|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

|  |  |
| --- | --- |
| ФАКУЛЬТЕТ | Специальное машиностроение |

|  |  |
| --- | --- |
| КАФЕДРА | Космические аппараты и ракеты-носители |

***НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА***

***НА ТЕМУ:***

***Различные методы соединения композиционных материалов в узлах ракеты.***

***Перспективные методы соединения.***

|  |  |
| --- | --- |
| Студент | СМ1-91 |
|  | (Группа) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | А.В. Копылов |
| (Подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |

|  |  |
| --- | --- |
| Студент | СМ1-91 |
|  | (Группа) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | А.Р. Новиков |
| (Подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | А.О. Шахведов |
| (Подпись, дата) |  | (И.О. Фамилия) |

Руководитель

*2024 г.*

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 4](#_Toc178706038)

[Глава 1 Особенности композиционных материалов 5](#_Toc178706039)

[1.1 Физико-механические свойства композиционных материалов 5](#_Toc178706040)

[1.2 Особенности производства композиционных материалов 5](#_Toc178706041)

[1.3 Сравнение композиционных материалов с традиционными 5](#_Toc178706042)

[1.3.1 Преимущества 5](#_Toc178706043)

[1.3.2 Недостатки 5](#_Toc178706044)

[1.4 Области применения композиционных материалов 5](#_Toc178706045)

[Глава 2 Классификация соединений 6](#_Toc178706046)

[2.1 Неразъёмные соединения 6](#_Toc178706047)

[2.1.1 Клеевое соединение 6](#_Toc178706048)

[2.1.2 Заклёпочное соединение 6](#_Toc178706049)

[2.1.3 Сварка 6](#_Toc178706050)

[2.1.4 Формование 6](#_Toc178706051)

[2.2 Разъёмные соединения 6](#_Toc178706052)

[2.2.1 Штифта-болтовое соединение 6](#_Toc178706053)

[2.2.2 Закладные элементы 6](#_Toc178706054)

[Глава 3 Расчёт на прочность некоторых типов соединений 7](#_Toc178706055)

[3.1 Расчёт неразъёмного соединения 7](#_Toc178706056)

[3.1.1 Аналитический метод 7](#_Toc178706057)

[3.1.2 Метод конечных элементов 7](#_Toc178706058)

[3.1.3 Сравнение соединения с аналогичным при использовании традиционных материалов 7](#_Toc178706059)

[3.2 Расчёт разъёмного соединения 7](#_Toc178706060)

[3.2.1 Аналитический метод 7](#_Toc178706061)

[3.2.2 Метод конечных элементов 7](#_Toc178706062)

[3.2.3 Сравнение соединения с аналогичным при использовании традиционных материалов 7](#_Toc178706063)

[Глава 4 Перспективы развития 8](#_Toc178706064)

[4.1 Совершенствование имеющихся методов 8](#_Toc178706065)

[4.2 Новые методы соединения 8](#_Toc178706066)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 9](#_Toc178706067)

# ВВЕДЕНИЕ

Конструкции и узлы современных ракет предъявляют высокие требования к материалам и методам их соединения. Композиционные материалы, благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая прочность при малом весе, устойчивость к коррозии и температурным воздействиям, становятся все более популярными в этой области. Однако их использование требует разработки и внедрения эффективных методов соединения, которые обеспечат надежность и долговечность конструкции.

Цель данной работы — исследование различных методов соединения композиционных материалов в узлах ракеты, а также анализ перспективных технологий, которые могут быть внедрены в ближайшем будущем. В работе рассматриваются как традиционные методы, такие как штифто-болтовые соединения и сварка, так и инновационные подходы, включая использование формования. Ожидается, что результаты данного исследования помогут в выборе наиболее эффективных методов соединения композиционных материалов, что в свою очередь будет способствовать повышению надежности и эффективности ракетных систем

Первая глава работы посвящена обзору композиционных материалов, а именно их свойствам, преимуществам и недостаткам. Кроме того, будут рассмотрены особенности их производства и области применения. Во второй главе будет рассмотрена классификация соединений. Будут описаны их виды, а также особенности. В третьей главе будет проведен расчет некоторых видов соединений на прочность различными методами и сравнение с аналогичными соединениями с применением традиционных материалов. В четвертой главе мы поговорим про перспективы развития методов соединения.

# Особенности композиционных материалов

## Физико-механические свойства композиционных материалов

Компонентами композиционных материалов являются различные дискретные и непрерывные волокна, а также матричные материалы.

В качестве армирующего наполнителя в КМ с матрицей из синтетических смол применяют стеклянные, арамидные, углеродные и борные волокна. Кроме того, используют базальтовые, сапфировые волокна, на основе карбида кремния, полиэтиленовые волокна. В композитах на основе металлической матрицы применяют проволоки из стали, вольфрама, бериллия, титана, ниобия и других металлов. Армирующие волокна могут иметь неоднородную структуру и обладать анизотропией механических характеристик.

**Сравнительная характеристика волокон**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства | Волокно | | | |
| Стеклянное | Борное | Углеродное | Арамидное |
| Удельная прочность | Высокая | Высокая | Средняя | Очень высокая |
| Удельный модуль | Низкий | Высокий | Очень высокий | Средний |
| Сопротивление удару | Отличное | Удовлетворительное | Плохое | Отличное |
| Удлинение при разрыве | Высокое | Низкое | Среднее | Среднее |
| Теплопроводность | Низкая | Средняя | Высокая | Низкая |
| Температурный КЛТР | Средний | Средний | Очень низкий | Очень низкий |
| Демпфирующая способность | Высокая | Удовлетворительная | Хорошая | Отличная |
| Наименьший радиус изгиба | Малый | Очень большой | Малый | Малый |
| Чувствительность к повреждениям при переработке | Средняя | Средняя | Высокая | Низкая |
| Возможность переработки в ленты и ткани | Хорошая | Плохая | Хорошая | Хорошая |
| Стоимость | Очень низкая | Высокая | Умеренная | Умеренная |

К волокнам с ярко выраженной анизотропией свойств относятся органические, арамидные, углеродные и борные волокна. Металлические и СВ считают однородными и изотропными.

**Основные характеристики стеклянных крученых комплексных нитей**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка | Техническая документация | Линейная плотность, текс | Крутка, кр/м | Тип замасливателя, потери при прокаливании, % (масс.) |
| Нити из алюмоборосиликатного стекла | | | | |
| БС6-26х1х4(у) | ТУ6-11-116-75 |  |  | ПЭ н/б 2,0 |
| БС5-3,4х1х2-80 | ТУ6-11-383-76 |  |  | №80 0,8-2,0 |
| Нити из бесщелочного безборного стекла Т-273А | | | | |
| ТС8-26х1х4 | ТУ6-11-431-77 |  |  | ПЭ 1,5-0,5 |
| ТС8-26х1х2 | ТУ6-11-431-77 |  |  | ПЭ 1,5-0,5 |
| Нити кремнеземные из стекла №11 | | | | |
| К11С6-180 | ОСТ-11-389-74 |  |  |  |
| К11С6-180-13 | ОСТ-11-389-74 |  |  | №13 |
| К11-170-БА | ОСТ-11-389-74 |  |  | №13 |
| Нити кварцевые | | | | |
| КС11-17х4х3 | ТУ6-11-82-75 | 204 |  | ПЭ н/б 2,5 |
| КС11-17х2х3 | ТУ6-11-82-75 | 102 |  | ПЭ н/б 2,5 |

**Характеристики стеклянных волокон**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Свойства | Марка стекла | | |
| МАС | АБС | КС |
| Плотность | 2480 | 2540 | 2490 |
| Предел прочности при растяжении |  | | |
| При 22 ⁰С | 4585 | 3448 | 3033 |
| При 371 ⁰С | 3768 | 2620 | - |
| При 533 ⁰С | 2413 | 1724 | - |
| Модуль упругости при растяжении , МПа, при 22 ⁰С | 85.5 | 72.4 | 69.0 |
| Предел текучести , % | 5.7 | 4.8 | 4.8 |
| КЛТР | 5.6 | 5.0 | 7.2 |
| Коэффициент теплопроводности | - | 10.4 | - |
| Удельная теплоемкость | 0.176 | 0.197 | 0.212 |
| Температура размягчения T, ⁰С | - | 841 | 749 |

МАС – магнийалюмосиликатные, АБС – алюмоборосиликатные, КС – кислотостойкие.

Механические характеристики арамидных и полиэтиленовых волокон

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка материала | Плотность | Прочность при растяжении | Модуль упругости | Удлинение при разрыве, % |
| Армос | 1450 | 5000-5500 | 140-142 | 3,5-4,5 |
| СВМ | 1430 | 3800-4200 | 120-135 | 4,0-4,5 |
| Терлон | 1450 | 3100 | 100-150 | 2-3,5 |
| Кевлар-29 | 1440 | 2920 | 69-77 | 3,6 |
| Кевлар-129 | 1440 | 3200 | 75-98 | 3,6 |
| Тварон | 1440 | 2800 | 80-120 | 3,3-3,5 |
| Технора | 1390 | 3000-3400 | 71-83 | 4,2 |
| Спектра 900 | 970 | 2570 | 50-120 | 3-6 |
| Дайнема | 970 | 3350 | 50-120 | 3-6 |
| Текмилон | 960 | 3500 | 100 | 4 |

**Механические характеристики углеродных волокон**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка волокна | Плотность | Диаметр | Модуль упругости | Средняя прочность | Предельная деформация |
| ВМН-3 | 1,71 | 7,0 | 250 | 1,43 | 0,6 |
| ВМН-4 | 1,71 | 6,0 | 270 | 2,21 | 0,8 |
| ВЭН-210 | - | 9,9 | 343 | 1,47 | 0,4 |
| Кулон | 1,90 | - | 400-600 | 2,0 | 0,4 |
| ЛУ-2 | 1,70 | - | 230 | 2,0-2,5 | 1,0 |
| ЛУ-3 | 1,70 | - | 250 | 2,5-3,0 | 1,1 |
| ЛУ-4 | 1,70 | - | 250 | 3,0-3,5 | 1,3 |
| Урал-15 | 1,5-1,6 | - | 70-80 | 1,5-1,7 | 2,1 |
| Урал-24 | 1,7-1,8 | - | 150-200 | 1,7-2,0 | 1,1 |
| Элур | 1,6 | - | 150 | 2,0 | 1,3 |
| УКН-5000 | 1,75 | - | 180-230 | 3,0-3,5 | 0,9 |
| Торнел-800 | 1,80 | 6,0 | 273 | 5,46 | 2,0 |
| Хитекс-46 Н | 1,80 | 5,0 | 322 | 5,6 | 1,7 |
| Торейка Т-300 | 1,76 | 8,4 | 235 | 3,53 | 1,5 |
| М-50 | 1,90 | - | 500 | 2,35 | 0,5 |

Механические характеристики борных волокон

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Страна, марка волокна | Плотность | Диаметр | Модуль упругости | Средняя прочность на базе 10 мм | Предельная деформация |
| США, Аусо | 2,5 | 98 | 390-400 | 3,39 | 0,85 |
| Япония, Toshiba | 2,5 | 97,2 | 363-386 | 3,74 | 1,0 |
| Франция, SMPE | 2.5 |  | 408 | 3.57 | 0.88 |
| ФРГ, Wacker-Chemie | 2.54 |  | 420 | 3.10 | 0.74 |
| Россия | 2,5 |  | 394 | 2.95-3.5 | 0.75-0.9 |

## Особенности производства композиционных материалов

В настоящее время известно множество технологических процессов переработки композиционных материалов в изделия различных размеров, конфигурации и целевого назначения. Опишем основные технологические процессы формования, применяемые в производстве изделий из КМ.

1. Контактное формование.

Процесс КФ заключается в послойной укладке заготовок из волокнистого наполнителя на форму вручную, напылением или с помощью специальных выкладочных центров. Пропитку заготовок можно осуществлять как на форме, так и предварительно с последующим удалением пузырьков воздуха из межслойного пространства.

1. Намотка.

Процесс заключается в укладке нити, жгута, ленты или ткани на вращающуюся или неподвижную оправку и отверждении изделия на оправке. Существует множество способов укладки: спиральная намотка, закатка, продольно-поперечная, по геодезическим линиям, хордовая, обмотка неподвижной оправки и т.д.

1. Пултрузия.

В технологическом процессе ориентация волокон в профилях различных сечений осуществляется методом протяжки, согласно которому собранные в жгут волокна с нанесенным связующим протягивают через клинообразную нагретую фильеру, где происходит уплотнение и отверждение материала. Поскольку при этом исключается выдержка материала под давлением, то в процессе пултрузии используют, как правило, расплавы смол, не содержащие растворителей (эпоксидные, полиэфирные).

1. Предварительное формование заготовок и матов.

Независимо от выбранных способов процессы предварительного формования заготовок и матов можно считать примерно одинаковыми, различие состоит лишь в подготовке материалов (до формования) и сложности получаемых изделий. Этим способом получают предварительно отформованные заготовки, близкие по форме к детали, а также маты, которые в дальнейшем перерабатываются в изделия.

## Сравнение композиционных материалов с традиционными

Получение КМ с заданными физико-механическими характеристиками имеет ряд особенностей:

1. Свойства КМ формируются в процессе производства конкретной конструкции.
2. Процесс проектирования изделия начинается с конструирования самого материала – выбора его компонентов и назначения оптимальных режимов производства.
3. Без учета особенностей технологии производства нельзя правильно назначить требования к КМ как к конструкционному материалу и тем более к самой конструкции.
4. Главная особенность создания конструкций из КМ, в отличие от традиционных конструкций, заключается в том, что конструирование материала, разработка технологического процесса изготовления и проектирование самой конструкции – это единый взаимосвязанный процесс, в котором каждая из составляющих не исключает, а дополняет и определяет другую.

### Преимущества

Композиционные материалы, как правило, легче традиционных, что позволяет снизить общий вес конструкций и улучшить их производительность, особенно в авиации и автомобилестроении.

Многие композиционные материалы обладают высокой прочностью на сжатие и растяжение, что делает их идеальными для использования в конструкциях, требующих высокой прочности при низком весе.

Композиционные материалы, особенно полимерные, часто более устойчивы к коррозии и воздействию химических веществ, чем металлы, что увеличивает срок службы изделий.

### Недостатки

Производство композиционных материалов может быть дороже, чем традиционных, из-за сложных технологий и процессов, необходимых для их изготовления. Это может ограничивать их использование в некоторых приложениях.

Композиционные материалы могут быть сложнее в обработке и формовке, чем традиционные материалы. Например, резка, сверление и шлифовка могут требовать специализированного оборудования и инструментов.

Некоторые композиционные материалы могут иметь ограничения по температуре эксплуатации. Например, полимерные матрицы могут терять свои свойства при высоких температурах.

## Области применения композиционных материалов

# Классификация соединений

## Неразъёмные соединения

### Клеевое соединение

### Заклёпочное соединение

### Сварка

### Формование

## Разъёмные соединения

### Штифта-болтовое соединение

### Закладные элементы

# Расчёт на прочность некоторых типов соединений

## Расчёт неразъёмного соединения

### Аналитический метод

### Метод конечных элементов

### Сравнение соединения с аналогичным при использовании традиционных материалов

## Расчёт разъёмного соединения

### Аналитический метод

### Метод конечных элементов

### Сравнение соединения с аналогичным при использовании традиционных материалов

# Перспективы развития

## Совершенствование имеющихся методов

## Новые методы соединения

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ