцент _____	<u>В.Е. Чеботарев</u> инициалы, фамилия
	подпись, дата		

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Политехнический институт

институт

Межинститутская базовая кафедра

«Прикладная физика и космические технологии»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.Е. Косенко

подпись      инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
в форме магистерской диссертации

Красноярск 2022

Студенту: Бацаеву Сергею Сергеевичу.

Группа: МТ20-04М.

Направление: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Тема магистерской диссертации (МД): «Повышение точности изделий из композиционных материалов с помощью применения термокамер с равномерным тепловым контуром».

Утверждена приказом по университету от 06.11.2020 № 17244/с

Руководитель МД: к-т техн. наук, профессор, профессор МБК «Прикладная физика и космические технологии» Василий Николаевич Наговицин.

Исходные данные для ВКР:

Коробления получаемых поверхностей сотовых панелей после спекания вызывают внутренние напряжения, что негативно влияет на корпус космического аппарата, а также вызывает трудности при механической обработке закладных элементов.

Перечень разделов МД.

1 Применение и технологии производства полимерных композиционных материалов и сотовых панелей

2 Процесс изготовления сотовых панелей

3 Переоснащение производства

Перечень графического материала представлен в виде слайдов презентации в количестве 18 штук.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

В.Н. Наговицин

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

С.С. Бацаев

«15» сентября 2020

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему: «Повышение точности изделий из композиционных материалов с помощью применения термокамер с равномерным тепловым контуром» содержит 79 страниц текстового документа, 23 использованных источников, 8 таблиц и 27 иллюстраций.

### СОТОВАЯ ПАНЕЛЬ, ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СОТОВЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ

Объектом исследования является сотовая панель, как несущий элемент корпуса космического аппарата.

Цель данной работы состоит в усовершенствовании технологии изготовления сотовых панелей и входящих обшивок с целью получения повышенной плоскостности поверхностей сотовой панели.

Для достижения поставленной цели основными задачами являются:

- изучить область применения сотовых панелей и полимерных композиционных материалов;
- проанализировать существующую технологию, оборудование и технологическое оснащение изготовления сотовых панелей, выявить недостатки;
- разработать мероприятия по переоснащению производства;

Актуальность диссертационной работы заключается в обеспечении производства сотовых панелей необходимым специальным оборудованием и технологическим оснащением для спекания сотовых панелей.

Практическая значимость.

1 Выбранное оборудование и технологическое оснащение позволит избегать короблений поверхностей сотовых панелей, что является снижением внутренних напряжений.

2 Снижение внутренних напряжений в составе сотовых панелей снижает напряжения на кронштейны, вставки и прочие крепежные элементы корпуса космического аппарата.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	7
1 Применение и технологии производства полимерных композиционных материалов и сотовых панелей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1 Технологии изготовления композиционных материалов	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 1 Прессование препрегов методом штамповки	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 2 Метод формования в автоклаве .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 3 Технология изготовления трубчатых изделий	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 4 Технология намотки с использованием нитей	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 5 Технология пултрузии (протяжка) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 6 Инжекционная технология.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 7 Технология формования листовых материалов	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 8 Литье под давлением и инфузия с последующим вакуумным формованием .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 1. 9 Штамповка термопластов армированных углеродным волокном	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 2 Классификация сотовых заполнителей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.1 Типы сотовых заполнителей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.2 Материалы, применяемые при изготовлении сотовых заполнителей	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.3 Требования к заполнителю: .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1. 3 Применение сотовых панелей с обшивками из полимерных композиционных материалов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2 Процесс изготовления сотовых панелей.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. 1 Этапы изготовления сотовых панелей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. 2 Оборудование применяемое при изготовлении сотовых панелей	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. 3 Недостатки существующей технологии изготовления сотовых панелей с обшивками из полимерного композиционного материала	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3 Разработка технического задания переоборудования производства.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3. 1 Технологическая оснастка для изготовления обшивок и склеивания сотовых панелей .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3. 2 Оборудование для склеивания сотовых панелей	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Заключение .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Список сокращений .....	76
Список использованных источников .....	77

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в космических аппаратах широко применяют негерметичную схему компоновки КА. Внедрение такой компоновочной схемы позволяет получить на каждом спутнике значительный выигрыш по массе. Отказ от герметичных контейнеров с ограниченным рабочим ресурсом и переход на негерметичную схему компоновки КА на базе сотовых панелей значительно повышает срок активного существования (САС) спутника: с 3 до 10-15 лет.

В настоящее время Российские предприятия производства космической техники имеют большие наработки в области изготовления сотовых панелей из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Для изделий космической техники при изготовлении термостатированных панелей применяется сотовый наполнитель из алюминиевой фольги.

При проектировании и изготовлении конструкций с наполнителем одним из основных вопросов является рациональный выбор соединений их элементов.

Широкое применение клееных конструкций объясняется рядом их преимуществ по сравнению с другими конструкциями (клепаными, сварными): клееные конструкции обеспечивают высокую прочность при склейке тонких листов; частичное или полное устранение концентраторов напряжений повышает выносливость конструкций; в клееных конструкциях усталостные трещины развиваются более медленно.

К недостаткам клееных конструкций следует отнести относительно невысокую прочность на неравномерный отрыв (отдир); уменьшение прочности клеевого соединения с течением времени при эксплуатации; сложность технологического процесса склеивания; отсутствие надежных методов неразрушающего контроля качества склеивания.

Проблема изготовления сотовых панелей из ПКМ связана со специфическими особенностями композитов. Физико-механические свойства

слоистого композита всецело зависят от его структуры, которая обуславливает его упругие, прочностные, теплофизические характеристики и др. При изготовлении тонких обшивок это проявляется особо ярко. При полимеризации обшивок из ПКМ неизбежно появляются внутренние напряжения, которые влияют на точность панели.

Процесс полимеризации в автоклаве оказывает значительное влияние на качество сотовой панели из ПКМ. Технологическое оснащение используемое при полимеризации сотовых панелей должно быть изготовлено из материала, с наименьшей разницей коэффициента линейного термического расширения, а оборудование должно обеспечивать равномерное температурное поле по всей площади изделия.

Из применяемых в настоящее время КМ можно выделить четыре основных типа: боропластики (БП), углепластики (УП), органопластики (ОП) и стеклопластики (СП). Ведутся работы над созданием и изучением свойств КМ с металлическими волокнами - металлопластики (МП). С целью получения необходимого комплекса свойств применяют также пластики, содержащие два и более типов волокон - гетеропластики (ГП).

Кроме общих достоинств, недостатков и характерных особенностей КМ (высокие удельные механические характеристики однонаправленного КМ вдоль направления армирования, низкие механические характеристики однонаправленного КМ при сдвиге и поперек волокон, анизотропия свойств и т.д.), каждый волокнистый пластик в зависимости от типа наполнителя имеет также свои характерные особенности, которые необходимо учитывать при выборе типа материала в зависимости от технических требований, предъявляемых к материалу конструкции.

Изъято глава 1-3, заключение стр. 9-74

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ДСЕ – деталь, сборочная единица;
- КЛТР – коэффициент линейного термического расширения;
- ПКМ – полимерный композиционный материал;
- САС – срок активного существования;
- НТД – научно-техническая документация;
- МСС – модуль служебных систем;
- МПН – модуль полезных нагрузок;
- АФУ – антенно-фидерное устройство;
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
- ТЭН – трубчатый электронагреватель;
- КМ – композиционные материалы;
- БП – боропластик;
- УП – углепластик;
- ОП – органопластик;
- СП – стеклопластик;
- СЗ – сотовый наполнитель;
- МП – металлопластик;
- ГП – гетеропластик;
- ПО – программное обеспечение;
- ЧПУ – числовое программное управление;
- НТД – научно-техническая документация.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Шатров, А.К. Расчет на прочность и проектирование элементов конструкций из композиционных материалов: учеб. пособие / А. К. Шатров, [и др.]. – Красноярск: Сибирского Государственного аэрокосмического университета, 2005. – 76 с.
- 2 Кербер, М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / М.Л. Кербер [и др.]; под ред. А.А. Берлина. – Санкт-Петербург : Профессия, 2008. – 560 с. – ISBN 978-5-93913-130-8
- 3 Балакирев, В.С. Автоматизированные производства изделий из композиционных материалов / В.С. Балакирев [и др.]. – Москва : Химия, 1990. – 240 с. – ISBN 5-7245-0529-0
- 4 Композиционные материалы, технология и автоматизация производства изделий / Под ред. К.В. Фролова [и др.]. – Москва : Истина и жизнь, 1997. – 547 с.
- 5 Николаев, А.Ф. Технология полимерных материалов: учеб. пособие / А.Ф. Николаев [и др.]; под общ. ред. В.К. Крыжановского. – Санкт-Петербург: Профессия, 2008. – 544 с. – ISBN 978-5-93913-152-0
- 6 Ромашин, А.Г. Прогрессивные технологии и полимерные композиционные материалы для авиационной и ракетно-космической техники XXI века. / А.Г. Ромашин, В.В. Викулин, Н.В. Мухин // Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов: тр. междр. конф. – Москва: МГУ, 2003. – С. 532-543.
- 7 Воскресенский, А.М. Теоретические основы переработки эластомеров / А.М. Воскресенский. – Ленинград : ЛТИ им. Ленсовета, 1986. – 88 с.
- 8 Пилиповский, Ю.Л. Композиционные материалы в машиностроении / Ю.Л. Пилиповский [и др.]. - Киев: Техника, 1990. - 141 с. – ISBN 5-335-00413-4

- 9 Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва :КолосС, 2007. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0466-8
- 10 Липатов, Ю.С. Физико-механические основы наполнения полимеров. Москва: Химия, 1991. 260 с. – ISBN 5-7245-0453-7
- 11 Хрульков, А.В. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ / А.В. Хрульков [и др.] / Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 292–301 – ISBN 978-5-905217-02-9
- 12 Тимошков, П.Н. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения / П.Н. Тимошков, Д.И. Коган / Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №4. Ст. 07
- 13 Душин, М.И. Выбор технологических параметров автоклавного формования деталей из полимерных композиционных материалов / М.И. Душин [и др.] / Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 20–26.
- 14 Халиулин, В.И. Технология производства композитных изделий/ В.И. Халиулин, И.И. Шапаев / Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003. – ISBN 978-5-7579-2339-0
- 15 Презентация Компании Euro-CompositesGroup [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.euro-composites.com/ru/EC\\_Company\\_Russian.pdf](https://www.euro-composites.com/ru/EC_Company_Russian.pdf) (дата обращения 25.02.2022)
- 16 154.ТУ147 Углепластик КМУ-3198/4. Технические условия. – Введ. 10.11.2011. – 18 с.
- 17 Тестоедов, Н.А. Технология производства космических аппаратов / Н.А. Тестоедов [и др.]. –Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2009. – 352 с. – ISBN 978-5-86433-404-1
- 18 ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – Введ. 03.12.2013. – Москва : Стандартинформ – 2015. – 32 с.

19 ГОСТ 4543-2016 Metalлоконструкции из конструкционной легированной стали. Технические условия. – Введ. 25.10.2016. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 50 с.

20 ГОСТ 7769-82 Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. – Введ. 01.01.83. – Москва : Стандартиформ – 1983. – 28 с.

21 Пат. 2535957 Российская Федерация, МПК F26B 9/06. Термокамеры и способ её работы / Агашкин, С.В. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество “Информационные спутниковые системы” имени академика М.Ф. Решетнёва” - № 2012126206 ; заявл. 22.06.2012 ; опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35 – 6с.

22 Бацаев, С. С. Методика изготовления сотовых панелей из полимерного композиционного материала / С. С. Бацаев // Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2019. – Т. 1 – С. 78–79.

23 Патраев, Е. В. Методика изготовления рефлектора из полимерного композиционного материала / Е. В. Патраев // Материалы XXV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2021. – Т. 1– С. 43–44.

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт  
институт

Межинститутская базовая кафедра  
«Прикладная физика и космические технологии»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.Е. Косенко

подпись

инициалы, фамилия

2022 г.

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИСЕРТАЦИЯ

«Повышение точности изделий из композиционных материалов с помощью  
применения термокамер с равномерным тепловым контуром»  
тема

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
код и наименование направления

15.04.05.02 «Технология космических аппаратов»  
код и наименование магистерской программы

НАУЧНЫЙ  
РУКОВОДИТЕЛЬ  
ВЫПУСКНИК  
РЕЦЕНЗЕНТ  
НОРМОКОНТРОЛЕР

ПОДПИСЬ, ДАТА  
19.06.22  
ПОДПИСЬ, ДАТА  
21.06.22  
ПОДПИСЬ, ДАТА  
20.06.22

ДОЦЕНТ МБК ПФИКТ  
КАНД. ТЕХН. НАУК  
ДОЛЖНОСТЬ, УЧЕНАЯ СТЕПЕНЬ

НАЧАЛЬНИК ГРУППЫ  
АО «ИСС»  
ДОЛЖНОСТЬ, УЧЕНАЯ СТЕПЕНЬ

ПРОФЕССОР МБК ПФИКТ  
Д-Р ТЕХН. НАУК, ДОЦЕНТ

В.Н. Наговицын  
инициалы, фамилия

С.С. Бацаев  
инициалы, фамилия

В.Е. Чичурин  
инициалы, фамилия

В.Е. Чеботарев  
инициалы, фамилия