

Московский Авиационный Институт
(Национальный Исследовательский Университет)
Кафедра 102

СПЕЦЧАСТЬ

Анализ вариантов составляющих конструкции из КМ
силового элемента втулки РВ вертолета

Выполнил: студент
гр. У1-601:Шичанин К.А.

Москва 2015 г.

Содержание

Введение.

1. Составные части элемента силового.
2. Приспособление для пропитки арамидной нити Русар.
3. Приспособление для намотки элемента силового
4. Варианты изменения характеристик СЭ, на основе замены арамидных волокон в конструкции изделия, на другие материалы.
5. Испытания на крутильную жесткость элемента силового.
6. Определение состава смолы и летучих в образцах-свидетелях элемента силового.

Выводы.

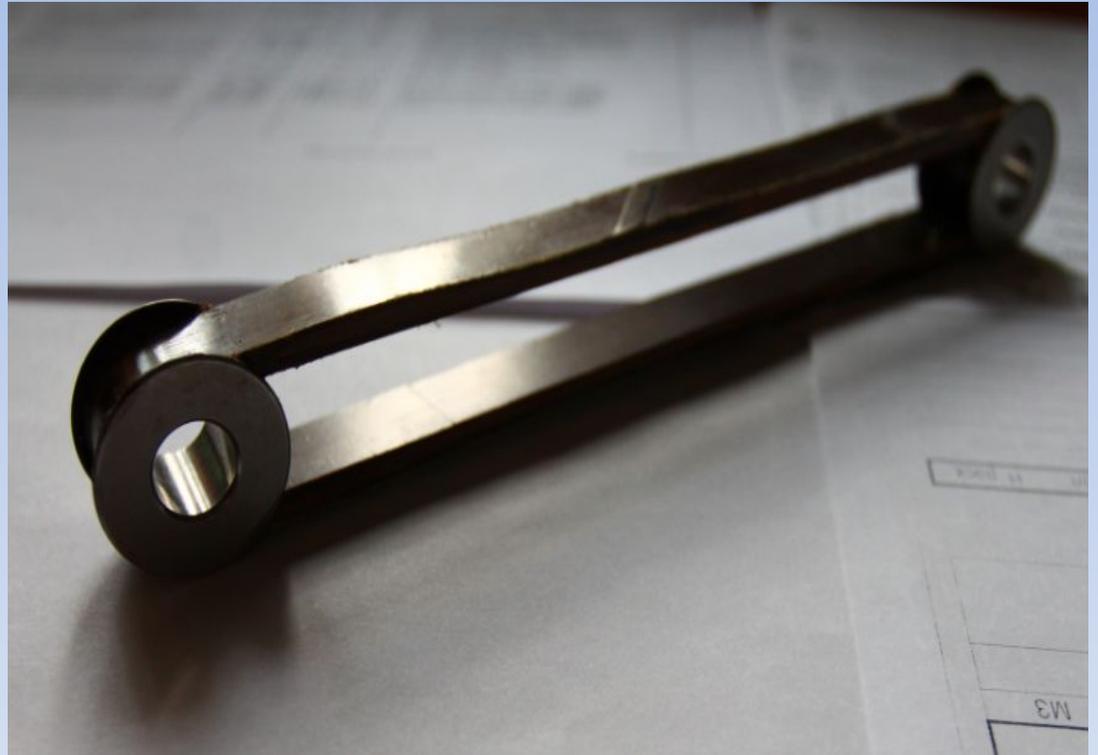
Список литературы.

Введение

- Силовой элемент, его назначение.
- Типы формования изделия.
- Выкладка и Намотка. Сравнение.

Элемент Силовой

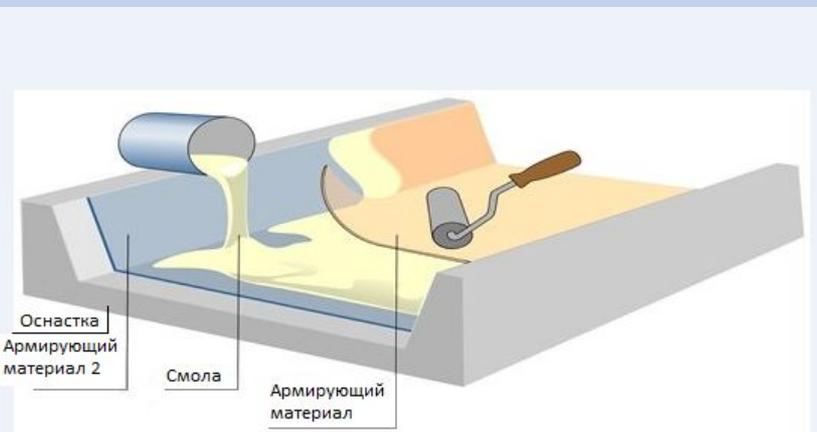
- Соединение лопасти с валом редуктора РВ;
- Распределение по собственной оси центробежной силы;
- Сдерживание паразитных моментов кручения.



Типы формования изделия

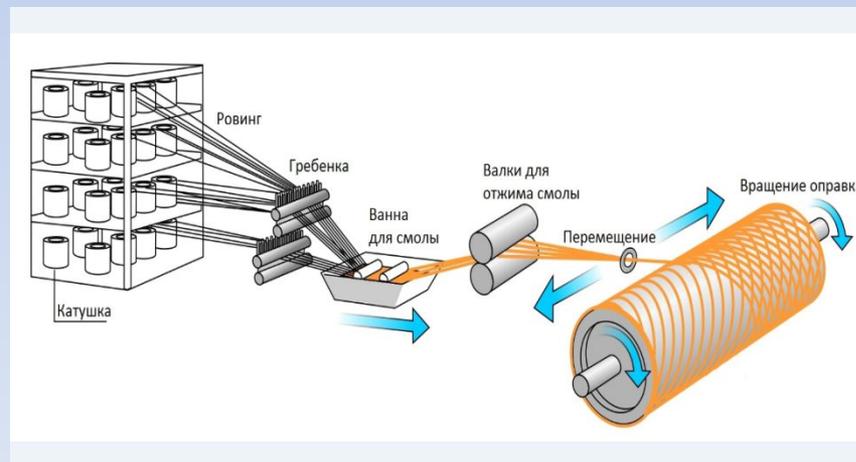
Выкладка

Процесс контактного формования наполнителей с полимерным материалом.



Намотка

Процесс формования полых изделий путем укладки армирующего материала, пропитанного полимерным связующим на оправку с последующим отверждением полученной заготовки и снятием ее с оправки.



Типы формования изделия (Достоинства и недостатки методов)

Выкладка

- Достоинством метода является его универсальность, т.е. получение изделий практически любых форм и размеров.
- К недостаткам метода относятся: отсутствует возможность регулирования содержания наполнителя, большие затраты ручного труда, длительный цикл изготовления изделия, высокие расходы на материал.

Намотка

- К достоинствам относится то, что намотка отлично подходит для формирования тел вращения.
- К недостаткам относится недостаточный натяг армирующего материала в случае плоских углов намотки.

Типы формования изделия (Два вида намотки)

«Сухой» способ

- Волокнистый армирующий материал перед формованием предварительно пропитывают связующим на пропиточных машинах, которые обеспечивают не только качественную пропитку, но и требуемое равномерное содержание связующего в препреге на основе стекло-, органических и углеволокон за счёт применения различных растворителей для регулирования вязкости связующего в процессе пропитки.

Методом «сухой» намотки изготавливается силовой элемент.

«Мокрый» способ

- Пропитка наполнителя с чередованием слоев непропитанного или частично пропитанного наполнителя со слоями связующего в виде расплава пленки или с использованием наполнителей, в которых армирующие волокна чередуются с волокнами связующего материала (волоконная технология). Нити пропитываются непосредственно в процессе намотки.
- Преимущество мокрой намотки, по сравнению с сухой - более низкая стоимость, лучшее сцепление нитей.
- Из минусов - неравномерное содержание смолы в наполнителе, меньший натяг нити, вредность процесса.

Понятие препрега

Препреги (англ. *pre-preg*, сокр. от *pre-impregnated* — предварительно пропитанный) это композиционные материалы-полуфабрикаты. Готовый для переработки продукт предварительной пропитки связующим упрочняющих материалов тканой или нетканой структуры.

Их получают путем пропитки армирующей волокнистой основы равномерно распределенными полимерными связующими. Пропитка осуществляется таким образом, чтобы максимально реализовать физико-химические свойства армирующего материала.

Препреговая технология позволяет получить монолитные изделия сложной формы при минимальной инструментальной обработке по сравнению, например, с механической.

1. Составные части СЭ.

СЭ состоит из следующих частей:

1. Втулка. Служит для крепления СЭ к валу редуктора. Благодаря высоким стенкам не дает расползаться ленте препрега при намотке.
2. Резиновая прокладка. Для работы СЭ на крутильную жесткость. Благодаря ей, СЭ может принимать угол закручивания/раскручивания $\pm 30^\circ$.
3. Нить арамидная Русар. Для работы на центробежную силу. Является наполнителем СЭ и воспринимает основную нагрузку от центробежной силы.
4. Связующее. Матрица для СЭ. Формообразующий компонент. Добавляет анизотропию свойств. Ее задача распределить внешнюю нагрузку по площади силового элемента, а так же защита наполнителя от повреждений.



2. Приспособление для пропитки арамидной нити Русар.

- Приспособление состоит из каркаса с катушками и пропиточной машины.
- Нить с катушек проходит через стабилизаторы и направляющие, установленные на каркасе, по пути следования нити.
- Далее, нить проходит через направляющие пропиточной машины и поступает на вал уже в виде ленты.



2. Приспособление для пропитки арамидной нити Русар (Процесс пропитки)

Пропиточную машину, лента арамидной нити проходит в 3 этапа:

- Сушка арамидной нити и формирование ленты из будущего препрега.
- Прохождение нити через ванну со связующим, и прижимную планку, отжимающую излишки связующего на нити, формирование препрега.
- Сушка препрега после прохождения второго этапа пропитки.

Из пропиточной машины препрег поступает на катушку в виде ленты, с которой будет отрезаться и наматываться на оправку. Попутно от препрега отрезают часть ленты для проверки на содержание смолы и летучих веществ.

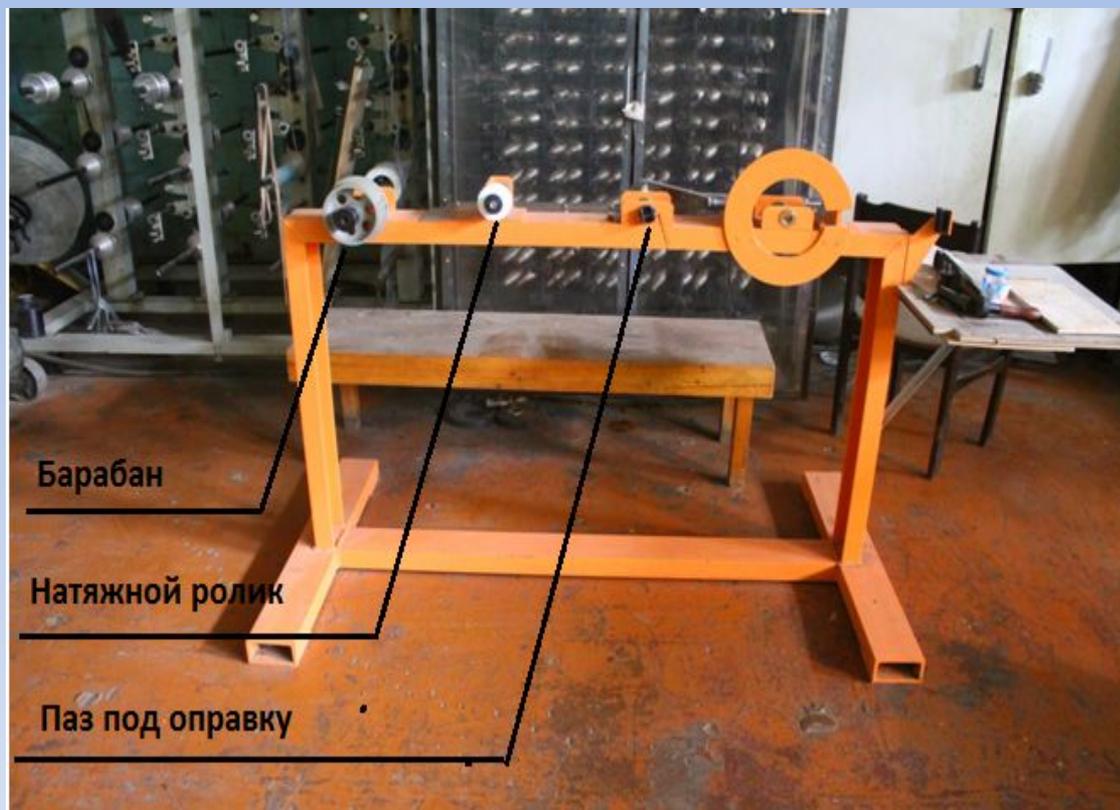
2. Приспособление для пропитки арамидной нити Русар (Особенности пропитки)

- Чтобы структура материала имела стабильные свойства при намотке, необходимо следить за температурными показателями. Их изменения оказывают влияние как на вязкость связующего, так и на колебания степени наполнителя.
- При увеличении температуры уменьшается вязкость связующего, что способствует стабилизации уплотнения наполнителя и его пропитки. При этом важно помнить, что при сильном повышении температуры жизнеспособность связующего вещества уменьшается.
- Чтобы готовое изделие было качественным, необходимо следить за качеством пропитки наполнителя при сухом формировании и поддерживать необходимое соотношение компонентов при формировании изделий мокрым методом.

3. Приспособление для намотки СЭ.

Приспособление состоит из металлического каркаса.

На каркасе установлены вал с барабаном (для крепления катушки с препрегом), натяжные ролики, посадочное место (паз) оправки для намотки.



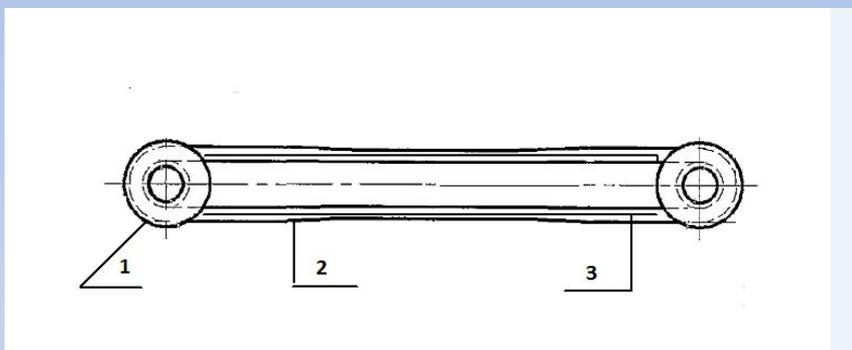
3. Приспособление для намотки СЭ.

(Процесс намотки)

1. На барабан устанавливается катушка с препрегом. Лента фиксируется в верхней точке катушки, проверяется натяжение ленты препрега.
2. Втулки будущего силового элемента пескоструят и наносят слой клеевой пленки.
3. Комлеву катушку обматывают куском ленты и оставляют.
4. На концевой катушке делается один оборот лентой препрега между направляющими втулки и продолжают намотку по двум катушкам.
5. Ленты препрега не всегда равномерны по ширине. Существуют схемы намотки и ленты с движениями, позволяющими максимально равномерно распределить толщины слоев препрега.
6. Спустя несколько оборотов, накладываются усиливающие пакеты ленты.
7. Кладется резиновая прокладка.
8. Повторный слой усиливающих лент.
9. Окончательная обмотка силового элемента.
10. Автоклавное формование.

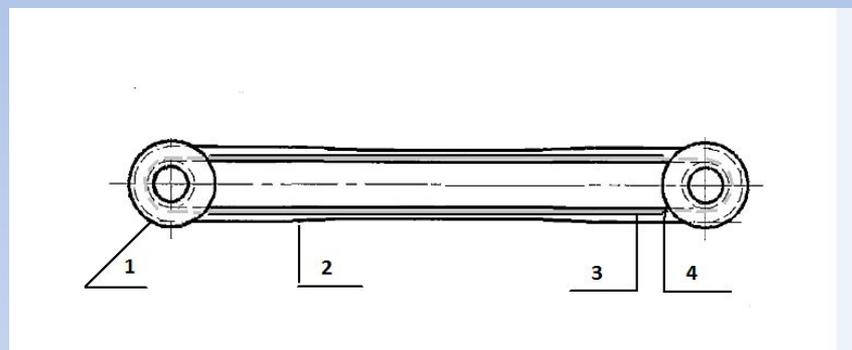
4. Варианты изменения характеристик СЭ

Изменение 1. Замена Органоволокна РУСАР-С, органоволоком Армос.



1. Втулка СЭ.
2. Ленточный препрег органоволоконна «Армос», пропитанного связующим.
3. Резиновая прокладка.

Изменение 2. Замена органоволоконна РУСАР-С, органоволоком Армос, с примесью углеволоконна УКН.



1. Втулка СЭ.
2. Ленточный препрег органоволоконна «Армос», пропитанного связующим.
3. Резиновая прокладка.
4. Углеволоконно УКН.

**Таблица 1.1 Свойства нитей - материалов,
предполагаемых к изготовлению трех вариантов СЭ
втулки РВ вертолета.**

Марка материала	Плотность ρ, г/см³	Модуль упругости E, ГПа	Прочность σ_b, кгс/мм²	Относительное удлинение, %	Линейная плотность, текс (г/км)	Разрушающее напряжение, ГПа (кгс/мм²)
Органоволокно РУСАР-С	1,450	165-175	550-600	3	58,8	3,0
Органоволокно АРМОС	1,420	150-160	550-600	3,5	58,8	3,0
Углеволокно УКН	1,76	240	550	0,9	530	4,5

Характер изменений

Изменение 1

- Уменьшилась масса СЭ. На комплект СЭ масса уменьшится на 60 г.
- Уменьшился модуль упругости и увеличилось относительное удлинение. При этом, СЭ выдерживает нагрузки, порядка 7000 кгс/см².
- Выводы:
- Конструкция облегчена. Финансово в том числе (Волокна «Армос» дешевле «РУСАР-С» на 30%. Цены взяты с <http://tula.flagma.ru/>).
- Несмотря уменьшение прочностных характеристик, конструкция СЭ может выдерживать требуемые нагрузки (7000 кг*с).
- Из за увеличения величины удлинения, создается опасность царапания лопасти РВ об оболочку РВ.
- Необходимо понизить коэффициент относительного удлинения, за счет введения углеволокна с меньшим к-том

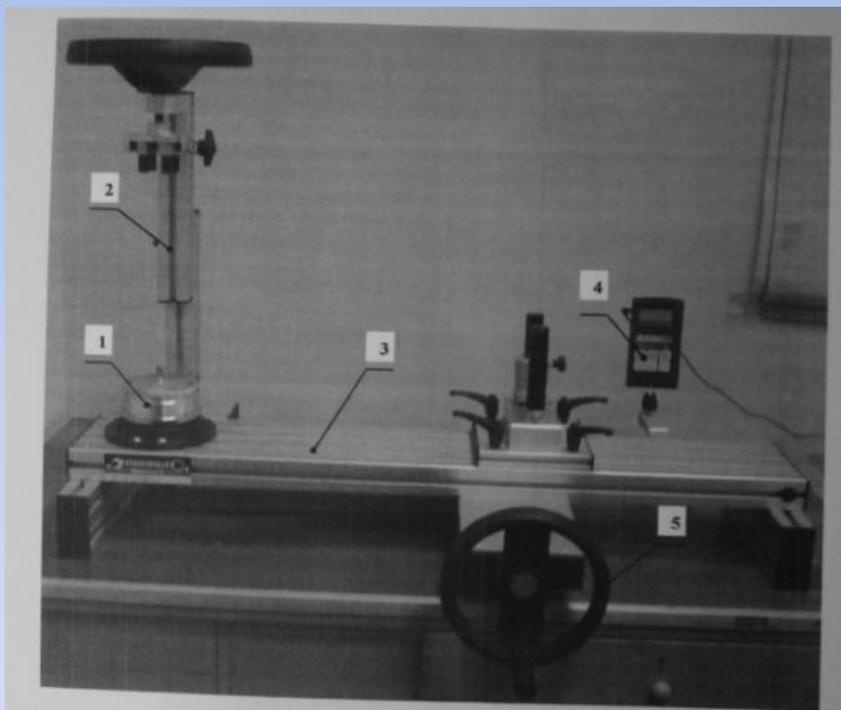
Изменение 2

- Выигрыш в массе отсутствует.
- Это компенсируется приростом в к-те относительного удлинения.
- Увеличился модуль упругости, повысилась прочность нити (по сравнению с изменением 1).
- Выводы:
- Экономический выигрыш, по сравнению с исходной конструкцией 10%.
- Достижение поставленных целей в выводах предыдущего изменения (см. таблицу 1.1.).

5. Испытание на крутильную жесткость силового элемента.

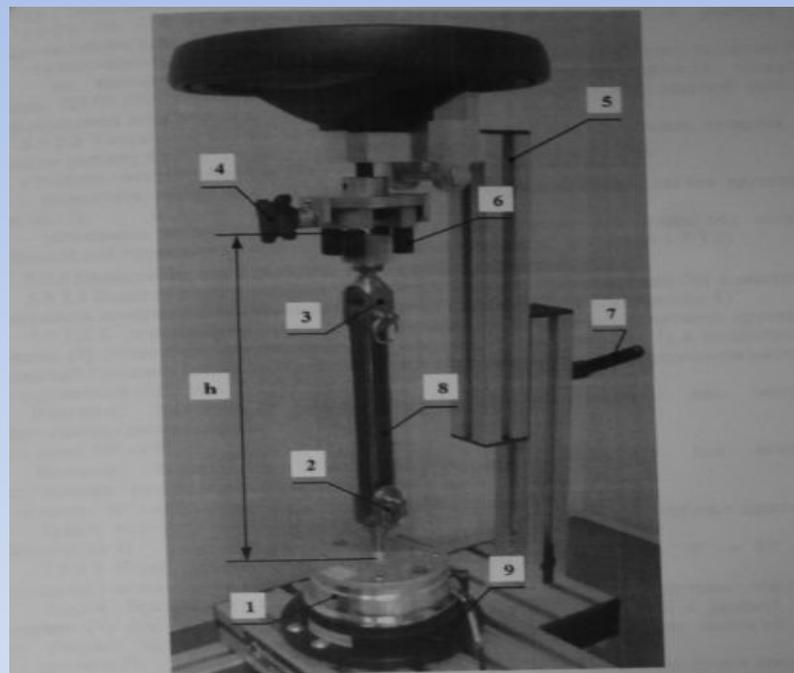
- Цель испытания: измерение крутильной жесткости силового элемента.
- **Объект испытания.**
- Силовой элемент.
- **Порядок проведения испытания.**
- Крутильную жесткость измеряют при проведении стендовых испытаний.
- Крутильная жесткость силового элемента - способность силового элемента сопротивляться деформации при закручивании.
- Для проведения испытаний используется калибровочная установка SAHL WILLE.
- Жесткостную характеристику определяют параметры:
- - Угол закручивания (градусы);
- - Прилагаемый момент (кгс *м), при заданном угле закручивания.
- Силовой элемент устанавливается на устройство для моментных отверток. В четырехточечный зажим вставляется вилка со втулкой элемента силового. Производится закручивание/раскручивание силового элемента вращением ручки механизма закручивания датчика крутящего момента в диапазоне углов от 0° до 30° с шагом 5°. Данные об испытании заносятся в таблицу протокола об испытании.
- Формула, для расчета среднего момента, при определенном угле закручивания:
- $$M_{\text{ср.}} = (M_{\text{пр.}} + M_{\text{обр.}}) / 2$$
- $M_{\text{ср.}}$ - средний момент (кгс *м);
- $M_{\text{пр.}}$ - момент, измеренный во время закручивания силового элемента;
- $M_{\text{обр.}}$ - момент, измеренный во время раскручивания силового элемента.

5. Испытание на крутильную жесткость силового элемента. (Схема установки)



- 1 - Датчик крутящего момента Sensotork 7721 (от 0,2 до 10 Нм; от 0,0204 до 1,02 кгс-м);
- 2 - Испытательное устройство для моментных отверток Manutork 7791-2;
- 3 - Базовое механическое нагружающее устройство Manutork 7791;
- 4 - Индикаторное устройство Sensotork 7750.
- 5 - Ручка механизма закручивания датчика крутящего момента;

Рисунок 1 – Комплекс измерительный STAHLWILLE для определения крутящего момента



- 1 - Датчик крутящего момента Sensotork 7721;
- 2 - Вилка № 2 (вилка маркирована красной точкой);
- 3 - Вилка № 1 с гайкой;
- 4 - Вентиль для регулировки сжатия четырех точечного зажима;
- 5 - Испытательное устройство для моментных отверток Manutork 7791-2;
- 6 - Четырехточечный зажим;
- 7 - Ручка регулировки высоты испытательного устройства;
- 8 - Объект испытаний (силовой элемент);
- 9 - Поворотное устройство крепления датчика крутящего момента.

Рисунок 4 - Комплекс STAHLWILLE с закрепленным силовым элементом

6. Определение состава смолы и летучих в образцах-свидетелях СЭ.

- Цель испытания: определить состав связующего и летучих веществ в образцах препрега.
- **Объект испытания.**
- Связующее, арамидная нить.
- **Порядок проведения испытания.**
- Метод основан на выжигании связующего из нити при температурах 700-750° С.
- Для осуществления метода необходимо следующее:
- Весы аналитические.
- Муфельная печь.
- Определение процентного содержания наполнителей, связующего и пор проводится на трех параллельных образцах. В случае расхождения более чем на 2 % определение содержания составляющих компонентов композиционного материала повторяется.
- Образцы испытываемого материала помещаются в предварительно прокаленные и взвешенные фарфоровые тигли и взвешиваются с точностью до 0,001 грамма. Затем тигли с образцами помещаются в муфельную печь и выжигаются при температуре 400° С в течение 15 часов (до постоянного веса), после чего охлаждаются в эксикаторе не менее 1 часа и вновь взвешиваются.
- Процентное содержание смолы вычисляется по формуле:
- $$V_{\text{см}}^{\text{в}} = \frac{P - P_1}{P - P_2} \cdot 100\%$$
- Где: $V_{\text{см}}^{\text{в}}$ – содержание связующего в %;
- P – вес образца с тиглем до прокаливания в граммах;
- P_1 – вес образца с тиглем после прокаливания в граммах;
- P_2 – вес тигля в граммах.

Выводы.

- 1. В работе изложен метод намотки элемента силового для конструкции рулевого винта вертолета. Расписаны методы формирования облика композиционного материала. Описаны элементы конструкции элемента силового.
- 2. Представлены методика расчета содержания связующего в арамидных волокнах, испытаний на крутильную жесткость.
- 3. Предложенный в работе метод расчета, а так же справочный материал могут быть использованы для сравнительного анализа вариантов изготовления малогабаритных изделий, принимающих нагрузки от центробежной силы, а так же, работающих на кручение и изгиб.

Список литературы

- Применение КМ (Резниченко В.И. Хомич В.И.), Москва, 1992 г.
- Композитные лопасти "Камов", Седьмой форум Российского вертолетного общества, 23.03.2005, Москва.
- Сборник докладов и статей научно -практической конференции «Роль химии в инновационном развитии России и стран СНГ» ОАО «НИИТЭХИМ», Москва, 2011г.
- Углеродные волокна, Москва «Мир», 1987