

## РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Белякович С. А. – студент группы МиТМ-41, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г.Барнаул)

Радиационная стойкость – способность материала сохранять структуру и свойства во время и после воздействия радиационного излучения.

Существенное влияние на радиационную стойкость оказывает вид излучения, размер дозы излучения, характеристик окружающей среды, свойств испытываемого материала и т.д.

**Воздействие радиационного излучения**

Под действием радиационного излучения в полимерах происходят реакции, приводящие к процессам старения материала.

Принципом действия радиационного излучения является первичная ионизация атомов и молекул, в результате чего происходит потеря электронов. Такое излучение неоднородно по своему составу и в электрическом поле расщепляется на  $\alpha$ - (поток положительно заряженных ядер гелия),  $\beta$ - (поток электронов),  $\gamma$ -излучение (электромагнитное излучение с крайне малой длиной волны).

Процессы старения под действием излучения обуславливаются возникновением дефектов в кристаллической решетке, ядерными реакциями и т.д. Радиационные дефекты представляют собой точечные дефекты, возникающие при облучении быстрыми частицами. При этом частице необходимо предать энергию  $E$ , большую пороговой энергии смещения атома  $E_d$ , представляющую собой минимальную кинетическую энергию, необходимую атому для выхода в междоузельное пространство ( $E_d=4D$ , где  $D$  энергия отдельной связи). При наличии достаточного количества энергии у получившейся устойчивой пары Френкеля происходит волна дальнейших смещений, до тех пор, пока энергия смещённых атомов не достигает отношения  $E < E_d$ . Наибольшее влияние из множества элементарных частиц оказывают быстрые нейтроны.

Влияние на свойства материала при воздействии излучения также оказывают процессы, возникающее при столкновении ядер или элементарных частиц с ними – ядерные реакции. Процессы сопровождаются изменением квантового состояния и неуклонного состава исходного ядра, а также образованием новых частиц в продуктах реакции.

**Реакция различных по структуре полимеров на радиационное воздействие**

Воздействие излучения приводит к изменению физических свойств полимера, причём, в отличие от других твёрдых тел, где воздействие приводит к разрушению, в случае с полимерами физические свойства повышаются. Как правило, облученный полимер обладает большей прочностью, большим модулем упругости, меньшей газопроницаемостью, имеет повышенную термическую и химическую стойкость.

Однако в каждом частном случае поведение полимера при облучении определяется его химическим строением. Наиболее стойкими являются ароматические соединения (арены), наименее стойкие - алифатические углеводороды. Высокая стойкость ароматических соединений обуславливается высокой энергией связи, энергия облучения для таких структур поглощается и рассеивается. Диссипация (т.е. рассеивание) происходящая в ароматических углеводородах объясняется наличием большого числа энергетических уровней в ядрах таких соединений, что обеспечивает рассеивание в короткие сроки и без проявления нежелательных эффектов. Помимо этого, полученная в результате облучения энергия не сосредотачивается на отдельных связях в полимере, а распределяется по всей системе. Исследование воздействия облучения на ароматические соединения были проведены в работах Болта, где органические соединения были подвергнуты воздействию потока тепловых нейтронов  $1,41-1,63 \cdot 10^{18}$  нейтрон/см<sup>2</sup>, при температуре около 70 градусов.

Таблица 1 – Зависимость стойкости полимеров от наличия боковых цепей

Соединение	Ароматичность, %	Класс стойкости
1-Метилнафталин	91	1
9-п-Додецилантрацен	54	2
Додецилнафталин	45	3
Октадецилнафталин	36	4
9-(2-Фенилэтил)гептадекан	24	5
Октадецил-1,2,3,4-терагидронафталин	21	6
n-Гептадекан	0	7
9-(2-Циклогексилэтил)гептадекан	0	8
9-(3-циклопентилпропил)гептадекан	0	9

Данные, приведённые в таблице, говорят о том, что на стойкость полимеров оказывают влияние боковые заместители. Это связано с обеспечением боковыми заместителями более простого проникновения излучения в кольцо и последующего распределения.

Помимо этого, на процесс сшивания полимера оказывает влияние расположение двойных связей относительно концов молекулы, окружающая среда (для некоторых полимеров на воздухе сшивание происходит значительно медленнее, по сравнению с вакуумом), а также добавки, введённые в полимер.

Полномерная оценка радиационной стойкости полимерного материала невозможна без учета фактора фазового состояния. При рассмотрении становится ясно, что вязкотекучие полимеры наиболее отзывчивы на радиационное воздействие, когда же полимеры в стеклообразном состоянии подвержены ему наименее. Также аморфная фаза легче поддается радиационному воздействию, и превращения в ней происходят легче, нежели в кристаллической фазе.

Поведение полимерного композиционного материала под воздействием радиационного излучения зависит от числа и характера дефектов в соединении до влияния на него.

Помимо прочего, условия окружающей среды непосредственно влияют на радиационные превращения. Скорость таких превращений возрастает при повышенных температурах, что особенно заметно при прохождении через температуры фазовых превращений. Влияние давления так же ярко выражено, значительное его повышение снижает скорость деструкции полимеров. Неотъемлемым фактором условий является дневной свет, представляющий собой совокупность видимого излучения, ИК излучения и УФ излучения. Совместное воздействие нескольких видов излучения приводит к еще более быстрым и глубоким изменениям в структуре полимеров.

В совокупности, приведённые выше факторы, значительно варьируют стойкость полимеров к радиационному излучению от нестойких к очень стойким полимерам. Данные, приведённые в таблице ниже, могут наглядно продемонстрировать радиационную возможность различных классов полимеров. В таблице 2 представлены дозы излучения, при которых прочность соединения уменьшается вдвое.

#### Радиационная стойкость арамидных волокон

Как было сказано ранее, введение ароматических ядер в структуру полимера значительно повышает его радиационную стойкость. При рассмотрении арамидов в ряду от жирноароматических полиамидов до ароматических стойкость так же увеличивается. К примеру, при облучении поли-n-ксилиленсебацинамида дозой 1000 кГр его термомеханические свойства подверглись резкому изменению, однако полностью ароматические полиамиды сохранили первоначальные свойства до дозы практически равной 10000 кГр. Наилучшим образом показал себя ароматический политерефталамид, сохранивший исходные свойства до дозы облучения равной 12000 кГр.

Таблица 2 – Дозы радиационного излучения, приводящие к понижению свойств полимерных материалов в 2 раза

Полимер	D, МГр
Политетрафторэтилен	0,01
Политрифторхлорэтилен	0,03
Полиметилметакрилат	0,3
Поликапролактам	0,6
Полипропилен	1
ПЭВД	1
Поливинилхлорид	1,5
Полиэтилентерефталат	2
Полиэфирная смола	
ТГМ-3	2
ПЭНД	3
Полиуретаны	3
Меламиноформальдегидная смола	4
Поликарбонаты	5
Полистирол	5
Эпоксидная смола ЭД-10	15
ЭТЗ-10	30
КМУ-1Л	30
КМУ-4Л	30
Полиамиды	100

При испытаниях изменения прочностных и деформационных характеристик волокон Кевлар под действием радиации были получены данные, представленные на рисунке 1.

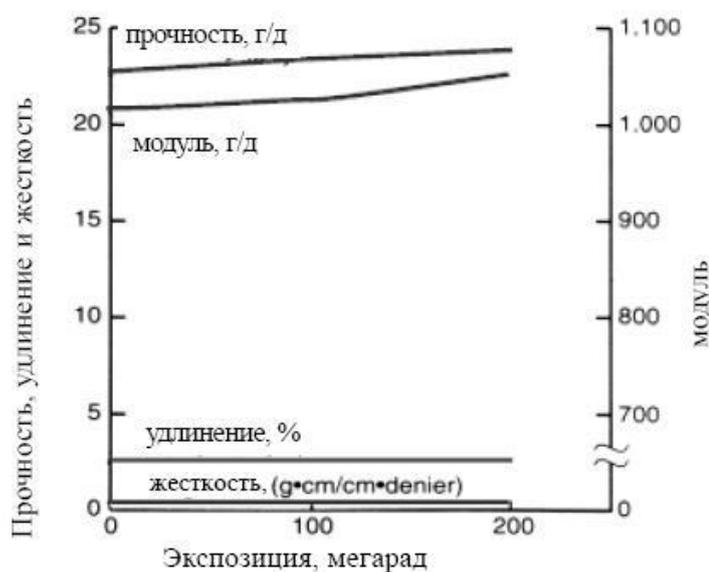


Рисунок 1 – Влияние радиации на механические характеристики волокна Кевлар

При дозе облучения равной 2000 кГр прочность и модуль упругости волокон возрастают. Исходя из этого, можно предположить, что доза 2000 кГр является пороговой, ниже которой в полимере преобладают деструкционные процессы, а выше – сшивание по амидным группам. Достаточно высокий пороговый уровень Кевлара достигается за счет защитного действия фенильных колец. При замене метильных групп на фенильные энергия, требуемая для образования поперечных связей, значительно увеличивается, что требует воздействия больших доз облучения на волокно для сшивания.

### Модификация полимеров, с целью увеличения радиационной стойкости

В качестве способа повышения радиационной стойкости полимера путём устранения дефектов используется отжиг. Для воздействия на каждый дефект ему необходимо передать определённое количество энергии  $E_a$  – энергия активации отжига. Зависимость накопления нужного количества энергии  $E_a$  от температуры обуславливает использование нагрева как основного условия отжига. Для радиационных дефектов возможно применение как изотермического отжига (выдержка при неизменной температуре в течение долгого времени), так и изохронного отжига (выдержка возрастающих температур в течение одинакового отрезка времени). Первый вид отжига нецелесообразен при большой энергии активации отжига, т.е. большой энергии связи комплекса дефектов, т.к. в таком случае дефекты находятся в большом температурном диапазоне.

При изохронном отжиге дефектов можно выделить пять стадий процесса.

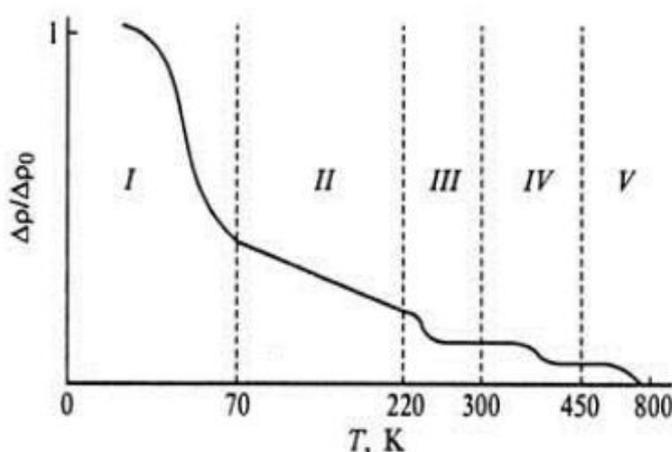


Рисунок 2 – Стадии процесса при изохронном отжиге дефектов, где  $\Delta\rho$  - удельное сопротивление

Дефекты в структуре, являются центрами рассеивания носителей заряда, поэтому  $\rho$  находится в прямой зависимости от их количества.

В течение первой стадии происходит рекомбинация близко расположенных пар Френкеля, за счёт движения атомов в междоузлиях.

Во второй стадии происходит распределение атомов из междоузлий.

Во время роста температуры в третьей стадии отжига начинается процесс распада кластеров, например, распада комплексов междоузельных атомов и примесных атомов.

На завершающих четвёртой и пятой стадиях происходят конечные процессы миграции вакансий и рекристаллизации, с интенсивным выходом дефектов на поверхность.

Радиационная стойкость некоторых высокомолекулярных соединений, таких как полиолефины, может быть повышена путём введения ароматических соединений, однако в большинстве случаев эффективность этого метода мала. Большую эффективность показывают антирады-стабилизаторы, тормозящие старение полимеров под действием радиационного излучения. В качестве антирадов применяют ароматические соединения с конденсированными кольцами и стабильные радикалы.

Для улучшения стойкости применим метод сшивки - закрепление расположения макромолекул в полимере за счёт прочных ковалентных связей. Однако, в связи с уменьшением гибкости полимера, он повышенную жёсткость и хрупкость, пониженную прочность при истирании.

Для защиты уже готовых изделий от радиационного воздействия применимы многослойные покрытия, наносимые с помощью клеевой основы на наружную поверхность изделия. Преимущественно используется для радиационных космических объектов. В качестве подслоя в таких покрытиях используется раствор полибутилтитаната или раствор элементоорганических соединений. В слое покрытия в качестве матрицы используется

кремнийорганический полимер, а в качестве неорганического наполнителя слой материала, содержащего порошок тяжелых металлов и структурирующий агент на основе смеси эфира ортокремниевой кислоты и продуктов его гидролиза.

Подводя итоги, можно еще раз отметить, что наиболее радиационно-стойкими соединениями являются ароматические соединения, за счет высоких энергий связей, обеспеченных циклическим строением. И т.к. основное воздействие излучения основано на образовании точечных дефектов, то наиболее применимым методом устранения влияния является отжиг полимеров.

#### Литература:

1 Дубинин, Г.Н., Авраамов Ю.С. Конструкционные, проводниковые и магнитные материалы. – М: Машиностроение, 1973. – 374 с.

2 Нейман, М.Б. Старение и стабилизация полимеров. – М: Наука, 1964.

3 Пакшвер, А.Б. Физико-химические основы технологии химических волокон. – М: Химия, 1972. – 48 с.

4 Любин, Дж. Справочник по композиционным материалам. – М: Машиностроение, 1988. – 7 с.

5 Шустова, О.А. Полимеризационные пленкообразователи. – М: Химия, 1971. – 132 с.

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПАНЕЛИ ХВОСТОВОЙ ЧАСТИ СТАБИЛИЗАТОРА САМОЛЁТА

Викторов В. В. – студент группы МиТМ-31, Морозов С. В. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Стабилизатор – часть горизонтального оперения самолёта; аэродинамический профиль, расположенный в горизонтальной плоскости самолёта. Обеспечивает продольную устойчивость, управляемость и балансировку летательного аппарата на всех режимах полёта.

Стабилизатор ГО имеет полную аналогию с крылом, как по составу и конструкции основных элементов – лонжеронов, продольных стенок, стрингеров, нервюр, так и по типу силовых схем. Для стабилизатора вполне успешно используются лонжеронная, кессонная и моноблочная схемы. У стабилизатора можно избежать передачи изгибающих моментов на фюзеляж, если лонжероны или силовые панели левой и правой его поверхностей связать между собой по кратчайшему пути в центральной его части. Для стреловидного стабилизатора это требует перелома оси продольных элементов по борту фюзеляжа и установки двух усиленных бортовых нервюр. Если продольные элементы такого стабилизатора без перелома осей доходят до плоскости симметрии самолёта, то кроме бортовых силовых нервюр, передающих крутящий момент, потребуется ещё одна силовая нервюра в плоскости симметрии самолёта.

Можно улучшить весовые и летные характеристики стабилизатора, а также уменьшить затраты на эксплуатацию и его изготовление, если правильно подобрать материал и технологию изготовления. При выборе материала учитываются его механические свойства: пределы прочности  $\sigma_b$ , текучести  $\sigma_t$ , сопротивление усталости при различных циклах изменения напряжений, модуль упругости  $E$ , износостойкость, вязкость, теплофизические, химические свойства, коэффициент линейного расширения и др. Но, весовая эффективность материала, жесткость и прочность конструкции притягивают к себе наибольшее внимание при выборе материала.

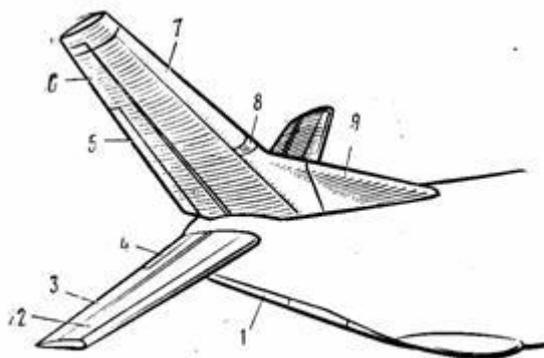


Рисунок 1 – Элементы оперения: 1 – хвост, 2 – стабилизатор, 3 – панель хвостовой части, 4 – руль высоты, 5 – триммер руля направления, 6 – руль направления, 7 – киль, 8 – проблесковый маяк

Если смотреть на авиационную промышленность в целом, то благодаря применению новых сплавов: титановых, алюминиевых, сталей и композиционных материалов: стеклопластиков и углепластиков конструкции обладают повышенным сроком эксплуатации изделий.

Композиционные материалы(КМ) – это материалы, которые состоят из матрицы и армирующего наполнителя. Армирующим наполнителем служат различные волокна: стеклянные, углеродные, борные. Металлической основой в КМ, работающих при повышенных температурах, служат титановые, алюминиевые и никелевые сплавы. Сравнительные характеристики материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Характеристика материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление, $\sigma_b$ , МПа	Модуль упругости E, ГПа
Алюминиевые сплавы	2700	600	70
Титановые сплавы	4500	1100	110
Стали	7800	2100	200
Стеклопластики	2000	2000	70
Углепластики	1500	1200	170
Боропластики	2000	1200	270

По данным таблицы видно, что применять КМ в авиапромышленности целесообразно, из этого следует экономическая выгода.

Применение КМ позволяет создавать конструкции с заранее заданными характеристиками и дает возможность значительно повысить их весовую эффективность и снизить металлоемкость. Для авиационной техники это обеспечивает:

- снижение массы конструкции на 25 – 50%;
- резкое сокращение количества деталей и нормалей;
- снижение трудоемкости более чем на 30 %;
- повышение в 2 раза коэффициента использования материала;
- трехкратную экономию металлов энергоресурсов на каждый килограмм примененного КМ;
- повышение эксплуатационной надежности, живучести, коррозионной стойкости и аэродинамического качества;
- снижение себестоимости перевозок.

По удельным, прочностным и жесткостным характеристикам принципиально новые композиционные материалы (КМ) на основе полимеров, армированных высокопрочными углеродными, борными, органическими и стеклянными волокнами в 2 – 3 раза превосходят традиционные металлы и сплавы.

В настоящее время современные КМ (углепластики, боропластики и органопластики) находят большое применение в конструкции летательных аппаратов. Особенно широкое применение новые материалы находят при изготовлении средненагруженных конструкций, хотя имеется и достаточное число примеров изготовления из них высоконагруженных конструкций, таких как крыло, стабилизатор, киль, шасси и др.

К основным преимуществам композиционных материалов следует отнести следующие: малую плотность, высокие характеристики статической и усталостной прочностей, жесткости, малый коэффициент температурного расширения, сопротивляемость к коррозии и т.п.

Улучшить прочностные, теплофизические характеристики, уменьшить массу самолетов и других аппаратов стало возможным благодаря применению углепластиков в качестве основы полимерных композиционных материалов.

В настоящее время ведущие авиационные фирмы мира уже разрабатывают проекты создания крупных пассажирских самолетов с объемом внедрения КМ до 60-70% от веса конструкции.

## ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛЭП С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гулмадов И. И. – аспирант группы ОТМ-51, Ананьева Е.С. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Рост потребления электрической энергии, увеличивает актуальность повышения пропускной способности и надёжности воздушных линий электропередачи, разработки и применения новых проектных и строительных решений, использования современных материалов и технологий. Применение новых материалов и оптимизированных проектных решений актуально так же вследствие необходимости масштабной реновации сетевой инфраструктуры, срок службы которой превышает 40-50 лет.

Социальные и экономические условия выполнения реновации предполагают применение рациональных и эффективных решений на основании технико-экономического сопоставления. Анализ международного и отечественного передового опыта показывает, что при строительстве новых и реновации действующих воздушных линий электропередачи целесообразно применение проводов нового поколения, обладающих улучшенными механическими и электрическими характеристиками по сравнению с проводами АС традиционной конструкции.

В настоящее время, увеличение передаваемой мощности по сети требует больших капиталовложений. Так как потребление электроэнергии растет, сетевые компании должны реконструировать существующие сети с увеличением сечения провода, и соответственно увеличением его массы. В конечном счете, компании сталкиваются с заменой существующих опор электросетей новыми, рассчитанными на более высокие нагрузки, или строительством новых ЛЭП. Последнее может быть затруднено особенно при пролегании трассы ВЛ в густонаселенном районе, и в малонаселенных районах частных земель, таких как национальные парки, заповедники и другие зоны с запретом на строительство.

Таким образом, недавние попытки разработать провода, сочетающие в себе высокую механическую прочность и малый вес без снижения пропускной способности, привлекли интерес различных компаний.



Рисунок 1 – Провод типа АССР – композитный сердечник, алюминиевые жилы, верхний слой из алюминия высокой проводимости

Основными требованиями, предъявляемыми к проводам нового поколения [3], являются:

- максимально высокая электропроводность;
- максимально высокая механическая прочность;
- небольшая погонная масса;
- малые температурные удлинения;
- устойчивость к старению и ветровым воздействиям.

В качестве сердечников в проводах нового поколения применяются стальные оцинкованные или лакированные алюминиевые проволоки, проволоки из различных сплавов на основе стали, композитные материалы. Сердечник из композитных материалов может представлять собой монолитный стержень круглого сечения или скрученные в прядь элементарные стержни, выполненные из композитного многокомпонентного материала, состоящего из матрицы (полимерной, металлической, углеродной и др.) и армирующих элементов (углеродное волокно, базальтовое волокно, стекловолокно, нитевидные кристаллы, тонкодисперсные частицы и др.), обеспечивающих необходимую механическую прочность.

Сердечник позволяет увеличить пропускную способность в 2-4 раза, обеспечить минимальный провис воздушного провода линии электропередачи и снизить нагрузки на опоры ЛЭП [4].

Таблица 1 – Свойства композитного сердечника

Предел прочности на разрыв	1380 МПа
Плотность	3,33 г/см <sup>3</sup>
Жесткость	215 ГПа
Электропроводность	27 % IACS
Температурный коэффициент линейного расширения	$6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Сопротивление усталости	> 10 млн циклов при 690 МПа
Максимальная температура при кратковременных пиках нагрузки	> 300 <sup>o</sup> C

Рассмотрим наиболее характерные виды проводов повышенной нагревостойкостью и пониженной усадкой, применение которых позволяет существенно увеличить пропускную способность ВЛ без изменения их опор, фундаментов и изоляторов. В основе таких разработок – применение материалов, выдерживающих без старения повышенные

рабочие температуры, высокопрочных материалов и материалов, имеющих сниженный коэффициент температурного расширения [5-6].

Характеристики провода нового поколения считаются примером наиболее удачных решений.

- Прочность композитного сердечника сравнима со стальным и в 8 раз выше алюминиевого.

- Масса композитного сердечника в 2 раза меньше стального и всего на 20% больше массы чистого алюминия.

- Электропроводность сердечника из композита в 4 раза выше стального.

- Коэффициент теплового расширения в 4 раза меньше алюминиевого и в 2 раза меньше стального.

- Жесткость в 3 раза выше алюминиевого сердечника.

Если обычный алюминий при температуре 120-150<sup>0</sup>С отжигается и резко теряет прочность, то сплав композит сохраняет свои свойства до 210<sup>0</sup>С, в режиме кратковременных нагрузок – до 240<sup>0</sup>С. Провод может повышать пропускную способность ВЛ в 1,5-3 раза, при этом масса провода – меньше. Преимущества: хорошее отношение «прочность/вес», хорошие свойства по нагреву, низкая стоимость, хорошо освоенные методы подвески [1-2].

В частности, замена сердечника проводника распределительных кабелей и проводов линий электропередач на композитный нагруженный элемент, содержащий волокно и смолу с относительно высоким модулем упругости и относительно низким коэффициентом теплового расширения, способствует повышению пропускной способности по току кабеля с проводником. Кроме того, предпочтительно разработать композитные сердечники, имеющие длительный срок службы, позволяющий обеспечить работу композитного нагруженного элемента по меньшей мере в течение 60 лет и более предпочтительно в течение 70 лет при температурах, связанных с повышенной пропускной способностью по току, составляющих от приблизительно 90 до 230<sup>0</sup>С, без необходимости увеличения диаметра композитного сердечника или внешнего диаметра проводника. Это, в свою очередь, позволяет обеспечить больше физического пространства для размещения большего количества алюминия и получения механических и физических свойств, позволяющих удовлетворить требования по провисанию, без увеличения веса проводника. Альтернативным способом эффективной защиты ВЛ от гололеда становится применение проводов нового поколения для ВЛ – проводов новых конструкций с использованием новых материалов повышенной прочности и проводимости.

Выводы

Применение проводов нового поколения на больших переходах с учётом оптимизации конструкций опор, переходов и фундаментов, вклин позволяет существенно сократить стоимость строительства переходов (на 15-40%) за счёт уменьшения материалоемкости конструкций опор и фундаментов, а также сокращения трудозатрат на их изготовление и монтаж.

Список использованной литературы:

1. Алексеев Б.А. Повышение пропускной способности воздушных линий электропередачи и применение проводов новых марок // ЭЛЕКТРО, 2009, №3. С. 45 - 5

2. Смольникова О.Л. Алюминиевый композитный усиленный провод (АССР). // Электрон №5-2007, 28-29 стр.

3. Working Group B2.26 CIGRE. «Guide for qualifying high temperature conductors for use on overhead transmission lines» (Technical Brochure nr426, August 2010).

4. Материализ патента с регистрационный номер РФ № 2386183 МПК

5. WG B2.12 CIGRE. Conductors for the Upgrading of Overhead Lines. Провода для повышения нагрузочной способности воздушных линий. Electra, 2004, No 213, 31-39. (Техническая брошюра № 244).

## 6. Clairmon B. High-Temperature Low-Sag Conductors.

Проводники высокой нагрывостойкости и уменьшенного провиса в полете. EPRI Transmission Research Program Colloquium 11.09.2008.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПОЗИТРОННЫХ МИШЕНЕЙ

Евдокимова Ю.С. – студент группы 8МиТМ-51, Никифоров А.Г. – к.ф-м.н., доцент Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В электрон-позитронных коллайдерах следующего поколения, таких как ИЛС (International Linear Collider) [1] необходимо значительно повысить производительность позитронного источника. Так для получения 2625 сгустков позитронов с зарядом 3,2 нКл в ИЛС требуется такое же количество электронных сгустков с энергией 6,5 ГэВ. При этом полная энергия всего электронного пучка составляет примерно 50400 Дж. Эта энергия в основном будет выделяться в небольшой области мишени (несколько мм<sup>2</sup>), а пиковая плотность мощности составит примерно 13 МВт/мм<sup>2</sup>, что очевидно выше точки плавления любого металла [2].

Для генерации позитронных пучков большой интенсивности требуется создание мишеней, способных выдерживать большие термомеханические нагрузки. Возможным решением этой проблемы является использование мишеней, в которых генерация позитронов осуществляется в процессе взаимодействия электронов с жидким свинцом. Мишени такого типа разрабатываются в ИЯФ СОРАН [3].

Мишень представляет собой канал прямоугольного сечения из ковара с двумя отверстиями диаметром 8 мм, первое – в месте падения первичного электронного пучка, второе – в месте выхода вторичного пучка из мишени. В эти отверстия впаяны окна из керамики карбида бора толщиной 5 мм. Керамика способна выдерживать большие механические нагрузки, которые возникают при импульсном нагреве материала мишени. Вся система теплоизолирована и прогревается до температуры ~300°C. Для того чтобы избежать окисления свинца, весь контур находится в вакууме.

Схема установки для испытания и конструкция мишени с носителем из жидкого свинца показаны на рисунке 1.

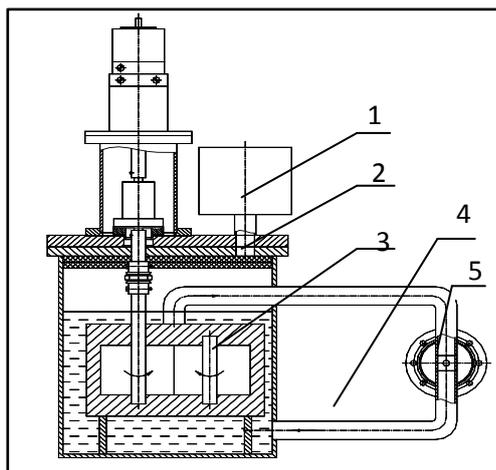


Рисунок 1 – Установка для испытания позитронной мишени с носителем из жидкого свинца, где 1 – вакуумный насос, 2 – вакуумный резервуар системы, 3 – ротационный насос, 4 – магистраль для транспортировки жидкого свинца, 5 – мишень

Конверсионная система представлена на рисунке 2.

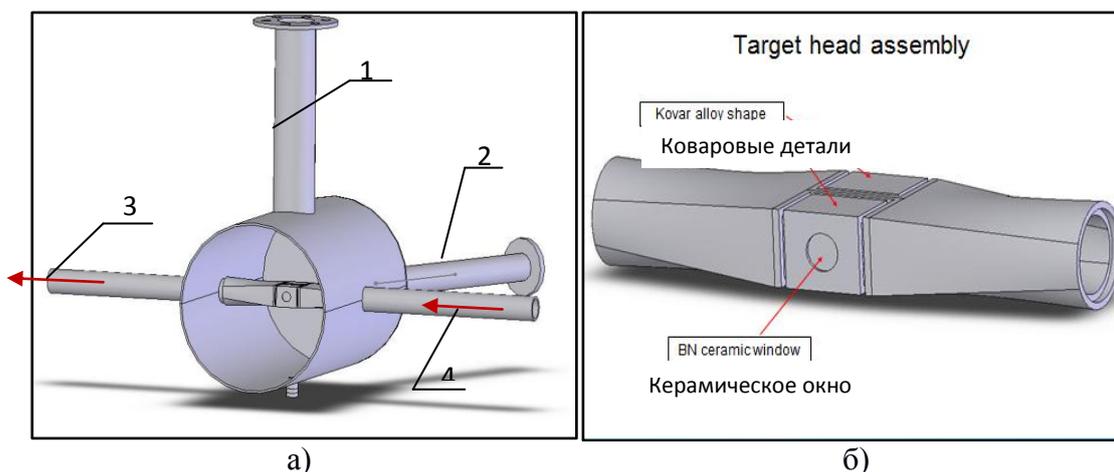


Рисунок 2 – Модель установки позитронной системы, где а – система конверсионной установки в разрезе, где 1 –порт для откачки, 2 – порт для наблюдения, 3 – направление потока электронного пучка, 4 – направление потока жидкого свинца; б – узел конверсии частиц

Одним из основных элементов конструкции является окно мишени. Для успешного функционирования позитронного источника требуется обеспечить высокую прочность соединения металл-керамика. Для этого используется пайка высокотемпературными припоями в вакууме или инертной среде. Составы припоев представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав припоев

Состав ПСр-72, %					
Fe	Cu	Pb	Ag	Bi	Примесей
до0,1	27,29 – 28,4	до0,005	71,5 – 72,5	до0,005	всего 0,1
Состав припоя CuSnTi, %					
Cu	Sn	Ti	-	-	-
80	20	10			

Пайка ковара с карбидом бора проводилась с использованием припоя CuSnTi в вакууме при давлении  $10^{-2}$  Па. Режим пайки металлокерамического узла показан на рисунке 3.

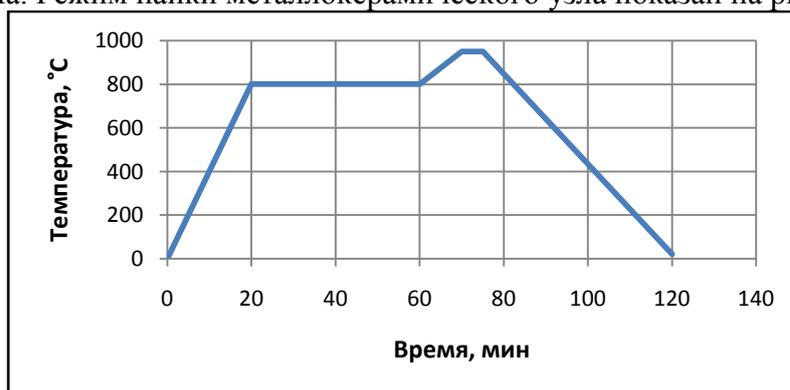


Рисунок 3 – Режим пайки металлокерамического узла

### Методика пайки

Исследование микроструктуры и механических характеристик позволяет разработать технологию изготовления металлокерамического соединения и контролировать его качество.

Подготовка образцов для исследования осуществлялась в несколько этапов:

- удаление свинцового носителя;
- механическая обработка: шлифование абразивами с размером зерна от 26 до 8,5 мкм, полирование водной суспензией оксида хрома;
- химическое травление поверхности шлифа.

Образец до подготовки шлифа (а) и после полировки (б) показан на рисунке 4.

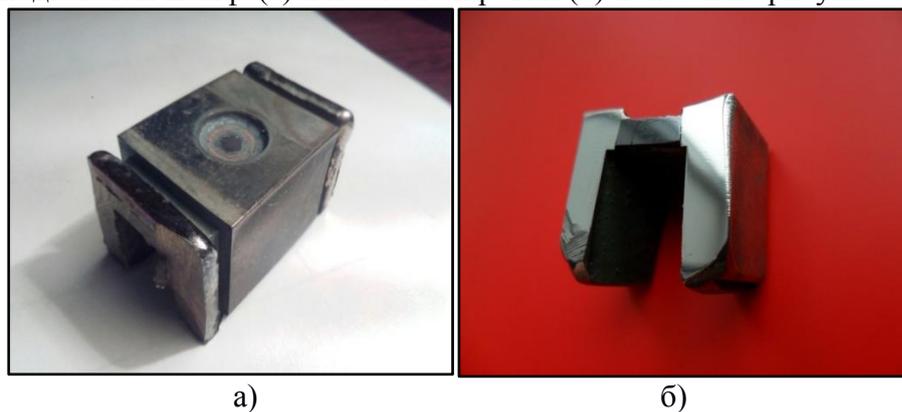


Рисунок 4 – Образец а – до подготовки шлифа, образец б – после полировки

Для травления керамики использовался раствор гексацианоферрата калия  $K_3[Fe(CN)_6]$  и гидроксида калия в дистиллированной воде. Травление ковара осуществлялось растворами азотной и серной кислот различной концентрации. Травление в области паяного шва производилось растворами азотной и серной кислот.

Характерная микроструктура паяного соединения ковар 29НК – керамика  $V_4C$  до и после травления показана на рисунке 5.



Рисунок 5 – Микроструктура зоны шва паяного соединения, а – до травления, б – после травления

На некоторых участках соединения была обнаружена неоднородность распределения компонентов припоя. В области шва возможно также образование интерметаллидов [4].

Для этих участков было проведено измерение микротвердости, на рисунке 6 показан график зависимости микротвердости в направлении, перпендикулярном шву.

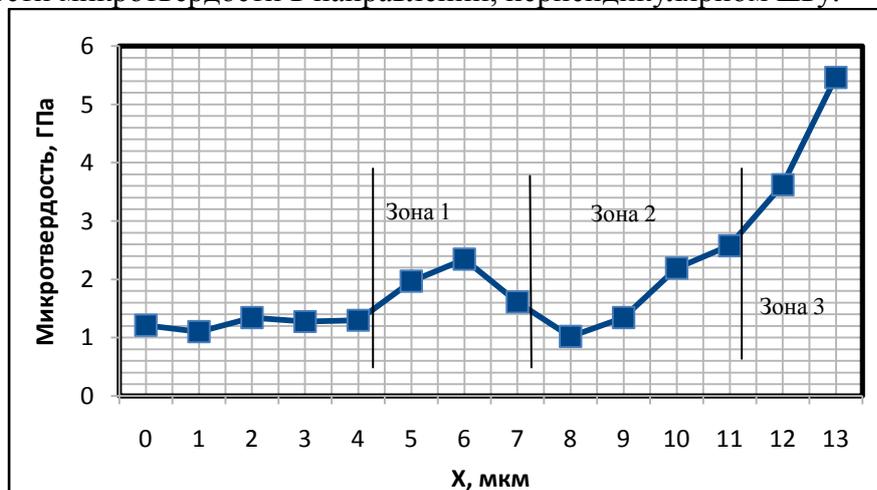


Рисунок 6 – График зависимости микротвердости от координаты в направлении, перпендикулярном шву

Микроструктура шва в области неоднородности, позволяет выделить зоны с различной твердостью. Зона 1 – неоднородная по ширине с микротвердостью 2,34 ГПа, средняя зона 2 неоднородная по ширине с микротвердостью 1 ГПа, зона 3 взаимодействия припоя с керамикой с микротвердостью 5,5 ГПа. Микрофотография представлена на рисунке 7.

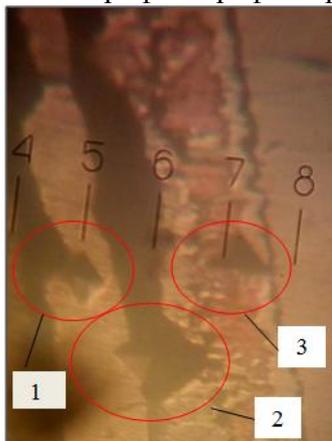


Рисунок 7 –Микроструктура паяного соединения в области неоднородности.

Таким образом, структура паяного соединения представляет собой слой переменной жесткости, плавное увеличение жесткости от ковара к керамике может способствовать релаксации и уменьшению остаточных напряжений в паяном шве, что повышает его механическую прочность. Неоднородность отдельных участков соединения приводит к снижению качества соединения. Для получения соединения, удовлетворяющего эксплуатационным требованиям, необходимо определить оптимальные режимы пайки и состав припоя.

Список литературы:

- 1) ILC Reference Design Report (April 2007).
- 2) R. Chehab “Positron Source”, Proc. of CERN Accelerator School, General Accelerator Physics, Geneva, 1994.
- 3) A. A. Starostenko\*, P. V. Logatchev, O. I. Meshkov, D. A. Nikiforov, A. V. Andrianov, A. E. Levichev, F. A. Emanov, K. V. Astrelina, M. F. Blinov, A. S. Tsyganov, D. E. Berkaev, I. A. Koop, D. Yu. Bolkhovityanov, and V. L. Dorokhov, Status and prospects of the injection complex of the Budker Institute of Nuclear Physics, Physics of Particles and Nuclei Letters 13(7):957-961·December 2016.
- 4) Костин, А.М, Исследование процессов титаносодержащих припоев с оксидной керамикой и коваром [Текст] / А.М. Костин, Ал.В. Лабарткова, В.А. Мартыненко; Ин-т металлофизики им. Г.А. Курдюмова НАН Украины – Николаев, 2014. – 13 с.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ ТРУБЫ ДЛЯ НЕФТЕПРОВОДА

Иванова К. Н. - студент гр. МиТМ-31, Головина Е. А. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Трубопроводами называются устройства, которые служат для транспортировки жидких, газообразных и сыпучих веществ. Трубопровод, предназначенный для перекачки нефти, называется нефтепроводом [10].

Функционирование нефтепромысловых трубопроводов происходит в жестких условиях, поскольку в зависимости от назначения они подвержены различным нагрузкам (внутреннему давлению, осевым растягивающим или сжимающим напряжениям, давлению грунта засыпки и подвижных средств, перепадам температур).

Трубы должны быть работоспособны при эксплуатации в составе подземных нефтепроводов, трубопроводов для транспортирования всех видов нефтепродуктов и

сопутствующих газовых и водных смесей и коррозионноактивных сред, нефтегазовых эмульсий и подтоварных технических вод [1].

Необходимо создать трубу для промышленных нефтепроводов, обладающую следующими свойствами:

- прочность;
- коррозионностойкость;
- долговечность;
- простота эксплуатации.

Приведем классификацию промышленных трубопроводов:

По рабочему давлению:

- низкого (до 0,6 МПа);
- среднего (до 1,6 МПа);
- высокого (свыше 1,6 МПа) давления.

По материалу:

- стальные;
- чугунные;
- полимерные;
- стеклопластиковые;
- полимерметаллические;
- комбинированные [2].

Особенностью стеклопластика как конструкционного материала является то, что сам материал создается только в процессе изготовления изделия, а его свойства зависят от вида и свойств компонентов, их количественного соотношения, схемы армирования, способа изготовления изделия и других факторов.

Для изготовления стеклопластиков используются стекловолоконистые изделия из бесщелочного стекла в виде: элементарных волокон различного диаметра (от 7 до 13 мм); пряжей или нитей, полученных из непрерывных или шпательных элементарных стеклянных волокон; стеклянных тканей и лент; стеклянных матов [4].

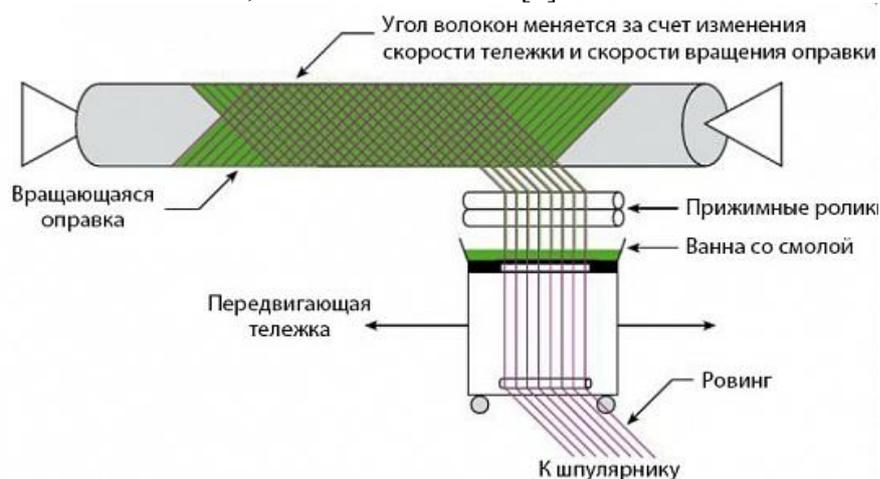


Рисунок 1 – Схема метода непрерывной намотки [4]

Совершенство процесса изготовления армированных оболочек методом намотки определяет возможность его автоматизации и программирования анизотропии свойств в изделии. Изделия изготовленные из этих материалов имеют относительно малый вес, превосходные эксплуатационные характеристики, обладают хорошими изолирующими свойствами. Намотка дает возможность укреплять термопластичные трубы и металлические сосуды высокого давления наружными бандажами.

При производстве стеклопластиковой трубы используется метод намотки (рисунок 1).

Метод непрерывной намотки – наиболее распространенный в мире метод. Труба изготавливается с применением, так называемой «шагающей» оправки и ступенчатого процесса охлаждения. Движущиеся в продольном направлении сектора оправки продвигают намотанную трубу через печи, в которых производится ее предварительная термообработка, труба сходит с оправки и окончательно отверждается в последующих печах. Разрезка трубы на необходимую длину осуществляется абразивным «алмазным» кругом. Технологический процесс изготовления стеклопластиковых труб заключается в послойном нанесении на стальную оправку стекломатериалов, пропитанных смолой «холодного» отверждения. После полимеризации образуется монолитная, инертная и высокопрочная структура со стенкой следующего строения (рисунок 2):

- стеклопластиковый армированный термореактивный лайнер (внутренняя стенка) – обеспечивает герметичность и стойкость к воздействию агрессивной и абразивной среды, транспортируемой по трубопроводу;
- силовой стеклопластиковый слой – обеспечивает механическую прочность при совместном действии внутренних и внешних нагрузок в процессе эксплуатации трубопровода;
- внешний слой (гелькоут) – обеспечивает гладкость внешней поверхности и стойкость к воздействию влаги и химических веществ.

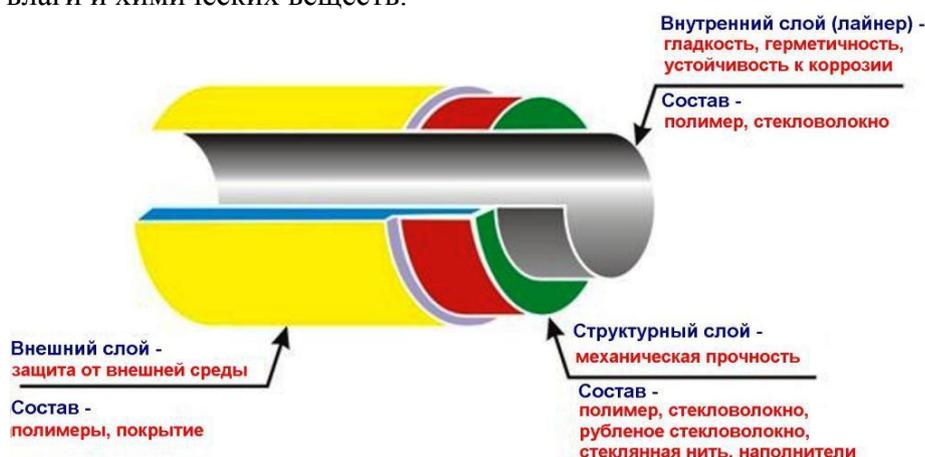


Рисунок 2 – Строение нефтепровода из стеклопластика

Стекловолокно популярно и востребовано как армирующий материал благодаря своим свойствам, которые в значительной мере отличаются от исходного материала. Особое внимание стоит остановить на следующих характеристиках: высокий уровень прочности, который превосходит прочность легированной стали; устойчивость к термической обработке; придание дополнительной прочности в составе других материалов.

Для намотки изделий из стеклопластиков используются ненасыщенные полиэфирные смолы.

Полиэфирные связующие широко применяют в производстве изделий из стеклопластиков. Связующие с малой усадкой содержат 30% по массе термопластичного полимера, а связующие, обеспечивающие качество поверхности, от 30 до 50%.

ДЕПОЛ ПА-600 – среднеактивная, непредускоренная, нетиксотропированная ненасыщенная полиэфирная смола на основе ортофталевой кислоты и полиэтилентерефталата. Характеристики смолы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики смолы ДЕПОЛ ПА-200 [3]

Свойства	Ед. изм.	Показатель	Метод
1. Внешний вид		Жидкость синего цвета	Визуальный
2. Массовая доля нелетучих веществ	%	60±2	ГОСТ Р 52487 и п.4.4 ТУ
3. Вязкость, по Брукфилду	мПа·с	400-500	ГОСТ 25271-93

23 °С Шпindelь 2 Скорость 12			
4.Кислотное число	мгКО/г	20-30	ISO 3682
5.Плотность при 20°С	кг/м <sup>3</sup>	1100±5	ГОСТ 18329 п.4.3 ТУ
6.Время желатинизации 2г Со 1%	мин.	7-12	ГОСТ 22181 и п.4.5 ТУ
7.Температура вспышки	°С	31	ISO 3679

Перед формованием стекложгуты предварительно пропитывают смолой ДЕПОЛ ПА-200. При пропитке содержание связующего в материале контролируется концентрацией раствора и скоростью движения стекложгута через пропиточную ванну. Введение растворителя стирола позволяет уменьшить вязкость связующего.

В целях предотвращения преждевременного повышения вязкости и полимеризации в их композицию вводят специальные ингибиторы: гидрохинон, хингидрон.

Для отверждения полиэфирных смол при нормальной температуре (15–20 °С) вводят инициатор и ускоритель(активатор). В качестве инициатора применяют гидроперекись изопропилбензола.

При движении оправки через отверстие с эластичным уплотнением первого стола волокно попадает в ванну, и на него наносится связующее. При вращении стола на оправку наматываются предварительно пропитанные ленты стеклоткани, поступающие с бобин. Двигаясь дальше вверх, оправка проходит через эластичную диафрагму вращающегося в противоположном направлении стола, снимающую с нее избыток смазки. На этом столе установлены бобины со стекловолокном, которое сматываясь с бобин, вначале поступает в ванну и, проходя через расположенные по периметру стола фарфоровые направляющие втулки и установленные в ванне штыри, хорошо смачивается связующим и равномерно навивается по спирали на оправку. Следующий стол отличается направлением вращения. Над последним столом установлены центрирующие валки, контролирующие правильность движения оправки. Движение оправки синхронизировано с работой отрезного устройства, разрезающего трубу по стыку оправок. Отрезанная труба с оправкой захватывается манипулятором и устанавливается в печь для термоотверждения. Печь представляет собой алюминиевый цилиндр, внутри которого расположены паровые (или электрические) нагреватели. После отверждения трубу извлекают из печи и снимают с оправки на специальном приспособлении. Извлеченная оправка тщательно зачищается и направляется к агрегату для повторного использования. Машины такого типа позволяют изготавливать трубы с внутренним диаметром от 50 до 150 мм.

Полное отверждение составов при обычной температуре обычно достигается не ранее чем за 10 суток. При повышенных температурах до T=130 °С время отверждения уменьшается до 10 часов [4].

Список использованной литературы

1 Абдулин, И. Г. Проектирование, строительство и эксплуатация трубопроводов из полимерных материалов [Текст]: Учебное пособие. / И.Г. Абдулин, Д.А. Виноградов, В.А. Мартяшева. - Уфа:Изд-во УГНТУ,2002. - 74 с.

2 Армированная труба оболочка для высокого давления [Текст]: пат. 2147355 Рос. Федерация/ В. В. Конкин, Б. Г. Майоров, В.Д. Морозов; ТОО науч.-произв. Предприятие "Спецмаш". - № 78117041/06; Заявл. 08.09.1998; Оpubл. 05.10.1998 // Бюл. - № 28, - 00.07-45.91 П.

3 Шапиро, Г. И. Пластмассовые трубопроводы [Текст]: Г.И. Шапиро,С.В Ехлаков, В.В, Абрамов - М.: Химия, 1986. - 143 с.

4 Армированная труба оболочка для высокого давления [Текст]: пат. 2147355 Рос. Федерация/ В. В. Конкин, А. Ф. Романов, Б. Г. Майоров, В.Д. Морозов; ТОО науч.-произв.

## ВЫБОР МАТЕРИАЛА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИЛЬФОНА КОМПЕНСАТОРА

Казанцев Н. В. – студент МиТМ-31, Морозов С. В. - к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Компенсатор – устройство, предназначенное для предохранения повреждения трубопровода вследствие тепловых расширений. Существует большое количество видов компенсаторов, которые отличаются своим назначением, техническими характеристиками, материалом изготовления, способом крепления, конструктивными особенностями, видом среды использования [1].

Компенсатор в составе трубопровода применяется в следующих отраслях промышленности: химической, нефтехимической, топливно-энергетической, пищевой, целлюлозно-бумажной, атомной, фармацевтической, металлургической, машиностроительной, жилищно-коммунальной, судостроении и многих других областях промышленности народного хозяйства. На рисунке 1 приведен пример компенсатора сильфонного и стандартного [2].



Рисунок 1 – Компенсаторы, где а – компенсатор стандартный, б – сильфонный компенсатор

Сильфонные компенсаторы служат для обеспечения защиты трубопровода от нагрузок, возникающих при деформации трубопровода вследствие их теплового расширения или сужения, также защищают трубопровод от вибрации и гидроударов.

Некоторые виды компенсируют несоосность трубопроводов. Срок службы таких компенсаторов, обычно, равен сроку службы трубопровода. Сильфонный компенсатор нашел самое большое применение среди всех видов компенсаторов. Основным (рабочим) элементом, этого вида является сильфон. Сильфон – волнистая обечайка, напоминающая гофру, которая имеет способность удлиняться или сужаться, изгибаться в разные стороны вследствие изменения температур, давления или других параметров. Сильфоны сильфонного компенсатора должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологической документации [3].

Качество поверхности сильфона сильфонного компенсатора должно соответствовать контрольным образцам. Утверждение контрольных образцов осуществляется в порядке, принятом у изготовителя. Жесткость сильфона сильфонного компенсатора должна соответствовать значениям. Сильфон должен быть герметичным и прочным. Наружный слой сильфона должен быть герметичным (сплошным). Значения толщины слоя трубы-заготовки должны соответствовать значениям, указанным в ГОСТе 21557. Разностенность труб-заготовок не должна превышать значений поля допуска на толщину слоя. Назначенный

ресурс сифонов должен быть не менее: 2000 циклов для сифонов сифонного компенсатора КСО. Вероятность безотказной работы в течение назначенного ресурса (срока службы) сифонов должна быть не менее 0,98 [5].

Отказ сифона – нарушение герметичности сифона сифонного компенсатора КСО по отношению к внешней среде – критический. Критерий предельного состояния по отношению к критическому отказу – разрушение отдельных слоев сифона. Средний срок сохраняемости сифонов при хранении их в условиях, установленных настоящим стандартом должен быть не менее 20 лет [6].

Сифоны изготавливаются в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологической документации, утвержденной в установленном порядке. Сифоны изготавливают из коррозионно- и жаростойкой стали марки 08X18H10T или 12X18H10T по ГОСТ 5632–72 и марки 06X18H10T по ГОСТ 10498–82. Трубки-заготовки для сифонов должны изготавливаться из тонкостенных многослойных труб особо высокой точности, поставляемых специализированными предприятиями по нормативно-технической документации, утвержденной в установленном порядке [3]. В таблицах 1–2 приведен химический состав и физико-механические свойства используемых для изготовления сифонов, сталей.

Таблица 1–Химический состав коррозионностойких сталей марок [4]

Сталь	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	Cr, %	Cu, %
08X18H10T	до 0,08	до 0,8	до 2	9– 11	до 0,02	до 0,035	17– 19	до 0,3
12X18H10T	до 0,12	до 0,8	до 2	9– 11	до 0,02	до 0,035	до 0,2	до 0,3
06X18H10T	до 0,06	до 0,8	1–2	9– 11	до 0,02	до 0,035	17– 19	до0, 3

Таблица 2– Физико-механические характеристики сталей [4]

Сталь	Модуль упругост и, E, ГПа	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Временное сопротивление, $\sigma_b$ , МПа	Твердость HRC	Ударн ая вязкость, кДж / м <sup>2</sup>
08X18H1 0T	196	7900	520	56	216
12X18H1 0T	194	7920	550–650	56	286
06X18H1 0T	195	7910	529	56	290

Многослойный сифонный компенсатор содержит несколько слоев гофрированных оболочек, концевые участки которых посредством сварки соединены с силовыми кольцами. Толщина внутреннего слоя сифона, находящегося в контакте с окислительной средой высокой температуры и давления, превышает толщину других слоев сифона в 2–3 раза. Внутренний слой сифона выполнен из хромоникелевого сплава с содержанием никеля не менее 70 %, а другие слои выполнены из нержавеющей стали. В качестве хромоникелевого сплава используют сплав марки ХН78Т (ЭИ435). Повышает надежность трубопроводов [6].

В таблице 3 приведен химический состав и физико-механические свойства сплава, используемого для изготовления сифона [4].

Таблица 3 – Физико-механические свойства хромоникелевого сплава

Марка твердого сплава	Содержание компонентов в смеси, %		Физико-механические свойства			
	Никель	Хром	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_b$ , МПа	Твердость HRC	Модуль упругости E, ГПа
ХН78Т	70,003– 80,85	19–22	8400	600	58,8	224

Сплавы никеля с хромом рекомендуются для деталей, работающих при высоких температурах в окислительной среде. Они окалиностойки при температуре 950 – 1050° С. Сплав ХН78Т после высокотемпературной обработки приобретает практически однородную структуру твердого раствора на основе никеля, что способствует легкой деформируемости и хорошей свариваемости. Это определяет в основном использование его в качестве листового материала. Его применяют при изготовлении деталей камер сгорания сопловых аппаратов, крупногабаритных колец из поковок большого сечения [4]. При изготовлении сильфона из сплава ХН78Т в первую очередь подвергается входному контролю.

Входной контроль предусматривает следующие проверки:

- 1 химического состава;
- 2 механических свойств;

Трубную заготовку толщиной 1 мм и диаметром 75 мм из дисперсионно-твердеющего никелевого сплава подвергали вытяжке из листа с помощью пуансона с коэффициентом вытяжки 0,62.

Полученную заготовку нагревали в вакуумной печи при разрезении  $1 \cdot 10^{-4}$  -  $1 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. до температуры 1000°С и выдерживали до полного растворения упрочняющей фазы. Далее охлаждали потоком аргона с целью фиксации однофазной структуры сплава. Подачу газа прекращали и дальнейшее охлаждение проводили в застойной зоне аргона.

После термообработки осуществляли вторую операцию вытяжки с коэффициентом 0,8, а затем заготовку снова термообработывали по описанной ранее технологии.

Операции вытяжки и термообработки чередовали 15 раз до получения заготовки заданных размеров: толщина стенки - 0,16 мм, наружный диаметр – 62 мм.

Механические свойства сплава свидетельствуют о его высокой пластичности, а низкий разброс свойств – об их высокой стабильности, что позволяет говорить о высокой технологичности сплава. Отформованные указанным выше способом четыре трубные заготовки покрывали слоем никеля гальваническим методом.

Слои толщиной 5 мкм наносили на предназначенные под сварку к арматуре периферийные участки обеих поверхностей каждой заготовки, за исключением наружной поверхности заготовки с максимальным диаметром и внутренней поверхности заготовки с минимальным диаметром.

На наружную поверхность заготовки с максимальным диаметром и внутреннюю поверхность заготовки с минимальным диаметром наносили слой никеля толщиной 15 мкм [7].

Трубные заготовки с нанесенным никелевым покрытием собирали в пакет, вставляя заготовки последовательно одна в другую и подвергали гофрированию на прессе в один переход. Процесс осуществляли при давлении 145 атм.

Сформованный сильфон подвергали термообработке. Его нагревали в печи до температуры 1000°С в атмосфере аргона и после выдержки охлаждали потоком аргона.

После каждой операции вытяжки и после гофрирования проводили контроль по выявлению трещин методом капиллярной дефектоскопии.

На всех этапах контроля трещины на стенках заготовок и сгофрированного сильфона не обнаружены. Не обнаружены трещины и в сварном шве после приварки сильфона к арматуре.

Изготовленные сильфоны после их приварки к арматуре были подвергнуты испытанию на длительную прочность в высокотемпературном потоке газовой среды, содержащей до 80% кислорода.

Испытания показали, что потеря прочностных свойств конструкции происходила позже, чем установлено нормой, а именно через 4 часа, при норме не менее 3 часов [7].

#### Список используемой литературы

- 1 Дальский, А.М. Технология конструкционных материалов [Текст] / А.М. Дальский, И.А. Артюнова; – Машиностроение, 1985. – 448 с.
- 2 Папшев, Д.Д. Технологические методы повышения надежности и долговечности деталей машин поверхностным упрочнением [Текст] / Д.Д. Папшев; – Куйбышев: 1983. – 81 с.
- 3 Петруха, П.Г. Технология обработки конструкционных материалов [Текст] / П.Г. Петруха, А.И. Марков; – М.: Высшая школа, 1991. – 512 с.
- 4 Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов [Текст] / В.Г. Сорокин; – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
- 5 Сильфоны компенсатора [Электронный ресурс] URL: [http://ros-pipe.ru/clauses/konstruktsiya\\_silfona\\_silfonnogo\\_kompensatora\\_kso/](http://ros-pipe.ru/clauses/konstruktsiya_silfona_silfonnogo_kompensatora_kso/)
- 6 Многослойный сильфонный компенсатор [Электронный ресурс] URL: <http://www.findpatent.ru/patent/227/2272954.html>
- 7 Способы изготовления многослойных тонкостенных сильфонов [Электронный ресурс] <http://ru-patent.info/21/60-64/2164188.html>

## КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Костицына М.В. – студент группы МиТМ-41, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г.Барнаул)

### Общие сведения о композиционных материалах

Композиционный материал - неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

Механическое поведение композита определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Эффективность и работоспособность материала зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик.

В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композита, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения.

### Преимущества композиционных материалов:

- ✓ высокая удельная прочность;
- ✓ высокая жёсткость (модуль упругости 130...140 ГПа);
- ✓ высокая износостойкость;
- ✓ высокая усталостная прочность;
- ✓ высокая коррозионная стойкость;
- ✓ из КМ возможно изготовить размеростабильные конструкции.

Причём, разные классы композитов могут обладать одним или несколькими преимуществами. Некоторых преимуществ невозможно добиться одновременно.

Коррозионная стойкость – способность материалов сопротивляться коррозии. Она определяется скоростью коррозии в данных условиях.

Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики. Изменение внешнего вида поверхности материала, изменение его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии. Для количественной оценки можно использовать:

- время, истекшее до появления первого коррозионного очага;
- число коррозионных очагов, образовавшихся за определённый промежуток времени;
- уменьшение толщины материала в единицу времени;
- изменение массы металла на единице поверхности в единицу времени;
- объём газа, выделившегося (или поглощённого) в ходе коррозии единицы поверхности за единицу времени;
- плотность тока, соответствующая скорости данного коррозионного процесса;
- изменение какого-либо свойства за определённое время коррозии (например, электросопротивления, отражательной способности материала).

Примером неравномерной коррозии может служить разрушение замазки арзамит-4 в щелочных средах. Феноло-формальдегидные смолы разрушаются в щелочах, анаполнитель графитинертен по отношению к данной среде. Следовательно, скорость коррозии на поверхности материала будет различной.

Совокупность физических и химических процессов, происходящих в композиционном материале в процессе производства и применения приводит к необратимым изменениям его свойств, старению композитов. Выделяют внешние (факторы внешней среды) и внутренние (обусловленные структурой и составом полимерного материала) факторы старения. Стойкость композиционного материала к старению – это свойство материала сохранять значение характерного показателя (или показателей) старения в пределах, установленных в нормативно-технической документации, при старении в заданных условиях.

#### Коррозия композиционного материала

Вопреки существующим мнениям о коррозионной стойкости композитных материалов, полимерные матрицы в них в зависимости от условий эксплуатации подвержены гидролитической, термической, термоокислительной деструкции, воздействию озона и УФ – излучения.

Например, для производства композитной арматуры часто применяют дешевые технологичные полиэфирные смолы или эпоксидные смолы отверждённые ангидридами кислот (не ароматических). Такие связующие подвержены гидролитической деструкции в щелочной среде тела бетона и арматура со временем разрушается. Кроме того связующее должно обладать рядом технологических свойств (вязкостью, временем гелеобразования, температурой сшивки и т.д.) необходимых для эффективного использования их в производственных операциях при изготовлении композиционных материалов.

Таблица 1 Процессы, протекающие при старении композиционного материала

Термин	Определение
Деструкция полимерного материала	Процесс, протекающий в полимерном материале с разрывом химических связей в основной цепи макромолекулы и приводящий к уменьшению степени полимеризации и (или) числа поперечных химических связей
Деполимеризация	Отщепление молекул мономера от макромолекулы
Структурирование	Образование поперечных химических связей между макромолекулами
Полимераналогичная реакция	Превращение группы атомов макромолекулы при сохранении исходной степени полимеризации

Сорбция полимерным материалом	Поглощение вещества полимерным материалом
Адсорбция полимерным материалом	Сорбция поверхностью полимерного материала
Абсорбция полимерным материалом	Сорбция объемом полимерного материала
Десорбция из полимерного материала	Удаление вещества из полимерного материала
Пластификация полимерного материала	Повышение эластичности и (или) пластичности полимерного материала в результате введения в него или возникновения в нем при старении низкомолекулярных веществ
Миграция добавок в полимерном материале	Диффузионное перемещение добавок в полимерном материале
Изменение надмолекулярной структуры полимерного материала	Перестройка физической структуры полимерного материала, характеризуемая различными видами взаимного упорядочения макромолекул
Кристаллизация полимерного материала	Фазовый переход 1-го рода, приводящий к пространственному упорядочению макромолекул полимерного материала и возникновению дальнего порядка
Полиморфное превращение полимерного материала	Фазовый переход 1-го рода одной кристаллической модификации макромолекул полимерного материала в другую
Аморфизация полимерного материала	Фазовый переход 1-го рода, приводящий к пространственному разупорядочению макромолекул полимерного материала и исчезновению дальнего порядка
Стеклование полимерного материала	Переход полимера из высокоэластичного и (или) вязкотекучего состояний в стеклообразное
Ориентация полимерного материала	Перестройка структурных элементов полимерного материала под воздействием направленного внешнего или внутреннего напряжения, приводящая к возникновению преимущественного расположения осей макромолекул и (или) частиц наполнителя вдоль направления действующих сил

Условно коррозию можно разделить на два вида: химическую; электрохимическую.

При этом каждый вид коррозии имеет свои признаки. Например, признаками химической коррозии являются появление ржавчины и патины бронзы. Атмосферная коррозия является видом химической. Причинами ее являются взаимодействие поверхности металла с воздухом, погодные условия.

При нагревании металла наблюдается резкое динамическое развитие химической коррозии, появляется окалина.

Основная часть химически стойких покрытий на основе реактопластов содержат в качестве полимерной основы эпоксидные, фенолформальдегидные, эпоксиноволачные, полиэфирные и винил-эфирные смолы, а также как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные карбо- и гетероцепные каучуки: полибутадиеновые, хлоропреновые и др.

Особенностью реактопластов является то, что все полимеры этой группы в той или иной степени проницаемы для воды. Для основной массы электролитов перенос воды в полимеры осуществляется с большей скоростью, чем других составных частей раствора. На практике это приводит к набуханию полимеров. Однако реактопласты как изолирующий материал имеют ряд преимуществ. Для них характерно наличие ступенчатого профиля распределения кислот по координате диффузии, что затрудняет проскок кислоты к основному материалу. Это позволяет обеспечить работу в режиме полной изоляции от действия агрессивных кислот. При этом такой режим изоляции может быть обеспечен как для нелетучих, так и для

летучих кислот. Материалы на основе реактопластов позволяют получать монолитные покрытия, не имеющие стыков, что имеет особое значение для работы в высоко агрессивных средах.

Однако проницаемость большинства реактопластов все же является достаточно высокой в агрессивных средах. Для решения этих противоречий в настоящее время принята и осуществляется концепция создания многослойных полимерных конструкций.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА ТРУБЫ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА

Невежин А. А. – студент группы МиТМ-41, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Данная работа связана с производством трубы из современного и актуального материала для горячего водоснабжения многоквартирного дома, которая будет удовлетворять основным потребностям при эксплуатации. Главные вопросы для нас являются увеличение надёжности и долговечности, снижение себестоимости продукции, снижение массы для транспортировки, увеличение коррозионной и химической стойкости, а также облегчение монтажа.

Задачи:

- 1) Выбор материала трубы, удовлетворяющий требуемым свойствам.
- 2) Выбор типа полипропилена, опираясь на теплостойкость.
- 3) Выбор типа труба, исходя из условий работы.

Обобщим достоинства и недостатки представленных видов труб на рынке (таблица 1), выберем оптимальный вариант для изготовления трубы горячего водоснабжения многоквартирного дома. Опираемся на такие характеристики как долговечность, цена, коррозионная стойкость и сложность монтажа. Наилучшими свойствами обладают полиэтиленовые и полипропиленовые трубы, но полиэтиленовые не используются для горячего водоснабжения т.к. они не выдерживают температуру  $+80^{\circ}\text{C}$ . Значит наш оптимальный вариант полипропиленовые трубы.

Так как физико-механические свойства типов пропилен отличаются незначительно, при выборе обратим внимание на теплостойкость типов (таблица 2) – это основополагающий фактор для выбора типа полипропилена для трубы горячего водоснабжения.

Таблица 1 – Сравнение представленных видов труб

Виды труб:	Долговечность:	Коррозионная стойкость:	Цена:	Сложность монтажа:
Стальные	До 25 лет	Низкая	Низкая	Сложный
Оцинкованные стальные	До 50 лет	Высокая, низкая в соединениях	Высокая	Сложный
Медные	До 70 лет	Высокая	Высокая	Сложный
Металлопластиковые	До 25 лет	Высокая	Низкая	Лёгкий
Полиэтиленовые	До 50 лет	Высокая	Низкая	Лёгкий
Полипропиленовые	До 50 лет	Высокая	Низкая	Лёгкий

Теплостойкость – способность материалов сохранять жёсткость и другие эксплуатационные свойства при повышенных температурах. При достижении определенной температуры происходит потеря прочности и жёсткости, а также появляется ползучесть.

У PPR наибольшая теплостойкость, равная  $130^{\circ}\text{C}$ . Это наш оптимальный вариант.

К основным условиям работы трубы для горячего водоснабжения относятся давление и температурный режим.

Таблица 2 – Теплостойкость типов полипропилена

Свойство	Полипропилен		
	PPH	PPB	PPR
Теплостойкость по Мартенсу, в °С	90	110	130

Согласно СанПин 2.1.4.2496-09, независимо от используемой системы теплоснабжения, горячая вода должна быть не холоднее 60 °С и не горячее 75°С.

Согласно СНиП 2.04.01-85\*, давление в системе горячего водоснабжения у санитарных приборов должно быть не более 0,45 МПа.

Исходя из этих данных, определены основные условия работы изделия, это основополагающие данные при выборе типа трубы.

Трубы из полипропилена (рисунок 1) делятся на 4 категории:

PN 10 – тонкостенный вариант, для холодного водоснабжения (до +20°С) и тёплых полов (до +45°С), номинальное рабочее давление 1 МПа.

PN 16 – для холодного и горячего водоснабжения (до +60°С), номинальное рабочее давление 1,6 МПа.

PN 20 – универсальная труба, применяется для горячего водоснабжения (температура до +80°С), номинальное давление 2 МПа.

PN 25 – армированные алюминиевой фольгой, для центрального отопления (до +95°С), номинальное давление 2,5 МПа.

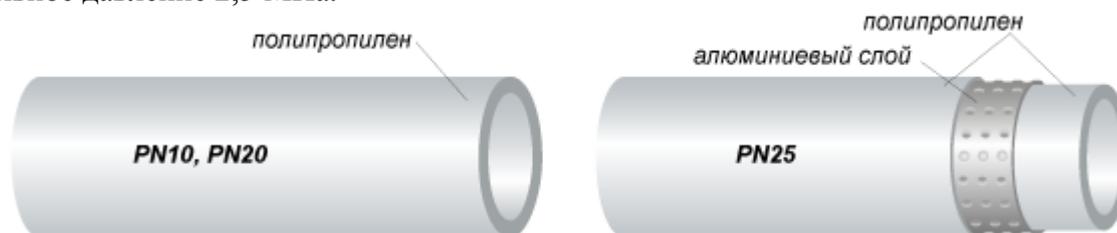


Рисунок 1 – Типы труб из полипропилена

Исходя из наших условий работы выбираем тип трубы PN20 с температурным режимом до +80°С и номинальным давлением 2 МПа.

Таблица 3 – Допустимое рабочее давление в зависимости от температуры и срока службы

Температура, °С	Срок службы (лет)	Рабочее давление (МПа) для PN20
75	5	1,07
	10	0,93
	25	0,75

При наших условиях работы срок службы трубы более 25 лет, а также присутствует запас прочности по давлению.

График зависимости срока службы трубы от рабочего давления при температуре 75 °С (рисунок 2):

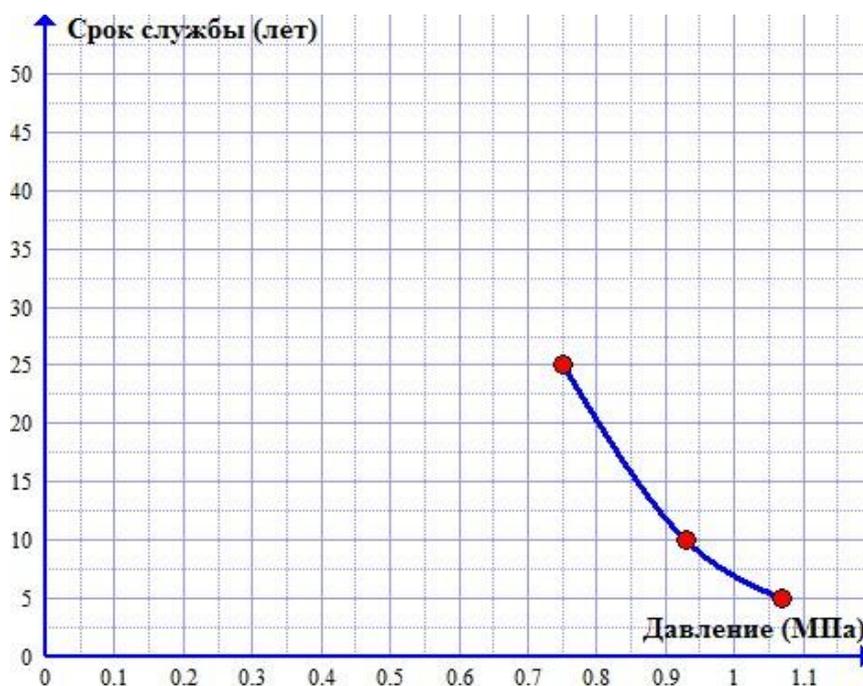


Рисунок 2 – Зависимость срока службы от рабочего давления при постоянной температуре

По характеру кривой сделаем предположение, что при нашем рабочем давлении 0,45 МПа срок службы трубы может составлять более 50 лет.

Исходя из условий работы выбрали тип трубы PN 20. Определили срок службы – это гарантированно 25 лет и предположительно может составлять более 50 лет, так как есть запас прочности по давлению.

Список литературы

1 Типы и виды водопроводных труб//–[Электронный ресурс]. Режим доступа: (<https://www.calc.ru/Tipy-I-Vidy-Vodoprovodnykh-Trub.html>).

2 ГОСТ Р 52134-2003\* «Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия».

3 СНиП 2.04.01-85\* «Внутренний водопровод и канализация зданий».

4 СанПин 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения».

5 Крыжановский В. К. Производство изделий из полимерных материалов: Учебное пособие для вузов / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРШНЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ниёзбеков Н. Н. – студент группы МиТМ-31, Бердыченко А. А. - к.т.н., доцент Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Поршень – деталь, предназначенная для циклического восприятия давления расширяющихся газов и преобразования его в поступательное механическое движение, воспринимаемое далее кривошипно-шатунным механизмом. Служит также для выполнения вспомогательных тактов по очистке и наполнению цилиндра. Как правило, оснащён поршневыми кольцами для улучшения герметичности системы цилиндр - поршень.

Поршень подразделяется на две части: головку и направляющая часть (юбка). В головку входят днище, камера сгорания и канавки для колец. В юбке есть две бабышки для отверстия под палец.

### Механические нагрузки на поршень.

Во время работы двигателя на поршень оказываются значительные механические нагрузки, постоянно меняющиеся как по направлению, так и по величине. Даже во время спокойного, равномерного движения автомобиля по дороге коленчатый вал двигателя вращается со скоростью приблизительно 3000 об/мин. Двигатели многих спортивных автомобилей имеют максимальную скорость вращения коленчатого вала до 12000 об/мин. На поршень также оказывается воздействие усилия сжимаемых газов на такте сжатия и особенно полезное воздействие расширяющихся газов на такте рабочего хода. Максимальное давление в камере сгорания высокофорсированного двигателя достигает 8,1–10 МПа, давление в камере сгорания обычного автомобиля 5,5–6 МПа. И если принять, что диаметр поршня среднего автомобиля равен 92 мм, в момент максимального давления поршень испытывает усилие от 5,3 до 6,6 кН.

### Температурные нагрузки на поршень

Первый, но не основной, источник это трение. Во время работы двигателя поршень перемещается с большой скоростью, при этом он постоянно трётся о стенки цилиндров.

Но в основном тепло, воздействующее на поршень, появляется при сгорании топливоздушная смеси в цилиндре двигателя. Температура сгоревших в цилиндре газов может достигать 2000–2500°C. Под воздействием этих газов и высоких температур разрушаются все конструкционные материалы, из которых изготавливаются детали современных двигателей внутреннего сгорания. Поэтому необходимо отводить тепло от наиболее нагруженных в тепловом режиме деталей двигателя и, разумеется, от поршней.

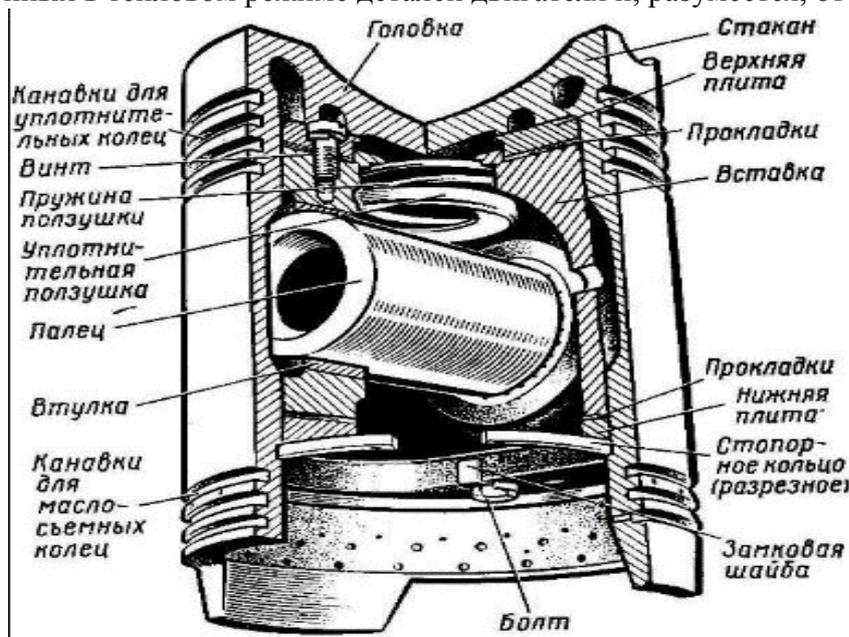


Рисунок 1– Общи вид поршня двигателя внутреннего сгорания

В зависимости от конструкции двигателя, формы его камеры сгорания, расположения клапанов днище, и другие части поршня, могут иметь различную форму.



Рисунок 2 – Форма днища поршня

К материалам, применяемым для изготовления поршней автомобильных двигателей, предъявляются следующие требования:

- высокая механическая прочность 140–150 МПа
- малая плотность;
- хорошая теплопроводность;
- малый коэффициент линейного расширения;
- высокая коррозионная стойкость;
- хорошие антифрикционные свойства.

Поршень двигателя внутреннего сгорания изготавливают методом литья из серый, ковкий чугун марок: СЧ 24-44, СЧ 28-48, СЧ 32-52, и жаропрочные славы или из легких алюминиевых сплавов методомковки: АЛ1, АК12, АК4.В качестве материала для вставок под первое компрессионное кольцо применяются низкоуглеродистая сталь или чугун.

Наиболее широко применяется серый чугун марки СЧ 24-44, СЧ 28-48 и алюминиевые сплавы марок АЛ1 и АК12.

Физические и механические свойство сплавов показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Физические и механические свойства сплавов

Марка стали	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Твердость НВ	Коэффициент теплопроводности Вт/(м·К)	Удельный вес $\text{кг/м}^3 \cdot 10^3$	Коэффициент линейного термического расширения $\alpha \cdot 10^6$ , 1/Град
СЧ 24-44	230–240	170–241	50	7,2	10 –11
СЧ 28-48	260–275	170–241	46	7,3	10 –11
АЛ1	180-210	85–90	168	2,75	22,3
АК12	147–157	45–50	168	2,65	21,1
20Х3МВФ	875–880	265–270	38	7,4	9–10

Алюминиевые сплавы имеют малую плотность, что позволяет снизить массу поршня и, следовательно, уменьшить инерционные нагрузки на элементы цилиндропоршневой группы. При этом упрощается также проблема уменьшения термического сопротивления элементов поршня, что в сочетании с хорошей теплопроводностью, свойственной данным материалам, позволяет уменьшить тепло- напряженность деталей поршневой группы. К положительным качествам алюминиевых сплавов следует отнести малые значения коэффициента трения в паре с чугунными или стальными гильзами. Однако поршням из алюминиевых сплавов присущ ряд серьезных недостатков, основными из которых являются невысокая усталостная прочность, уменьшающаяся при повышении температуры, высокий коэффициент линейного расширения, меньшая, чем у чугунных и жаропрочных поршней, износостойкость, сравнительно большая стоимость.

Чугун в качестве материала для поршней по сравнению с алюминиевым сплавом обладает следующими положительными свойствами: более высокими твердостью и износостойкостью, жаропрочностью, одинаковым коэффициентом линейного расширения с материалом гильзы. Последнее позволяет существенно уменьшить и стабилизировать по режимам работы зазоры в сочленении юбка поршня – цилиндр. Однако большая плотность не позволяет использовать его широко для поршней высокооборотных автомобильных двигателей.

Сложная конфигурация поршня, быстро меняющиеся по величине и направлению тепловые потоки, воздействующие на его элементы, приводят к неравномерному

распределению температур по его объему и как следствие, к значительным переменным по времени локальным термическим напряжениям и деформациям.

Из-за неравномерного распределения температур на поршень изменяем конструкцию поршня.

Для изготовления головки поршня применяем жаропрочный сплав типа 20Х3МВФ, а юбку поршня изготовим из алюминиевого сплава АЛ1.

Поршни из алюминиевых сплавов изготавливаются штамповкой. При штамповке непосредственно из слитка часто появляются трещины и ухудшается структура; в связи с этим поршни штампуют из катаных или прессованных заготовок.

Технология изготовления поршня

#### 1 Резка стержня на длину заготовки

Отрезной станок разрезает с заготовки длиной 3 м определенную часть для последующей ее штамповки. Применяют автоматы со счетными устройствами для автоматического определения длины отрезаемой заготовки, исходя из фактических размеров сечения прутка и для регулирования соответствующего положения упора на дисковых пилах для резки прутка.

#### 2 Нагревание заготовки

Процесс нагрева должен обеспечивать: достижение требуемой температуры слитка или заготовки, достаточно равномерно распределённой по сечению, минимальное окисление и обезуглероживание поверхности, сохранение целостности нагреваемого металла, отсутствие микро- и макротрещин. Чем выше скорость нагрева (т. е. чем меньше его продолжительность), тем меньше окисление и обезуглероживание поверхности и тем экономичнее нагрев.

В зависимости от формы поперечного сечения (цилиндр, квадрат) нагреваемых заготовок и расположение их на полу печи, время нагрева будет различным.

#### 3 Штамповка

Нагретые заготовки штампуют при температуре 1200–1300 °С на паровом штамповном молоте. Усилие и скорость прессовки зависят от состава материала.

#### 4 Закалка

Готовую форму нагревают в печи до температуры закалки (1030–1100 °С) затем охлаждают в масле. Структура стали после закалки в масле состоит из феррита и цементита.

#### 5 Отпуск

Для достижения оптимальной сочетание твердости и прочности применяли высокотемпературный отпуск (600–700 °С).

#### 6 Механическая обработка

После штамповки поршень подвергался механической обработке на токарном станке. Шероховатость поверхности регулируется по ГОСТу 53558–2009.

Список литературы

1 Брюханов, А. Н. Ковка и объемная штамповка стали: учебник для ВУЗов [текст] // А. Н. Брюханов, М. Г. Златкин, С. Б. Кирсанов, А. М. Мансуров. Под ред. С. Б. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 2. – 435 с.

2 Клочкок Н. А. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента: учебник для ВУЗов [текст] // Под ред. С. Б. Кирсанова. – М.: Металлургия, 1981. – 200 с.

3 Басенко, Э. В. Проектирование двигателей внутреннего сгорания: учебник для ВУЗов [текст] // Под ред. В. Б. Матвеева. – М.: Машиностроение, 1975. – 386 с.

4 Легковые автомобили [Электронный ресурс] URL: <http://www.bibliotekar.ru/auto3/5.htm>.

5 Составной поршень [Электронный ресурс] URL: <http://nikopol.all.biz/porshen-volvo-fh12-d12a-1310-sostavnoj-pr-vo-mahle-g3875071#.WRMuidLyjDd>

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОРМОЗНОГО ДИСКА**  
Пацукова В. М. – студент группы МиТМ-31, Головина Е. А. – к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г.Барнаул

Современное машиностроение дает нам неограниченные возможности в выборе материалов для изготовления различных деталей в автомобилестроении. Было отмечено, что очень часто в автомобилях в негодность приходят такие важные детали как, тормозной диск и колодки (рисунок 1).

Для того чтобы машина была быстрой, она должна быть легче, а железо слишком тяжелое, железные тормозные диски быстро изнашиваются, ломаются из-за высокой температуры и трения, возникающего во время торможения при высокой скорости. Когда две тонны металла развивают большую скорость, то автомобиль за считанные секунды должен затормозить. Поэтому есть необходимость в использовании качественных фрикционных материалов [2, 3].



Рисунок 1 – Тормозные диски

Цель – улучшить некоторые свойства: интервал рабочих температур, износостойкость, коэффициент трения, долговечность, а также, снижение веса за счёт использования полимерных материалов.

Материал для тормозных дисков должен обладать высокой термостойкостью (от 673,15 К); эффективно сопротивляться истиранию; сопротивлением к деформационным процессам; хорошими прочностными характеристиками. Поскольку торможение происходит за счет трения между диском и колодками, материал должен иметь достаточную прочность к истиранию, оптимальное сочетание твердости и вязкости; долговечностью.

Чаще всего тормозные диски изготавливают из серого чугуна. Популярность этого материала объясняется хорошими фрикционными свойствами и невысокой стоимостью производства. Наряду с этими преимуществами, чугун имеет ряд существенных недостатков: значительный вес, коробление диска, ограничение использования в спортивных машинах и мотоциклах, во время нагревания намного сильнее подвергается коррозии [4].

В данной работе в качестве компонентов для материала тормозных дисков были выбраны: углепластик и карбид кремния, т.е. карбон-керамические тормозные диски.

Преодолев период роста, карбон-керамические тормоза оставили своих металлических коллег далеко позади. Вес тормозного диска из карбида кремния и углеродных волокон значительно меньше металлического, коэффициент трения на порядок выше, а рабочий диапазон, ограничивающийся на обычных тормозах 500...600 °С, здесь доходит далеко за отметку в 1000 °С. Карбон-керамические диски не коробятся, а снижение неподдресоренных

и вращающихся масс положительно сказывается на ходовых качествах автомобиля. Тем не менее путь к обычным дорожным автомобилям таким тормозам пока что в ожидании. Стоимость комплекта таких тормозов может достигать стоимости нового автомобиля малого класса, нормально работать они начинают только после хорошего прогрева.

В настоящее время карбон-керамические тормозные диски производят следующим методом: горячим прессованием.

В промышленных условиях способ получения фрикционных керамических дисков заключается в жидкофазной пропитки углеродных основ расплавленным кремнием. Этот метод выгодно отличается от других процессов малым числом циклов, коротким временем изготовления и сравнительно невысокой стоимостью [1].

Технологический процесс и проектирование тормозного диска

Технологический процесс изготовления тормозного диска состоит в горячем прессовании (рисунок 2).



Рисунок 2 – Технологическая схема изготовления тормозного диска

Процесс изготовления изделия из карбида кремния и углеродных волокон методом горячего прессования происходит в несколько этапов:

1 порошок из разных компонентов засыпают в дисковидную форму, нагревается под давлением и принимает заданную форму – формирование заготовки;

2 далее добавляют нарезанные углеродные волокна, для придания прочности;

3 затем происходит прессование содержимого давлением 2000 кг, разогревая содержимое формы до 400 °С;

4 следующий этап – механическая обработка диска;

5 силицирование – тигель с диском и засыпанным мелким кремнием отправляют в печь, где температура достигает значения 1700 °С происходит процесс запекания;

6 и заключающий этап – механическая обработка заготовки (полировка и чистка).

На рисунке 2 представлена блок-схема технологического процесса изготовления тормозного диска.

Вывод

В результате проделанной работы разработан технологический процесс изготовления тормозного диска, состоящий из следующих этапов: входной контроль, формирование заготовки, прессование, отверждение, механическая обработка, силицирование, механическая обработка и контроль качества.

Проведённые работы по внедрению углеродных волокон для изготовления тормозных дисков показали, что:

- прочностные характеристики тормозного диска повышаются по сравнению с тормозными дисками, изготовленными только из керамики и к тому же, резко отличаются от тормозных дисков из серого чугуна;

- при интенсивной работе карбон-керамический диск не коробится, в отличие от металлических дисков;

- карбон-керамические диски выдерживают большие термические нагрузки, чем чугунные тормозные диски;

- карбон-керамический тормозной диск имеет с обеих сторон фрикционные слои, свойства которых определяют трибологические характеристики тормозной системы. Эти фрикционные поверхности имеют несколько иной химический состав, чем скрытая под ними несущая часть, которая отвечает за прочность узла и восприятие энергии торможения;

- эстетический вид карбон-керамических дисков более привлекателен, чем чугунных тормозных дисков.

Литература

1. Тормозная система <http://systemsauto.ru/brake/brake.html>

2. Тормозные диски: виды, типы и предназначения – <http://www.mrwolf.ru/Avtomoto/Pro4ee/6406>

3. Тормозные диски – <https://raceportal.ru/race-theory-and-practice/tech-theory/item/255-tormoznoj-disk.html>

4. Центральный металлический портал РФ – [http://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/chu/SCH20](http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/chu/SCH20)

5. Свойства карбида кремния – <https://www.google.ru/search>.

6. Свойства фенолформольдегидной смолы – [http://plastinfo.ru/content/imgupload/articles/ar\\_pl\\_t2.gif](http://plastinfo.ru/content/imgupload/articles/ar_pl_t2.gif)

7. Получение и свойства фрикционных углерод-керамических материалов класса c/sic/ Е.И. Крамаренко, В.В. Кулаков, А.М. Кенигфест, С.А. Ситников, В.В. Мозалев, 2011.

8. Методы неразрушающего контроля деталей авиадвигателей из композиционных материалов. выявление границ допустимости дефектов / Т. Д. Каримбаев, Д. С. Пальчиков, 2014.

9. Проточка тормозных дисков – <https://auto.today/bok/2278-protodka-tormoznyh-diskov-bez-snyatiya-svoimi-rukami.html>

## ОСНОВЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОНЖЕРОНА ЛОПАСТИ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

Попкова А.С. – студент группы МиТМ-31, Головина Е. А. – доцент, к. т. н.  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Основной силовой элемент большинства лопастей – лонжерон, которому придается форма носовой части аэродинамического профиля лопасти.

С аэродинамической точки зрения лонжерон должен выполняться с жесткими допусками на обвод  $\pm 0,3$  мм и иметь гладкую поверхность. С конструктивной точки зрения лонжерон должен изготавливаться из высокопрочного материала, мало чувствительного к концентрации напряжений. Толщина стенок выдержана в строгих пределах. Вес распределен по всей длине и хорде. На поверхности не должно быть рисок, царапин, неровностей, непрочных и других дефектов, которые могут привести к появлению усталостных трещин. Эксплуатационные требования сводятся к тому, чтобы он был атмосферостоек к эрозии от дождя пыли, песка.

На лонжерон действуют: аэродинамическая нагрузка, инерциальная нагрузка от сил веса лопасти, инерциальная нагрузка от центробежных сил лопасти, инерциальная нагрузка, вызываемая маховыми движениями лопасти и суммарная поперечная нагрузка.

Различают несколько способов изготовления лопастей из стеклопластиков: контактный способ, способ прессования, способ вакуумный способ, автоклавный способ и способ пресс-камеры, способ пропитки под давлением и способ намотки.

Наиболее подходящий способ изготовления лонжерона является метод прессования в жестких пресс-формах.

При этом способе как внешняя, так и внутренняя поверхности изделия имеют исключительно высокую гладкость, изделие получается с высокими физико-механическими свойствами. В зависимости от свойств формируемого материала удельное давление при прессовании меняется от 50 до 400 кгс/см<sup>2</sup>. Схема представлена на рисунке 1.

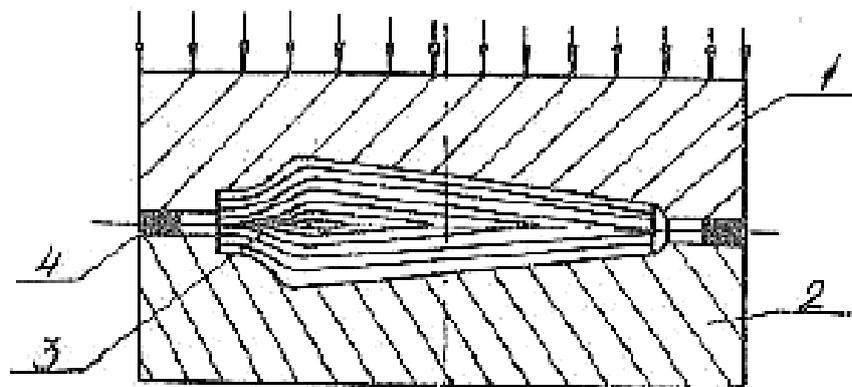


Рисунок 1 – Схема прессования в жесткой пресс-форме, где 1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – прессуемое изделие, 4 – ограничитель зазора

Процесс прессования лонжеронов состоит из следующих основных операций: подготовки исходного материала и его дозировки, подготовки пресс-формы, загрузки, укладки прессматериала в пресс-форму, прессования, т.е. выдержки при температуре под давлением, распрессовки с последующей механической обработкой и контроля детали.

Лонжероны изготавливают из стеклопластиков. Они представляют собой пластмассы на основе синтетических смол, армированные стеклянными волокнами. Связующее обеспечивает совместную работу волокон наполнителя, распределяя нагрузку равномерно по всем армирующим элементам. Характеристики связующих представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики связующих

Связующее (смола)	Предел прочности, кг/мм <sup>2</sup>		
	$\sigma_{\text{раст}}$	$\sigma_{\text{изг}}$	$\sigma_{\text{сж}}$
Полиэфирная	4,2	9–11	14
Полиэпоксидная	8–9	13–14	12
Фенольная	5–5,2	7–10	10
Кремнийорганическая	2,8	5,5	6,3

Для производства лонжерона используется стеклоткань Т–25(П)–76. Основные технические характеристики представлены в таблице 2.1 [7]:

Таблица 2 – Основные технические характеристики стеклоткани

Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Плотность ткани, нитей/см.		Разрывная нагрузка, Н		Ширина, см.	Вид переплетения
		15±1	14±1	1666 (170)	1666 (170)		
0,32 ± 0,04	390 ± 15	15±1	14±1	1666 (170)	1666 (170)	120	саржа 2/2

Связующее ЭДТ–10 представляет собой двухупаковочную систему, состоящую из эпоксидной модифицированной смолы и модифицированного отвердителя, поставляемых комплексно в соотношении 100:79,3.

Для изготовления лонжерона стеклопластиковой лопасти применяется механизированный стапель первого перехода. Стапель состоит из следующих основных частей: подвижных и неподвижных полукорпусов пресс-форм. Балок, опорных оснований, гидроцилиндров для закрытия пресс-форм, комлевой и концевой заглушек. Внутренний контур полукорпусов пресс-форм обрабатывается по шаблонам лонжерона, снятым с теоретического плаза лопасти с учетом толщины антиобледенительной системы.

Технология изготовления лонжерона лопасти заключается в формовании пакетов препрега в пресс-форме, обеспечивающей аэродинамический контур лопасти. К стенкам пресс-формы слои стеклопластика необходимо прижать с усилием 8 кгс/см<sup>2</sup>.

Одним из сложных процессов изготовления лонжерона лопасти является создание требуемого давления прессования препрега в пресс-форме. Это обусловлено геометрической формой аэродинамического профиля лопасти в местах сопряжения нижнего и верхнего обводов в виде поверхностей двойной кривизны переменного радиуса. Пресс-камера должна выдерживать необходимое давление и температуру 150°С в течение 4 ч. Температура задается в автоматическом режиме встроенным в пресс-форму нагревательным элементом, давление – нагнетанием сжатого газа (азот). Готовое изделие должно легко извлекаться из внутренней полости пресс-формы.

Процесс изготовления препрега состоит в пропитке рулона связующим ЭДТ-10 в пропиточной машине УПСТ-1000М. Все работы, связанные с пропиткой стеклоткани, производятся в пылевлагозащищенном помещении при температуре воздуха 18–25 °С и относительной влажности не выше 75 %. Стеклоткань, предназначенную для пропитки, необходимо предварительно просушить в термошкафу при температуре 80 °С в течение 6 часов. Время между операцией сушки и началом пропитки не должно превышать 4 ч.

Раскрой заготовок из препрега производится на гидрорезной установке BARS JET 2060, без абразива, только водой при давлении 2 500 бар.

Третий этап – укладка полученных заготовок на технологические оправки для предварительной опрессовки послойно (рисунок 2).

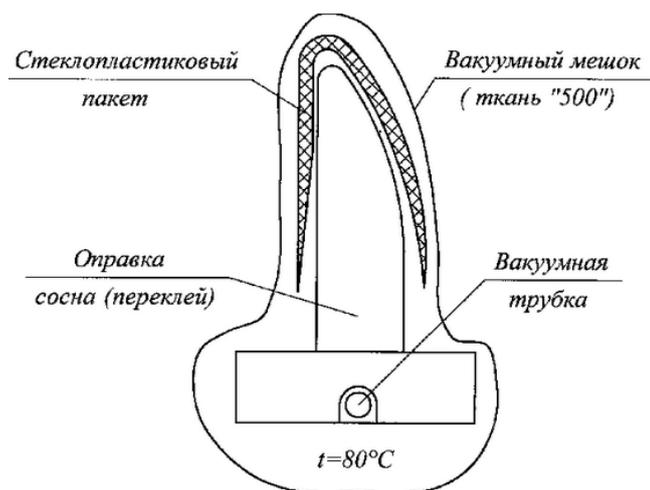


Рисунок 2 – Схема предварительной опрессовки пакетов лонжерона

По аналогичной схеме осуществляется предварительная сборка и подпрессовка пакета противообледенительного устройства.

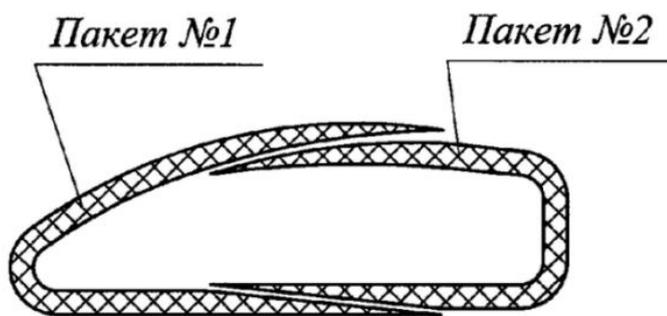


Рисунок 3 – Схема укладки пакетов в пресс-форму

Подготовленные пакеты укладывают в пресс-форму (рисунок 3).

После охлаждения пресс-формы до температуры окружающей среды производится выемка детали и удаление вкладыша из внутреннего канала лопасти.

Список использованной литературы

7 Петрова, А. П. Клеевые связующие для полимерных композиционных материалов на основе угле- и стеклопластика/ А. П. Петрова, Л. А. Дементьева, Н. Ф. Лукина, Л. В. Чурсова – М.: Материаловедение, 2015. – 64 с.

8 Абибов, А.Л. Технология самолетостроения [Текст] / А.Л. Абибов – М.: Машиностроение, 1970. –551 с.

9 Резниченко, В.И. Изготовление лопастей вертолетов из неметаллических материалов [Текст] / В.И. Резниченко – М.: МАИ, 1977. – 63 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБШИВКИ ИНТЕРЦЕПТОРА КРЫЛА САМОЛЕТА

Прокопец А. Д. – студент группы МиТМ-31, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Интерцептор – аэродинамический орган управления летательным аппаратом, выполненный в виде пластины, в рабочем положении выступающей над его поверхностью под углом к набегающему потоку.

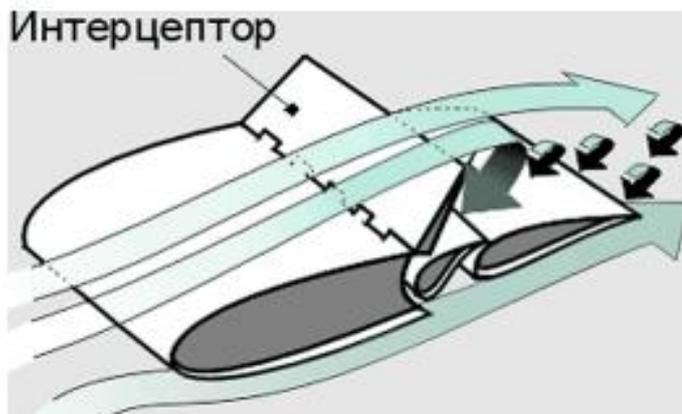


Рисунок 1 – Интерцептор

В конструкции интерцептора применяются волокнистые полимерные композиционные материалы. Применение таких материалов очень выгодно, т.к. они имеют высокие показатели удельной прочности, что позволяет снизить массу самолета, не теряя при этом прочности. Этот факт позволяет значительно увеличить летно-технические характеристики самолета.

В зависимости от предназначения и площади поверхности консоли, расположения её на крыле и так далее, интерцепторы делят на следующие виды, представленные на рисунке 2.

Элерон-интерцепторы – представляют собой дополнение к элеронам и используются в основном для управления по крену. Они отклоняются несимметрично. У некоторых самолетов элерон-интерцепторы могут являться главным (либо резервным) органом управления по крену.

Спойлеры (многофункциональные интерцепторы) – гасители подъемной силы. Наиболее заметная в работе часть механизации. Симметричное задействование интерцепторов на обеих консолях крыла приводит к резкому уменьшению подъемной силы и торможению самолёта. После выпуска самолёт балансируется на большем угле атаки, начинает тормозиться за счёт возросшего сопротивления и плавно снижаться. Возможно изменение вертикальной скорости без изменения угла тангажа. То есть при одновременном выпуске интерцепторы используются в качестве воздушных тормозов.

Интерцепторы представляют собой подвижные части крыла в виде профилированных щитков (пластин), расположенные вдоль размаха крыла и выдвигаемые через щели в крыле по нормали к поверхности или отклоняемые на постоянный или изменяемый по воле пилота угол.

Интерцепторы составляют около 3 % общей площади крыла. Они предназначены для уменьшения подъемной силы крыла, увеличения эффективности элеронов и лобового сопротивления самолета. Интерцепторы применяются в полете и на земле.

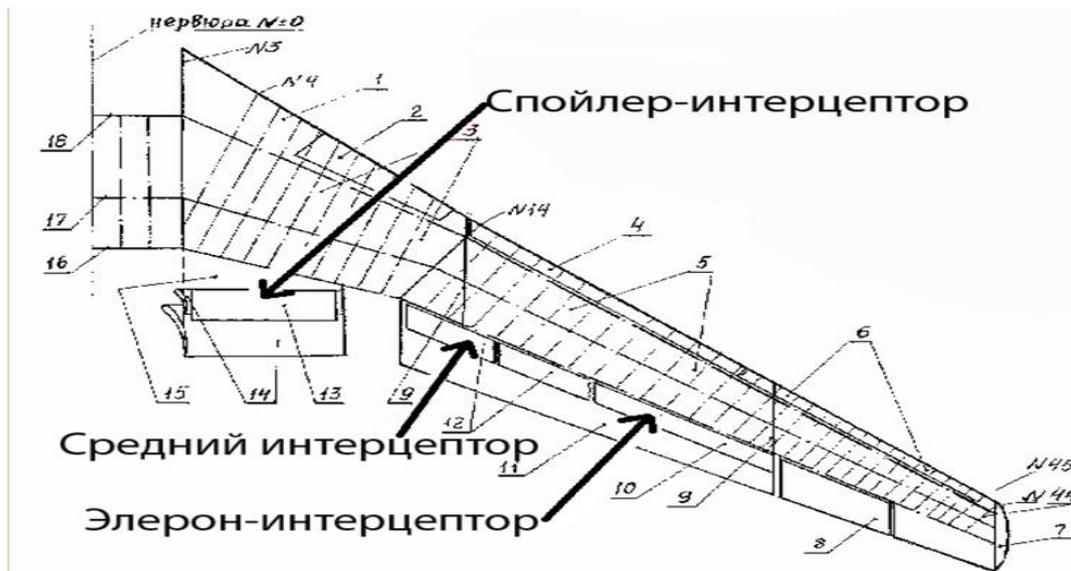


Рисунок 2 – Виды интерцептора

Первые опыты применения интерцепторных органов управления указывали не только на большую их конструктивную простоту, но и подтвердили возможность получения высокой эффективности. Это обстоятельство позволило внедрить их на ряде летательных аппаратов в качестве основных, а иногда и единственных органов управления.

Применение интерцепторов приводит к значительному уменьшению коэффициента подъемной силы и увеличению коэффициента лобового сопротивления, что вызывает резкое снижение несущих свойств крыла и эффективности других средств механизации. Значение и знак изменения коэффициентов аэродинамических сил зависят не только от угла отклонения интерцепторов или высоты их выдвижения, но и места расположения интерцептора вдоль хорды.

Условия эксплуатации авиационной техники обуславливают крайне жесткие требования к материалам, которые должны обеспечить прочность конструкции при минимальных удельной массе, габаритах; надежность и длительный ресурс при воздействии переменных и значительных силовых нагрузок, чередования повышенных и пониженных температур, коррозионно-активных сред.

Применение перспективных конструкционных материалов в изделиях авиационной отрасли должно обеспечить:

- повышение коммерческого срока эксплуатации;
- повышение ресурса;
- повышение межремонтного срока;
- снижение массы конструкции.

Правильный выбор материала для изготовления интерцептора может существенно улучшить весовые и лётно-тактические характеристики, а также снизить материальные затраты на его производство и эксплуатацию. При выборе материала учитываются его механические свойства: пределы прочности  $\sigma_b$ , текучести  $\sigma_T$ , сопротивление усталости при различных циклах изменения напряжений, модуль упругости  $E$ , износостойкость, вязкость, теплофизические, химические свойства, коэффициент линейного расширения и др. Однако, наибольшее внимание при выборе материала уделяется удовлетворению требования обеспечения необходимости прочности и жесткости конструкции при наименьшей массе, обеспечение весовой эффективности материала.

В современных авиационных конструкциях находят наибольшее применение высокопрочные алюминиевые, магниевые и титановые сплавы, стали, в том числе высокопрочные легированные и коррозионностойкие, и композиционные материалы. Благодаря применению новых алюминиевых сплавов, полимерных

композиционных материалов, титановых сплавов, конструкционных сталей обеспечено повышение срока эксплуатации изделий, ресурса, межремонтного срока при эксплуатации.

В качестве армирующего материала могут применяться волокна стекла, углерода, бора, органические волокна. В качестве металлической основы для КМ работающих при  $t$  до 250...300°C, применяются алюминиевые и магниевые сплавы, для более высоких температур эксплуатации (от 450 до 500 °C) – титановые сплавы, для еще более высоких – никелевые сплавы. Благодаря существенным преимуществам по удельной прочности и жесткости, исключительному сочетанию конструкционных, теплофизических, специальных свойств ПКМ все в большем объеме применяются в конструкциях летательных аппаратов.

Использование композиционных материалов позволяет снизить массу конструкции самолета на 20...30 %. КМ имеют низкую чувствительность к концентраторам напряжений, обладают хорошей коррозионной стойкостью, радиопрозрачностью и др. Однако КМ обладают и рядом недостатков нестабильностью значений характеристик и анизотропией свойств, малой прочностью межслоевого сдвига, сложностью заделки.

Практическое применение в производстве элементов механизации крыла получили углепластики за счет сочетания в себе высокой прочности, жесткости, почти нулевого коэффициента термического расширения, молниестойкости.

Применение ПКМ на основе углеволокна – одно из эффективных средств уменьшения массы летательного аппарата. совершенствование прочностных, деформационных, теплофизических характеристик углепластиков и повышение их теплостойкости дает возможность использовать при изготовлении интерцептора крыла самолета.

Углепластики имеют малый удельный вес – 1450–1600 кг/м<sup>3</sup>, высокие жесткость, вибропрочность и показатели усталостной прочности. Всё это делает их одними из самых перспективных материалов для производства авиационной техники.

При всех основных видах действующих нагрузок удельная прочность углепластиков оказывается выше прочности алюминиевого сплава. Прочность и жесткость углепластиков примерно в шесть раз выше, чем у основных сортов стали, используемых в конструкциях

Большую долю несущих конструкций представляют собой изделия из углепластика. В таблице 1 представлена динамика применения углепластика в конструкциях самолетов и масса композитных деталей в общей массе авиалайнера.

Таблица 1 – Динамика применения деталей из углепластика в самолетостроении

Год	2000	2005	2010	2014
Конструкция	Не несущие конструкции	Несущая конструкция	Несущая конструкция	Несущая конструкция
Количество CFRP (carbon fiber reinforced plastic - пластика, армированного углеродным волокном)/самолета (расчетное значение)	1,5 т	10 т	25 т	40 т

В настоящее время процент содержания композитов в конструкциях современной авиации составляет 15 %, но в новом поколении самолетов этот процент значительно вырастет. В отечественном авиастроении применение композиционных материалов постоянно увеличивается. Если в первом российском лайнере SSJ100 используется около 12% агрегатов из композитов, то новый самолет MC–21 будет состоять из композитов на треть.

#### Выводы:

Из анализа характеристик изделия и требований надежности, прочности, жесткости, технологичности, оптимальности по массе, аэродинамике, долговечности, предъявляемых к авиационным конструкциям, оптимальными для изготовления обшивки будут композиты на основе углеродного волокна и эпоксидного связующего.

Для улучшения свойств материала, непрерывное углеродное волокно необходимо сочетать со связующим, в объеме которого равномерно распределены ультрадисперсные углеродные частицы.

#### Литература:

1 Сальникова, Н.Г., Применение композиционных материалов в технике [Текст] / Н.Г. Сальникова – М.: Машиностроение, 1979. – 512 с.

2 Ананьева, Е.С., Маркин В.Б. Перспективы применения углепластиков комбинированного наполнения в авиакосмической технике [Текст] / Е.С. Ананьева, В.Б. Маркин // Ползуновский вестник. – 2009. - № 4. – 4 с.

3 Гуняев, Г.М., Конструкционные эпоксидные углепластики [Текст] / Г.М. Гуняев – М.: ВИАМ, 1984. – 16 с.

4 Колганов, И.М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения [Текст] / И.М. Колганов – У.: Издательство УГТУ, 2003. – 148 с.

5 Флерова, Н.И. Углепластиковые конструкции в самолете // Авиастроение. 2005. URL: <http://paralay.com/starship.html>(дата обращения: 28.11.2016).

6 Свойства и характеристики стеклопластика[Электронный ресурс] URL: <http://www.poliuretan.ru/stekloplastik>(дата обращения: 02.12.2016).

### ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ ОБЛИЦОВОЧНОЙ ПЛИТКИ МЕТОДОМ ГИПЕРПРЕССОВАНИЯ

Сафрайдер С.С. – студент группы МиТМ-31, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В данной работе выбран материал для изготовления облицовочной плитки. Разработан технологический процесс изготовления композиционной облицовочной плитки с максимальной плотностью упаковки.

Лицевое покрытие из плиточных изделий, которое закрепляется на поверхности элементов зданий или сооружений, называется облицовкой. Облицовочные работы несут защитные, санитарно-гигиенические и декоративные функции конструктивных элементов зданий и сооружений. Облицовки подразделяются:

- по условиям выполнения – на наружные (фасады зданий) и внутренние (внутри зданий и сооружений);
- по расположению конструкций – на горизонтальные (полы и потолки) и вертикальные (стены, перегородки, колонны, пилястры и т.д.) [1].

Требуемые материалы для изготовления плитки:

- Наполнитель 80...85 % – речной песок двух фракций и одна фракция силикат глыбы;
- Ацетон – нужен для снижения вязкости связующего, так же служит для предварительного смачивания всех частичек песка (таблица 1);

Таблица 1 – Технические характеристики ацетона [5, 6]

Наименование показателя	Норма по ГОСТ	
	Ацетон высший сорт	Толуол Высший сорт
Внешний вид и цвет	бесцветный	прозрачный
Массовая доля, %, не менее ацетон	99,5	99,75
толуол	-	-
Плотность, $\Gamma/\text{см}^3$	0,789...0,791	0,865...0,867
Массовая доля воды, %, не более	0,2	-
Массовая доля примесей, %, не более метилового спирта	0,05	-
ароматические углеводороды	-	0,05
неароматические углеводороды	-	0,10
бензол	-	0,10
Устойчивость к окислению марганцево-кислым калием, ч, не менее	2	-
Массовая доля общей серы, %	-	0,00015

- Эпоксидная смола марки ЭД-22 – 10...15 % (таблица 2);

Таблица 2 – Сравнение эпоксидной смолы марки ЭД-22 и ЭД-20 [3, 4].

№ п/п	Наименование показателя	Норма по ГОСТ	
		ЭД-22 высший сорт	ЭД-20 высший сорт
1	Внешний вид смолы	низковязкая прочность	вязкая прочность
		Без видимых механических включений	
2	Цвет по железокобальтовой шкале, не более	3	3
3	Массовая доля эпоксидных групп, %	22,1...23,6	20,0...22,5
4	Массовая доля иона хлора, %, не более	0,001	0,001
5	Массовая доля омываемого хлора, %, не более	0,2	0,3
6	Массовая доля гидроксильных групп, %, не более	1,0	1,7
7	Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,1	0,2
8	Динамическая вязкость, Па×с, при 50 °С	8...12	13...20
9	Время желатинизации с отвердителем, ч, не менее	18,0	8,0

- Отвердитель смолы ПЭПА (таблица 3);

Задача исследования состоит в том, что нужно изготовить изделие с максимальным содержанием наполнителя, и с очень малым количеством связующего.

Песок должен соответствовать технологическим требованиям: иметь влажность не более 10 % и не иметь посторонних включений. Подготовка песка заключается в просеивании и просушке [2].

В качестве отвердителя эпоксидно-диановой смолы выбран полиэтилен-полиамины (ПЭПА) – это смесь этиленовых аминов. Эпоксидная смола под действием отвердителей образует сшитые полимеры [7].

Таблица 3 – Основные характеристики ПЭПА и ТЭТА отвердителя [7]

Наименование показателя	Норма	
	ПЭПА	ТЭТА
Отвердитель	полиэтиленполиамины	триэтилентетрамин
Название	от светло-желтого до темно-бурого	бесцветный
Цвет		
Молекулярная масса, г/моль в пределах	230...250	146
Температура, °С:		
• плавления;	-30	-35
• кипения;	более 350	277
• вспышки	118	118
Динамическая вязкость, МПа×с, при 25 °С	250	14
Плотность при 25 °С, г/см <sup>3</sup>	1,017	0,98
Массовая доля, %		
• общего азота, не менее;	30	37
Время желатинизации	25 минут при 20...25 °С	
Срок годности	12 месяцев	

Для изготовления плитки применяется метод гиперпрессования.

Гиперпрессование – это безобжиговый метод производства изделий. Данный метод основывается на процессе "холодной сварки", происходящей при прессовании под высоким давлением с двух сторон [8].

Для изготовления облицовочной плитки используется пресс гидравлический с револьверным столом «Револьвер GT-20» (рисунок 2) [8].

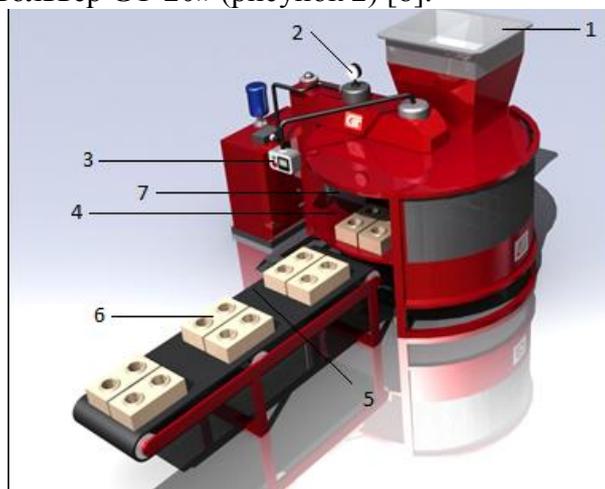


Рисунок 2 – Пресс “Револьвер GT-20”, где 1 – дозаторный бункер; 2 - манометр; 3 – кнопки включения и выключения оборудования; 4 – цилиндрический пресс (револьвер); 5 – транспортер; 6 – готовые изделия; 7 – модель

Таблица 5 – Технические характеристики оборудования [8]

№	Характеристики	Единица измерения
1	Напряжение электропитания, В	380
2	Мощность, кВт	40
3	Мощность гидронасосов, л/мин	400
4	Давление основного гидроцилиндра, т	180
5	Удельное усилие прессования, МПа	Не более 50
6	Объем гидробака, л	1000
7	Габаритные размеры, мм	4000×1700×1700
8	Масса, кг	4000
9	Глубина формовочной камеры, мм	Не более 40
10	Способ фиксации пресса	стационарный
11	Вид управления	автоматический – ручной
12	Обслуживающий персонал, чел	2

В ходе испытания использована следующая технология изготовления образцов:

1. Входной контроль

Песок должен соответствовать технологическим требованиям: иметь влажность не более 10% и не иметь посторонних включений. Подготовка песка заключается в просеивании и просушке.

Основные испытания при входном контроле для смолы: внешний вид; вязкость; содержание сухого остатка; время желатинизации; плотность.

Следует обязательно проводить испытания каждой партии поставленной продукции. Сравнивать заявленные и полученные параметры.

Входной контроль для наполнителя: определение гранулометрического состава; проверка на количество примесей которые вредны для будущего изделия, насыпной плотности,

Отвердитель как и смолу проверяют на внешний вид, и на реакцию со смолой.

Растворитель должен быть прозрачным или же желтоватого оттенка

2. Подготовка и дозирование компонентов

Для получения максимальной плотности упаковки, рассчитали фракции ступенчатым подбором. Проведен ситовой анализ песка и силикат глыбы, перед ситовым анализом нужно просушить песок.

2.1 Смешивания песка трех фракций с ацетоном.

Изготовлено четыре партии образцов, в партии по три образца. Смешиваются две фракции песка и одна фракция силикат глыбы, добавляется ацетон для смачивания всех частичек. Состав наполнителя для испытаний 1 – 4 (таблице 6).

Таблица 6 – Состав наполнителя

Номер	Фракции песка, г		Фракция силикат глыбы 0,04-0,063 мм, г	Ацетон, г
	0,6 мм	0,3-0,2, мм		
1	435	186	19,29	14,92
2	478,5	204,6	21,3	10,46
3	478,5	204,6	21,3	7,46
4	625,47	268,95	24,03	-

2 Смешивание смолы, отвердителя и ацетона.

В рассчитанное количество смолы, добавляют отвердитель и ацетон. Отвердитель в смолу добавляется в процентном соотношении 1,2 частей отвердителя, 10 частей смолы. Ацетон добавляют до жидкого состояния связующего. Состав связующего для испытания 1 – 4 (таблица 7).

Таблица 7 – Состав связующего

Номер	ЭД-22, г	ПЭПА, г	Ацетон, г	Растворитель-646, г
1	48,87	5,43	14,92	-
2	31,15	3,5	7,46	-
3	31,5	3,5	7,46	-
4	61,65	6,17	-	14,92

3 Смешивание песка, смоченного ацетоном и связующего, разбавленного ацетоном  
 Готовое связующее и наполнитель смешивают в смесителе. Готовая смесь через дозатор засыпается в пресс форму.

4 Засыпка в пресс форму готовой смеси

Засыпаем смесь в три матрицы диаметром 50 мм, устанавливаем давление для гиперпрессования, через 12-15 секунд образцы готовы. Размеры готовых образцов занесены в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты измерений готовых образцов

Номер испытания	Масса, г			Высота, мм			Давление, атмосфер (бар)
	1	2	3	1	2	3	
1	сл	22	230,	5	51	6	220
	оман	0	39	4		0	
2	25	26	247,	6	слом	5	280
	2,36	0	83	0	ан	9	
3	24	24	240	5	57	5	250
	2,27	1,77		6		6	
4	25	сл	255,	5	слом	5	250
	9	оман	82	7	ан	7	

Расчеты: давления пуансона, давление внутри матрицы и расчет плотности готового образца.

1 Расчет давления пуансона

Цилиндры с диаметрами 270 мм = 27 см (верхний и нижний пуансон). Нужно рассчитать какое давление при одностороннем и двустороннем прессовании.

$$P = \frac{M}{S} = \left[ \frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{см}^2} \right] (1)$$

где P – давление 220 ат при 6(1) и 7(2) испытаниях и 280 ат при 8(3) испытании; M – масса пресса, которая давит на пуансон, кг; S – площадь цилиндрического пуансона, см<sup>2</sup>.

$$S = \pi \times R^2 (2)$$

$$S = 3,14 \times (13,5 \text{ см})^2 = 572,26 \text{ см}^2$$

Находим из формулы (1) массу, составив пропорцию:

$$M = P \times S (3)$$

Для одностороннего прессования при атмосферном давлении 220:

$$M = 220 \times 572,26 = 125897,2 \text{ кг} \times \text{с} (125,89 \text{ т})$$

Для двустороннего прессования при атмосферном давлении 220:

$$M = P \times S \times 1,3 (4)$$

$$M = 220 \times 572,26 \times 1,3 = 163666,36 \text{ кг} \times \text{с} (163,66 \text{ т})$$

Для одностороннего прессования при атмосферном давлении 280:

$$M = 280 \times 572,26 = 160232,8 \text{ кг} \times \text{с} (160,23 \text{ т})$$

Для двустороннего прессования при атмосферном давлении 280:

$$M = 280 \times 572,26 \times 1,3 = 208302,64 \text{ кг} \times \text{с} (208,30 \text{ т})$$

Для одностороннего прессования при атмосферном давлении 250:

$$M = 250 \times 572,26 = 143065 \text{ кг} \times \text{с} (143,06 \text{ т})$$

Для двустороннего прессования при атмосферном давлении 250:

$$M = P \times S \times 1,3(5)$$

$$M = 250 \times 572,26 \times 1,3 = 185984,5 \text{ кг} \times \text{с} (185,98 \text{ т})$$

2 Давление внутри матрицы

Диаметр матрицы 50 мм = 5 см. Рассчитать площадь для трех форм и найти атмосферное давление в самой матрице.

$$S = \pi \times R^2(6)$$

$$S = 3,14 \times (2,5 \text{ см})^2 \times 3 = 58,875 \text{ см}^2$$

Находим давление в матрице по формуле (7)

$$P = \frac{M}{S} = \left[ \frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{см}^2} \right] (7)$$

Для двустороннего прессования при давлении 220 ат пуансона:

$$P = \frac{163666,36 \text{ кг} \times \text{с}}{58,875 \text{ см}^2} = 2779,895 \text{ ат}$$

Для двустороннего прессования при давлении 280 ат пуансона:

$$P = \frac{208302,64 \text{ кг} \times \text{с}}{58,875 \text{ см}^2} = 3538,05 \text{ ат}$$

Для двустороннего прессования при давлении 250 ат пуансона:

$$P = \frac{185984,5 \text{ кг} \times \text{с}}{58,875 \text{ см}^2} = 3158,97 \text{ ат}$$

3 Расчет плотности готовых образцов

Найти плотность упаковки  $\rho \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$  образцов. Объем упаковки  $V_{\text{упак}}$

$$V_{\text{упак}} = \pi \times R^2 \times h(8)$$

где R – радиус матрицы, м; h – высота готового образца, м;  $V_{\text{упак}}$  – объем упаковки,  $\text{м}^3$

$$\rho_{\text{упак}} = \frac{m_{\text{образца}}}{V_{\text{упак}}} (9)$$

Для испытания № 1:

$$V_{\text{упак}} = 3,14 \times (0,025 \text{ м})^2 \times 0,0506 \text{ м} = 0,0000993025 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{упак}} = \frac{0,2252 \text{ кг}}{0,0000993025 \text{ м}^3} = 2267,82 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Для испытания № 2:

$$V_{\text{упак}} = 3,14 \times (0,025 \text{ м})^2 \times 0,0596 \text{ м} = 0,000116965 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{упак}} = \frac{0,2534 \text{ кг}}{0,000116965 \text{ м}^3} = 2166,46 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Для испытания № 3:

$$V_{\text{упак}} = 3,14 \times (0,025 \text{ м})^2 \times 0,0563 \text{ м} = 0,0001104887 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{упак}} = \frac{0,24134 \text{ кг}}{0,0001104887 \text{ м}^3} = 2184,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Для испытания № 4:

$$V_{\text{упак}} = 3,14 \times (0,025 \text{ м})^2 \times 0,057 \text{ м} = 0,0001118625 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{упак}} = \frac{0,25741 \text{ кг}}{0,0001118625 \text{ м}^3} = 2301,13 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Таблица 9 – Результат расчета плотности образцов № 6-10

№ испытания	P, ат (бар)	$V_{\text{упак}}, \text{м}^3$	$\rho_{\text{пак}}, \text{кг}/\text{м}^3$
№ 1	220	0,0000993025	2267,82
№ 2	220	0,000116965	2166,46
№ 3	280	0,0001104887	2184,29
№ 4	250	0,0001118625	2301,13

Список использованной литературы:

1. Галкин П. А., Галкина А. Е. Облицовочные и плиточные работы. Технология и материалы для внутренних и наружных работ [Текст]: справочник / П. А. Галкин, А. Е. Галкина. – М.: Технология укладки, 2012. – 256 с.
2. ГОСТ 8736 – 93. Песок для строительных работ – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1995. – 10 с.
3. ГОСТ 10587 – 84. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1985. – 20 с.
4. Мошинский, Л. Эпоксидные смолы и отвердители [Текст] / Л. Мошинский – Т-А.: Аркадия пресс ЛТД, 1995. – 371 с.
5. ГОСТ 2768 – 84. Ацетон технический – М.: ИПК издательство стандартов, 1985. – 14 с.
6. ГОСТ 9880 – 76. Толуол – М.: ИПК издательство стандартов, 1976. – 9 с.
7. Мошинский, Л. Эпоксидные смолы и отвердители [Текст] / Л. Мошинский – Т-А.: Аркадия пресс ЛТД, 1995. – 371 с.
8. Газоблок технологии [Электронный ресурс] URL: <http://gteh.ru/oborudovanie/press-revolvery/93-press-revolvery-gt.html> - (дата обращения: 09.12.2016).

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНОГО БАЛЛОНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Серопян С. А. – студент группы МиТМ-31, Морозов С. В. к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Баллон – сосуд, имеющий горловину с резьбой для установки вентиля и предназначенный для хранения, транспортирования и использования сжатого воздуха. Баллон металлокомпозитный (МК) – многослойный баллон, в котором внутренний слой выполнен в виде металлической герметизирующей оболочки (лейнера), а остальные слои – из композиционных материалов [1].

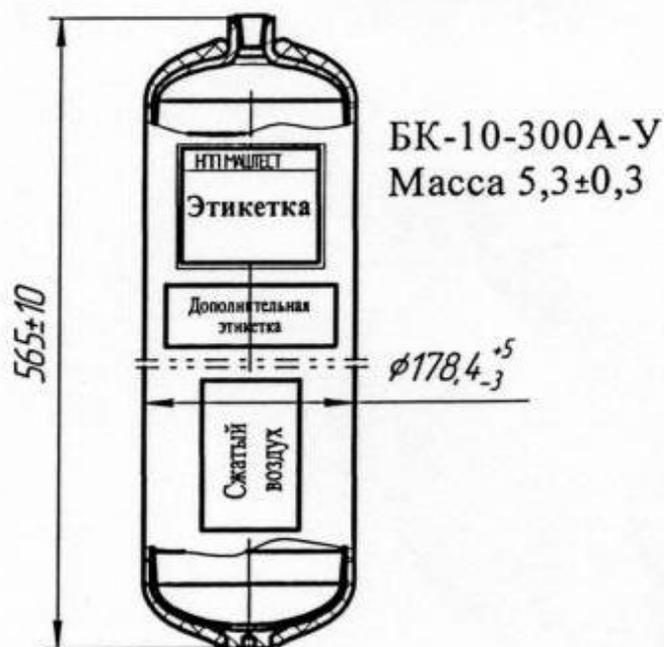


Рисунок 1 – Размеры проектируемого баллона давления [1]

Лейнер – внутренняя металлическая герметизирующая оболочка МК баллона, которая может нести часть нагрузки. Армирующие материалы - стеклянные, арамидные или углеродные нити, ленты и т.п., входящие в состав композиционного материала. Связующее -

реактопласты или термопласты, входящие в состав композиционного материала и используемые для соединения армирующих материалов [2].

Баллоны применяют для хранения и перевозки сжатых газов воздуха, азота, кислорода, ацетилен и других газов под различным давлением. Баллоны бывают различных форм и размеров. Наиболее распространённая конфигурация баллонов давления это цилиндрическая. Также существуют сферические и тороидальные. Баллоны давления бывают 4-ех типов рисунок 2 [3].



Рисунок 2 – Типы баллонов давления [3]

Баллонов высокого давления 3-его типа равномерно распределяет давление газа между металлическим лайнером и полимернокомпозитной обмоткой. Преимуществом данного типа баллонов высокого давления это малая масса баллона по сравнению с 1-ым типом баллонов. 4-ый тип баллонов высокого давления полностью выполнен из полимернокомпозиционного материала (ПКМ). Достоинством данного типа баллонов является их сравнительно низкая масса, возможность выполнить их прозрачными, а недостатки таких баллонов ненадежность т.к. присутствуют закладные элементы, которые создают концентраторы напряжений и дорогостоящая технология изготовления.

Марки металлов и технические характеристики, используемые в качестве лайнера баллона давления представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Характеристики металлов [4]

Марки	12X18H10T	АД33	35ХМА
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7850	2710	7820
Временное сопротивление $\sigma_{0,2}$ , МПа	600	300	300
Предел текучести $\sigma$ , МПа	300	260	800
Коррозионная стойкость	есть	есть	нет
Относительное удлинение после разрыва, %	20	14	12

Таблица 2 – Характеристики стекловолокна [5]

Марки	Стекловолоконно кварцевое	Стекловолоконно РВМПН 19-1480-80
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,2	1,9
Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	6000	400
Предел упругости E, МПа	75	80
Стойкость к истиранию	есть	есть

В результате анализа условий эксплуатации баллона высокого давления и требований, предъявляемых к изделию был выбран 3 тип исполнения баллонов высокого давления – металлокомпозитный, в котором металлический лейнер выполнен из алюминиевого сплава марки АД33. Силовая обмотка выполнена стекловолокном марки РВМПН 19-1480-80. Силовая обмотка была пропитана эпоксидным связующим ЭД-20 и в качестве отвердителя использовалась ТЭТА.

Технологический процесс состоит из создания алюминиевого лейнера методом холодной вытяжки. Заготовка проходит термообработку. После заготовку помещают в пресс и продолжают вытягивать до необходимой длины. После достаточной вытяжки заготовки ей создают горловину. А затем проводят термообработку, но уже при меньшей температуре. Лейнер покрывают связующим.

Лейнер закрепляют в станке фрезерного типа, и начинают обматывать стекловолокном алюминиевый лейнер с помощью ЧПУ контролируются необходимые параметры намотки. После проводят необходимые проверки качества изделия.

Основное преимущество металлокомпозитных баллонов высокого давления по сравнению с цельнометаллическими это их меньшая масса. Спроектированный металлокомпозитный баллон высокого объемом 10 литров в 2 раза легче 10 литрового цельнометаллического баллона высокого давления. Делает их более мобильными, значительно увеличивает время комфортного ношения баллона.

#### Список литературы

1 Буланов И.М. Сосуды давления из композитных материалов в конструкциях летательных аппаратов – М.: ЦНИИ информации, 1985. – 308с.

2 Комков М.А. Технология намотки композиционных конструкций ракет и средств поражения: учебное издание / М.А. Комков, В.А Тарасов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2011. – 431 с.

3 Марки алюминия [электронный ресурс] URL: [http://vtormet.narod.ru/chem\\_al.htm](http://vtormet.narod.ru/chem_al.htm).

4 Углеродное волокно [электронный ресурс] URL: <http://zukm.ru/sixelement/uglerodnoye-volokno>.

5 Марочник сталей и сплавов [электронный ресурс] URL: [http://metallcheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/search/?gvid](http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/search/?gvid).

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВИНТА ВОЗДУШНОГО ДЛЯ АЭРОГЛИССЕРА

Танкова К. И.– студент группы МиТМ-31, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Воздушный винт (пропеллер) –лопастной агрегат работающий в воздушной среде, приводимый во вращение двигателем и являющийся движителем, преобразующим мощность (крутящий момент) двигателя в действующую движущую силу тяги.

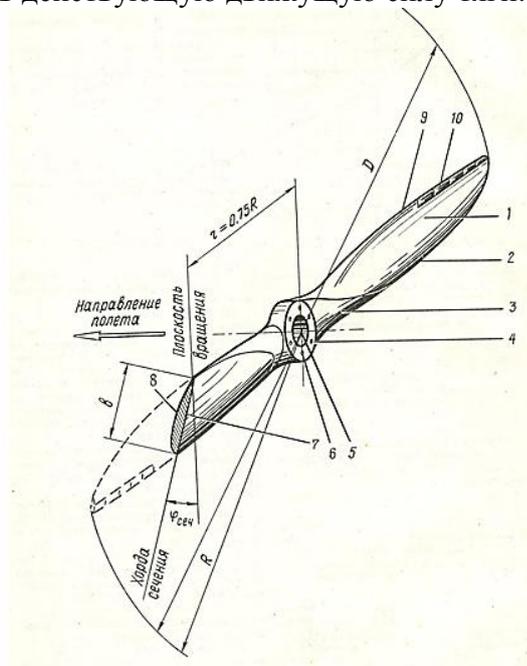


Рисунок 1 – Элементы и геометрические параметр воздушного винта, где: 1 – перо лопасти; 2 – ребро обтекания; 3 – комель лопасти; 4 – крепёжные отверстия; 5 – центральное отверстие; 6 – ступица винта; 7 – рабочая поверхность; 8 – спинка лопасти; 9 – ребро атаки; 10 – защитная оковка [6]

Лопастей винта, вращаясь, захватывают воздух и отбрасывают его в направлении, противоположном движению. Перед винтом создаётся зона пониженного давления, за винтом – повышенного. Вращение лопастей воздушного винта приводит к тому, что отбрасываемые им массы воздуха приобретают окружные и радиальные направления и на это расходуется часть энергии, подводимой к винту. [8]

При работе воздушный винт испытывает, в первую очередь растягивающие напряжения от центробежной силы.

При работе максимальная скорость элементов винта не должна превышать скорости звука (340 м/с), рекомендуемая же скорость должна находиться в пределах 260–280 м/с. [5]

Разрабатываемый винт будет установлен на вал двигателя Lifan 2V78F-A. Скорость вращения вала 3600 об/мин (60 об/с).

На каждый выделенный элемент лопасти массой  $m$  на радиусе  $r$  (рисунок 3) действуют инерционная сила и элементарная аэродинамическая сила  $\Delta F$ . Под воздействием этих сил, от всех элементарных участков, лопасть растягивается и изгибается. В результате в материале лопасти возникают напряжения растяжения-сжатия.

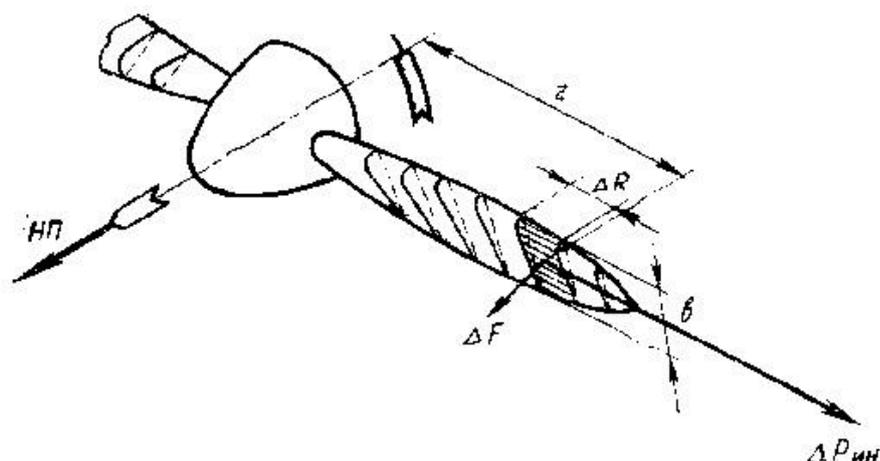


Рисунок 2 – Силовое воздействие аэродинамических сил на элемент лопасти винта

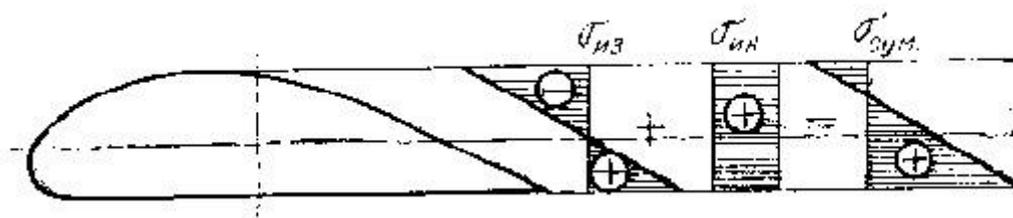


Рисунок 3 – Распределение напряжений в сечении лопасти винта

Наиболее нагруженными оказываются волокна задней стороны лопасти, так как в этих волокнах напряжения от инерционных сил и изгибающего момента складываются. Для обеспечения заданной прочности необходимо, чтобы фактические напряжения в этих наиболее отдаленных от оси сечения лопасти участках были меньше допустимых для выбранного материал.

Для винта длиной 1,7 м, масса (усредненная) лопасти равна 600 граммов на радиусе 0,4 м.

Рассчитаем центробежную силу в опасном сечении

$$F_{цб} = \frac{mv^2}{R} \quad (1)$$

$$F_{цб} = \frac{0,6 \text{ кг} \times 72900 \text{ м/с}^2}{0,4 \text{ м}} = 109350 \text{ Н}$$

Сечение периметра контура лопасти (в случае прототипа 240 мм -периметр и толщина 4 мм)

$$S = 240 \text{ мм} \times 4 \text{ мм} = 960 \text{ мм}^2$$

Рассчитаем напряжение в опасном сечении

$$\sigma = 109350 \text{ Н} / 960 \text{ мм}^2 = 113906 \text{ Па} = 113,9 \text{ МПа}$$

Как отмечалось ранее, максимальные напряжения будут в задних волокнах лопасти и определяются как сумма напряжений от инерционных и аэродинамических сил. Величина этих напряжений не должна превышать 60–70 % от временного сопротивления материала лопасти.

При расчете берется коэффициент безопасности равный 1,5 Это восполняет пренебрежение аэродинамических сил [5].

Существует несколько вариантов изготовления малонагруженных воздушных винтов:

- моноблочные винты, изготовленные из заготовки переклеенных между собой деревянных пластин(дрок);
- моноблочные стеклопластиковые винты на деревянной основе;
- разъемные полые углепластиковые винты;
- разъемные полые стеклопластиковые винты.

Эпоксидная смола ЭД-20 обладает умеренной или низкой усадкой в процессе отверждения (0,76–1,81%), в зависимости от температурного режима и выбора отвердителя.

Отверждение эпоксидных смол по механизму поликонденсации происходит с наименьшей усадкой, что играет значительную роль в производстве пустотелых винтов. Для холодного отверждения эпоксидных смол в качестве отвердителя применяют алифатические полиамины, чаще всего полиэтиленполиамин в количестве 5–15 % от массы смолы.

В данной работе используются уже рассчитанные для эпоксидной смолы ЭД-20 и наиболее часто используемые физико-механически совместимые типы волокон.

В данном изделии действуют растягивающие напряжения вдоль оси винта, из этого следует, что выбирать необходимо ткани с разным количеством нитей основа/уток. Необходимой разрывной нагрузкой (более 2800 Н) по основе обладают ткани Т-25/1-76, Т-26, Т-10-14 и Т-10-80.

Наиболее подходящим соотношением нитей основа/уток обладает ткань Т-26 (ВМ)-78

Добиться увеличения адгезии возможно при проведении модификации поверхности, приводящей к увеличению сродства наполнителя и полимерного материала. Для стеклотканей такая модификация называется аппретированием. Замасливатель №76 содержит в своём составе дибугилфтолат, который действует, как пластификатор для эпоксидной смолы на границе раздела фаз. Это улучшает реологические характеристики смолы, что позволяет ей лучше растекаться и взаимодействовать с поверхностью наполнителя, а также предаёт некоторую пластичность межфазному слою, что предотвращает хрупкое разрушение по границе раздела фаз.

Для получения наилучшего качества поверхности, формы, и оптимальной пропитки материала пустотелого изделия был выбран метод формования в негативной матрице с эластичной диафрагмой, помещённой вовнутрь изделия с давлением порядка 6–8 атм (608–811 кПа)

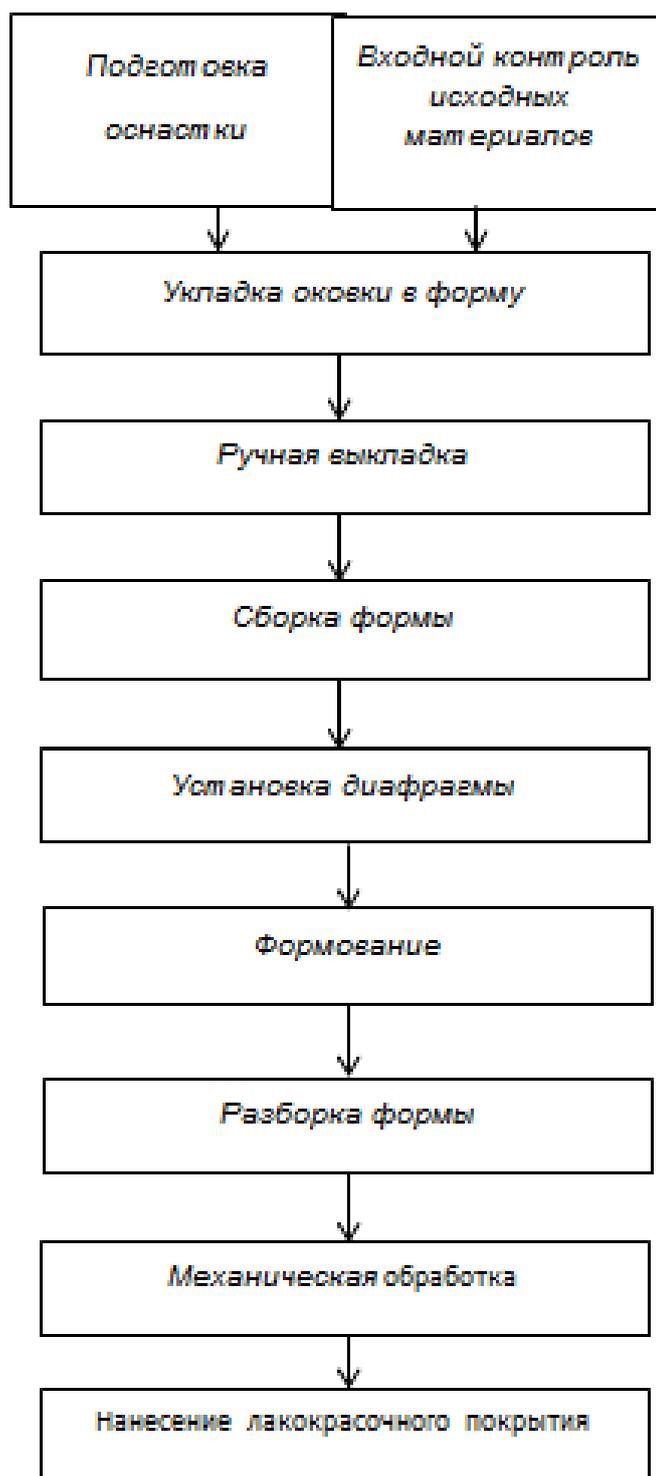


Рисунок 4 – Технологическая схема изготовления обтекателя

На основе произведенной работы можно сделать вывод о том, что разработанная технология является оптимальной для мелкосерийного изготовления винтов воздушных для аэроглиссеров, с оптимальной себестоимостью при достижении высокого качества и надёжности изделия.

## МОДИФИКАЦИЯ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ

Топоров А. В.– студент группы МиТМ-41, Ананьин С.В. – к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Эпоксидная смола–олигомеры, содержащиесэпоксидные группыи способные под действием отвердителей (полиаминов и др.) образовывать сшитыеполимеры.

Широко распространенные в настоящее время технологии производства полимерных композиционных материалов (ПКМ), такие как вакуумная инфузия или RTM, накладывают жесткие ограничения на реологические свойства используемых для их получения связующих. Вязкость таких связующих, в общем случае, не должна превышать 300 – 400 мПа·с. Наиболее распространенные связующие – эпоксидные смолы, имеют вязкость, на порядок превышающую эти значения, например, смола марки ЭД–20 имеет вязкость 500–1000 мПа·с. Понизить вязкость за счет повышения температуры связующего не всегда возможно, особенно в случае использования эпоксидных систем холодного отверждения.

Для решения этой проблемы используют различные растворители либо активные разбавители.Широкое использование растворителей (ацетон, спирты) является дешевым и простым приемом уменьшения вязкости, но при этом в процессе отверждения смолы растворитель испаряется, что вызывает дополнительные технологические проблемы, связанные с удалением паров растворителя, которые остаются в композиционном материале и ухудшают его физико-механические свойства. По этому в данной статье мы опишем метод благодаря которому можно понизить вязкость связующего.

Техническим результатом модификации является создание связующего на основе эпоксидной композиции, обладающего повышенными эксплуатационными характеристиками, в частности, пониженной вязкостью и высокой термостойкостью, которое может быть эффективно использовано при производстве композиционных материалов, изготавливаемых методами вакуумной инфузии и RTM.

Суть модификации заключается в добавлении в эпоксидную диановую смолу разбавителя и отвердителя. В качестве разбавителя используетсяфурфуролацетоновую смолу, в качестве отвердителя используется триэтаноламинтитанат, в следующем соотношении компонентов: эпоксидная диановая смола – 100%, фурфуровацетоновая смола – 15 – 30%, триэтаноламинтитанат – 5 – 15%.

Фурфуролацетоновая смола представляет собой низковязкую жидкость при соотношении ДФА/ФА от 0,5:1 до 1,25:1. Эффективность фурфуролацетоновой смолы как разбавителя зависит от ее состава. Наиболее эффективным разбавителем является продукт конденсации фурфурола и ацетона с соотношением основных продуктов реакции ДФА/ФА 1:1. Особенностью использования выбранного разбавителя фурфуролацетоновой смолы, непосредственно влияющей на указанный технический результат, является то, что он способен при нагревании вступать в химическое взаимодействие с эпоксидной смолой и отвердителем, то есть является активным компонентом, а не пластификатором, и поэтому даже в больших количествах незначительно влияет на термостойкость эпоксидной смолы.

Вязкость полимерной композиции, в общем случае, не должна превышать 300 – 400 мПа·с. Поэтому соотношение массовых частей между эпоксидной диановой смолой и разбавителем подбирается в зависимости от требуемых технологических параметров вязкости, но не более чем 50 частей разбавителя на 100 частей эпоксидной диановой смолы. Больше количество разбавителя приводит к падению термической устойчивости композиции, а меньше 5 частей - к недостаточному уменьшению вязкости. Количество отвердителя рассчитывают на количество эпоксидной смолы, содержащейся в композиции. Количество отвердителя повышают с увеличением количества разбавителя, но не более чем до 15 частей на 100 частей эпоксидной диановой смолы. В случае добавления отвердителя в количестве, меньшем 5 частей по массе, отверждение может просто не произойти, тогда как превышение стехиометрически необходимого количества отвердителя сверх максимально

указанного приводит к тому, что он остается непрореагировавшим, в результате в конечной композиции увеличивается доля низкомолекулярного вещества, которое с большой долей вероятности может вызывать определенные негативные последствия, начиная от коррозии и заканчивая увеличением хрупкости изделий.

Выбор триэтаноламинтитаната (ТЭАТ) в качестве отвердителя объясняется тем, что, во-первых, он обеспечивает температуру стеклования отвержденной композиции до 140°C, во-вторых, он обеспечивает жизнеспособность эпоксидной смолы, содержащей отвердитель, до 72 часов при 5°C, что повышает технологичность композиции. Жизнеспособность в данном контексте означает, что после добавления отвердителя при 5°C смола может оставаться в жидко-вязком состоянии. Соответственно это и определяет технологичность. Так как если смола быстро твердеет, ее использование ограничено, и, например, можно не успеть произвести заливку. Чем дольше композиция остается твердой после добавления отвердителя, тем более технологичной она считается).

В 100 г эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20 вводим 14 г ТЭАТ и 30 г фурфуролацетоновой смолы и перемешиваем до гомогенности с помощью механической мешалки, подогревая на водяной бане до 50°C. Полученную смесь выдерживаем в вакууме мембранного насоса при температуре 50–60°C в течение 40 минут.

Полученное связующее на основе эпоксидной композиции обладает повышенными эксплуатационными характеристиками, в частности, пониженной вязкостью (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость динамической вязкости от температуры и количества частей фурфуролацетоновой смолы

Количество частей фурфурол ацетоновой смолы на 100 частей ЭД-20	Температура, °C									
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
0	Средняя динамическая вязкость, мПа·с	407	117	497	130	313	20	9	7	6
5	5553	400	710	407	57	57	10	4	3	2
10	7630	220	870	530	43	97	97	3	2	2
15	5423	837	917	586	63	50	60	3	1	1
20	2517	117	747	117	67	93	60	2	1	1
25	1730	549	077	80	53	80	07	2	1	1
30	1723	477	200	83	53	57	90	1	1	9

В итоге после проведение данной модификации получается более технологически пригодное связующее которое при всех своих технологических достоинствах не теряет своих первоначальных свойств.

#### Литература

1. Пластики конструкционного назначения, под ред. Е. Б. Тростянской, М., 1974, с. 120-203; Наполнители для полимерных композиционных материалов, под ред. Г. С. Каца, Д. В.

Милевски, пер. с англ., М., 1981; Справочник по композиционным материалам, под ред. Дж. Любина, пер. с англ., кн. 1, М., 1988. [1]

2. Справочник по композиционным материалам [Текст]: В 2-х кн. Кн. 2/ Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А. Б. Геллера, М. М. Гельмонта; Под ред. Б. Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трусов Н.О. – студент группы МиТМ-41, Головина Е. А. – к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Огнестойкость – способность строительных конструкций ограничивать распространение огня, а также сохранять необходимые эксплуатационные качества при высоких температурах в условиях пожара. Характеризуется пределами огнестойкости и распространения огня. Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются путём их огневых испытаний по стандартной методике и выражаются временем (в часах или минутах) действия на конструкцию стандартного пожара до достижения ею одного из следующих предельных состояний:

- Потери несущей способности (обрушение или прогиб) при проектной схеме опирания и действии нормативной нагрузки – постоянной от собственного веса конструкции и временной, длительной, от веса стационарного оборудования (станков, аппаратов и машин, электродвигателей и др.);

- Повышения температуры необогреваемой поверхности в среднем более чем на 160 °С или в любой её точке более чем на 190 °С в сравнении с начальной температурой либо более 220 °С независимо от температуры конструкции до испытаний;

- Образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя;

- Достижения при испытаниях ненагруженной конструкции критической температуры (то есть температуры, при которой происходят необратимые изменения физико-механических свойств) её несущих элементов или частей, защищенных огнезащитными покрытиями и облицовками; характеризует потерю несущей способности.

Данные о пределах огнестойкости и распространения огня используют при проектировании зданий и сооружений. Последние, согласно нормативным документам, разделены по степени огнестойкости на пять групп. Для них установлены требуемые пределы огнестойкости (минимальные) и распространения огня (максимальные) основных строительных конструкций. В зависимости от их вида указанные пределы огнестойкости изменяются от 0,25 до 2,5 ч, пределы распространения огня – от 0 до 40 см. Повышение огнестойкости достигается методами огнезащиты.

### Методы для снижения горючести ПКМ

Горючесть полимерных материалов, в основном, зависит от соотношения теплоты, выделяемой при сгорании продуктов пиролиза, и теплоты, необходимой для их образования и газификации.

Для снижения горючести полимеров используют: 1) замедление реакций в зоне пиролиза снижением скорости газификации полимера и количества образующихся горючих продуктов; 2) снижение тепло- и массообмена между пламенем и конденсированной фазой; 3) ингибирование радикалоцепных процессов в конденсированной фазе при ее нагреве и в пламени. Практически указанные направления реализуются путем использования химически модифицированных полимеров, в том числе с минимальным содержанием водорода в структуре, термоустойчивых (типа полиариленов и полигетероариленов), путем введения в состав полимерного материала минеральных наполнителей, антипиренов, нанесение огнезащитных покрытий, а также комбинацией этих методов. Полимерные материалы подразделяются (по одной из многих классификаций) на негорючие, трудносгораемые и

горючие. Критерием отнесения полимерного материала к группе негорючих является его неспособность гореть на воздухе при температуре среды 900–1100 °С.

#### Огнестойкость и горючесть полимерных материалов

Показателями, характеризующими горючесть полимерных материалов, являются, в зависимости от метода определения горючести, температура воспламенения, скорость горения, теплота сгорания, температура поверхности горящего материала и другие. Благодаря высокой воспроизводимости результатов наибольшего внимания заслуживает метод калориметрииметодкислородногоиндекса.

Существует определенный разрыв между требованиями, предъявляемыми к горючести материалов, и требованиями, предъявляемыми к огнестойкости конструкций (изделий), изготовляемых из этих материалов. Материал может быть признан негорючим, а изделие из него – не огнестойкими из-за резкого снижения эксплуатационных свойств. Огнестойкость конструкций определяют как их способность выдерживать эксплуатационные нагрузки в условиях пожара в течение периода, называемого пределом огнестойкости.

Огнестойкость материалов, применяемых в конструкции, следует определять, как свойство материалов сохранять основные эксплуатационные характеристики при действии огня в течение указанного периода. При оценке огнестойкости полимерного материала, в отличие от его горючести, необходимо знать изменение прочностных, теплофизических и других свойств материала при горении с тем, чтобы иметь возможность оценить пределогнестойкостиконструкцииилиизделия.

Классификация материалов по горючести весьма приближительна, так как воспламенение и горение материалов зависит не только от химической природы полимера и поли мерного материала на его основе, но и от температуры источника горения, условий воспламенения, наличия легкосгораемых материалов-соседей, формы и положения по отношению к пламени образца, формы изделия или конструкции и ряда других причин. Согласно принятой в России классификации полимерные материалы делят на сгораемые, трудносгораемые и несгораемые. Из сгораемых материалов выделяют трудновоспламеняемые, а из них и трудносгораемых – самозатухающие. Используемая за рубежом классификация материалов по огнестойкости приблизительно соответствует отечественной. Например, полимерные материалы, характеризующиеся такими показателями, как огне- и пламесопротивляемость, огне- и пламеустойчивость, а также огне- и пламезамедление, близки к полимерным материалам, характеризующимся как трудносгораемые и трудновоспламеняемые.

#### Горение полимерных материалов

Горючесть полимерного материала характеризуют по ряду показателей, которые можно объединить в четыре группы:

- 1) Кинетические – по скорости горения, скорости распространения пламени ит.д.;
- 2) Тепловые – по теплоте сгорания, показателям возгораемости и т.д.;
- 3) Температурные – по температурам воспламенения, самовоспламенения и т.д.;
- 4) Концентрационные – по содержанию необходимого для горения окислителя и горючего вещества, по кислородным индексам.

Аппаратурное оформление и методики определения показателей четырех групп, размеры образцов различны.

Отнесение материалов к той или иной группе возгораемости связано со скоростью воспламенения, устойчивостью и скоростью горения. Все это обусловлено характером горения полимера и полимерного материала.

#### Рассматривают пять пространственных зон горения:

- 1) слои, прилегающие к поверхностному слою, в которых протекает пиролиз при незначительной доле процессов окисления;
- 2) поверхностный слой, подвергающийся термоокислительной деструкции;
- 3) предпламенная зона, в которой низкомолекулярные продукты, образующиеся в первых двух зонах, смешиваются с нагретым воздухом, разлагаются и окисляются под

действием кислорода и активных радикалов, диффундирующих из пламени;

4) зона пламени, с необходимой концентрацией продуктов разложения, где выделяется основная часть тепловой энергии и наблюдается максимальная температура и световая энергия;

5) зона продуктов сгорания и догорания, где продукты реакции смешиваются с холодным воздухом, выделяющаяся тепловая энергия вместе с энергией из зоны пламени поступает к поврежденным участкам полимерного материала за счет конвекции и излучения.

Горение полимерных материалов делят также на четыре временных стадии, относящиеся к нагреву, деструкции, воспламенению и горению:

1) взаимодействие источника горения с материалом, степень и скорость которого зависят от теплопроводности полимерного материала, скрытой теплоты плавления полимера или испарения продуктов его разложения и компонентов полимерного материала, их теплоемкости и от типа источника нагрева;

2) деструкция полимерного материала зависит от температуры и скорости подвода энергии от источника нагрева (горения), суммарной теплоты и условий горения и проходит с образованием жидких, твердых и газообразных продуктов (в первой и второй зонах), которые в последних трех зонах образуют горючие и негорючие газы и дым;

3) воспламенение характеризуется температурой воспламенения образовавшихся при деструкции продуктов, температурой отходящих газов, концентрациями горючих газов и окислителя, необходимыми для окисления и горения;

4) горение, развивающееся в том случае, если выделяется избыток тепловой энергии и достаточное количество ее поступает в зону деструкции и предпламенную зону и, если в зоне горения имеется достаточная концентрация горючих веществ и окислителя.

Ряд физических и химических процессов способствует тому, что появляется пятая стадия догорания. Вследствие больших тепловых потерь скорость горения становится малой, и материал охлаждается раньше превращения в газообразные продукты сгорания. Усадка полимерного материала при горении и плавлении полимера или компонентов полимерного материала может способствовать (при растрескивании) или препятствовать (при уменьшении объема образца при плавлении компонентов с высокой теплоемкостью) горению. Коксование обычно приводит к затуханию материала.

Различные методики определения горючести

Сложность процесса горения, определяемая большим числом параметров, привела к использованию большого числа методик определения горючести полимеров и полимерных материалов.

Современный комплексный подход к проблеме потребовал разработки методов исследования процессов дымообразования при горении полимерных материалов и определения токсичности продуктов горения (FST-свойства).

Стандартизацией терминологии и методов испытаний, технических условий на материалы и продукцию в области полимеров, ПМ и ПКМ в системе ИСО (ISO –International Standard Organizations) занимается подкомитет №4 (поведение при горении) комитета ТК61 (Committee: TC61Plastics), который к февралю 2002 года выпустил 488 стандартов ИСО.

Для оценки огнестойкости материалов используется большое количество стандартов: UL94, ГОСТ 17088-71, 15898-70, ГОСТ 28157-89 (горючесть); ГОСТ 12.1.044-89, п.4.14 (кислородный индекс), п.4.18 (коэффициент дымообразования), п.4.19 (индекс распространения пламени), п.4.20 (токсичность продуктов горения); ASTM D2863 (кислородный индекс, КИ, предельный кислородный индекс, ПКИ, limiting oxygen index, LOD); ISO 181-189; 4589-1,2,3; 5659-1,2; ISO/TR 5656-3; 10093, 11907-1,2,3,4; ГОСТ 24632-81 (огнестойкость и дымовыделение); ASTM D22-29, MIL-M 14 (токсичность продуктов горения); ГОСТ Р 51032-97 (ISO/ПМС 9239.2, распространение пламени); ГОСТ 30244-94 (горючесть); ГОСТ 30402-96 (ISO 5657-86, воспламеняемость).

В России предприятия-изготовители изделий из полимерных материалов (например, стеклопластиков, используемых в строительстве, в конструкциях подвижного состава

метрополитенов и железных дорог) сертифицируют свою продукцию на соответствие требованиям норм пожарной безопасности (отраслевые нормы НПБ-109, НПБ-244; ведомственные нормы ВНПБ-03), в соответствии с которыми производится отбор образцов и их испытания в специализированных испытательных центрах:

Таблица 1–Соответствие требованиям норм пожарной безопасности

№ п/п	Наименование испытаний	Метод испытаний по ГОСТ	Количество образцов и их размеры
1	Определение группы горючести строительных материалов	ГОСТ 30244-94, («шахта») М.2	12 образцов; 1000 × 195 мм
2	Определение группы трудногорючих и горючих материалов с учетом их воспламеняемости	ГОСТ 12.1.044-89, п.4.3	5 образцов; 150 × 60 мм и толщиной не более 30 мм
3	Определение индекса распространения пламени	ГОСТ 12.1.044-89, п.4.19	6 образцов; 320 × 140 мм
4	Определение токсичности продуктов горения	ГОСТ 12.1.044-89, п.4.20	20 образцов; 40 × 40 мм и толщиной не более 10 мм
5	Определение дымообразующей способности материала	ГОСТ 12.1.044-89, п.4.18	15 образцов; 40 × 40 мм и толщиной не более 10 мм
6	Определение характеристики воспламенения строительных материалов	ГОСТ 30402-96	15 образцов; 165 × 165 мм и толщиной не более 70 мм

#### Пожароопасность полимерных материалов

Методы исследования горения полимерных материалов и оценки их горючести и огнестойкости несовершенны, терминология запутанна. Большое многообразие методов с различным аппаратным оформлением, каждый из которых позволяет характеризовать горючесть полимеров и полимерных материалов по несравнимым между собой кинетическим, тепловым, температурным, концентрационным параметрам, не дает возможность достаточно полно, а порой и достоверно, определить горючесть полимеров и полимерных материалов. Длительный процесс совершенствования методик измерения предельного кислородного индекса (ПКИ), который привел к созданию стандарта ASTM 2863-70, затем ISO, LOI, делают ПКИ одной из наиболее полезных характеристик, используемых при оценке горючести полимерных материалов. Простота методики и воспроизводимость результатов позволили расположить полимерные материалы в последовательность от легкогорючих, например, полиацетали с ПКИ 14,3, до наиболее инертных, как политетрафторэтилен с ПКИ 99. Но попытки установить корреляцию между ПКИ материала и поведением этого же материала при обычном пожаре привели лишь к заключению, что ПКИ не является единственным критерием, определяющим пожароопасность материала. Например, введение в полимер различных огнегасящих добавок может давать полимерные материалы с одинаковыми ПКИ, но с совершенно разным

поведением в условиях пожара.

Кроме того, представляется затруднительным коррелировать горючесть полимерных материалов, полученную при различных концентрациях кислорода в окружающей среде, с поведением материалов при одной и той же концентрации кислорода, но иной температуре. До некоторой степени разрешением этих противоречий могут служить результаты, получаемые из изучения температурных зависимостей ПКИ. В таком случае параметром оценки может стать температура, при которой ПКИ достигает величины 20,8%, т.е. соответствует содержанию кислорода в воздухе. Это исключает определенную искусственность значений ПКИ при комнатной температуре, но вызывает появление иных затруднений, касающихся скорости нагревания и термической стабильности образца.

Литература:

1 Интернет ресурс <http://refwin.ru>

2 Интернет ресурс <http://reftrend.ru>

3 Интернет ресурс <http://ru.wikipedia.org>

4 Мосалков И.Л. Огнестойкость строительных конструкций. – 2001. – 45 с.

5 Фёдоров.В.С. Левитский.В.Е. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. – 2009. – 4 – 12 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТОГО КОМПОЗИТА ПРИ ТРЕХТОЧЕЧНОМ ИЗГИБЕ

Хапёрских С.А. – магистрант группы 8МиТМ-51, Головина Е. А. – к. т. н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Большую долю в нашей жизни занимают предметы обихода, мебели, напольных покрытий, дверей и прочего. Все эти изделия производятся из древесно-волоконистых композитов.

Древесно-волоконистые композиты – это материалы, полученные в результате объединения разного сырья. К ним можно отнести ДСП, арболиты, ДВП, фанеры, древесно-полимерные термопластичные композиты, инженерные доски.

Испытания на определение предела прочности являются неотъемлемой частью экспериментов по повышению эксплуатационных характеристик ДВК, в связи с тем, что инженерная доска, используемая в качестве напольного покрытия, претерпевает нагрузки от действий внешних сил. Поэтому необходим некий контроль пластичности данного материала. Кроме того, определение предела прочности при статическом изгибе необходимо для оценки качества адгезионного взаимодействия клеевого соединения.

Именно поэтому инженерная доска, являясь древесно-волоконистым композитом (ДВК), представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения, потому как на сегодняшний день имея широкое применение, ее физико-механические и эксплуатационные свойства в литературе не раскрыты в полном объеме.

Существует необходимость создания клеевой композиции для проведения эксперимента на статический изгиб согласно ГОСТ 4648.

В эксперименте для создания клеевой композиции использовался, модифицированный низковязким раствором эластомера на основе EPDM-каучука шпон, а в качестве связующего – компонентный состав на основе эпоксидной смолы ЭД22 [3] и отвердителя ПЭПА [4] в отношении 100:12 соответственно.

При проведении эксперимента на определение предела прочности при статическом изгибе использовалась испытательная машина Instron при скорости нагружения 2 мм/мин при допустимом отклонении  $\pm 20$  %. Образцы для испытаний изготавливали прямоугольной формы размерами 80×15×10 мм.

Предел прочности при статическом изгибе для каждого образца вычисляли с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$\sigma_{и} = (3 \cdot P_{max} \cdot l) / (2 \cdot b \cdot h^2), \quad (1)$$

где  $P_{max}$  – максимальная нагрузка, при которой образец разрушается, МПа;  $l$  – расстояние между опорами испытательного приспособления, мм;  $b$  – ширина образца, мм;  $h$  – толщина образца, мм.

В результате анализа разрушения образцов при статическом изгибе было отмечено, что оно происходит путем расслоения по слою древесных частиц и клеевому слою [5].

Для оценки влияния структуры композиционного материала на основе лущеного шпона и древесно-клеевой композиции на прочностные показатели при изгибе были проведены эксперименты, в результате которых было установлено, что разрушение образцов происходит как от нормальных ( $\sigma$ ), так и от касательных напряжений ( $\tau$ ). Последние возникают в результате межслойного сдвига.

Типы разрушения, характерные для структур композиционного материала, представлены на рисунке 1.

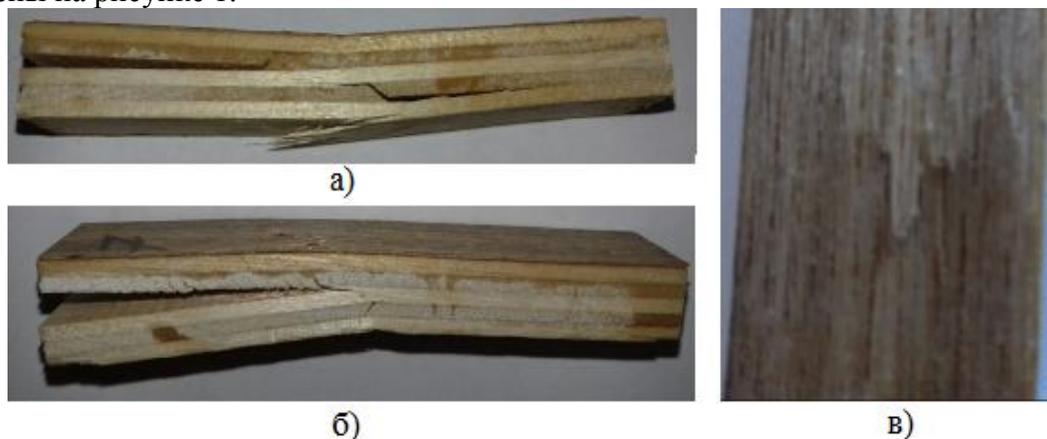


Рисунок 1 – Типы разрушения образцов при статическом изгибе (размер 80×15×10) где а) смешанный тип разрушения; б) разрушение материала от касательных напряжений на границе двух слоев; в) разрушение наружных слоев от нормальных напряжений

Анализ разрушения образцов композиционного материала показывает, что целостность образцов может быть нарушена в результате:

- разрушения наружных листов шпона в пакете от нормальных напряжений, которые превышают предельно допустимые значения;
- разрушения образцов на границе двух слоев (листа шпона и внутреннего слоя из древесно-клеевой композиции) от касательных напряжений;
- комплексного разрушения образцов от нормальных напряжений и межслойного сдвига вызванного касательными напряжениями (смешанный тип).

В результате испытаний композиционного материала при изгибе 42 % образцов были разрушены от касательных напряжений по границе центрального листа шпона и слоев из древесных частиц, 42 % образцов разрушился в результате действия как нормальных, так и касательных напряжений (смешанный тип), остальная часть образцов (16 %) разрушилась от действия нормальных напряжений, превысивших допустимые значения. Разрушение в этом случае, как правило, происходит по листу шпона с поперечным направлением волокон по отношению к лицевому листу, что объясняется низкой прочностью древесины при растяжении поперек волокон.

Разрушение наружных слоев материала от нормальных напряжений происходит из-за различия в деформации слоев шпона с продольным и поперечным направлением волокон и слоев из древесно-клеевой композиции. Это объясняется низким модулем сдвига древесины при растяжении поперек волокон и низкой прочностью древесно-клеевой композиции при изгибе. Превышение предельных значений касательных напряжений в центральной зоне

материала, где расположен лист шпона, либо слой из древесно-клеевой композиции и одновременное превышение нормальных напряжений в наружных слоях приводит к разрушению смешанного типа.

Таким образом, сохранению прочностных показателей композиционного материала способствует совершенствование технологии его формирования, повышение равномерности насыпки и уплотнения внутренних слоев.

Основные результаты испытаний на статический изгиб (при постоянной скорости нагружения образцов равной 2 мм/мин, влажности 31 % и температуре 24 °С) образцов шпона в составе клеевой композиции из фанеры марки ФК Е1 представлены в таблице 1.

Анализируя таблицу 1, наглядно видно, что немодифицированный образец шпона ясеня имеет низкое значение предел прочности при максимальной нагрузке относительно образцов, пропитанных низковязким раствором эластомера, также, как и его деформация и модуль Юнга.

Таблица 1 – Результаты испытаний на статический изгиб шпона, пропитанного эластомером

Растворитель	Концентрация пропиточного раствора	Предел прочности при максимальной нагрузке, МПа		Деформация при максимальной нагрузке, %		Модуль Юнга, МПа	
		ясень	дуб	ясень	дуб	ясень	дуб
	0	87,5	101,4	2,4	3,5	5083,9	4656,8
Толуол	1 %	104,9	112,3	2,9	3,6	5620	5451
	2 %	115,7	113,6	3,2	3,9	5329,2	5005,6
	3 %	115,9	120,9	3,2	4,0	5829,1	5472,8
Тетрахлорметан	1 %	113,4	102,6	3,3	3,2	5610,4	5240,2
	2 %	116,6	107,0	2,8	2,6	6007,5	5836,4
	3 %	119,2	109,6	3,6	3,3	5095,1	5164,1

На рисунках 2 – 3 графически представлена зависимость предела прочности образцов шпона в разных растворителях.

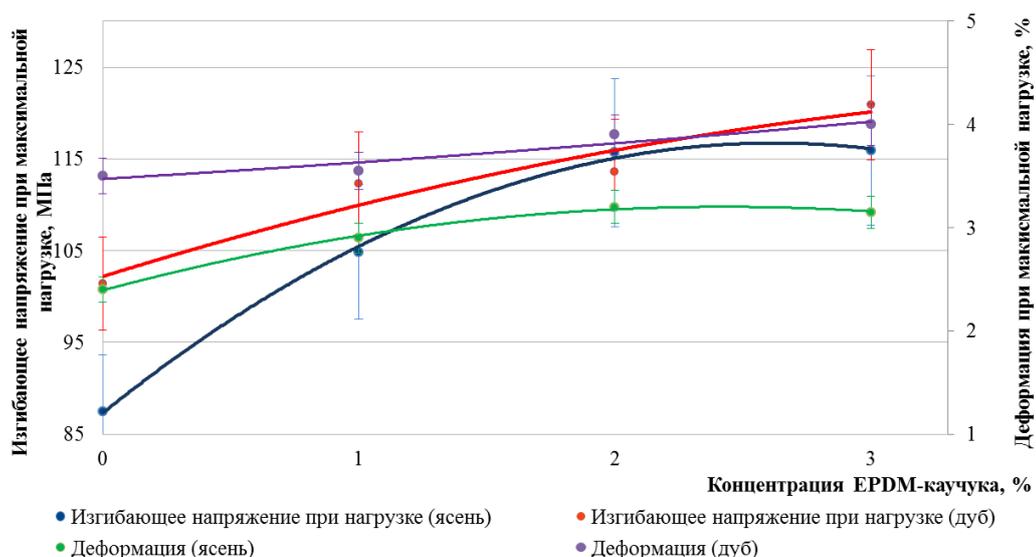


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при максимальной нагрузке и деформации образцов от концентрации EPDM-каучука (растворитель – толуол)

В целом, рост предела прочности в толуоле составил:

1) для ясеня:

- при 1 % пропиточного раствора – на 19,9 %;
- при 2 % пропиточного раствора – на 32,2 %;
- при 3 % пропиточного раствора – на 32,5 %;

2) для дуба:

- при 1 % пропиточного растворе на 10,7 %;
- при 2 % пропиточного растворе на 12,0 %;
- при 3 % пропиточного растворе на 19,2 %.

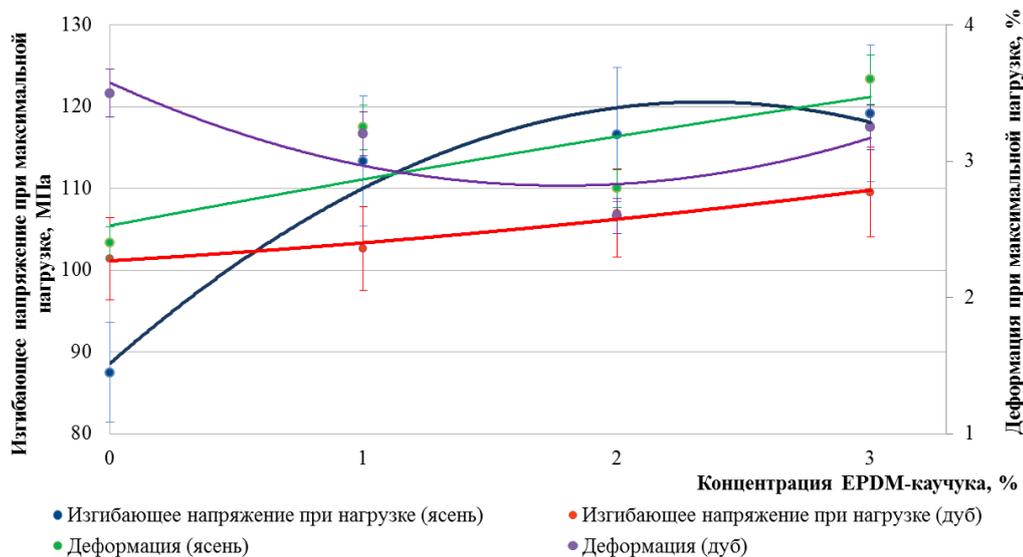


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности при максимальной нагрузке и деформации образцов от концентрации EPDM-каучука (растворитель – тетрахлорметан)

Увеличение предела прочности в тетрахлорметане составило:

1) для ясеня:

- при 1 % пропиточного раствора – на 29,6 %;
- при 2 % пропиточного раствора – на 33,3 %;
- при 3 % пропиточного раствора – составил на 36,2 %;

2) для дуба:

- при 1 % пропиточного растворе на 1,2 %;
- при 2 % пропиточного растворе на 5,5 %;
- при 3 % пропиточного растворе на 8,1 %.

Графически зависимость предела прочности при трехточечном статическом изгибе образцов шпона от стандартного, не модифицированного образца представлена согласно иллюстрации на рисунке 4.

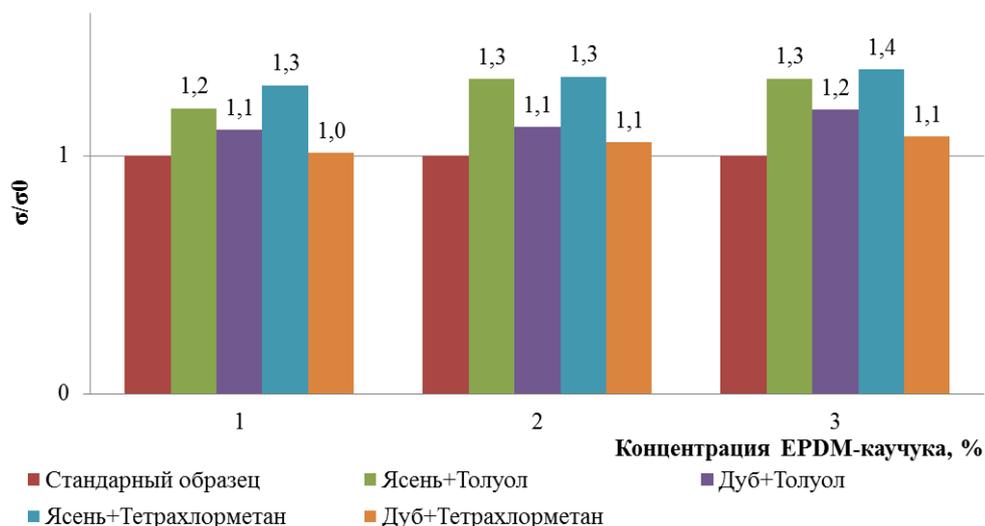


Рисунок 4 – Зависимость предела прочности на изгиб, модифицированных образцов шпона ясеня (а) и дуба (б) по сравнению со стандартным образцом

Стоит отметить, что пропорционально изгибающему напряжению для каждой из концентраций пропиточной системы, претерпели увеличение деформация и модуль Юнга

Обобщая полученный результат, необходимо отметить, что максимальный прирост предела прочности приходится на шпон ясеня при использовании растворителя тетрахлорметан. Так, рост показателя для шпона ясеня увеличился от 29,6 % до 36,2 %, где максимальный прирост получил показатель с концентраций пропиточного состава 3 % EPDM-каучука.

Дуб, в свою очередь, менее подвержен модификации. Тем не менее, у шпона дуба при использовании толуола наблюдается наибольшее увеличение напряжения при статическом изгибе от 10,7 % до 19,2 %, которое происходит с повышением концентрации пропиточного состава.

Таким образом, предел прочности при максимальной нагрузке увеличился:

– для ясеня от 29,6 % до 36,2 % (в тетрахлорметане), где максимальный прирост получил показатель с концентраций пропиточного состава 3 % EPDM-каучука.

– для дуба от 10,7 % (при 1 % пропитки) до 19,2 % (при 3 %) – в толуоле.

То есть, используя толуол, либо тетрахлорметан в качестве растворителя, а также варьируя концентрацию эластомера (EPDM-каучука), существует возможность повысить эксплуатационные качества шпона, применяя необходимый состав под определенные условия.

Литература

1. Патент на изобретение 299364.26.03.1971. Способ упрочнения древесины / В.К. Советин, А.Ф. Сушков, Г.В. Берзиньш, В.Н. Шведов, А.Э. Зиемелис, Б.Ф. Соловьев, В.П. Скруписис, К.А. Роценс, Я.К. Гулбис.

2. Патент на изобретение 2277045.11.08.2004. Способ термической обработки древесины и устройство для его осуществления /И.А. Данченко.

3. Хапёрских С.А. Способы снижения водопоглощения лущеного дубового шпона / С.А. Хапёрских, Е.А. Головина // Горизонты образования: материалы 13 Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2016» Алт. гос. техн. ун-т, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - Барнаул, 2016. - Выпуск 18. -С. 63-68. - Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/new\\_material\\_tez\\_2016.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/new_material_tez_2016.pdf).

4. ГОСТ 4648.

5. Свойства древесины. - Режим доступа: [http://pilkon.ru/st\\_svova.html](http://pilkon.ru/st_svova.html) (Дата обращения 24.04.2017).

## ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА «ВОЛОКНО-СВЯЗУЮЩЕЕ» В ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ

Черепанова Н.О. – магистр группы 8МиТМ-61, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) все шире используются в различных областях техники. Свойства композитов и их сохранение при эксплуатации в немалой степени определяются адгезионным взаимодействием волокна и матрицы. Прочность сцепления между ними определяет эффективность передачи напряжений через границу раздела фаз, обеспечивает возможность их совместной работы при нагружении.

В данной статье рассмотрим поверхность раздела «волокно-связующее» в волокнистых полимерных композитах, уделяя при этом особое внимание изучению адгезионного взаимодействия в системе ЭД-20-ПСФ/волокно.

Волокнистые ПКМ представляют собой сложные системы, состоящие из армирующих волокон и полимерной матрицы (или связующего). Прочность таких материалов зависит от целого ряда физико-химических и технологических факторов, часто тесно связанных друг с другом. Ключевую роль в обеспечении прочности волокнистых композитов играет адгезионная прочность соединения «волокно-матрица»  $\tau_0$  в элементарной ячейке композита. От нее в значительной степени зависит и то, насколько полно будет реализован вклад прочностных характеристик волокон в прочность ПКМ, и то, по какому механизму будет происходить разрушение материала.

В качестве примера используются следующие связующие: эпоксидиановая смола ЭД-20, полисульфон ПСК-1 и их смеси с массовым содержанием полисульфона 5 %, 10 %, 15 % и 20 %. Оба компонента обладают высокими механическими свойствами, производятся в промышленном масштабе.

Для получения модельных адгезионных соединений полимер/волокно используются три типа волокон: стальное (диаметр 150 мкм), полиамидное (диаметр 200 мкм) и стеклянное (диаметр 15-30 мкм). Для выявления общности наблюдаемых закономерностей в качестве модификаторов эпоксидной смолы используются (в квазистатических условиях) такие термостойкие линейные термопласты как полиэфиримид (ПЭИ) и полиариленэфиркетон (ПАЭК).

Сдвиговую адгезионную прочность  $\tau_0$  определяют, как отношение усилия, необходимого для выдергивания волокна из слоя полимера, к площади адгезионного соединения (метод "pull-out") при квазистатическом и ударном нагружении.

При рассмотрении механических характеристик смесевых матриц ЭД-20-ПСФ в соответствии с данными, полученными в Институте химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (ИХФ РАН) было обнаружено, что их прочность практически не изменяется при квазистатическом нагружении, а при ударном-возрастает (таблица 1). Кроме того, энергия разрушения системы ЭД-20-ПСФ увеличивается с ростом содержания модификатора как при квазистатическом, так и при ударном нагружении.

Также оказалось, что введение полисульфона приводит не только к увеличению некоторых механических характеристик неармированных эпоксидных матриц и границы раздела эпоксиполисульфоновая матрица/волокно, но и к небольшому повышению прочности (10 %) и несколько большему возрастанию ударостойкости (энергии инициации трещины) – 30 % - стеклопластиков на основе таких матриц.

Таблица 1 – Механические и термические свойства смесевых матриц ЭД-20-ПСФ

Содержание ПСФ, % масс.	T <sub>c</sub> эпоксидной фазы, °C	T <sub>c</sub> полисульфоновой фазы, °C	$\alpha \times 10^6$ , град <sup>-1</sup> T=135-175 °C	Плотность, г/см <sup>3</sup>	E, ГПа
0	134	-	176	1,22	3,03
5	137	197	168	1,19	2,65
10	138	195	180	1,17	3,20
15	138	194	168	1,15	2,86
100	-	202	55	1,21	2,80

На рисунке 1 показано, как меняется эффект модификации при переходе от неармированных матриц к модельным адгезионным системам, а затем и к композитам.

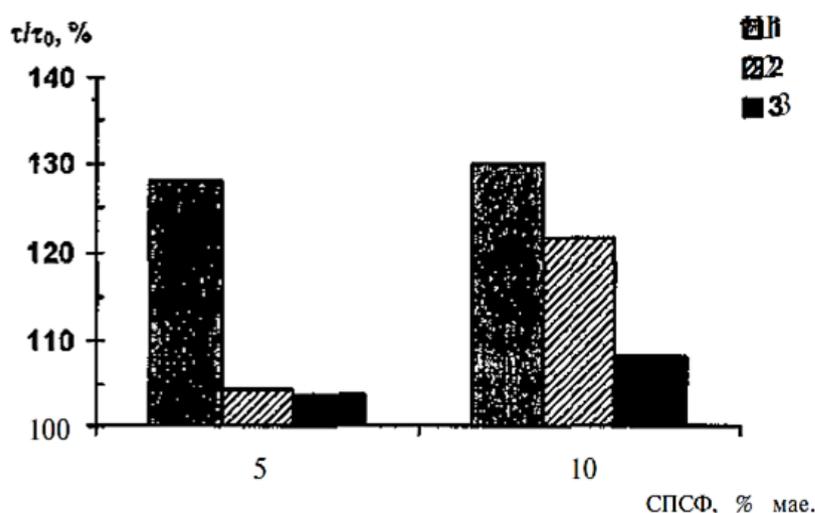


Рисунок 1 – Влияние полисульфона на прочность смесевых матриц ЭД-20-ПСФ (1), адгезионных систем (2) и стеклопластиков (3) на их основе. Ударное нагружение.  $\tau_0$  – прочность эпоксидных матриц, систем ЭД-20/волокно и эпоксидных стеклопластиков

Как видно из рисунка 1, величина полученного эффекта уменьшается в ряду полимерная матрица → модельная адгезионная система → армированный пластик. Прежде всего, это можно связать с тем, что внедрение в полимер армирующей компоненты, то есть развитие границы раздела, приводит к уменьшению зоны пластического течения в вершине развивающейся трещины. В результате, эффект повышения прочности и вязкости разрушения матрицы сильно уменьшается по мере появления (в системе полимер/волокно) и развития (в композитах) границы раздела.

#### Список использованной литературы

1. Бранцева Т.В., Антонов А.В., Горбаткина Ю.А., Кербер М.Л., Кравченко, Т.П., Рыбин А.А. "Динамическая адгезионная прочность систем полимер-волокно" // Механика композитных материалов. - 1999. - Т. 35. - № 6. - С. 689-700.
2. Зеленский Э.С., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М., Иванова-Мумжиева, В.Г., Антонов А.В., Бранцева Т.В. "Модифицирование полимерных матриц для высокопрочных высокомодульных армированных пластиков" // Полимеры- 2000: Сб. статей, посвященных 40-летию отдела полимеров и композиционных материалов ИХФ РАН им. Н.Н. Семёнова. - С. 333-347.
3. Бранцева Т.В., Горбаткина Ю.А., Кербер М.Л., Кравченко Т.П. "Изучение межфазного взаимодействия в системе полиамид-арамидные волокна" // Известия вузов. Химия и химическая технология. - 2000. - Т. 43, вып. 1. - С. 105-108.

4. Бранцева Т.В., Горбаткина Ю.А., Кербер М.Л. "Адгезия эпоксиполисульфоновых смесей к волокнам" // Механика композитных материалов. - 2001. - Т. 37, № 1. - С. 3-12.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ ТАЛЬКОМ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА

Шахурина И.С. – магистрант группы 8МиТМ-51, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Широкое применение полиолефинов – полиэтилена и полипропилена в первую очередь связано с высокой доступностью и дешевой этих полимеров, получаемых из этилена и пропилена, которые являются основными продуктами крекинга углеводородов нефти.

С другой стороны, полиэтилен и полипропилен обладают своеобразным комплексом свойств, сочетая достаточно высокую прочность, прозрачность, способность переходить в высокоэластическое состояние и хорошую обрабатываемость. Именно широкие возможности переработки полиэтилена и полипропилена любыми методами, пригодными для термопластов, позволяют достигать значительной вариабельности в отношении технологического режима получения изделий на их основе [1].

С середины 60-х годов начал устойчиво расти интерес во всем мире к полипропилену. Он обусловлен, с одной стороны, благоприятным сочетанием физических, химических, термических и электрических свойств и хорошей перерабатываемостью полимера, а с другой стороны – доступной и стабильной сырьевой базой, более дешевой, чем этилен или стирол. Все это обеспечивает полипропилену прочное и конкурентоспособное положение на мировом рынке вообще и на российском в частности [2].

В настоящее время до 70 % полипропилена во всем мире перерабатывается в литьевые, термоформовочные изделия и волокно. Остальное количество приходится на экструдированные изделия и пленку. Он применяется для производства газо- и водонапорных труб, профилей, листов, пленок, мебели, технических изделий. Полипропилен является конструкционным материалом общетехнического назначения и используется в автомобилестроении, машиностроении и других отраслях народного хозяйства. Полипропилен используется в производстве химических волокон, для упаковки пищевых продуктов, косметических средств и других товаров, изготовления контейнеров, посуды, в том числе одноразовой, корпусных деталей и деталей, работающих на изгиб, производства изделий медико-биологического назначения и как антикоррозионный материал [2].

Однако в подавляющем большинстве случаев физико-механические характеристики полипропилена самого по себе оказываются недостаточными для эффективного применения в некоторых областях, так, например, в автомобилестроении. Поэтому практически сразу после освоения промышленного производства полипропилена стали прибегать к его модификации, компаундируя с наполнителями различной природы с целью улучшения эксплуатационных качеств материала. Так, если в начальный период истории модификации полипропилена введение минерального наполнителя применялось главным образом с целью удешевления материала, то в последующие годы на минеральные наполнители стали возлагаться определенные функциональные роли, в первую очередь, это повышение жесткости, температуры деформации, снижение усадки получаемых композиционных материалов. Наибольшую популярность в качестве наполнителей полипропилена среди минералов нашли тальк и карбонат кальция [3].

Целенаправленный выбор полимерной матрицы, типов и соотношения основных компонентов композиции, вкуне со стабилизирующими и модифицирующими добавками, позволяет получать изделия с заранее заданным комплексом свойств, в том числе в процессе переработки материала варьировать технологическими (реологическими) характеристиками.

Реологические свойства расплавов наполненных полимеров имеют большое значение при выборе условий их переработки в изделия.

Вязкость расплавов, температура текучести зависят от объемной доли наполнителя и формы его частиц.

По заказу научно-производственной компании «Логокомпозит» (г. Барнаул, Россия) было проведено исследование показателя текучести расплава наполненного полипропилена с различной степенью наполнения тальком: 15 %, 30 %, 40 %.

Показатель текучести расплава (ПТР, индекс расплава) – условная величина, характеризующая поведение термопластичного полимера в вязкотекучем состоянии при переработке его в изделия. Он определяется количеством материала (в граммах), выдавливаемого через стандартный капилляр экструзионного пластометра (вискозиметра) при определенных условиях и пересчитанного на время течения 10 мин [5].

Показатель текучести расплава определяют при условиях, регламентируемых ГОСТ 11645-73. По значениям ПТР можно ориентировочно оценить вязкость расплава термопласта в условиях испытаний.

Определение ПТР тальконаполненного полипропилена проводилось на анализаторе индекса расплава МТ 091М. Анализатор (рисунок 1) работает в режиме полуавтоматического управления.

Для испытания применяют образцы в виде гранул, порошка, лент, пленки или другой формы, обеспечивающей его введение в отверстие экструзионной камеры. В данной работе использовались образцы в виде гранул [6].

Образцы для испытаний кондиционируют при условиях, указанных в стандартах и технических условиях на материал с учетом требований ГОСТ 12423-66.

Условия испытания должны быть указаны в стандартах или технических условиях на материал [5,6].



Рисунок 1 – Анализатор индекса расплава МТ 091М,  
где а – установка, б – экструзионная камера (экструдер)

Исходя из условий определения показателя текучести расплава термопластов, приведенных в Приложении 1 ГОСТ 11645-73, испытания проводились при температуре

равной 180 °С; время прогрева – 240 с, способ отсечения отрезков автоматический, интервал между отсечениями 10 с.

Показатель текучести расплава термопластов ПТР<sub>(Т,Р)</sub> в г/10 мин вычисляется с точностью до двух значащих цифр по формуле 1:

$$\text{ПТР}_{(Т,Р)} = \frac{t \cdot m}{\tau}; \quad (1)$$

где Т – температура испытания, К (°С); Р – нагрузка, Н; t – стандартное время, с; m – средняя масса экструдированных отрезков, г; τ – интервал времени между двумя последовательными отсечениями отрезков, с.

Была проведена серия опытов: № 1 – ненаполненный полипропилен, № 2 – полипропилен с 15 % наполнением, № 3 – полипропилен с 30 % наполнением, № 4 – полипропилен с 40 % наполнением. Экструдированные отрезки полипропилена в каждой серии взвешивались индивидуально, затем проводилась статистическая обработка результатов (средние массы  $m_{\text{ср}}$  и ПТР). Относительная погрешность не превышала 3-4%.

Опыт № 1 (ненаполненный ПП):  $m_{\text{ср}} = \frac{1,818 \text{ г}}{15} = 0,1213 \text{ г}$ ,

$$\text{ПТР}_{(Т,Р)} = \frac{600 \text{ с} \cdot 0,1213 \text{ г}}{10 \text{ с}} = \frac{72,72}{10} = 7,272 \frac{\text{г}}{10 \text{ мин}}.$$

Опыт № 2 (ПП с 15 % наполнением):  $m_{\text{ср}} = \frac{2,2687 \text{ г}}{15} = 0,1512 \text{ г}$

$$\text{ПТР}_{(Т,Р)} = \frac{600 \text{ с} \cdot 0,1512 \text{ г}}{10 \text{ с}} = \frac{90,72}{10} = 9,072 \frac{\text{г}}{10 \text{ мин}}.$$

Опыт № 3 (ПП с 30 % наполнением):  $m_{\text{ср}} = \frac{2,1842 \text{ г}}{15} = 0,1456 \text{ г}$

$$\text{ПТР}_{(Т,Р)} = \frac{600 \text{ с} \cdot 0,1456 \text{ г}}{10 \text{ с}} = \frac{87,36}{10} = 8,736 \frac{\text{г}}{10 \text{ мин}}.$$

Опыт № 4 (ПП с 40 % наполнением):  $m_{\text{ср}} = \frac{2,1103 \text{ г}}{15} = 0,1407 \text{ г}$

$$\text{ПТР}_{(Т,Р)} = \frac{600 \text{ с} \cdot 0,1407 \text{ г}}{10 \text{ с}} = \frac{84,42}{10} = 8,4422 \frac{\text{г}}{10 \text{ мин}}.$$

По полученным данным был построен график зависимости показателя текучести расплава полипропилена от степени наполнения тальком (рисунок 2).

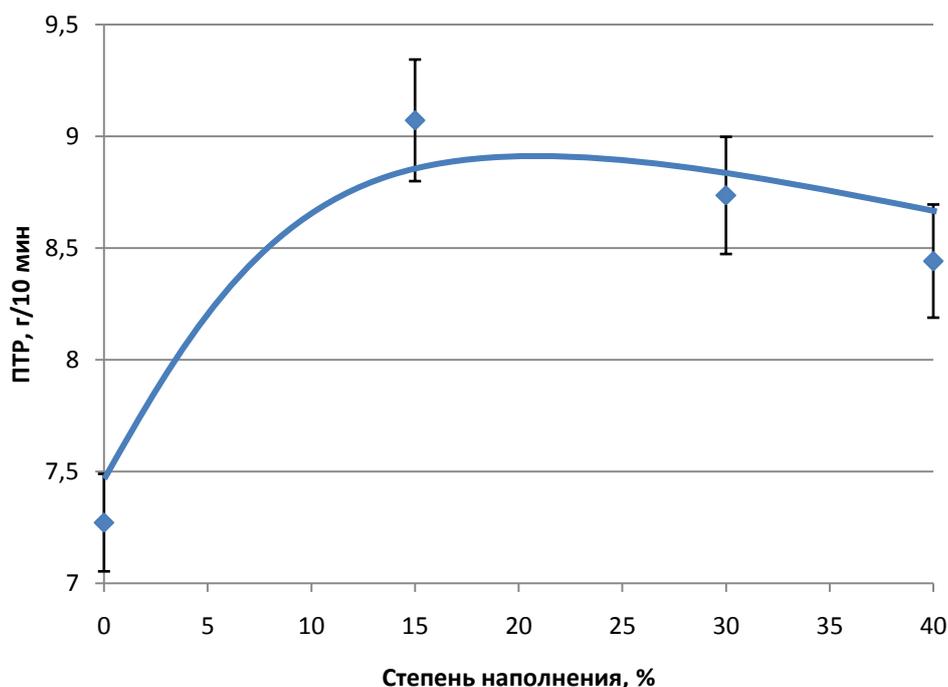


Рисунок 2 – График зависимости показателя текучести расплава от степени наполнения

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что для данного компонентного состава показатель текучести расплава монотонно возрастает до степени наполнения тальком 15 %, а дальнейшее наполнение приводит к снижению этой технологической характеристики. Следовательно, можно предположить, что введение слоистого наполнителя приводит к снижению вязкости композиции, это происходит именно благодаря хлопьевидному строению талька:

- повышается размерная стабильность (поскольку он ориентируется вдоль линий течения при формовании);
- уменьшается проницаемость;
- укорачивается цикл литья под давлением благодаря нуклеации.

Соответственно тальконаполненный полипропилен в зависимости от степени наполнения и показателя текучести расплава можно использовать для производства различных видов изделий, получаемых как экструзией, так и литьем под давлением.

Для изучения механических свойств были проведено испытание на растяжение.

Для проведения этого испытания также компанией «Логокомпозит» были изготовлены образцы. Конкретные марки полипропилена и талька охраняются режимом коммерческой тайны предприятия, поэтому исследуемые образцы были обозначены в зависимости от степени наполнения 15 %, 20 %, 30 %, 40 %.

Испытания на растяжение дают возможность получить ряд механических характеристик, позволяющих оценить не только прочность испытываемых материалов, но и их склонность к упругим или пластическим деформациям. Испытания материалов на растяжение наиболее полно отражают их прочностные характеристики и поэтому широко распространены в науке и промышленности. Они дают возможность произвести сравнительную оценку механических свойств различных материалов [7].

Механические свойства гладких образцов, определенные медленным повышением нагрузки, часто не соответствуют действительным условиям нагружения деталей при их эксплуатации, когда нагрузка возрастает очень быстро.

Определение прочности материала при растяжении проводилось по стандарту ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» на испытательной машине марки 3369 фирмы Instron.

По полученным данным испытаний образцов были построены график зависимости предела прочности при разрыве, предела текучести при растяжении, относительное удлинение при максимальной нагрузке, относительное удлинение при разрыве (рисунок 3).

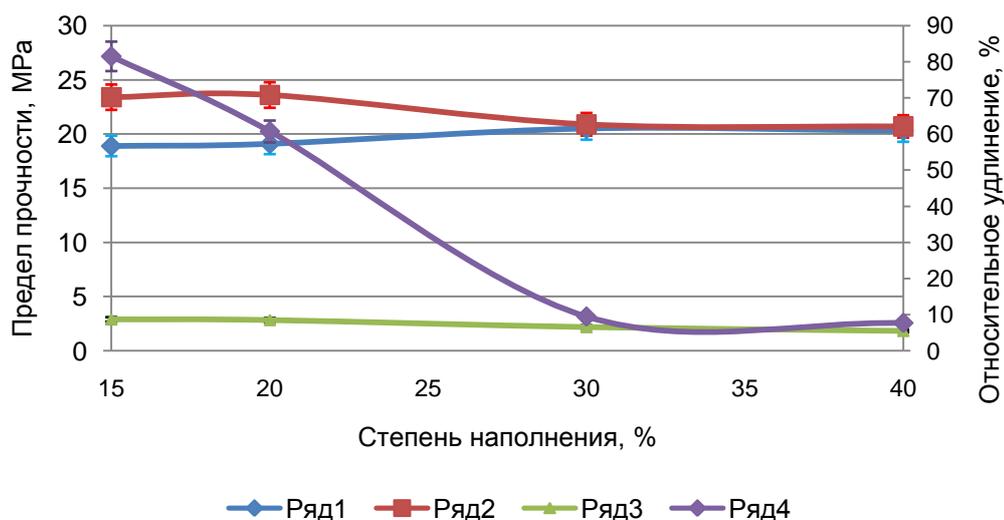


Рисунок 3 – График зависимостей предела прочности и относительного удлинения от степени наполнения, где ряд 1 – предел прочности при разрыве, ряд 2 – предел прочности при растяжении, ряд 3 – относительное удлинение при максимальной нагрузке, ряд 4 – относительное удлинение при разрыве

Из анализа графика следует, что при малых степенях наполнения и малых размерах частиц (до 0,1 мкм), дисперснонаполненные системы можно отнести к дисперсноупрочненным. Частицы, введенные в матрицу, служат барьером для распространения линейных дислокаций, тем самым упрочняя материал.

Так же, можно сказать, что при высокой степени наполнения в системе могут возникать кластерные структуры линейного кольцевого кластерного типа, поэтому при разрушении образца требуется дополнительная энергия для того, чтобы разрушить и эти агломераты. Поэтому наблюдается увеличение предела прочности при разрыве при высокой степени наполнения.

С увеличением степени наполнения значение относительного удлинения при разрыве уменьшается, а относительное удлинения при максимальной нагрузке остается практически неизменным.

Качественный анализ стандартных образцов и образцов, наполненных тальком с различным процентом наполнения показал, что предел прочности снизился: разрушающее напряжение при растяжении ненаполненного полипропилена равно 30–32 МПа, а после наполнения – 20–23 МПа.

Это говорит о том, что концентрация талька 15–40 % не обеспечивает повышения разрывной прочности, следовательно, есть смысл провести подобное испытание образцов со степенью наполнения до 15 %.

Можно сделать вывод, что данные степени наполнения позволяют не только удешевить получаемый композиционный материал, но и увеличить жесткость и уменьшить усадку.

Список литературы

1. Власов, С.В. Основы технологии переработки пластмасс [Текст]: учебник для вузов/ С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев – М.: Мир, 2006. – 597 с.
2. Арсенал. Полипропилен [Электронный ресурс] // – Электрон.данные. Режим доступа: <http://www.engineering.ru/s2-1-1-8.php>. – Загл. с экрана.
3. Пол, Д.Р. Полимерные смеси [Текст]: справочное пособие / Д.Р. Пол, К.Б. Бакнелл – Спб.: НОТ, 2009. – Том 2 – 606 с.
4. Панова, Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / Л.Г. Панова – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 68 с.
5. ГОСТ 11645-73 «Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов» [Электронный ресурс] // – Электрон.данные. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>. – Загл. с экрана.
6. Паспорт. Руководство по эксплуатации анализатора индекса расплава по ГОСТ 11645-73 МТ 091М [Текст] – М.: ООО «Метротекс», 2015.
7. ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» [Электронный ресурс] // – Электрон.данные. Режим доступа: <http://www.cad.dp.ua/gost/files/GOST11262-80>. – Загл. с экрана.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБШИВКИ КИЛЯ САМОЛЕТА SСJ-100

Ядрина Е. В. – студент группы МиТМ-31, Головина Е. А. – к.т.н., доцент  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Киль – аэродинамическая поверхность летательного аппарата, являющаяся основной частью вертикального оперения и предназначенная для обеспечения путевой устойчивости и, в некоторых случаях, управляемости летательного аппарата. При однокилевом оперении киль устанавливается на хвостовой части фюзеляжа в плоскости симметрии летательного аппарата. При неподвижном киле путевая управляемость (балансировка и осуществление манёвра) обеспечивается шарнирно укрепленным на нем рулём направления.

В полете на самолет действуют такие силы, как: тяга двигателя, сила тяжести, подъемная сила и лобовое сопротивление.

Таким образом, основные требования к оперению:

- обеспечение высокой эффективности при минимальном лобовом сопротивлении и наименьшей массе конструкции;
- обеспечивать балансировку при возникновении несимметричной нагрузки в случае односторонней остановки двигателей на какой-либо стороне, посадке с боковым ветром и т. д.;
- возможно меньшее затенение оперения другими частями самолёта – крылом, фюзеляжем, гондолами двигателей, а также одной части оперения другой;
- отсутствие вибраций и колебаний типа флаттера и бафтинга;
- более позднее, чем на крыле, развитие волнового кризиса.

Киль семейства самолетов SSJ представляет собой трапецию с углом стреловидности по передней кромке  $40^\circ$  и состоит из кессонной части, залонжеронной части, носовой части кия, форкиля и законцовки (рисунок 1).

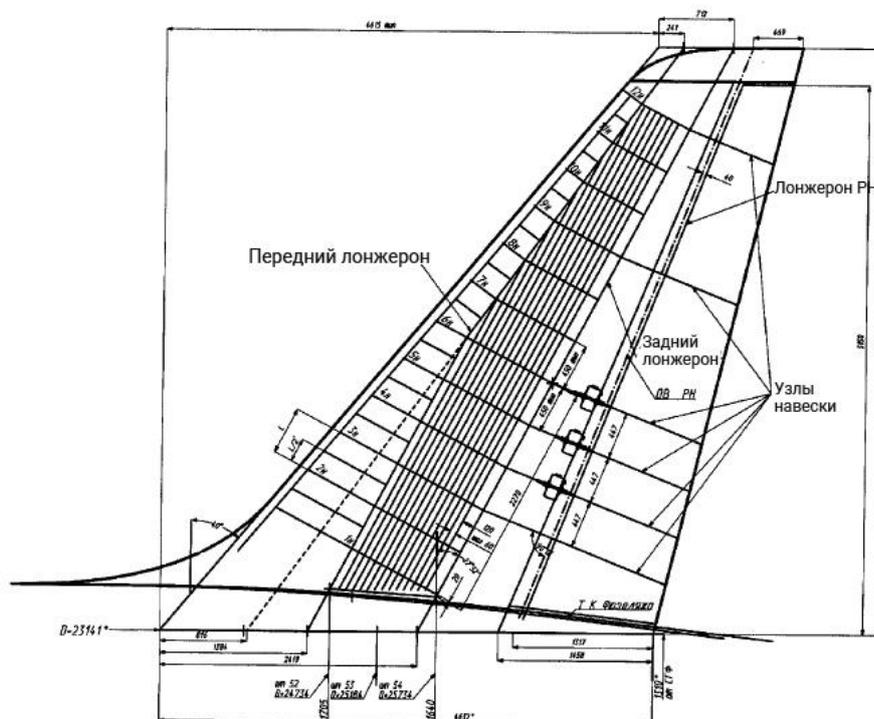


Рисунок 1 – Конструкция кия самолета

Крепление кия к фюзеляжу требует обязательной передачи его изгибающего момента на фюзеляж. Для этого каждый лонжерон кия соединяется с силовым шпангоутом стеночной или рамной конструкции. Обшивки кия и фюзеляжа обычно соединяются стыковочным уголком по контуру кия. Киль крепится к шпангоутам подкилевого отсека фюзеляжа по переднему и заднему лонжеронам в 4-х точках.

При выборе материала одной из важнейших эксплуатационных характеристик для полетных конструкций является статистическая выносливость и усталостная прочность.

Высокопрочные углеродные волокна имеют умеренную ударную прочность и не плохие характеристики, как при растяжении, так и при сжатии. Углеродные волокна можно применять в тех областях, в которых требуется повышенная удельная прочность.

На основе углеродного волокна изготавливается углеродная ткань УРАЛ.

Для изготовления изделия выбираем материал УРАЛ Т-10 на основе вискозной технической ткани марки ТВС-2, т. к. он обладает оптимальными физико-механическими свойствами и достаточными размерами (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-механические показатели

Наименование показателя	УРАЛ Т-10
Разрывная нагрузка, Н по основе	981
по утку	343
Поверхностная плотность, г/м <sup>3</sup>	310±35
Ширина, см	50±5

Наиболее распространенным связующим для композитов являются связующие на основе эпоксидных полимеров. Выбрано связующее ЭДИ на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с ангидридным отвердителем изо-МТГФА, приготавливаемое по рецептуре РТП-СП2-20994511-1999Т (таблица 2).

Таблица 2 – Состав эпоксидной композиции [10]

Наименование компонентов	Массовое содержание, %	Назначение компонентов
Смоляная часть ЭД-22 (ГОСТ 10587-84)	56,7±0,50	Основа связующего
Отвердитель изо-МТГФА (ТУ 6-09-124-91)	42,5±1,50	Отвердитель
Ускоритель УП-606/2 (ТУ 6-00209817.035-96)	0,8±0,02	Ускоритель отверждения связующего

Для модификации полимерной матрицы использовался углеродный ультрадисперсный наполнитель – углеродные нанотрубки (УНТ) серии «TUBALL™» («OCSiAl», г. Новосибирск). Основные характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства УНТ «TUBALL™»

Показатель	Значение
Массовая доля углерода в материале, не более, % <sub>масс</sub>	85
Содержание аморфного углерода, % <sub>масс</sub>	≤1
Массовая доля примесей, % <sub>масс</sub>	<15
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1600
Термическая устойчивость на воздухе, °С	615

Если проанализировать вязкость компонентов эпоксидного связующего ЭДИ, то можно расположить компоненты в следующем ряду, их вязкость повышается: изо-МТГФА → УП-606/2 → ЭД-22 Из первых 2-х компонентов вводить наполнитель представляется возможным только в отвердитель, т.к. ускоритель добавляется в незначительном объеме. Можно сделать вывод, что внесение наполнителя в отвердитель является наиболее выгодным для достижения равномерного его распределения [4].

Структура сотовых (сандвичевых) конструкций состоит из двух облицовочных пластин, толстой легкой сердцевины (заполнителя), разделенного несущими пластинами, и адгезионных слоев, связывающих элементы конструкции. В качестве материала для сердцевины используются соты из алюминиевой фольги.

Для изготовления обшивки киля самолета выбран метод автоклавного формования.

Процесс собственно автоклавного формования состоит из следующих основных этапов:

- на форму накладывают необходимое число слоев препрега;
- при повышенных давлении и температуре в автоклаве проводят отверждение; осуществляют отделку (зачистку) отвержденных изделий.

Технологический процесс изготовления обшивки киля самолета

#### 1. Входной контроль материалов

При входном контроле подвергаются проверке: смоляная часть ЭД-22; отвердитель изо-МТГФА; ускоритель УП-606/2; углеродные нанотрубки (УНТ) серии «TUBALL™»; углеткань УРАЛ Т-10.

#### 2. Дозирование компонентов

Состав эпоксидной композиции включает в себя:

смоляная часть ЭД-22 – массовое содержание 56,7±0,50 %;

отвердитель изо-МТГФА – массовое содержание 42,5±1,50%;

ускоритель УП-606/2 – массовое содержание  $0,8 \pm 0,02\%$ .

Проблема точного дозирования для получения малых степеней наполнения ( $\leq 0,5\%$  масс.) решается при помощи использования технологии концентрированных растворов, которая заключается в смешивании отвердителя с высоким содержанием УНТ (относительно требуемого в готовом связующем) и отвердителя без добавления УНТ [10].

### 3. УЗК-обработка

Технологические параметры для УЗК-обработки следующие: мощность –  $35 \pm 5$  Вт/м<sup>2</sup>; время обработки для композиции объемом 350 см<sup>3</sup> составляет 180 с.

### 4. Механическое смешивание компонентов и дегазация

После приготовления раствора ультрадисперстного наполнителя проводится стадия дозирования раствора, необходимого количества отвердителя, эпоксидно-диановой смолы, ускорителя и происходит смешивание.

Для перемешивания композиции выбираем скорость смешивания – 1000 об/мин, время смешивания – 60 мин.

### 5. Изготовление препрега

В данном этапе происходит укладка армирующего материала на форму и нанесение на армирующий материал связующего с последующей пропиткой им. Способ нанесения пропиточного состава на волокнистый наполнитель – пропитка контактным роликом.

### 6. Подготовка оснастки и формирование каркаса

Форма для выкладки изготавливается из материалов, длительно работающих при температуре 250 °С и давлении 1 МПа – из титана, дюралюминия, стали.

Непосредственно перед формованием на поверхность формы кистью либо распылением наносят наружный смоляной слой (гелькоут). Для этого используют полиэфирную смолу, содержащую наполнители и пигменты, но без армирующих добавок. В ходе процесса эта композиция переходит на формируемое изделие, образуя таким образом наружную поверхность будущего изделия. Гелькоут предохраняет поверхность от пагубного влияния ультрафиолета, химически активных сред, воздействия воды [3].

### 7. Отверждение в автоклаве

Препрег или многослойный пакет из препрега выкладывают на форму, герметично упаковывают в вакуумный мешок и помещают в автоклав.

Заготовка формируется при всестороннем равномерном давлении  $P = 0,7-0,9$  МПа, в зависимости от имеющегося оборудования.

Для отверждения использован современный автоклав «Шольц» с максимальной рабочей температурой 250 °С и максимальным давлением 1,0 МПа.

### 8. Механическая обработка обшивки

После отверждения, готовое изделие извлекается из формы и подвергается механообработке: обрезка облоя - излишков углепластика или отвержденной эпоксидной смолы по краям изделия; высверливание отверстий и т. д.

Волокнистые КМ обрабатывают алмазным инструментом или инструментом со вставками из сверхтвердых материалов.

### 9. Выходной контроль качества обшивки

Выходной контроль качества объекта включает следующие операции:

1. внешний осмотр изделия;
2. контроль геометрических размеров;
3. проведение статических и динамических испытаний.

#### Крепление обшивки

Сотовидная обшивка крепится к шпангоутам. Она включает сердцевину из сотового наполнителя и две несущие панели. Панели крепятся к каркасу. Эта конструкция способна передавать напряжение по всей поверхности и характеризуется высоким сопротивлением деформации [6].

К задней кромке киля на шарнирах крепится руль направления полёта.

Крепление киля к фюзеляжу требует обязательной передачи его изгибающего момента на фюзеляж. Для этого каждый лонжерон киля соединяется с силовым шпангоутом стеночной или рамной конструкции.

#### Список литературы

1. Абибов, А.Л., Бирюков Н.М. Технология самолетостроения [Текст] / А.Л. Абибов, Бирюков, Н.М. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
2. Шульженко, М.Н. Конструкция самолетов [Текст]/ М.Н. Шульженко – М: Машиностроение, 1971. – 415 с.
3. Виноградов, И.Н. Конструкция и расчет самолета на прочность [Текст]/под ред. проф. Ветчинкина В. П. – М: Главная редакция авиационной литературы, 1935. – 566 с.
4. Технология модификации эпоксидных связующих углеродными ультрадисперсными частицами термического и детонационного синтеза [Текст]/ Е. А. Новиковский// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Барнаул: Типография АлтГТУ, 2016. – 175 с.
5. Воплощение композитных идей [Электронный ресурс] URL: <http://www.forcomposite.ru/article/technology/prepreg-v-avtoklave/> (дата обращения 19.12.2016)
6. Обшивка самолета [Электронный ресурс] URL: <http://avia.pro/blog/obshivka-samoleta/>(дата обращения 19.12.2016)