|  |  |
| --- | --- |
| 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

## Особенности производства композиционных материалов

## Сравнение композиционных материалов с традиционными

### Преимущества

### Недостатки

## 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