

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

В.И. Бгатов, Д.А. Кропивенцев, В.М. Шахмистов

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ
ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

УДК 629.7.002.(075)
ББК 39.5
Т 384



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

Авторы: *В.И. Бгатов, А.Г. Енифанов, Д.А. Кропивенцев,
Л.М. Домбровская, И.М. Степанов, В.М. Шахмистов*

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. Ю. А. В а ш у к о в
канд. техн. наук, зам. нач. отд. ГНПРКЦ
«ЦСКБ-Прогресс» А. Н. К а ш и ц ы н

Т 384 **Технология изготовления агрегатов легких самолетов из полимерных композиционных материалов:** учеб. пособие / [В.И. Бгатов и др.]. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 110 с. : ил.

ISBN 5-7883-0478-4

Пособие представляет собой краткий курс лекций по технологиям изготовления деталей и агрегатов легких самолетов из полимерных конструкционных материалов.

Пособие дает возможность студентам ознакомиться с особенностями полимерных конструкционных материалов, которые обеспечивают главные их достоинства как сравнительно нового конструкционного материала, знакомит с возможностями и ограничениями применения ПКМ в несущих конструкциях летательных аппаратов.

Приведенные технологии изготовления деталей и агрегатов могут изучаться студентами на практике, как в межкафедральном конструкторском бюро летательных аппаратов СГАУ, так и на предприятиях Самары, занятых разработкой и изготовлением легких самолетов.

УДК 629.7.002.(075)
ББК 39.5

ISBN 5-7883-0478-4

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения.....	5
Введение.....	6
1 Общие сведения о ПКМ.....	14
1.1 Типы ПКМ и их классификация	14
1.2 Анализ достоинств и недостатков ПКМ	15
2 Компоненты ПКМ	17
2.1 Матрица	17
2.2 Армирующие волокна	17
3 Неметаллические волокнистые армирующие элементы.	20
3.1 Стекломатериалы.....	20
3.1.1 Непрерывные волокна.....	20
3.1.2 Тканые армирующие материалы.....	26
3.1.3 Нетканые армирующие материалы.....	27
3.2 Углеродные волокна.....	31
3.3 Органические армирующие элементы	36
3.3.1 Органические волокна	36
3.3.2 Органические ткани.	40
4 Связующие полимеры и матрицы на их основе.	41
4.1 Общие сведения о полимерах.	41
4.2 Термопластичные полимеры.....	43
4.2.1 Полиэтилен.....	43
4.2.2 Полипропилен.....	44
4.2.3 Поливинилхлорид.....	45
4.2.4 Полистирол.	46
4.2.5 Полиметилметакрилат.....	47
4.2.6 Полиамиды.	48
4.2.7 Поликарбонаты.	49
4.2.8 Полиимиды.....	50
4.3 Термореактивные связующие.	52
4.3.1 Фенолоформальдегидные смолы.	52
4.3.2 Эпоксидные смолы.....	53
4.3.3 Кремнийорганические полимеры.	55
5 Типовые технологии изготовления изделий из КМ.....	56
5.1 Технологии изготовления изделий из КМ методом холодного формования.....	57
5.1.1 Свободное формование.....	58
5.1.2 Формование под давлением	63
5.2 Технологии изготовления изделий из КМ методом горячего формования.....	64
5.2.1 Оборудование и технологическая оснастка, применяемые при изготовлении изделий из КМ методом горячего формования:	64
5.2.2 Общие процедуры подготовки процессов.	64
5.2.3 Прессование	65
5.2.4 Вакуумирование	66
6 Методы неразрушающего контроля	69
6.1 Тепловые методы.....	69
6.2 УЗИ и рентгенография, сравнение с тепловым методом	70
6.3 Вибрационные методы.....	71
7 Ремонт и устранение дефектов.....	73

8 Технология изготовления деталей и агрегатов легких самолетов из ПКМ	75
8.1 Основные методы обеспечения точности сборочных процессов и взаимной увязки деталей, узлов и агрегатов легких самолетов	75
8.2 Типовые технологии изготовления баков из ПКМ (топливных и для специальных растворов)	76
8.2.1 Формовка стенок баков.	79
8.2.2 Технология вакуумной формовки сборочных единиц бака.	79
8.2.3 Технология сборки бака	79
8.2.4 Проверка бака на герметичность	83
8.3 Технология изготовления трёхслойных панелей отъемной части крыла методом вакуумной формовки.	84
8.3.1 Подготовка элементов обшивки и матрицы к формовке	85
8.3.2 Формирование элементов обшивки в матрице (формовка)	91
8.3.3 Обработка внутренней поверхности обшивки	94
8.4 Технология сборки отделяемой части крыла из ПКМ	94
8.4.1 Особенности разработки схем членения при сборке агрегатов из ПКМ методом склеивания.	94
8.4.2 Схема сборки крыла лёгкого самолёта типа «Ястреб»	95
8.4.3 Технологический процесс сборки крыла лёгкого самолёта.	101
8.5 Технология изготовления и сборки фюзеляжа из ПКМ	105
Заключение	109
Список использованной литературы.	110

Условные обозначения

КМ – композиционный материал;
ПКМ – полимерный композиционный материал;
СВ – стекловолокно;
УВ – углеволокно;
ПАН – полиакрилонитрильный;
ПАН-В – полиакрилонитрильный вязкозный;
ГЦ-В – гидратцеллюлозный вязкозный;
ОВ – органическое волокно;
ПЭВД – полиэтилен высокого давления;
ПЭНД – полиэтилен низкого давления;
ПВХ – поливинилхлорид;
ХО – холодное отверждение;
ГО – горячее отверждение;
ОС – образец свидетель;
ТП – технологический процесс;
ЗШР – заготовительно-штамповочные работы;
ЛА – летательный аппарат;
ЧПУ – числовое программное управление;
ОЧК – отъемная часть крыла;
ВПО – внутренняя поверхность обшивки;
ШК – шаблон контура;
СО – сборочные отверстия;
КФО – координатно-фиксирующие отверстия.

Введение

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для ознакомления студентов с современными технологиями изготовления деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов используемых в производстве легких самолетов. Материалы пособия могут быть использованы студентами при прохождении производственной практики и на предприятиях, разрабатывающих и изготавливающих легкую авиационную технику, в межкафедральном конструкторском бюро летательных аппаратов СГАУ, а также в курсовом и дипломном проектировании, при проведении научно-исследовательских работ.

Авиационная промышленность (и не только авиационная) все шире применяет в качестве конструкционных материалов в ответственных узлах и агрегатах композиционные материалы на основе стеклянных, углеродных и органических волокон.

На рисунках 1...13 представлены самолеты некоторых отечественных и зарубежных конструкторских бюро, в которых основным конструкционным материалом являются стеклопластики.

Легкие самолеты самарских конструкторских бюро



Рисунок 1 - «Ястреб», СКБ ЛА СГАУ



Рисунок 2 - Ла-6, КБ «АэроВолга»



Рисунок 3 - А-37, «Аэропракт – Самара»



Рисунок 4 - Л6-СВ, КБ «Чайка»



Рисунок 5 - А-35, ООО «Авантаж»



Рисунок 6 - «Капитан», СКБ ЛА СГАУ



Рисунок 7 - Че-27, ООО «Агропромкомплект»



Рисунок 8 - А-21, «Аэропракт»



Рисунок 9 - А-33, «Аэропракт – Самара»



Рисунок 10 - Ce-23, ООО «Агропромкомплект»



Рисунок 11 - А-27, ООО «Авантаж»



Рисунок 12 – «Элитар- Сигма», ООО ВВВ-Авиа



Рисунок 13 – «Diamond star», Diamond Aircraft - Австрия

Основные причины такого внимания к новым конструкционным материалам хорошо известны:

их основное достоинство – высокая удельная прочность, обеспечивающая снижение относительной массы конструкции летательных аппаратов до 30%, что позволяет существенно увеличивать массу полезной нагрузки летательных аппаратов;

высокая технологичность, позволяющая одновременно с повышением качества изделий, в том числе и аэродинамического качества, обеспечить снижение себестоимости изготовления;

лучшие эксплуатационные характеристики (важнейшие из них - повышенная трещиностойкость и ремонтопригодность) по сравнению с традиционными металлическими сплавами.

К сожалению, несмотря на превосходные конструкционные и технологические качества ПКМ, уровень и эффективность использования их в современных отечественных ле-

тательных аппаратах являются неудовлетворительными из-за несовершенства используемых технологических процессов.

Задачами пособия являются: закрепление и совершенствование знаний студентов, получаемых ими по курсам материаловедение, проектирование и производство летательных аппаратов, и стимулирование творческого отношения к разработке учебных проектов с максимальным проявлением инициативы и инженерной смекалки.

При подготовке пособия были учтены замечания и советы преподавателей кафедры производства летательных аппаратов и специалистов ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

1 Общие сведения о ПКМ

1.1 Типы ПКМ и их классификация

КМ представляют собой гетерофазные системы, полученные из двух или более компонентов с сохранением индивидуальности каждого из них, и обладающие следующими характерными признаками: не встречаются в природе, поскольку созданы человеком; компоненты присутствуют в количестве достаточном для достижения заданных свойств материала; имеют новые свойства, отличающиеся от свойств составляющих их компонентов; материал является однородным в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе (между компонентами существует явная граница раздела).

Основными признаками классификации КМ являются: материалы матрицы и армирующих элементов, геометрия компонентов, структура и расположение компонентов, метод получения. Полная характеристика КМ должна содержать все указанные признаки, на практике же обычно ограничиваются одним или двумя из них [2].

Общее название КМ, как правило, происходит от материала матрицы. КМ с металлической матрицей называют металлическими КМ, с полимерной – ПКМ, с неорганической – неорганическими КМ.

КМ, содержащие два и более различных по составу или природе матричных материала, называют полиматричными. КМ, содержащие два или более различных по составу или природе типа армирующих элементов - полиармированными. В свою очередь последние разделяются на простые и комбинированные. Простыми КМ называют если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковую геометрию (например стеклоуглепластик – полимер армированный СВ и УВ), а комбинированными – если армирующие элементы имеют различные и природу, и геометрию (например, КМ, состоящий из алюминиевой матрицы, борных волокон и прослойки титановой фольги) [2].

В зависимости от вида армирующего элемента КМ разделяют на три основные группы: дисперсно-упрочнённые, волокнистые и пластинчатые, которые различаются структурой и механизмами образования высокой прочности.

В соответствии с классификацией КМ по структуре и расположению компонентов КМ разделяются на группы с каркасной, матричной, слоистой и комбинированной структурой. К КМ с каркасной структурой относятся, например, псевдосплавы, полученные методом пропитки; с матричной – ПКМ и армированные материалы, со слоистой – композиции, полученные из набора чередующихся фольг или листов материалов различной при-

роды или состава; комбинированной – материалы, содержащие комбинации первых трёх групп.

1.2 Анализ достоинств и недостатков ПКМ

В настоящее время наибольшее применение в конструкциях легких самолетов получили стеклопластики, в которых в качестве армирующих элементов используются стеклянные волокна в форме ткани, ровинга, шпона, а в качестве матрицы, как правило, используются отвержденные эпоксидные, а иногда полиэфирные смолы.

В некоторых несущих элементах конструкции применяются углепластики, отличающиеся высокой удельной прочностью, термостойкостью, термостабильностью свойств и геометрических размеров, высокой усталостной прочностью (в 1,5...2 раза выше чем у стали и в 8...9 раз – чем у алюминия). Применение углепластиков позволяет увеличить эксплуатационный ресурс в 1,5...2 раза, снизить массу конструкции на 20...25% и трудоемкость производства изделий. [2]

Из других достоинств композитов с полимерной матрицей следует отметить:

- высокие удельные прочностные и упругие характеристики;
- способность демпфировать высоко- и низкочастотные нагрузки;
- стойкость к химическим агрессивным средам;
- низкие тепло- и электропроводность (стекло- и органопластики);
- радиопрозрачность (стекло- и органопластики).

Большинство композитов создаются на основе высокопрочных армирующих элементов и матрицы, обладающей достаточно высокой степенью деформативности. При разрушении армирующего элемента или повреждении границы раздела происходит перераспределение напряжений таким образом, что повреждение локализуется в относительно малом объеме. Благодаря этому эффективная прочность композита в целом практически не снижается, что является одним из преимуществ композитов перед большинством традиционных материалов. [1]

Основным недостатком применяемых композиционных материалов является зависимость качества изделий (физико-механических характеристик КМ) от точности соблюдения технологии их изготовления и наличия и качества контроля готовых изделий. К недостаткам пластиков относятся также их низкие прочность и жесткость при сжатии и сдвиге, гигроскопичность, подверженность изменению физико-механических характеристик под действием климатических факторов. [1]

В таблице 1 приведены некоторые физико-механические свойства однонаправленных и ортогонально армированных стеклопластиков на основе эпоксидных смол.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики конструкционных материалов, используемых в производстве легких самолетов.

Материал	Плотность, г/см ³	Предел прочности, МПа	Удельная прочность
Сталь 30ХГСА	7,85	800	101,9
Д16Т	2,85	440	154,4
Титан ОТ-4	4,5	800	177,8
Стеклотекстолит	1,7	500	294,1
Однонаправленный стеклопластик	2	1000	500
Однонаправленный углепластик	1,5	1020	680

Свойства стеклотекстолитов на различных связующих приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства стеклотекстолитов на различных связующих

связующее	плотность, 10 ³ кг*м ⁻³	Предел прочности, МПа	предел прочности, МПа		ударная вязкость, кДж/м ²
			при статическом изгибе	при сжатии	
феноло-формальдегидная смола	1,5... 1,8	300... 500	200... 600	100... 300	50... 200
эпоксидная смола	1,6... 1,9	400... 600	400... 800	200... 400	100... 300
полиэфирная смола	1,4... 1,7	140... 450	150... 500	100... 300	70... 300
кремнийорганическая смола	1,6... 1,9	150... 350	150... 500	100... 350	35... 250
полиимиды	1,7... 1,9	300... 500	350... 680	300... 500	100... 300

К сожалению, в литературе не существует однозначного мнения об усталостных свойствах ПКМ.

2 Компоненты ПКМ

2.1 Матрица

Роль матрицы в армированных КМ заключается в придании изделию необходимой формы и создания монолитного материала. Объединяя в одно целое многочисленные волокна, матрица позволяет композиции воспринимать различного рода внешние нагрузки: изгиб, растяжение, сжатие, сдвиг и др. Она также распределяет действующие напряжения по объёму материала, обеспечивая равномерную нагрузку на волокна и её перераспределение при разрушении части волокон между соседними волокнами и уменьшение концентрации напряжений вблизи различного рода дефектов. Матрица служит и защитным покрытием, предохраняющим волокна от механических повреждений и окисления.

Материал матрицы определяет метод изготовления изделий из композитов, возможность выполнения конструкций заданных габаритов и формы, а также параметры технологических процессов и т.п.

Из вышеперечисленного следует, что требования, предъявляемые к матрицам, можно разделить на эксплуатационные и технологические. К первым относятся требования, связанные с механическими и физико-химическими свойствами материала матрицы, обеспечивающими работоспособность композиции при действии различных эксплуатационных факторов. Технологические требования к матрице определяются протекающими обычно одновременно процессами получения композита и изделия из него, т.е. процессами совмещения армирующих волокон с матрицей и окончательного формообразования изделия.

Таким образом, к материалу матрицы предъявляют следующие требования: хорошая смачиваемость волокна, возможность предварительного изготовления полуфабриката (например, препрегов) с последующим изготовлением из них изделий; качественное соединение слоев композита в процессе формования; невысокие значения параметров формообразования (например, температуры, давления) и т.п. [1].

Наиболее распространенными материалами матриц применяемыми в конструкциях легких самолетов являются полимерные материалы.

2.2 Армирующие волокна

Армирующие волокна, применяемые в конструкционных композитах, должны удовлетворять тому же комплексу эксплуатационных и технологических требований, что и матрица. К первым относятся требования по прочности, жесткости, плотности, стабильности свойств в определённом температурном интервале, химической стойкости и т.п. Тех-

нологичность волокон определяет возможность создания высокопроизводительного процесса изготовления изделий на их основе. [1].

При создании волокнистых композитов применяются высокопрочные стеклянные, углеродные, борные и органические волокна, металлические проволоки, а также волокна и нитевидные кристаллы (усы) ряда карбидов, оксидов, нитридов и других соединений.

Армирующие компоненты в композитах применяются в виде моноволокон, нитей, проволок, жгутов, ровингов, сеток, тканей, лент (шпонов), холстов.

В производстве ПКМ, используемых в конструкциях легких самолетов, металлические и кристаллические армирующие элементы не применяются.

Тканые материалы могут быть классифицированы по материаловедческому или конструктивному принципам. Пример такой классификации приведен на рисунке 14.

В зависимости от соотношения волокон в основе и утке ткани могут обладать анизотропией механических характеристик и варьироваться от равнопрочных до кордных (основных и уточных), в которых основная масса волокон ориентирована в направлении основы (основные) или утка (уточные).

Стеклянные сетки отличаются от тканей разряженностью структуры.

Одним из самых важных свойств является совместимость волокон с материалом матрицы, т.е. возможность достижения прочной связи волокно – матрица при условиях, обеспечивающих сохранение исходных значений механических свойств компонентов.



Рисунок 14 – Классификация тканых армирующих материалов

3 Неметаллические волокнистые армирующие элементы.

3.1 Стекломатериалы.

3.1.1 Непрерывные волокна.

Стекланным называют неорганическое волокно, изготовленное из расплавленного стекла. СВ сочетают сравнительно малую плотность с высокими теплостойкостью, химической стойкостью и прочностью, низкими теплопроводностью и температурным коэффициентом линейного расширения, они негорючи, стойки к биологическому воздействию.

Классификация. По способу формования различают два вида СВ: непрерывные и штапельные. Для первого характерны неограниченно большая длина, прямолинейность и параллельное расположение волокон в нити. Для штапельного волокна, используемого при производстве стеклопластиков в виде тонкого стеклянного мата, характерны небольшая длина, извитость и хаотическое расположение волокон в пространстве.

По химическому составу стекло, из которого получают стеклянные волокна, может быть бесщелочным и щелочным. Бесщелочные стекла содержат 1 – 2% окислов щелочных металлов и характеризуются очень высокими электрическим сопротивлением. Щелочные стекла содержат 10 – 15% окислов щелочных металлов; а их электрическое сопротивление намного меньше и с повышением температуры еще больше снижается [4, гл.1 –[1]].

Форма сечения стекловолокна – круг 1 (рисунок 15). Однако выпускаются и полые волокна 2 и профилированные (профильные) с формой сечения в виде треугольника 5, квадрата 4, шестиугольника 3, прямоугольника 6, ленты с гладкой или гофрированной поверхностью.

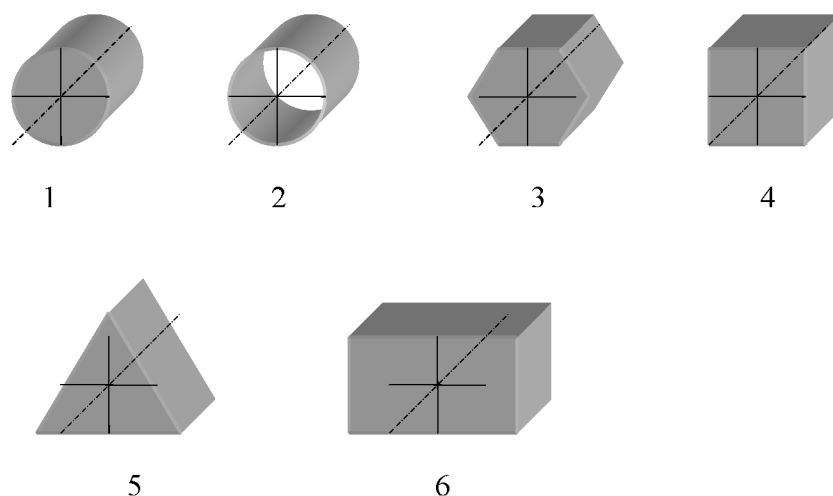


Рисунок 15 – Формы сечений стеклянных волокон.

Наиболее целесообразно применение полых волокон с коэффициентом капиллярности (отношение внутреннего диаметра к внешнему), равным 0.5 – 0.7, при внешнем диаметре волокна от 8 до 25 мкм, что позволяет снизить плотность стеклопластиков, увеличить их удельную жесткость при изгибе и прочность при сжатии. Уменьшается диэлектрическая проницаемость и теплопроводность стеклопластиков [4 - 30]. К наиболее перспективным профилированным СВ относятся волокна, имеющие в сечении форму треугольника, квадрата, шестигранника. Их применение дает возможность повысить плотность упаковки СВ в стеклопластике, а следовательно, увеличить прочность и жесткость композита. Использование стеклянных гладких и гофрированных микролент позволяет в необходимых случаях повысить газопроницаемость стеклопластика, а также его прочность и жесткость в поперечном направлении.

Технология получения. Непрерывные волокна получают вытягиванием расплавленной стекломассы через фильеры диаметром 0,8 – 3,0 мм и дальнейшим быстрым вытягиванием до диаметра 3 – 19 мкм, либо из стеклянных штабиков.

При одностадийном процессе расплавленная масса прямо из стекловаренной печи поступает в фильерный питатель (специальная пластина из тугоплавкого сплава) с множеством отверстий определенного диаметра. Стеклянные нити вытягиваются из фильерного питателя, собираются в нитесборнике и либо наматываются на текстолитовую бобину, либо в виде восьмерок укладываются на движущийся конвейер, образуя стеклянный мат.

При двухстадийном (менее производительном) процессе стеклянное волокно вырабатывают из фильерированных стеклоплавильных сосудов, питаемых предварительно изготовленными стеклянными шариками или специальными стеклянными стержнями – штабиками. В процессе вытягивания элементарные нити покрываются замасливателем и собираются в комплексную нить.

Штапельное волокно формируется путем вытягивания непрерывного СВ из струи расплавленного стекла с последующим разрывом его на отрезки ограниченной длины (способ воздушного вытягивания) или разделением струи (пленки) расплавленного стекла на отдельные объемы, растягиваемые в короткие волокна раздувом (дутьевой способ), центробежным или комбинированным способами [3 - 241, 294].

Одно из видов СВ, кварцевое волокно, вырабатывается при температуре 2423 К, поскольку кварц имеет исключительно высокую вязкость ($10^4 - 10^5$ Па * с при 2373 – 2473 К) даже при температурах, близких к температуре кипения. Кроме того, интенсивное испарение кремнезема при температурах выше 2073 К затрудняет процесс формирования кварцевого волокна из расплава и делает его возможным лишь в защитной среде, при течении расплава через фильеры под давлением либо при введении легирующих добавок. Поэтому при промышленном производстве непрерывного и штапельного кварцевого волокна применяется преимущественно штабиковый метод получения волокон из стержней прозрачного кварцевого стекла или из штабиков, сформованных из порошкообразных смесей чистого кремнезема и жидкого связующего.

Производство кремнеземного волокна (94 – 99% SiO_2) основано на выщелачивании некоторых оксидов из алюмоборосиликатного (волокно рефразил), натрийсиликатного и других силикатных стекол под действием кислот и щелочей.

Наиболее широко применяются бесщелочное алюмоборосиликатное Е-стекло (в состав его входят оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , CaO , MgO , K_2O и Na_2O и некоторые другие компоненты), а также высокопрочное стекло (в состав его входят оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , MgO).

Поверхность непрерывных СВ в процессе их вытягивания из фильер покрывается замасливателем, который соединяет волокна в нить, предотвращает истирание волокон, защищает их от разрушения во время текстильной переработки, препятствует накоплению зарядов статического электричества при трении.

Существует два типа замасливателей: технологические (текстильные) и активные (гидрофобно-адгезионные). Первые применяются только на стадии текстильной переработки стеклонитей и состоят из клеящих и пластифицирующих веществ. В отечественной промышленности наиболее часто применяется водно-эмульсионный замасливатель, назы-

ваемый «парафиновая эмульсия». За рубежом используют замасливатели на основе крахмала. Текстильные замасливатели препятствуют адгезионному взаимодействию между волокном и связующим, в результате чего в условиях повышенной влажности существенно ухудшаются механические и диэлектрические показатели стеклопластиков, поэтому перед изготовлением КМ их необходимо удалять.

Существует три способа удаления замасливателя [3 - 296]: термообработка при температуре 973 – 1023 К и высокой скорости движения стеклонаполнителя через тепловой агрегат (непрерывный процесс); термообработка при температуре 573 – 623 К в течение длительного времени (периодический процесс); отмывка без воздействия повышенной температуры. Применение того или иного способа определяется допустимым снижением прочности стеклянной нити и экономическими соображениями.

После удаления замасливателей на поверхность волокон в ряде случаев наносят аппреты – вещества, способствующее созданию прочной связи на границе волокно – связующее. В качестве аппретов применяют обычно кремнийорганические и металлоорганические соединения.

Удаление текстильного замасливателя и последующее аппретирование усложняет и удорожает подготовку стеклонаполнителей, поэтому более эффективно применение прямых замасливателей, в состав которых наряду с пленкообразующими смазками входят и аппреты. Активные замасливатели выполняют двойную функцию – предохранение волокна от разрушения и улучшение адгезии между стеклом и полимерной матрицей. Ассортимент и назначение некоторых отечественных прямых замасливателей приведены в таблице 3. [3 - 4.34]

Механические свойства. По прочности (1000-6000 МПа) стекловолокна значительно превосходят стёкла в виде блоков вследствие более изотропной структуры расплавленного стекла, из которого вырабатываются волокна, и высокой скорости их охлаждения, предотвращающей образование опасных микродефектов и микротрещин на поверхности СВ в процессе их формования.

На прочность СВ помимо химического состава стекла влияют метод и условия формования и, главным образом, состояние поверхности волокон и физико-химическое взаимодействие поверхностных дефектов с окружающей средой. Наибольшей прочностью обладают СВ с неповреждённой поверхностью, так называемые «нетронутые» волокна (отобранные сразу после вытяжки из фильер до контакта с замасливающим и наматывающим устройствами). Прочность таких волокон ниже теоретической из-за структурной неоднородности. Выпускаемые промышленностью СВ имеют механически и химически повреждённую поверхность, что снижает их прочность и увеличивает разброс показателей.

Стекловолокна достаточно термостойки. При повышении температуры до 1200 К модуль упругости кварцевого волокна возрастает с 74 ГПа (при 300 К) до 83 ГПа. Понижение прочности кварцевых волокон наступает при температуре 873 К, бесщелочных алюмоборосиликатных – при 573 К, натрийкальцийсиликатных, боратных, свинцовых и фосфатных – при 373-473 К.

Таблица 3 – Ассортимент и назначение прямых замасливателей

марка замасливателя	Ассортимент стекловолокнистых замасливателей и их назначение
	Полиамидное связующее
78	Нити и ровинг для конструкционных стеклопластиков и прессматериалов
	Полиэфирное связующее
3	Ровинг рассыпающийся для холстов
28	Ровинг рассыпающийся для волокнистого стеклопластика
289	Ровинг намоточный для труб и ёмкостей
9	Ровинг рассыпающийся для холстов и пресс-материалов
30	Сетка стеклянная ССП-30 для рулонного светопрозрачного стеклопластика
А-41	Ткани сатинового переплетения СТС-41 и жгутовые ткани типа ТЖС для конструкционных стеклопластиков
	Фенольное и эпоксидно-фенольное связующее
78	Ткани электроизоляционные толщиной 0,1 мм и более для стеклотекстолитов марок СТ и СТЭФ
78	Ткани из стекла ВМ-1 для конструкционных стеклопластиков
78	Ровинг намоточный для высокопрочных изделий из стеклопластиков, имеющих форму тел вращения
752	Ткани для конструкционных стеклопластиков
270	Нити кручёные для изделий из стеклопластиков, получаемых методом сухой намотки
	Эпоксидное
78	Ткани типа Т, жгутовые типа ТЖС и сатин ТС-8/3 для конструкционных стеклопластиков
	Эпоксидное и эпоксидно-фенольное связующее
625	Ткани многослойные, ткани из кручёных нитей любых марок из стекла Е и ВМ-1 для конструкционных стеклопластиков
	Эпоксидное, эпоксидно-фенольное и фенольное связующее
80	Ткани типа Т-10-80, ТС-8/3/250 для конструкционных изделий из стеклопластиков
80	Ровинг намоточный из стекла ВМ-1 для конструкционных изделий из стеклопластиков

Прочность СВ возрастает с уменьшением их диаметра, но определяется эта зависимость составом волокон и условиями их формования и эксплуатации. СВ имеют низкую стойкость к многократному изгибу и истиранию, которые значительно повышаются после пропитки их лаками, смолами. Склеивание волокон в нить увеличивает прочность на 20-25%, а пропитка лаками – на 80-100%. Сопротивление изгибу растёт с уменьшением диаметра СВ.

При комнатной температуре, влажности примерно 50 – 55% и кратковременном нагружении СВ ведут себя вплоть до разрушения как идеальные упругие тела, Подчиняясь закону Гука. С повышением температуры модуль упругости СВ уменьшается незначительно до температуры размягчения. Исключение составляют кварцевые волокна, модуль упругости которых с температурой линейно увеличивается от 74,2 ГПа при 293 К до 82,9 ГПа при 1173 К.

Механические свойства некоторых стекловолокон приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Механические свойства некоторых стекловолокон

Тип, марка стекла	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	E, ГПа	σ_b , Па	δ , %
Алюмоборосиликатное Е-стекло	2,54	73,5	3500	4,8
Высокомодульное:				
ВМ-1 (Россия)	2,58	95	4200	4,8
М-стекло (США)	2,89	110	3500	
Высокопрочное магнийалюмосиликатное				
ВМП (Россия)	2,58	93		
УП-68 (Россия)	2,46	84,7		
УП-73 (Россия)	2,4	82,6		
S-994 (США)	2,49	86,8	4650 - 4900	5,4
D-стекло с низкой диэлектрической проницаемостью (США)	2,16	52,5	2450	4,7
Известково-натриевое А-стекло (США)	2,49	6	2400	4
Кислотостойкое				
№ 7-А (Россия)	2,56	74	2000	3,6
С-стекло (США)	2,49	70	3150	
Плавленный кварц	2,21	74,2	6000	
Свинцовосиликатное L-стекло (США)	4,3	51	1680	4,6

3.1.2 Тканые армирующие материалы

Благодаря тканым наполнителям в ПКМ значительно увеличивается по сравнению с неткаными объемное содержание наполнителя и создается нужная ориентация волокон. В ПКМ на основе тканых наполнителей достигается высокая степень одновременности работы волокон в результате переплетения стеклонитей.

Тканые армирующие материалы технологичны, удобны при изготовлении крупногабаритных изделий, в образованных ими слоистых пакетах достигается высокое содержание арматуры.

Технология получения. Тканые армирующие материалы получают путем текстильной переработки крученой комплексной нити, жгута, пряжи или ровницы. Для этого используются стекловолокна диаметром 3 – 11 мкм. СТ отличаются составом стекла, плотностью, массой 1 м², маркой замасливателя, видом переплетения нитей и другими параметрами.

Наиболее простая схема – полотняное переплетение, когда каждая нить основы и утка проходит поочередно сверху и снизу пересекающихся нитей. Широко распространенным является сатиновое переплетение, когда каждая нить проходит поочередно сверху, а затем снизу пересекающей ее нити.

Более сложным является саржевое переплетение, при котором каждая нить основы и утка проходит поочередно сверху и снизу двух и четырех пересекающих ее нитей. При этом на поверхности ткани образуется структура диагональных линий.

Механические свойства. Свойства тканей определяются свойствами волокон, из которых они изготовлены, и строением, т.е. видом переплетения и плотностью нитей по основе и утку.

Изготовленные на основе трехмерных армирующих наполнителей КМ имеют одинаковые или близкие значения механических характеристик по трем главным направлениям, что определяет их существенные преимущества перед слоистыми КМ и позволяет эффективно использовать в авиастроении.

Для изготовления ПКМ применяются в основном ткани полотняного и сатинового переплетений. Ткани сатинового переплетения более прочны, так как нити в этих тканях менее изогнуты, почти прямолинейны. Ткани полотняного переплетения технологичны и более дешевы.

Таблица 5 – Характеристики некоторых стеклотканей.

Марка ткани	Толщина ткани, мм	Поверхностная плотность ткани, г/м ²	Плотность ткани, см		Разрывная нагрузка, Н, (кгс), не менее		Наименование переплетения (условное обозначение)
			по основе	по утку	по основе	по утку	
T-10	0,23±0,02	290±7	36+1	20±1	2646(270)	1470(150)	Сатин ⁵ / ₃
T-10/1	0,23±0,02	290±10	36+1	20±1	4299(255)	1421(145)	Сатин ⁵ / ₃
T-10/2	-	290±15	36+1	20±1	2254(230)	1176(120)	Сатин ⁵ / ₃
T-10/2-80	-	290±12	36+1	20±1	2548(260)	1470(150)	Сатин ⁵ / ₃
T-10-80	0,25±0,02	290±7	36+1	20±1	3136(320)	1764(180)	Сатин ⁵ / ₃
T-11	-	385±15	22+1	13±1	2744(280)	1568(160)	Сатин ⁸ / ₃ или сатин ⁵ / ₃
T-11-752	-	385±15	22+1	13±1	2744(280)	1568(160)	Сатин ⁸ / ₃ или сатин ⁵ / ₃
T-11-ГВС-9	0,30±0,03	385±15	22+1	13±1	1764(180)	931(95)	Сатин ⁸ / ₃ или сатин ⁵ / ₃
T-12	-	370±15	22+1	13±1	2695(275)	1568(160)	Сатин ⁸ / ₃ или сатин ⁵ / ₃
T-12-41	-	370±15	22+1	13±1	2597(265)	1372(140)	Сатин ⁸ / ₃ или сатин ⁵ / ₃
T-12-ГВС-9	0,30±0,03	370±15	22+1	13±1	1715(175)	882(90)	Сатин ⁸ / ₃ или сатин ⁵ / ₃
T-13	0,27±0,03	285±12	16+1	10±1	1764(180)	1176(120)	Плотняное ¹ / ₁
T-14	0,27±0,03	308±12	16+1	13±1	1764(180)	1470(150)	Плотняное ¹ / ₁
T-14-78	0,29±0,03	308±12	16+1	13±1	1862(190)	1568(160)	Плотняное ¹ / ₁

Применение. Стеклоткани нашли широкое применение, как на производстве, так и в быту. Стеклоткани являются одним из основных конструктивных элементов в легкой авиации.

3.1.3 Нетканые армирующие материалы

Нетканые наполнители обладают рядом технических и экономических преимуществ по сравнению с тканями. Большинство из них, предназначенных для получения высокопрочных ПКМ, не имеет характерного для ткани изгиба нитей, что снижает степень повреждения элементарных волокон. Нетканые наполнители вырабатываются по непрерывным, менее трудоёмким и более высокопроизводительным по сравнению с тканями технологическим процессам, исключая операции, вызывающие повреждения СВ и нитей. Основные виды нетканых материалов представлены на рисунке 16.

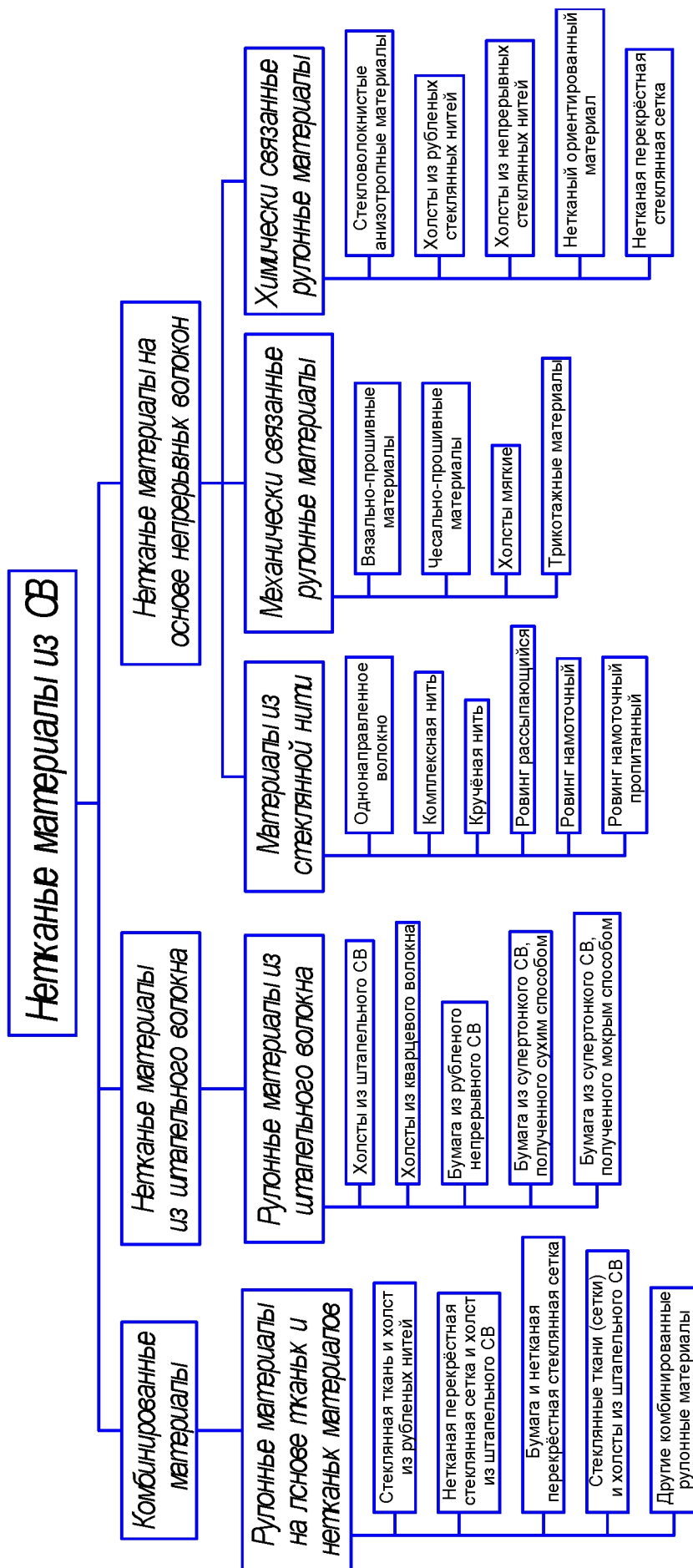


Рисунок 16 - Основные виды нетканых материалов

Технология получения. После получения непрерывных стеклянных волокон, из них создают ориентированные (маты, холсты) и неориентированные (ровинговые ткани, сетки) материалы.

Стеклянные маты представляют собой рулонный материал из хаотически расположенных в плоскости отрезков комплексных нитей длиной около 50 мм, скреплённых между собой связкой (маты МБС) или скреплённых с подложечным материалом путём прошивки (маты ХМК). Так же изготавливаются маты из непрерывных комплексных нитей, скреплённых связкой (маты ХЖКН).

Жёсткий мат изготавливается из непрерывных, беспорядочно расположенных в плоскости комплексных нитей, скреплённых поливинилацетатом, и представляет собой рулонный материал. Этот мат, выпускаемый одностадийным способом на высокопроизводительном оборудовании, является самым распространённым армирующим материалом для стеклопластиков.

Механические свойства. Нетканые ориентированные материалы, обладая положительными свойствами тканей и сеток, лишены некоторых недостатков тканых материалов. Нити в нетканых ориентированных материалах не перегибаются, производительность труда при их изготовлении значительно выше, чем при выработке тканей. Выпускаются вязально-прошивные и клеёные нетканые ориентированные материалы. Характеристики некоторых из них, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики некоторых нетканых ориентированных материалов.

Марка	Вид материала	Ширина или диаметр (Ø) рукава, мм	Масса, кг/м ² (для рукава - кг/м)	Разрывная нагрузка для полосы шириной 50 мм, мПа	
				Вдоль полотна	Поперёк полотна
ВПЭ-0,4	Вязально-прошивной	950	0,34	---	---
ВПР-10		690	0,786	2100	2100
УТО-80	Стеклотрикотаж уточный	Ø80	0,106	5000	---
УТО-95	Однонаправленный в виде рукава	Ø95	0,145	5000	---
НПСТ-ВМ-1/1	Продольно-поперечная система ровингов, склеенных термопластичными нитями	340	0,5	5000	4800
НПСТ-ВМ-2/1		340	0,4	5000	2500

Применение. Нетканые армирующие материалы используются как наполнители КМ, из которых получают изделия сложной формы, когда к КМ не предъявляются высокие требования по механическим характеристикам.

Мягкие конструкционные маты, в которых отрезки нитей скреплены с подложками путём прошивки, применяются в качестве армирующего материала при производстве листовых стеклопластиков методом горячего прессования.

3.2 Углеродные волокна

Для армирующих элементов в КМ применяют углеродные волокна, получаемые из органических волокон путем специальной термической обработки.[5]

УВ относятся к гомогенно-неграфитирующимся формам углерода. Структура УВ наследуется от исходного сырья: УВ, полученные из химических волокон, построены из фибрилл, которые содержатся в исходном волокне и сохраняются в измененной форме в УВ. Такие волокна анизотропны. УВ на основе пеков и фенольных смол изотропны и представляют собой типичный стеклоуглерод.[3]

УВ представляют собой химически очень чистое вещество. Они на 99,9 % состоят из одного элемента – углерода. Это их отличает от традиционных конструкционных материалов (стали, алюминия), которые всегда содержат небольшие модифицирующие добавки других химических элементов.

Они близки по прочности к стеклянным, однако они обладают меньшим удельным весом и более высокой жесткостью (модулем упругости). Армированные КМ содержат обычно до 60 % об. волокон. Благодаря удачному сочетанию свойств уже первые композиты – стеклопластики смогли составить конкуренцию металлам.[3]

Классификация. Существует два основных типа исходных материалов для углеродных волокон: химические волокна – вискозные или ПАН и углеродные пеки.[3]

Широкое применение имеют ПАН-углеродные волокна. В этом классе волокон в зависимости от значений прочности и модуля упругости различаются так называемые «высокопрочные» (НТ) и «высокомодульные» (НМ) волокна. НТ волокна имеют пониженный модуль упругости (200 – 300 ГПа), в то время модуль упругости НМ волокон при более низкой прочности превышает 400 ГПа.

Сверхвысокомодульные УВ высшего качества, которые иногда классифицируют как отдельный класс, получают также на основе ПАН.

Из пековых УВ для армирования используют лишь волокна, полученные на основе мезофазного пека (МРР). Эти волокна имеют очень высокий модуль упругости и относительно низкую прочность (примерно 2 ГПа).[3]

Получение. Производство основано на термической деструкции органических полимеров, при которой в инертной среде образуются летучие продукты и твердый остаток – углерод (коксовый остаток).

УВ получают только из волокнистых полимеров, не плавящихся при термообработке, обеспечивающих высокий выход углерода и необходимые механические и физико-

химические свойства УВ. Исходным сырьем служат природные и химические органические волокна.

Основным сырьем для получения УВ являются ПАН-В и ГЦ-В волокна. К перспективным видам сырья относятся разнообразные пеки (обыкновенные и мезофазные), богатые углеродом, и фенольные смолы, из которых получают сначала органические волокна, перерабатываемые затем в УВ.

ПАН-В используются преимущественно для производства высокопрочного высокомодульного УВ, а для углеродных волокнистых материалов другого ассортимента и назначения применяют ГЦ-В. Преимуществами ПАН-В по сравнению с ГЦ-В являются большой выход углерода (около 40% массы полимера) и менее сложная технология, а их существенным недостатком – выделение синильной кислоты в процессе переработке ПАН-В. ГЦ-В гораздо дешевле и доступнее ПАН-В, но УВ с высокими механическими показателями могут быть получены из ГЦ-В только после графитации с вытяжкой при температуре не менее 3073⁰ К. При использовании ПАН-В этот же эффект достигается при более низких температурах.

Из пеков и фенольных смол изготавливаются УВ средней прочности и с низким модулем, однако из пеков могут быть получены высокопрочные и высокомодульные волокна. Преимуществами пеков являются их доступность, низкая стоимость, высокое содержание углерода (85 – 96 %) и высокий выход УВ; недостаток – наличие в составе большинства из них канцерогенных веществ. Фенолоформальдегидные смолы по сравнению с обычными пеками имеют следующие преимущества: синтез смол проще предварительной подготовки пеков, смолы стандартны по составу и свойствам, не содержат канцерогенных компонентов. К недостаткам фенольных смол относится сложность отверждения, а также трудность получения высокопрочных высокомодульных волокон. Использовании фенольных смол перспективно для получения УВ с развитой поверхностью (2000 – 3000 м²/г) и полых УВ.[3]

Процесс получения УВ из ПАН-волокон включает текстильную подготовку материала, окисление, высокотемпературную обработку (карбонизацию и графитизацию).

Окисление облегчает дегидрирование полимера, создает условия для создания оптимальной структуры углерода. С целью предотвращения усадки волокон при окислении проводят вытяжку для улучшения качества волокон.

В процессе высокотемпературной обработки осуществляется переход от органического к углеродному волокну. При этом происходят сложные процессы ароматизации углерода и формирования структуры углеродного волокна. Обработка проводится в вакууме или в инертной среде – азоте, гелии, аргоне. Конечная температура термообработки суще-

ственно влияет на свойства углеродных волокон. Изменяя ее, можно управлять свойствами волокна.

Более дешевые и доступные исходные материалы – нефтяные и каменно-угольные пеки, представляющие собой смесь олигомерных продуктов. Волокна из них формуют, пропуская расплав при температуре $370...620^{\circ}\text{K}$ через фильеры диаметром 0,3 мм. Затем сформованное волокно вытягивается до степени вытяжки 100000 – 500000 %. При этом достигается высокая ориентация макромолекул волокна. Карбонизация и графитизация пековых волокон производится аналогично ПАН-волокнам.[*]

Физико-механические свойства УВ. УВ обладают рядом уникальных механических и физико-механических свойств: Высокая теплостойкость, низкие коэффициенты трения и термического расширения, высокая стойкость к атмосферным воздействиям и химическим реагентам, различные электрофизические свойства.

Механические свойства УВ определяются особенностями структуры и зависят от наличия дефектов. В высокомодульных УВ, полученных при высокой температуре обработки, наибольшее влияние на прочность оказывают внешние дефекты, а в высокопрочных, полученных при более низких температурах, - внутренние. Залечивание внешних дефектов (травление, ионная бомбардировка плазмой) приводит к повышению прочности УВ.

Для армирования конструкционных материалов используются в основном УВ с высокими показателями механических свойств. Условно они делятся на две группы: высокомодульные ($E = 300...700\text{ ГПа}$, $\nu = 2... 2,5\text{ ГПа}$) и высокопрочные ($E = 200...250\text{ ГПа}$, $\nu = 2,5... 3,2\text{ ГПа}$). Получены также волокна, в которых сочетаются высокая прочность и высокий модуль упругости.

Плотность УВ значительно ниже плотности графита (2260 кг/м^3), что обусловлено менее совершенной структурой и большей пористостью УВ. Для УВ характерны развитая пористость, обычно с диаметром пор $(3-50)10^{-4}\text{ мкм}$, и очень большая удельная поверхность, достигающая $2000\text{ м}^2/\text{г}$ при специальной обработке. Эти величины можно регулировать температурой термообработки, типом исходного волокна, условиями активации. Углеродные волокнистые материалы имеют низкую поверхностную энергию, значительно меньшую, чем стеклянные, поэтому они плохо смачиваются полимерными связующими, а ПКМ на их основе характеризуются более низким напряжением сдвига.

Адгезия УВ к связующему повышается снятием плёнки замасливателя с поверхности УВ после окончания текстильной переработки, аппретированием УВ, нанесением на его поверхность тонкого слоя мономера, в результате полимеризации которого УВ покрывается тонким слоем полимера-протектора, травлением поверхности УВ окислителями, вы-

рашиванием на поверхности волокон нанокристаллов, обладающих высоким сопротивлением срезу.

По величине коэффициента теплопроводности УВ приближается к металлам. Эффективная теплопроводность зависит от текстильной формы материала. С ростом температуры термообработки теплопроводность ткани увеличивается в большей степени, чем волокон.

УВ обладают высокой теплостойкостью. В инертной среде прочность и модуль упругости практически не изменяются до температуры 1773^0 К. Термостойкость углеродных волокнистых материалов зависит от структуры, характера поверхности, температуры термообработки и других факторов. Предельная температура длительной эксплуатации в воздушной среде составляет 573^0 К для карбонизированного волокна и 673^0 К – для графитированного.

Механические свойства некоторых УВ представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Механические свойства некоторых УВ.

Страна, марка	Плотность $\rho \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	Диаметр d, мкм	Модуль упругости E	Средняя прочность на базе 10 мм $\sigma_{\text{в}}$	Предельная деформация δ , %
			ГПа		
Россия					
ВМН-3	1,71	7	250	1,43	0,6
ВМН-4	1,71	6	270	2,21	0,8
ВЭН-210	-	9,9	343	1,47	0,4
Кулон	1,9	-	400-600	2	0,4
ЛУ-2	1,7	-	230	2-2,5	1
ЛУ-3	1,7	-	250	2,5-3	1,1
ЛУ-4	1,7	-	250	3-3,5	1,3
Урал-15	1,5-1,6	-	70-80	1,5-1,7	2,1
Урал-24	1,7-1,8	-	150-200	1,7-2	1,1
Элур	1,6	-	150	2	1,3
США					
Торнел-800	1,8	6	273	5,46	2
Торнел-40	1,8	6	280	5,74	2
Магнамит JM6	1,74	5,4	280	4,44	1,5-1,6
Магнамит JM7X	1,77	5,3	308	5,6	1,6-1,8
Целион ST	1,77	7	235	4,34	1,8
Целион G4-70	-	-	530	1,9	0,38
Фортафил 5T	-	-	270	2,76	1
Фортафил GC-5	-	-	331	1,76	1
Хитекс 42 HS	1,8	5,9	297	4,9	1,65
Хитекс 46 HS	1,8	5	322	5,6	1,7
Япония					
Торейка T-800	1,8	-	300	5,56	1,9
M-50	1,9	-	500	2,35	0,5

Карболон-L	1,95	6	380	2,42	0,6
Тормолон-S	-	-	414	1,79	0,4
Бесфайт НТ	-	7	240	3,3	1,3
Бесфайт НМ-4S	-	6,4	450	1,8	0,35
Великобритания					
Графил-А	1,76	-	192	2,55	1,3
Графил-НМС	1,88	-	365-400	2	0,5-0,7
Графил-НТС	1,77	8	240	2,5-2,9	1
Модмор-1	2	7,8	400-450	1,7-2,5	0,5
Модмор-11	1,8	8,1	270	2,8	0,8-1
АЕ-1	1,99	7,8	407	1,74	0,4
АЕ-11	1,74	8,1	240	2,92	1,2
Франция					
Регирол АС	1,75	12,4	200	2	1,5
Регирол АГ	2	11	420	1,9	0,45

Химические свойства. УВ отличаются повышенной химической стойкостью к большинству агрессивных сред. Например, при воздействии на высокомодульные УВ кислот, за исключением HNO_3 , модуль упругости практически не изменяется. Механические свойства УВ практически не изменяются даже после длительного воздействия (около года) при комнатной температуре воды, минеральных кислот (HNO_3 , HCl , H_2SO_4). К действию окислителей УВ чувствительны при повышенных температурах, в мягких условиях происходит травление поверхности окислителями, способствующее устранению дефектов и возрастанию прочности УВ.

Химическая стойкость УВ зависит от типа исходного сырья, типа УВ, температуры термообработки и других факторов. Так, под действием концентрированной HNO_3 свойства УВ, термообработанных при различных температурах изменяются по разному (Таблица 8)

Таблица 8 – Свойства УВ при различной термической обработке.

Температура термической обработки, K^0	Изменение свойств УВ
1173 – 1373	Полностью разрушается
1573 – 2073	Прочность составляет 40-80% исходной
2273	Свойства не изменяются

При обработке УВ соединениями бора возрастают их модуль упругости и электропроводимость. Обработка хлоридами брома и йода приводит к пластификации УВ. При контакте графита с металлами ускоряется коррозия металла.

3.3 Органические армирующие элементы

3.3.1 Органические волокна

Создание синтетических органических волокон основано на использовании высоких прочности и жёсткости вытянутых макромолекул полимеров, в которых цепочки молекул расположены параллельно оси волокна. Поскольку плотность полимерных волокон в два – три раза ниже плотности минеральных, удельные значения их прочности и жёсткости во многих случаях выше.

Получение. Для получения высокопрочных и высокомодульных КМ с полимерной матрицей (органопластиков) применяют волокна на основе ароматических полиамидов (арамидов). Большинство синтетических органических волокон вырабатываются из расплава или раствора полимера, при котором нити образуются продавливанием полимера, находящегося в вязкотекучем состоянии, через тонкие отверстия с последующим затвердеванием вытекающих жидких струй.

Волокнообразующий полимер переводится в вязкотекучее состояние плавлением, растворением, пластификацией или в результате образования коллоидных систем, в которых полимер выступает как дисперсная фаза. В промышленности как правило используются методы формования волокон из расплава и раствора.

При формовании волокон из расплава вытекающие струи затвердевают в результате охлаждения их ниже температуры плавления полимера, при формовании волокон из раствора – в результате испарения растворителя, т.н. сухой способ, или замены его на осадитель, осуществляемый путём диффузии – мокрый способ. Комбинированный (сухо-мокрый) способ формования волокон из раствора применяется пока лишь в производстве термостойких волокон из жёсткоцепных полимеров.

Метод формирования волокон из расплава имеет несколько преимуществ: высокую скорость (обычно 800 – 1200 м/мин), безвредность, хорошие физико-механические свойства получаемых волокон. Недостаток метода – невозможность применения фильер с большим числом отверстий (более 1000).

Физико-механические свойства. Механические свойства ОВ во многом зависят от последующей обработки свежесформированного волокна (степени вытяжки, термообработки и др.). Современные термостойкие ОВ отличаются высокой степенью сохранения прочности при длительном воздействии повышенных температур.

Наибольшее практическое значение при изучении механических свойств органических волокон и нитей имеют характеристики, определяемые при растяжении: разрывная

нагрузка, разрывное напряжение, относительная разрывная нагрузка, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости и др.

В таблице 9 представлены механические характеристики некоторых марок волокон.

Таблица 9 - Механические характеристики ОВ.

Волокно, марка	Плотность, кг/м ³	Относительная разрывная нагрузка сН/текс	δ, %	Е, МПа	T _{экс} , К
Полиолефиновые волокна					
Полипропиленовое волокно					
моноволокно	910	50-60	15-25	6-8	413
нить	910	45-75	18-30	4-9	413
штапельное	910	30-60	20-100	1,5-3	413
Полиэтиленовое волокно	920-950	40-60	10-20	4-8	383
Фторволокно					
Волокна из политетрафторэтилена	2160	10-18	13-25	3300	623
Волокна из ацетонорастворимого фторопласта (фторлон)	1960	500-600	7-20	2500-15000	623
Полиэфирные волокна					
Полиэтилентерефталатное волокно (лавсан)					
моноволокно	1380-1390	30-40	10-20	...	453
текстильная нить	1380-1390	34-45	15-30	(1-1,2)*10 ⁴	453
техническая нить	1380-1390	65-80	8-15	100-140	453
штапельное	1380-1390	30-45	40-60	25	453
Полиамидные волокна					
Капроновое волокно	1140-1150	400-500	40-90	(2,5-3,5)*10 ³	423
комплексная нить	1140-1150	400-500	25-35	(2,5-4)*10 ³	423
Волокна на основе ароматических полиамидов					
Номекс	1380	50	15-20	1,23*10 ⁴	573
Фенилон	1380	45-50	15-20	1,3*10 ⁴	573
Сульфон-Т	1380	35-40	16-18	6*10 ⁴	573
НТ-4	1380	30-40	6-8	1,6*10 ⁴	573
Кевлар	1380	225	3-5	6,85*10 ⁴ -1,28*10 ⁵	573
Полиимидные волокна					
Аримид ПМ	1410	45-50	6-10	10400	673
Аримид-Т	1450	45-60	...	15000	673
Полиимидные комплексные нити	1410	62	13	10000	673

Поликсадиазольные волокна					
Волока оксалон	1430	50-70	4-8	$(3-5,4) \cdot 10^4$	573
Полибензимидазольные волокна					
Волокна на основе 3,3'-диаминобензидина и дифенилизофталата (комплексная нить)	1320	50	10-12	16750	723
Волокна лестничного строения					
Волокно лопы	1450	15-20	15-25	9000	623
упрочнённое	1350	35-40	2-6	28000	623
Полиамидоимидные волокна					
Кермель	1390	24-44	10-20	7800	533

Термостойкость полиолефиновых волокон (особенно полиэтиленового волокна) сравнительно невысока. Прочность полиэтилентерефталатного волокна при температуре 223 К повышается на 35-40 % (с уменьшением относительного удлинения волокно не становится хрупким); при температуре 453 К сохраняется 50% прочности (после охлаждения до 253 К – прочность полностью восстанавливается).

Волокна на основе ароматических полиамидов способны выдерживать действие температур до 573-623 К: при 573 К половина исходной прочности теряется через 150-200 часов. При 673 К практически ни одно полиамидное волокно не работоспособно длительное время. Снижение механической прочности волокон в результате механического воздействия начинается при температурах, значительно ниже температур начала интенсивной термоокислительной деструкции. Для длительной эксплуатации при температуре выше 573 К волокна арамидов не рекомендуются.

Полиимидные волокна по термомеханическим свойствам превосходят обычные промышленные волокна и волокна арамидов, термоокислительная деструкция начинается выше 723 К (в вакууме при более высоких температурах). Стойкость полиимидных волокон к действию повышенных температур ниже, чем у соответствующих полимеров.

Физические свойства (электрофизические, теплофизические) ОВ определяются соответствующими свойствами исходного полимера.

Полиолефиновые волокна имеют хорошие тепло- и электроизоляционные свойства. Они склонны к текучести на холоду под нагрузкой. Полипропиленовые волокна эластичны, полиэтиленовым свойственна низкая эластичность.

Фторволокна обладают комплексом ценных свойств: стойкостью к действию агрессивных сред в широком интервале температур, высокой теплостойкостью и радиационной стойкостью, отличными диэлектрическими свойствами, низким коэффициентом трения.

Полиэтилентерефталатные волокна превосходят обычные натуральные и химические волокна, кроме фторволокна; они высокоэластичны, похожи на натуральную шерсть. Недостатки: сильная электризуемость, низкая прочность и жесткость изделий.

Волокна на основе ароматических полиамидов обладают хорошими электроизоляционными свойствами, стабильностью размеров, тепло- и термостабильностью. Они способны сохранять комплекс физико-механических свойств при длительном воздействии повышенных температур, радиационнотойки.

Полиимидные волокна способны сохранять комплекс физико-механических свойств при длительном воздействии повышенных температур. Стойки к воздействию излучений высоких энергий.

Химическая стойкость. Полиолефиновые волокна стойки к действию кислот, щелочей, органических растворителей. Могут растворяться практически только в некоторых углеводородах при нагревании.

Фторволокна отличаются стойкостью даже к высококонцентрированным кислотам и щелочам, при температуре 533 К не растворяются ни в одном известном растворителе. Стойки к действию сильных окислителей.

Полиэтилентерефталатные волокна растворяются в крезоле и других фенолах; частично растворяются, разрушаясь, в концентрированной серной (выше 83 %) и азотной кислотах; полностью разрушаются при кипячении в концентрированных растворах щелочей.

Волокна на основе ароматических полиамидов стойки к действию химических реагентов кислотного характера и органических растворителей.

Полиимидные волокна не растворяются в органических растворителях, включая амидные, растворяются в кипящих азотной и серной кислотах, устойчивы к действию кипящей воды. Щёлочи при нагревании разрушают полиимидные волокна.

Применение. Органические волокна перерабатываются в нити, комплексные нити, ткани различных переплетений (полотно, саржа, сатин и др.), трикотаж, ровницу, маты, нетканые материалы на машинах текстильного и трикотажного производства.

3.3.2 Органические ткани.

Композиты на базе органотканей (тканевые слоистые органопластики) обладают по сравнению со стеклопластиками более высокими прочностными и жесткостными характеристиками.

Характеристики некоторых марок органотканей приведены в таблице 10. Арамидные ткани характеризуются достаточно высокой термостойкостью. После нагрева до температуры 530 К они сохраняют исходный уровень свойств. Ткани на основе арамидных волокон обладают малой усадкой по сравнению с тканями на основе других типов волокон.

Таблица 10 - Характеристики тканей на основе органоволокон.

Марка ткани	Тип переплетения нитей	Поверхностная плотность m , Кг/м^2	Толщина h , мм	Плотность укладки нитей, текс/мм		Средняя прочность σ , ГПа		Предельная деформация ϵ , %	
				по основе	по утку	по основе	по утку	по основе	по утку
СВМ	Полотно	...	0,45	142	142	0,39	0,39	...	...
		0,11	0,25...0,3	44,1	47	0,24	0,27	14	12
		0,075	0,15	26,5	30	0,28	0,35	10	9
	Рогожа 2/2	0,18	0,35	59	74	0,27	0,31	9	11
		0,11	0,2	43	44	0,26	0,26	10	10
	Сатин 8/3	0,16	0,4	75	69	0,26	0,21	12	9
	Однонаправленная лента	0,17	0,35	168	25,7	71	...	7,5	...
Кевлар-49 (США)	Полотно	...	0,45	140	130	...	...	...	...

4 Связующие полимеры и матрицы на их основе.

4.1 Общие сведения о полимерах.

При изготовлении КМ используется широкий круг синтетических полимерных связующих.

Связующее представляет собой двухкомпонентную или многокомпонентную систему, состоящую из синтетической смолы (полимерной или олигомерной составляющей) и отвердителей (или инициаторов и ускорителей отверждения) или включающую также активные и пассивные растворители (разбавители), пигменты и красители, пластификаторы, стабилизаторы и другие материалы, вводимые с целью придания связующим и стеклопластикам необходимых технологических и эксплуатационных свойств.[4]

Механические, физические свойства и химическая стойкость полимеров зависят от химического строения, физического состояния и структуры. Прочность, тепло-, термо-, и морозостойкость полимеров определяют температурные границы эксплуатации. Тепло-стойкость зависит от приложенной нагрузки и длительности ее воздействия. Как правило, надежно эксплуатируются полимерные материалы (без размягчения и хрупкого разрушения) в температурном интервале между температурой стеклования и температурой хрупкости.

От полимерной матрицы зависят тепло-, и влагостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, прочностные, диэлектрические и другие свойства КМ. Типом полимерной матрицы определяются также методы переработки КМ в изделие. Поэтому полимерную матрицу для КМ выбирают исходя из условий эксплуатации изделия.[3]

Основными требованиями, предъявляемыми к связующим в производстве КМ, являются высокая когезионная прочность, смачивающая способность и адгезия к поверхности армирующего волокна. Технологичность при переработке и малая объемная усадка при отверждении, низкая токсичность и невысокая стоимость.

Наибольшее применение получили связующие на основе недорогих и давно применяемых фенолформальдегидных смол. Однако все больше начинают использовать полиэфирные смолы, что обусловлено их способностью отверждаться при низких температурах и давлениях без выделения летучих веществ, а также рядом специфических свойств (хорошее светопропускание). [4]

Классификация. В целом полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные. Типичными представителями термопластов можно считать нейлон (полиамид), полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), полибутилентерефталат, поликарбонат, полиэтилен, полисульфон. Типичными представителями термореактивных полимеров являются эпоксид-

ные, меламиноформальдегидные, фенолоформальдегидные и мочевиноформальдегидные смолы, а также полиэфиры и полиимиды.

Большую часть термопластичных смол следует исключить из рассмотрения из-за низких механических характеристик при высоких температурах, а также во многих случаях вследствие их низкой стойкости к влиянию широко применяемых растворителей (и даже растворимости в них). Следует отказаться также от рассмотрения тех термопластов, которые требуют высоких температур при формовании КМ.

Не рассматриваются в данной работе термореактивные полиэфиры, поскольку большая их усадка при отверждении приводит к большим внутренним напряжениям. В результате механические характеристики композитов получаются низкими, что недопустимо для конструкционных материалов.

Мочевиноформальдегидные, фенолоформальдегидные и меламиноформальдегидные смолы требуют довольно высоких давлений при формовании. Однако эти смолы до сих пор успешно конкурируют с эпоксидными, особенно если требуются низкая горючесть и отсутствие токсичных газов.[3]

4.2 Термопластичные полимеры

4.2.1 Полиэтилен.

Полиэтилен – линейный полимер с химической формулой $[-CH_2 - CH_2 -]_n$. В зависимости от метода полимеризации различают полиэтилен низкого, среднего и высокого давления. Промышленность разных стран выпускают следующие марки полиэтилена: высокого давления – ПЭВД, петротен, алкатен, хостален, стафлен, лотрен, фертен; низкого давления – ПЭНД, карлона, хостален, хей-жекс, манолен и др.[3] С увеличением плотности полиэтилена увеличивается степень его кристалличности с 55 до 95%, возрастают прочность, твердость и теплостойкость материала. Последнее время освоено производство сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с молекулярной массой до 3,5 млн.

Свойства. Полиэтилен обладает низкими газо- и паропроницаемостью. При нагревании на воздухе нестабилизированный полиэтилен подвергается термоокислительной деструкции, под влиянием солнечной радиации – термостарению. Термическая деструкция происходит выше температуры 563 К.

ПЭВД имеет наиболее разветвленные макромолекулы, что обуславливает особенности его механических, физических и химических свойств. Температура хрупкости лежит в интервале 153 – 198 К, с ростом молекулярной массы она понижается, а механические характеристики (предел прочности, относительное удлинение при разрыве и удельная ударная вязкость) увеличиваются. Газопроницаемость ПЭВД в четыре – восемь раз выше, а химическая стойкость ниже, чем у ПЭНД.

У макромолекул ПЭНД ответвлений меньше и поэтому он имеет более высокие механическую прочность, теплостойкость и химическую стойкость, чем у ПЭВД. Полиэтилен устойчив при комнатной температуре к действию разбавленных серной и азотной кислот, концентрированной соляной, плавиковой, фосфорной и органических кислот, растворов нейтральных, кислых и основных солей, солей-окислителей, аммиака, аминов, перекиси водорода. В органических растворителях полиэтилен при комнатной температуре несколько набухает. Со щелочами любой концентрации он не реагирует. В воде при комнатной и повышенных температурах не растворяется: водопоглощение за 30 суток составляет для полиэтилена высокого давления 0,022 %, для полиэтилена низкого давления 0,005 – 0,04 %, для полиэтилена среднего давления 0,01 %. Дымящая серная и 50 %-ная азотная кислоты при комнатной температуре заметно действуют на полиэтилен.

Разрушается полиэтилен при комнатной температуре жидкими и газообразными фтором и хлором. Бром и йод диффундируют в него. При температуре 353 К полиэтилен

растворяется в алифатических углеводородах и их галогенпроизводных, не растворяется в ацетоне, этиловом спирте, глицерине и некоторых растительных маслах. В интервале температур 363 – 373 К серная и азотная кислоты быстро разрушают полиэтилен.[3]

Полиэтилен также устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам и воздействию радиации. При γ -облучении увеличивается его твердость, прочность и теплостойкость. Недостатком его является склонность к фотостарению. Введение стабилизаторов, например 2 – 3 % сажи, замедляет процесс старения в 30 раз. Эффективно также введение с этой целью до 0,1 % аминов.

Технология переработки. Полиэтилен легко перерабатывается всеми известными для термопластов методами. Режимы переработки во многом зависят от метода получения полимера. Так, ПЭВД перерабатывается литьем под давлением ($T = 423 - 473$ К, $p = 100$ МПа), экструзией ($T = 383 - 453$ К, $p = 8 - 10$ МПа), прессованием ($T = 403 - 423$ К, $p = 4 - 10$ МПа), легко сваривается и поддается механической обработке. Оптимальные параметры для каждого метода переработки во многом зависят от молекулярной массы полимера.

Полиэтилен низкого давления перерабатывается также литьем под давлением ($T = 473 - 543$ К, $p = 120$ МПа, усадка 1 – 4 %), экструзией ($T = 453 - 533$ К, $p = 10 - 12$ МПа), прессованием ($T = 418 - 453$ К, $p = 6 - 10$ МПа), легко сваривается и поддается механической обработке. Оптимальная температура переработки зависит от молекулярной массы полимера.

Применение. Применяют полиэтилен для изготовления труб, литых и прессованных несилевых деталей, пленок, изоляции высокочастотных проводов и кабелей, деталей радиотехнической и телеграфной аппаратуры, в качестве покрытий для защиты металлических поверхностей изделий от коррозии.

Выпускают прессовочный, литьевой и экструзионный полиэтилен, стабилизированный и нестабилизированный, окрашенный и неокрашенный и композиции на его основе.

В качестве связующего в производстве ПКМ в легкой авиации не используется.

4.2.2 Полипропилен.

Полипропилен – линейный, неполярный полимер с химической формулой $[-CH_2 - CH(CH_3) -]_n$. Он жесток, нетоксичен, допускает более высокую температуру эксплуатации, чем полиэтилен. Выпускают следующие марки полипропилена: про-факс, поли-про, олеформ, моплен, гостален, пропален, данлай, донбанд и др.

Свойства. Полипропилен не имеет характерного запаха, невысокая морозостойкость (температура хрупкости 258-265 К). Он отличается высокой стойкостью к многократным изгибам, износостойкостью, менее, чем полиэтилен, подвержен растрескиванию при воз-

действию агрессивных сред. Характерны низкие адгезия, газо- и паропроницаемость. Чистый полимер физиологически безвреден. Термическая деструкция в отсутствие воздуха становится заметной при температуре 573 К.[3]

Он также негигроскопичен, диэлектрические свойства его не зависят от влажности воздуха. При 373 К растворим в ароматических углеводородах (ксилоле, толуоле).[5]

Полипропилен устойчив к действию кислот, не обладающих сильными окислительными свойствами, разбавленных и концентрированных растворов едкого кали и едкого натра, воды (изделия можно кипятить и стерилизовать вплоть до температуры 403 К; водопоглощение за 6 мес. составляет менее 0,5% при температуре 293 К и менее 2% при 333 К). Концентрированная серная кислота слабо разрушает полипропилен при комнатной температуре и вызывает деструкцию при температуре 333 К и продолжительном контакте. Полипропилен не устойчив к действию сильных окислителей: 30%-ная перекись водорода вызывает деструкцию полипропилена при температуре 333 К и продолжительном контакте; к действию кислорода более чувствителен, чем полиэтилен.[3]

К недостаткам относится склонность к фотостарению и невысокая морозостойкость.[5]

Технология переработки. Полипропилен легко перерабатывается литьем под давлением ($T = 473 - 793$ К, $p = 35 - 42$ МПа), экструзией, вакуум- и пневмоформованием, раздувом, сваркой, прессованием, напылением и другими методами, механически обрабатывается резкой, точением на обычных металлообрабатывающих станках.[3]

Применение. Применяется для антикоррозионной футеровки резервуаров, арматуры, контактирующих с агрессивной средой трубопроводов, различных технических изделий, электроизоляционных деталей электро- теле- радиоаппаратуры, волокон и пленок. Важное значение имеют сополимеры пропилена с этиленом и другими непредельными полимерами.

4.2.3 Поливинилхлорид.

Поливинилхлорид $[-CH_2-CHCl-]_n$ – аморфный полимер белого или светло-желтого цвета. Различают два вида: винипласт (непластифицированный) и пластикат (пластифицированный). При производстве последнего в поливинилхлорид добавляют пластификаторы (дибутилфталат и трикрезилфосфат) в количестве 30...40% от массы полимера.

Свойства. Винипласт обладает высокими механической прочностью и электроизоляционными свойствами, которые заметно ухудшаются с увеличением температуры, высокой масло- бензостойкостью, абсолютной водостойкостью. Однако температурный диапазон его использования – от 0 до 70⁰ С. Материал хрупок при отрицательных температурах ($T_{хр} = -10^0$ С).

У пластика температура хрупкости составляет -50°C .

Технология переработки. Специальными клеями винипласт приклеивается к металлу, древесине, бетону, благодаря чему его широко используют в качестве футеровочного материала.

Применение. Листовой винипласт применяют вместо свинца для облицовки гальванических ванн. В качестве конструкционного материала его используют для производства различной фурнитуры (краны, задвижки, клапаны, емкости, детали насосов, вентиляторов и др.).

Пластикат применяется для изготовления электроизоляционных лент и изоляции электропроводов, как прокладочный и гидроизоляционный материал, для изготовления труб, покрытия конвейерных лент, полов, в качестве заменителя кожи и др. [5]

В качестве связующего в производстве ПКМ в легкой авиации не используется.

Вспененный ПВХ применяется в качестве заполнителя в трехслойных панелях бензобаков и рабочих растворов.

4.2.4 Полистирол.

Полистирол $[-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-]_n$ представляет собой твердый жесткий прозрачный аморфный карбоцепной полимер жирно-ароматического ряда. В зависимости от метода полимеризации различают полистирол, полученный методом блочной полимеризации (ПСМД и ПСМ), суспензионным (ПСС и ПССП) и эмульсионным (ПСЭ-1, ПСЭ-2) методами; сирен, дилен, люстрекс, полистрон, стирекс, каринекс, дистрен, стиросел, стирон, стирофлекс, стирофол, вестирол, гедекс, родолин, стиварин, рестилоло, рефлит, сикости-рол. [3]

Выпускается также ударопрочный полистирол, представляющий собой продукт сополимеризации стирола с каучуком или с акрилонитрилбутадиеном (АБС-пластик), сополимер стирола с метилметакрилатом (МС), стирола с нитрилом акриловой кислоты (МСН и МСН-Л). [5]

Свойства. Полистирол – хрупкий полимер, $T_{\text{мор}} = 233 \text{ K}$, обладает высокой радиационной стойкостью, большим коэффициентом преломления, легко подвергается старению. Термоокислительная деструкция начинается при 473 K , термическая – выше 539 K .

Полистирол устойчив к действию галогенводородных, некоторых минеральных и органических кислот, щелочей, глицерина, трансформаторного масла. Он нерастворим в алифатических углеводородах, низших спиртах, простых эфирах, фенолах, воде (водопоглощение $0,2 - 0,3 \%$).

Разрушается полистирол концентрированной азотной и ледяной уксусной кислотами, значительно набухает в бензине и керосине, хорошо растворяется в мономере, ароматических и хлорированных углеводородах, сложных эфирах, кетонах, сероуглероде, пиридине. [3]

Полистирол обладает низкими теплостойкостью и ударной вязкостью. Однако АБС-пластик имеет в 3...5 раз более высокую, по сравнению с полистиролом, ударную вязкость (до 35...50 кДж/м²) и относительное удлинение при разрыве до 20%. [5]

Технология переработки. Полистирол перерабатывается литьем под давлением ($T = 433...503$ К; $p = 80...120$ МПа, усадка 0,4...0,8%); экструзией (температура цилиндра 373...463 К, температура головки 373...433 К), вакуум- и пневмоформованием. Режим переработки зависит от метода получения полимера, размера и конфигурации изделия. Полистирол склеивается и сваривается, но его нельзя перерабатывать в листы и крупногабаритные изделия. [3] Вспениванием полистирола, в зависимости от применяемой технологии, получают плиты или готовые изделия.

Применение. Применяется полистирол, в основном, для изготовления деталей теле- и радиотехники, приборов, различной фурнитуры, сосудов для химикатов, электроизоляционной пленки, деталей ширпотреба.

ПСЭ-1 используется для производства пенопластов, ПСМД – для электроизоляционных и технических изделий, МС – для деталей светотехнического назначения. МСН и МСН-Л применяются для изделий автомобильной, приборостроительной и радиотехнической промышленности (МСН-Л для крупногабаритных и тонкостенных деталей). [5]

В легкой авиации пенопласты ПС-60 и ПС-100 являются широко применяемым конструкционным материалом в качестве заполнителя в трехслойных панелях, существенно снижающим себестоимость готового изделия.

4.2.5 Полиметилметакрилат.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный аморфный полимер на основе сложных эфиров и метакриловой кислоты. Выпускают полиметилметакрилат марки ЛП, МС и МСН-О.

Свойства. Полиметилметакрилат стоек к действию разбавленных кислот и щелочей, углеводородных топлив и смазок, обладает высокой атмосферостойкостью и оптической прозрачностью (светопрозрачность 92%), пропускает 75% ультрафиолетовых лучей (силикатные стекла – 0,5%), морозостойкостью до -60° С, растворяется в эфирах и кетонах, в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводах.

Недостатками полиметилметакрилата являются невысокая твердость и способность к «серебрению» – появлению сетки мелких трещин, снижающих прозрачность стекол в результате старения.

Технология переработки. Материал перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием. Благодаря пластичности при температуре 378...423 К из него можно формировать различные изделия методами пластического деформирования.

Применение. Полиметилметакрилат применяют для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей, деталей, стойких к бензину и маслам, и др. Для изготовления штампов, литейных моделей, абразивного инструмента используют самоотверждающиеся акриловые пластики АСТ, АКР, стирокрил.

В качестве связующего в производстве ПКМ в легкой авиации не используется.

4.2.6 Полиамиды.

Полиамиды – гетероцепные полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы амидные группы – $\text{CO} - \text{NH} -$. Могут быть алифатическими или ароматическими в зависимости от того, с алифатическими или ароматическими радикалами связаны амидные группы. По строению главной полимерной цепи могут быть линейными, разветвленными или трехмерными.

Выпускают алифатические полиамиды марок капролон, нейлон-6, полиамид, нейлон-6.6, нейлон-7, нейлон-11, нейлон-6.10, ароматические полиамиды марок фенилон П, фенилон С1, фенилон С2, номекс. [3]

Свойства. Механические и физические свойства полиамидов зависят от химической природы и молекулярной массы полимера. Алифатические полиамиды характеризуются высокой усталостной прочностью, сопротивлением к истиранию и ударным нагрузкам, низкой гигроскопичностью, повышенной электризуемостью, низкой устойчивостью к термо- и фотоокислительному воздействию. Для ароматических полиамидов характерны резко выраженная температура плавления и стабильность свойств при повышенных температурах. [3]

Полиамиды не набухают в маслах и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к вибрациям, устойчивы в тропических условиях. Однако они не стойки к растворам минеральных кислот и окислителям. Водопоглощение зависит от количества амидных групп и структуры полимера и достигает 10...12%. Снизить водопоглощение можно путем термообработки в горячем масле. [5]

Полиамиды устойчивы к действию органических растворителей. Алифатические полиамиды растворяются лишь в сильнополярных растворителях, способных специфически

сольватировать амидные группы. При комнатной температуре они растворяются в концентрированных кислотах, например в серной, азотной, муравьиной, монохлоруксусной, трихлоруксусной, в фенолах (феноле, крезоле, ксиленоле, тимоле), хлорале, концентрированном растворе хлорида кальция и в спиртах. Универсальные растворители для алифатических полиамидов – 2,2,3,3-тетрафторпропиловый и трифторэтиловый спирты. Высококипящие спирты (например, бензиловый, фенилэтиловый, этиленгликоль) – более слабые растворители.

Ароматические полиамиды растворяются только в основных растворителях, таких, как диметилацетамид или N-метилпирролидон (иногда при добавлении солей, например, CaCl_2 или LiCl). [3]

Технология переработки. Алифатические полиамиды перерабатываются литьем под давлением ($T=353\ldots393$ К, $p=80\ldots100$ МПа) в тонкостенные изделия толщиной 0,3 мм сложной конфигурации и экструзией, в том числе с раздувом, ароматические – методом прямого прессования с предварительным подогревом. Усадка при прессовании 0,6%. [3]

Применение. Полиамиды выпускают в виде гранул белого и светло-желтого цвета размером 2...5 мм. Перерабатываются они литьем под давлением и экструзией. Производятся также полиамиды, наполненные стекловолокном (30%) на основе первичного и вторичного сырья, соответственно, КПС-30 и КВС-30 и наполненные графитом, например КГ-10 (10% графита) и др.

Применяются полиамиды как конструкционные материалы для изготовления зубчатых колес, звездочек цепных передач, подшипников скольжения, колес центробежных насосов, уплотнений и других деталей, а также для нанесения защитных покрытий. [5]

В качестве связующего в производстве ПКМ в легкой авиации не используется.

4.2.7 Поликарбонаты.

Поликарбонаты – сложные полиэфиры угольной кислоты и диоксисоединений общей формулы $[-\text{O}-\text{R}-\text{O}-\text{CO}-\text{O}-\text{R}-]$. Это кристаллизующиеся полимеры, которые в зависимости от технологии переработки могут быть и аморфными. В зависимости от природы радикала поликарбонаты могут быть алифатическими, жирно-ароматическими и ароматическими, в зависимости от структуры макромолекулы – линейными, разветвленными и трехмерными. [3]

Выпускают поликарбонаты следующих марок: 1, 3, 5 – стабилизированный общего назначения; 2, 4, 6 – нестабилизированный общего назначения; 7 – медицинский; 8 – светотехнический; 9 – электротехнические пленки. [5]

Свойства. Они обладают высокими механическими свойствами, стабильными в интервале температур 123 – 473 К. Полимер достаточно устойчив к действию ультрафиолетового излучения и излучений высокой энергии. Обладает низкой гигроскопичностью, высокими атмосферо- и влагостойкостью, стойкостью к действию микроорганизмов, самозатухающий. Деструкция начинается выше температуры 603 К. Оптически прозрачен. Характерна высокая стабильность размеров изделий при переработке, склонность к ползучести очень мала.

Поликарбонат устойчив к действию разбавленных растворов неорганических и органических кислот, слабых щелочей, минеральных солей, окислителей. Водопоглощение составляет 0,4%. Гидроксид аммония, амины и растворы сильных щелочей вызывают гидролитическую деструкцию поликарбонатов. Растворяется или набухает в большинстве органических растворителей, за исключением алифатических и циклоалифатических углеводородов, одно- и многоатомных спиртов (кроме метанола), растительных и животных жиров, масел. Основные растворители: метиленхлорид, хлороформ, трихлорэтан, тетрахлорэтан.

Технология переработки. Поликарбонаты перерабатываются всеми методами, используемыми для переработки термопластов, в том числе методами холодного формования (штамповкой, прокатом, клепкой, вытяжкой). Температура переработки 513 – 573 К, вязкость расплава высокая по сравнению с вязкостью расплавов других полимеров. Изделия можно сваривать, склеивать, точить, сверлить, фрезеровать, пилить, резать, шлифовать, полировать, соединять одно с другим заклепками или гвоздями.

Применение. Из поликарбонатов изготавливают шестерни, подшипники, детали радиоаппаратуры, машин и аппаратов, детали криогенной техники.

В качестве связующего в производстве ПКМ в легкой авиации не используется.

4.2.8 Полиимиды.

Полиимиды – ароматические гетероциклические полимеры, содержащие в цепи имидные циклы и ароматические ядра, соединенные гибкими связями. По строению мономерного звена полиимиды могут быть алифатическими, алициклическими или ароматическими, по строению главной полимерной цепи – линейными или трехмерными.

В зависимости от структуры они могут быть термопластичными и термореактивными.

Промышленностью выпускаются полиимидные пресс-порошки марок: ПМ-67, ПМ-69, кайнол, веспел, полиимид 2080, а также связующие марок: ПАИ-1, СП-1, СП-3, СП-6, СП-95, торлон, P105Ac, NR-150, NR-600, керимид, и другие. [3]

Свойства. Обладают высокими механическими свойствами: временное сопротивление до 90...130 МПа, ударная вязкость до 6...12 кДж/м², твердость 180...280 НВ, относительное удлинение при разрыве до 20%. [5]

Физико-механические свойства полиимидов не изменяются в течении длительного времени в широком диапазоне температур(от 73 до 573⁰ К). Температура разложения их выше температуры плавления. Они являются среднечастотными диэлектриками. Изделия из полиимидов характеризуются высокой стабильностью размеров и низкой ползучестью при высоких температурах, низким коэффициентом трения ($f=0,05 - 0,17$ по стали), высокой термостойкостью и устойчивостью к действию γ -излучения, быстрых электронов и нейтронов.

Разбавленные кислоты почти не влияют на свойства полиимидов. В органических растворителях большинство ароматических полиимидов не растворяются, они инертны к действию масел.

Концентрированные азотная и серная кислоты вызывают деструкцию полиимидов при комнатной температуре и особенно при нагреве. Под действием щелочей и перегретого пара полиимиды гидролизуются. К воде более чувствительны, чем большинство других линейных гетероцепных полимеров.

Технология переработки. Полиимидные пресс-порошки перерабатываются методами прямого прессования, ($T = 653 - 693^0$ К, $p = 2,5 - 12$ МПа), литья под давлением, горячего прессования.

Полиимидные связующие перерабатываются в ПКМ и изделия из них пропиткой наполнителей с последующем отверждением при контактном формовании и прямом прессовании. [3]

Применение. Применяются полиимиды для изготовления деталей конструкционного назначения, электротехнических деталей, подшипников скольжения, электровакуумной тепловой изоляции. Полиимидные связующие применяют для пропитки волокон и тканей с целью получения композиционных материалов. [5]

В качестве связующего в конструкциях из ПКМ легких самолетов в настоящее время не применяется из-за высокой стоимости изделий.

4.3 Термореактивные связующие.

4.3.1 Фенолоформальдегидные смолы.

Фенолоформальдегидные смолы представляют собой продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. В зависимости от условий поликонденсации образуются резольные (термореактивные) или новолачные (термопластичные) фенолоформальдегидные смолы.

Резольные смолы – смесь линейных и разветвленных полимергомологов, для которых характерно наличие реакционноспособных метиловых групп.

Новолачные смолы – это олигомеры преимущественно линейного строения отличающиеся от резольных смол отсутствием не вступивших в реакцию метиловых групп.

Резольные смолы при нагревании, а новолачные – при нагревании с добавлением отвердителя (уротропина 6 – 14%) в процессе переработки отверждаются с образованием трехмерных полимеров – резитов. Новолачные смолы отверждаются быстрее резольных. [3]

Свойства. Неотвержденные фенолоформальдегидные смолы представляют собой твердую хрупкую прозрачную аморфную массу с плотностью 1220 – 1270 кг/м³, легко переходящую в интервале температур 333 – 393 К в жидкость, или жидкость с плотностью 1140 – 1220 кг/м³, динамической вязкостью 0,01 – 0,5 Па*с. Они растворяются в растворах едких щелочей, фенолов и многих органических растворителях. В резольных смолах при комнатной температуре продолжают протекать реакции конденсации, обуславливающие повышение молекулярной массы и изменение свойств во времени. Новолачные смолы в отсутствие влаги стабильны при хранении.

Различают три стадии отверждения. Вначале (стадия А) при нагревании смола (резол) плавится и пребывает в вязкотекучем состоянии. Далее (на промежуточной стадии В) смола, называемая резитолом, переходит в высокоэластическое состояние. На этой стадии она растворяется частично, но сильно набухает в органических растворителях. На конечной стадии (С) образуется твердый резит, который при нагревании лишь слегка размягчается. Максимальная температура отверждения лежит в интервале 413 – 473 К. Усадка при отверждении 6 – 9%. Резольные смолы, в отличие от новолачных, способны длительное время при переработке пребывать в вязкотекучем состоянии.

Отвержденные смолы (резиты) – хрупкие продукты некристаллической структуры; наряду с высокими механическими и электроизоляционными свойствами обладают хорошей антикоррозионной стойкостью. Резольные смолы по сравнению с новолачными ха-

рактируются лучшими диэлектрическими свойствами, которые зависят от температуры и частоты тока.

Резиты устойчивы к действию большинства кислот, разлагаются под действием концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей, растворов едких щелочей, кипящих фенолов. При длительном контакте с водой резиты слегка набухают. В органических растворителях резиты не растворяются, но содержащиеся в них олигомерные могут быть экстрагированы (например, кипящим ацетоном). Выше температуры 573 К начинается деградация фенолоформальдегидных смол, сопровождающаяся выделением летучих продуктов и образованием в инертной среде механически прочного кокса. Коксовое число равно 55 – 70%, для смол с карборановыми группами – 85 – 97%.

Фенолоформальдегидные смолы можно легко модифицировать на стадии получения резолы или новолака анилином (для улучшения диэлектрических свойств), резорцином (для улучшения адгезионных свойств), фуриловым спиртом (для улучшения химической стойкости), бутадиен-стирольным каучуком (для повышения ударной вязкости и стойкости к вибрационным нагрузкам), полиолефинами, эпоксидными, полиэфирными смолами и другими веществами. [3]

Технология переработки. Фенолоформальдегидные смолы перерабатываются в ПКМ и изделия из них путем пропитки наполнителей раствором олигомеров или смешением олигомеров с наполнителями (тальком, древесной мукой, графитом и др.) с последующим отверждением при формовании методами прямого и литьевого прессования, литья под давлением, экструзии, автоклавного, вакуумформования, штранг-прессования и др. Температурный режим отверждения, величина и режим приложения давления при формовании изделий определяется маркой смолы, природой и структурой наполнителя, конфигурацией и толщиной изделия.

Применение. Фенолоформальдегидные смолы применяются для изготовления конструктивных материалов в авиации и кораблестроении. Также применяются для отверждения эпоксидных смол.

4.3.2 Эпоксидные смолы.

Эпоксидные смолы – олигомеры или полимеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных или глицириновых групп, способные превращаться в полимеры пространственного строения. [5]

Существует большое разнообразие эпоксидных смол: эпоксидно-диановые, эпоксинноволачные, а также эпоксидные смолы на основе многоатомных фенолов, циклоалифатические эпоксидные смолы и др.

Выпускаются эпоксидно-диановые смолы марок ЭД-10, ЭД-14, ЭД-16, ЭД-18, ЭД-20, ЭД-22, УП-614, эпон828, эрла и др.; эпоксиноволачные смолы марок ЭН-6, 5Н, 6Э18Н60 и др.; на основе многоатомных фенолов марок РЭС-3, ЭИС-1, ЭТФ; циклоалифатические эпоксидные смолы марок УП-612, УП-632, УП-648 и др. [3]

Свойства. Неотвержденные смолы представляют собой растворимые и плавкие термопластичные вязкие жидкости или хрупкие твердые вещества, характеризующиеся хорошей адгезией ко многим материалам (металлы, стекло, керамика и др.) и небольшой усадкой при отверждении. В процессе отверждения эпоксидных смол летучие вещества не выделяются, что определяет сравнительную простоту технологии переработки смол. В качестве отвердителей эпоксидных смол используются мономерные, олигомерные и полимерные соединения различных классов. Эпоксидные смолы способны отверждаться без подвода тепла (в том числе при температуре 273 К) и при нагревании, в присутствии влаги и даже в воде. ПКМ на их основе являются непревзойденными конструкционными материалами, характеризуются меньшей хрупкостью, чем ПКМ на основе фенолоформальдегидных смол, высокой адгезией ко многим материалам.

Эпоксидным смолам присущи высокая стойкость к действию щелочей, солей, окислителей, органических растворителей, воды. Стойки к воздействию радиоактивного излучения. Водопоглощение эпоксидных смол за 24 ч составляет 0,01 – 0,1 %. [3]

Технология переработки. Эпоксидная смола перерабатывается путем пропитки наполнителей раствором олигомеров или смешением олигомеров с наполнителями с последующим отверждением при формовании методами прямого прессования, контактного формования, вакуумформования, автоклавным, пресс-камеры и др. Температура переработки 293 – 453 К, продолжительность гелеобразования в условиях переработки от 30 с до 100 ч, объемная усадка 2 – 8 %.

Эпоксидные смолы при комнатной температуре отверждаются полиэтиленполиамины или гексаметилендиамином (5 – 15% отвердителя от массы смолы) в течение 24 ч с последующей термической обработкой в интервале температур 333 – 393 К в течение 12 – 2 ч. [3]

Также в качестве отвердителей применяются: алифатические олигоаминоамиды, но в количестве 50 – 100 % массы смолы [5 *]; модифицированными гидроксиалкилзамещенными мочевины, при этом в эпоксидных композициях имеет место эффект легирования, при котором малые дозы модификаторов локализуются в межглобулярных областях, уменьшая их дефект [1].

Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины (15 – 50% массы смолы). Отверждение проводят при температуре 100 – 180° С в течение 16 – 4 ч.

Прочность, химическая стойкость и теплостойкость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Используют в качестве отвердителей также ангидриды дикарбоновых кислот и синтетические смолы (фенолоформальдегидные, мочевино-, меламиноформальдегидные и др.) [5].

Применение. Применяются эпоксидные смолы в основном для пропитки тканей при производстве композиционных материалов и для защиты от коррозии различных металлов. Также используются в качестве клеев.

4.3.3 Кремнийорганические полимеры

Кремнийорганические полимеры представляют собой термостойкие высокомолекулярные элементоорганические соединения, содержащие атомы кремния и углерода в составе элементарного звена макромолекулы. В зависимости от строения главной полимерной цепи различают линейные, разветвленные и циклолинейные (лестничные и сшитые, в том числе циклосетчатые). Исключительная гибкость силоксановой цепи утрачивается при переходе от линейной структуры к лестничной.

Выпускаются кремнийорганические смолы марок: лаки К-41, К-44, КО-946, КО-916, ЭФ-3, ЭФ-5, К-9, К-9Э и др. [3].

Свойства. Линейные и разветвленные полиорганосиликаны невысокой молекулярной массы – вязкие бесцветные жидкости, высокомолекулярные линейные – эластомеры, сшитые и разветвленные – твердые хрупкие стеклообразные вещества. Термодеструкция начинается в интервале температур 543 – 603 К. Они характеризуются пластичностью, резиноподобной гибкостью, большим количеством непрочного коксового остатка. Модифицируют фенолоформальдегидными, полиэпоксидными, непредельными полиэфирными полимерами.

Кремнийорганические полимеры устойчивы к действию большинства кислот и щелочей. Концентрированная серная кислота и концентрированные щелочи вызывают разрыв силоксановой связи [3].

Технология переработки. Кремнийорганические смолы перерабатываются в ПКМ и изделия из них путем пропитки наполнителей (волокон, тканей и др.) раствором полиорганосилоксана или смешением его с порошковыми наполнителями с последующим отверждением (при 473 К) при формовании методами прямого прессования, контактного формования и другими. Усадка при отверждении 2 -3 % (лак К-9), 3,6% (лак К-9Э). [3]

Применение. Кремнийорганические полимеры применяются для изготовления композиционных материалов, лаков, эмалей, клеев [5].

5 Типовые технологии изготовления изделий из КМ

В зависимости от назначения и конструктивной сложности изделий существуют различные технологии, обеспечивающие заданные физико-механические характеристики при оптимальной стоимости процесса изготовления изделий.

Все методы изготовления изделий из КМ можно разделить на методы холодного отверждения и методы горячего отверждения. Классификация технологических процессов изготовления изделий из КМ представлена на рисунке 17. Недостатком ХО перед ГО являются более слабые механические свойства (предел прочности при сдвиге для ГО достигает 3500 Н/см^2 , а для ХО – до 1000 Н/см^2). Достоинством же является более дешёвое производство.

Однако холодное отверждение практически не развивалось, поэтому физико-механические свойства полимеров и смол для холодного отверждения практически не улучшились за последние 40 лет.

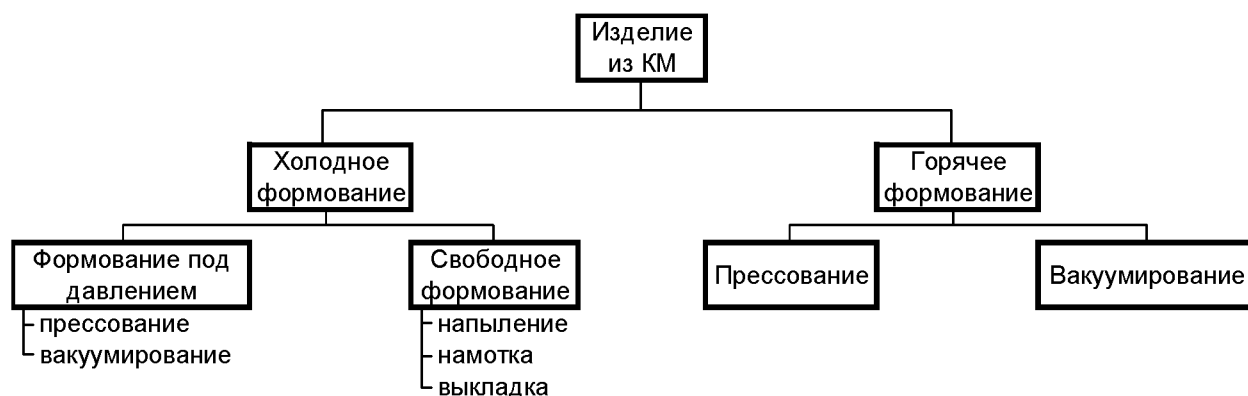


Рисунок 17 – Классификация технологических процессов изготовления изделий из КМ.

Наибольший интерес для изготовления несущих конструкций ЛА представляют как методы холодного формования, так и методы горячего формования. Ниже приведено описание типовых технологических процессов для обоих видов формования несущих конструкций.

5.1 Технологии изготовления изделий из КМ методом холодного формования

Общие процедуры подготовки процессов.

- а) Сертифицированная (паспортизированная) оснастка и контроль её готовности.
- б) Входная (сопроводительная) документация на материалы.
- в) Входной контроль материалов.
- г) Наличие «техпроцесса» на изделие.

Подготовка материала.

- 1) Подготовка армирующего элемента: отжиг ткани или стеклонитей (жгутов) в печах при температуре 400°C или перемотка рулона над нагревателем до *полного испарения замасливателя*.
- 2) Подготовка связующего: взвешивание компонентов в соответствии с ТП (смола %, пластификатор %, растворитель %, отвердитель %)
- 3) Смешивание компонентов:
 - при температуре 20⁰...22⁰ С
 - время перемешивания не менее 20 минут.

5.1.1 Свободное формование

5.1.1.1 Напыление

Принцип напыления заготовок деталей заключается в том, что стекложгут специальным режущим механизмом нарезается на кусочки, которые с потоком сжатого воздуха поступают в пистолет-напылитель, куда поступает и связующее.

В камере пистолета-напылителя происходит смешивание волокна с компонентами связующего. Подготовленная масса в виде отдельных прядей волокна, смоченного связующим, наносится на форму изготавливаемой детали (рис. 18). После напыления заготовки слоем волокнистой массы происходит ее уплотнение прикаткой или прессованием в форме. Для отверждения связующего в заготовке последняя выдерживается при комнатной или повышенной температуре (в зависимости от типа применяемого связующего).

Основные преимущества:

1. Широко используется много лет.
2. Быстрый путь нанесения волокна и смолы.
3. Дешевые формы.

Основные недостатки

1. Ламинаты имеют тенденцию быть очень богатыми смолой и поэтому чрезмерно тяжелыми.
2. Присутствуют только короткие волокна, которые ограничивают механические свойства ламината.
3. Смолы должны быть с низкой вязкостью для возможности их напыления. Это приводит к уменьшению их механических свойств и теплостойкости.
4. Вредные условия труда, большое содержание в воздухе мелких частиц стекла.
5. Качество конечного продукта в основном зависит от мастерства оператора установки.

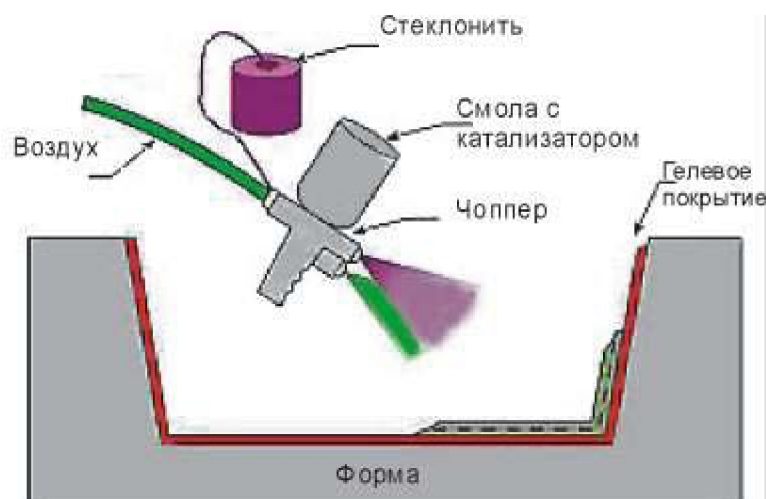


Рисунок 18 – Пример изготовления элемента конструкции напылением.

5.1.1.2 Намотка

Причина создания метода: изготовление изделий из КМ намоткой обеспечивает наиболее полное использование главной характеристики материала, т.е. волокна ориентируют таким образом, чтобы они работали на растяжение, обеспечивая наибольшую удельную прочность.

На сегодняшний день, этот процесс получил очень широкое применение в производстве композиционных высоконагруженных изделий, как наиболее легко поддающийся автоматизации. Использование таких высокомодульных материалов, как углеволокно позволяет получать тела вращения не только с высоким уровнем механических характеристик, но и достаточно высокой размерной стабильности. В связи с этим, этим способом начинают получать детали, которые традиционно изготавливались из стали: валы гребных винтов, оси рулевых механизмов и т. д. Схема процесса намотки приведена на рисунке 19.

Основные преимущества:

1. Это может быть очень быстрый и поэтому экономически выгодный метод укладки материала.
2. Регулируемое соотношение смола/стекло.
3. Высокая прочность при малом собственном весе.
4. Неподверженность коррозии и гниению
5. Недорогие материалы
6. Хорошие структурные свойства ламинатов, так как профили имеют направленные волокна и высокое содержание стекломатериала.

Основные недостатки

1. Ограниченная номенклатура изделий.
2. Дорогое оборудование.
3. Волокно трудно точно положить по длине сердечника.
4. Высокие затраты на сердечник для больших изделий.
5. Рельефная лицевая поверхность.

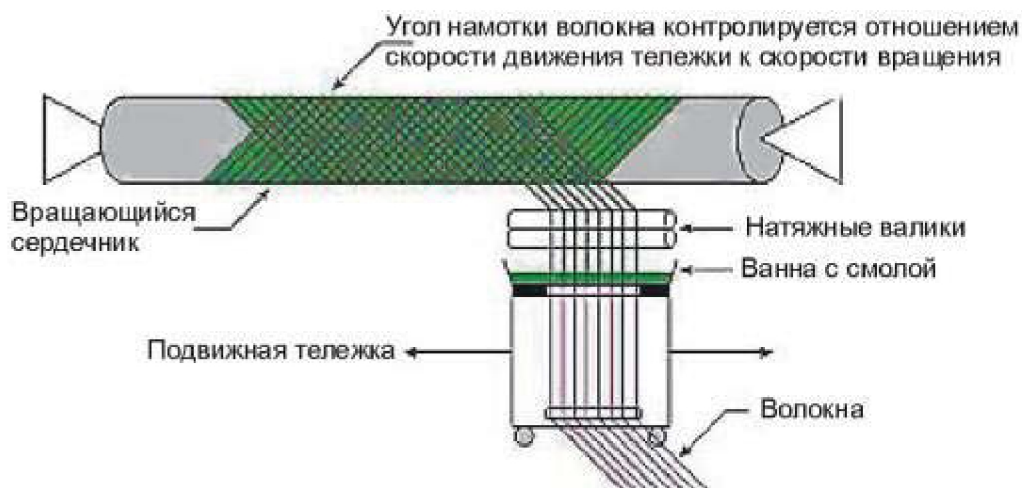


Рисунок 19 – Пример изготовления элемента конструкции намоткой.

5.1.1.3 Выкладка

Выкладка является наиболее распространённым методом изготовления изделий из КМ.

Схема процесса выкладки приведена на рисунке 20

Основные преимущества:

1. Широко используется в течение многих лет.
2. Простота процесса.
3. Недорогие используемые инструменты, если используются смолы, отверждаемые при комнатной температуре.
4. Широкий выбор поставщиков и материалов.
5. Более высокое содержание стеклянного наполнителя и более длинные волокна по сравнению с методом напыления рубленного ровинга.

Основные недостатки:

1. Качество смеси смолы и катализатора, качество ламината, содержание стеклообразующего в ламинате очень зависят от квалификации рабочих.

2. Высокая вероятность воздушных включений в ламинате.
3. Малая производительность метода.
4. Вредные условия труда.

Технологический процесс:

1. Нанесение разделительного слоя на матрицу.
2. Раскрой ткани в соответствии с чертежом.
3. Пропитка заготовок (рис 21, рис 22).

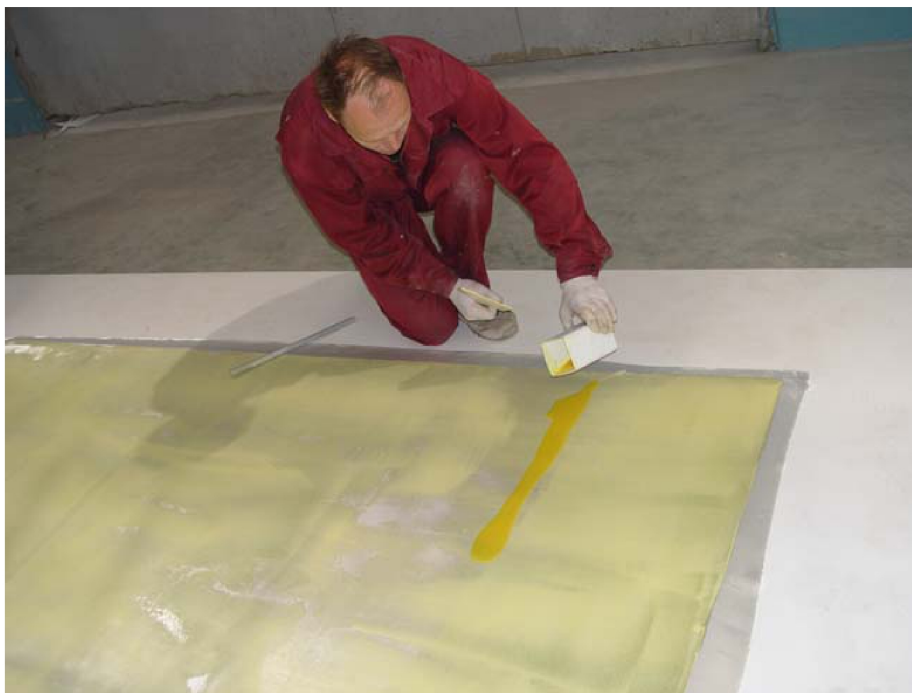


Рисунок 21 - нанесение связующего.



Рисунок 22 - Пропитка стеклоткани

4. Выкладка заготовок и образцов свидетелей в соответствии с ТП.
5. Проглаживание (уплотнение).
6. Контроль выкладки.
7. Полимеризация в течение указанного в ТП времени.
8. Отделение изделия от матрицы.
9. Устранение дефектов и механическая обработка.
10. Контроль готового изделия с испытанием части ОС и сдача ОС на хранение.



Рисунок 20 – Пример изготовления элемента конструкции выкладки.

5.1.2 Формование под давлением

5.1.2.1 Прессование

В жесткой пресс-форме можно прессовать пуансоном детали с горизонтальными участками поверхности в сочетании с криволинейными и наклонными (под углом не менее 150 к вертикали) плоскими участками.

Давление на пакет заготовки детали, уложенной в матрицу, передается через пуансон, при этом давление на наклонных участках поверхности не должно быть ниже 0,5 кгс/см².

Методом пресс-камеры изготавливают изделия сложной формы (полые лопасти самолетных винтов).

Прессование более эффективно при горячем формовании.

5.1.2.2 Вакуумирование

Наиболее прогрессивный способ изготовления деталей из композитов. Он позволяет производить более качественные и легкие детали, максимально реализуя свойства материалов. Этот способ более дорогой и требует дополнительного расхода технологического материала и специального оборудования.

Технологический процесс:

1. Нанести на матрицу разделительную смазку в соответствии с ТП.
2. Нанести на матрицу подслой и выдержать до образования геля (1,5 – 2 часа).
3. Провести выкладку слоёв ткани в заданной последовательности, пропитывая каждый слой и тщательно удаляя излишки смолы с каждого слоя.
4. Уложить разделительную дренажную плёнку.
5. Уложить дренажный слой (не обязательно).
6. Уложить цулагу (дренированную – если ЭД-22 дренажная, то цулага необязательна).
7. Уложить дренажный слой.
8. Уложить вакуумный мешок (полиэтиленовая плёнка).
9. Произвести герметизацию вакуумного мешка на матрице.
10. Подключить вакуумный насос.
11. Включить вакуумный насос.
12. Устранить течи по стыку мешка с матрицей (проверка по вакуумметру).
13. Выдержать под вакуумом 4...5 часов, после снятия вакуума – 7...8 часов.
14. Отделение изделия от матрицы.
15. Устранение дефектов и механическая обработка.
16. Контроль готового изделия с испытанием части ОС и сдача ОС на хранение.

5.2 Технологии изготовления изделий из КМ методом горячего формования

5.2.1 Оборудование и технологическая оснастка, применяемые при изготовлении изделий из КМ методом горячего формования:

1. Оправка для сборки и формования изделий.
2. Обкладные листы.
3. Дренажная сетка для равномерного распределения давления на обкладные листы.
4. Термопары для контроля температурного режима при формовании изделий.
5. Манометр для контроля давления.
6. Вакуумная оболочка из прорезиненной хлопчатобумажной ткани и пневмоарматура для создания давления при формовке изделий.
7. Вакуумный насос для откачки воздуха и летучих веществ из пространства между вакуумной оболочкой и оправкой.
8. Термопечь с программируемым термостатом для выдерживания заданных режимов термообработки изделия.
9. Терморолики для прокатки препрега.
10. Весы технические для взвешивания связующего и стеклоткани при приготовлении препрега.
11. Алмазный и твердосплавный инструмент для обработки изделий.
12. Инструмент для сборки и разборки оправки и снятия готового изделия с оправки.

5.2.2 Общие процедуры подготовки процессов.

Подготовка оправки, обкладных листов и вакуумной оболочки заключается в удалении остатков смолы (связующего) и нанесением на поверхность оправки, обкладных листов и вакуумной оболочки слоя разделительной смазки.

Для изготовления препрега стеклоткань обжигается в термопечах при температуре 350° С в течение 4 часов, эпоксидная смола смешивается с бакелитовым лаком в соотношении 7:3 соответственно, полученное связующее доводится до необходимой вязкости добавлением в него смеси ацетона со спиртом и на пропиточной машине стеклоткань пропитывается и высушивается.

5.2.3 Прессование

Методы прессования перечисленные в подразделе 4.1.2.1 эффективно используются и при горячем формовании. Одним из широко применяемых при горячем формовании способов является автоклавный способ

Конструкция автоклава, механизм закрывания крышки и крепления ее с корпусом, системы герметизации, упругая среда, передающая давление на пресс-форму и т. д., могут быть различными, как и конструкции самих пресс-форм.

В автоклаве обычно применяется рабочее давление в пределах $5 \dots 10 \text{ кгс/см}^2$, реже до 15 кгс/см^2 . В качестве упругой среды используется воздух и перегретый пар. При повышенных давлениях в качестве упругой среды целесообразно применять холодную воду.

Пресс-формы для автоклавного прессования во многом схожи по конструкции с пресс-формами для вакуумного прессования, однако имеют специфические особенности, учитывая сравнительно высокие рабочие давления. В зависимости от конфигурации прессуемых изделий и требований к ним пресс-формы могут быть позитивного и негативного типов, формообразующих изделия соответственно по внутреннему или внешнему контурам.

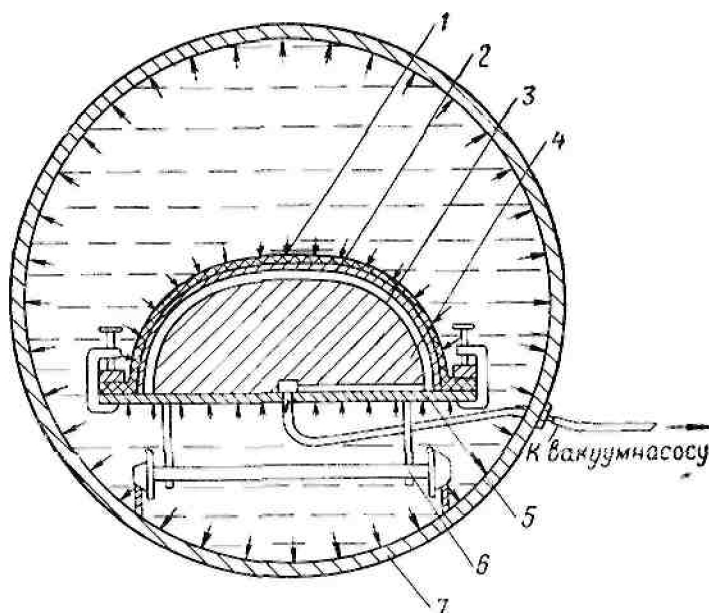


Рисунок 23 - Схема прессования деталей автоклавным способом:

1 — резиновый чехол; 2 — цулага с электрообогревом; 3 — пакет стеклоткани, пропитанной связующим; 4 — болванка пресс-формы; 5 — плита основания; 6 — тележка; 7 — автоклав

Нагрев пресс-форм осуществляется либо за счет нагретой до нужной температуры рабочей упругой среды (пар, жидкость, воздух и т. п.), либо за счет нагревателя, вмонти-

рованного во внутрь пресс-форм. Нагреватели могут быть электрическими, паровыми, масляными (за счет циркуляции горячего масла в змеевиках пресс-формы), в этом случае пресс-форма должна быть тщательно теплоизолирована. Должны быть предусмотрены в автоклаве специальные герметичные вводы силового тока или теплоносителя для поступления их в пресс-форму и вводы термопар.

В качестве примера на рис. 23 показана пресс-форма позитивного типа для прессования половины стеклопластиковой обшивки овального сечения. Пресс-форма состоит из болванки 4, изготовленной по внутренним обводам обшивки, цулаги 2 с вмонтированным электронагревателем и поверхностной термоизоляцией. Под цулагой на болванке выложена заготовка обшивки из стеклоткани или иного материала, пропитанного связующим. Болванка стоит на герметичной плите, изготовленной из жесткого материала. Вся пресс-форма закрывается чехлом из резины или прорезиненной ткани. Герметизация чехла производится по плоскости герметичной плиты. При помощи тележки 6 пресс-форма закатывается в горизонтально расположенный автоклав. Автоклав закрывается герметичной крышкой и заполняется паром, сжатым воздухом, инертным газом, холодной водой или иной жидкостью.

Давление требующееся для прессования деталей, создается за счет разницы давлений упругой среды в автоклаве и в замкнутом объеме пресс-формы. Это давление может быть равно атмосферному или ниже его за счет вакуумирования.

В случае подачи силового тока или горячей жидкости (обычно масла) в пресс-форму для ее обогрева, провода и трубопровод помещаются в герметичную систему, состоящую из штуцеров ввода, вывода и шлангов, размещающихся внутри автоклава.

Специализированные автоклавы и пресс-формы, используемые в серийном производстве, значительно проще конструктивно и в эксплуатации по сравнению с универсальным оборудованием.

В настоящее время автоклавный способ применяется в ограниченных объемах в легкой авиации для изготовления элементов конструкции из-за сравнительно высокой стоимости оснастки и продукта.

5.2.4 Вакуумирование

Технологический процесс:

1. Подготовка оправки к выкладке составных частей изделия.
2. Раскрой препрега - проводится для получения листов заданной геометрии и лент.

Препрег может храниться до 10 суток в холодильнике.

3. Выкладка первого несущего слоя внутренних элементов, силового набора и стеклосотопанелей (через каждые 10 слоёв необходимо механически обжимать).
4. Сборка оснастки для вакуумирования, Вакуумирование при удельном давлении 0,05...0,095 МПа и термообработка по первому режиму.
5. Охлаждение, разборка вакуумной оснастки, устранение дефектов и механическая обработка (при необходимости).
6. Подготовка поверхности заготовки изделия к выкладке второго несущего слоя.
7. Выкладка.
8. Сборка оснастки для вакуумирования, вакуумирование и термообработка по второму режиму.
9. Выполнение работ по пункту 5.

Сборка оснастки для вакуумирования, вакуумирование и термообработка производится в следующем порядке:

1. Укладывается дренажная сетка.
2. Устанавливается и герметизируется вакуумная оболочка, штуцера вакуумной оболочки соединяются с вакуумным насосом, производится вакуумирование и контроль герметичности сборки.
3. На сборку устанавливается крышка термопечи и в течение 4 часов температура в термопечи поднимается до 160°C (первый режим).
4. Охлаждение сборки осуществляется естественным путём с закрытой крышкой термопечи. После охлаждения сборки до 40°C крышка термопечи снимается, разбирается вакуумная оснастка, проводится осмотр сборки, устранение дефектов и механическая обработка.
5. После механической обработки поверхность заготовки (сборки) смазывается связующим с помощью кисти.
6. Выкладка внешней обшивки производится аналогично выкладке внутренней обшивке.
7. Сборка оснастки для вакуумирования производится аналогично сборке для первого режима формования.
8. Термообработка сборки по второму режиму производится по следующей схеме:
 - а) Подъём температуры до 160°C ведётся в течение 4 часов.
 - б) В течение 8 часов поддерживается температура 160°C.
 - в) Охлаждение сборки осуществляется естественным путём с закрытой крышкой термопечи.

- г) После охлаждения сборки до 40°C снимается крышка термопечи, разбирается вакуумная оснастка, проводится осмотр (контроль) сборки, устранение дефектов и механическая обработка. Таким образом, общее время на изготовление изделия свыше 22 часов.
- д) С помощью болтов съёмников производится снятие изделия с оправки и контроль внутренней поверхности.

6 Методы неразрушающего контроля

6.1 Тепловые методы

Тепловые методы основаны на регистрации стационарных температурных полей. Например, их используют для оценки теплопроводности зданий. Однако для контроля композитов используют другой подход, в котором изучается реакция материала на короткий тепловой импульс. Изучение отклика системы на тепловой импульс называют переходной термографией.

Если к ламинату подведено тепло, его температура постепенно возрастает. Увеличение температуры определяется количеством тепла, временем воздействия и свойствами материала. Скорость распространения тепла зависит также от размера дефекта. Отслоения приводят к снижению скорости распространения тепла, что может быть зарегистрировано при помощи инфракрасной камеры.

Тепловые методы делятся на одно- и двусторонние. В односторонних методах инфракрасная камера контролирует нагреваемую поверхность. В этом случае дефекты снижают скорость распространения тепла, и поэтому они имеют вид горячих пятен. Переходные процессы можно изучать путем подачи тепла к одной поверхности и регистрации температуры на другой поверхности ламината. Такие методы называют двусторонними, и дефекты в этом случае выглядят холодными пятнами. Аналогично изучают переходные процессы при охлаждении, которое производят путем распыления охлаждающего аэрозоля по исследуемой поверхности. Чувствительность односторонних методов снижается при увеличении глубины дефекта. Двусторонние методы позволяют обнаружить глубоко лежащие дефекты.

Преимуществом переходной термографии по сравнению со стационарными методами является более высокая чувствительность, поскольку дефект часто незначительно влияет на стационарное распределение температуры. Заметные температурные различия вблизи дефектов при переходных процессах существуют приблизительно в течении секунды, и их нужно записывать на камеру. Чувствительность метода снижается при увеличении теплопроводности материала. Проблему могут возникнуть, если поверхность имеет области с различной излучательной способностью. В этом случае образец окрашивают в матовый черный цвет.

Изучение переходных тепловых процессов имеет несколько привлекательных особенностей:

- а) неконтактный и неповреждающий метод;

- б) одним тепловым импульсом инспектируется большая площадь пластины;
- в) может быть получено тепловое изображение поверхности.

Инфракрасная камера используется также в методе вибротермографии, в котором возбуждаются резонансные колебания и регистрируются появляющиеся горячие точки. Эти точки являются областями повышенного тепловыделения в трещинах, противоположные берега которых при вибрации трутся. Этот метод основан на регистрации стационарного распределения температуры и поэтому не подходит для материалов с высокой теплопроводностью. Например, он успешно применялся для обследования стеклопластиков, однако для углепластика он не достаточно чувствителен вследствие высокой теплопроводности углеродных волокон.

Тепловые методы позволяют быстро обследовать большую площадь поверхности.

6.2 УЗИ и рентгенография, сравнение с тепловым методом

При ультразвуковых испытаниях изучают прошедшую или отраженную волну. Для возбуждения и приема волны используют пьезоэлектрические датчики. Акустическая волна на границе воздуха и композита отражается практически полностью. Для создания акустического контакта между датчиком и материалом обычно используют воду, различные масла или гели. Чтобы не было помех, коэффициент отражения должен быть постоянным. Этого можно добиться погружением обследуемой детали в ванну с водой. Однако для крупных деталей такие ванны слишком большие и дорогостоящие (длина фюзеляжа около 8 метров).

Метод рентгенографии основан на измерении энергии электромагнитной волны, прошедшей через исследуемый образец. Особенностью углепластика является высокая прозрачность к рентгеновскому излучению. Поэтому необходимо использовать мягкий рентген и высококонтрастную фотопленку. Если трещины выходят на край пластины, форму расслоений изучают, вводя в композит непрозрачные для рентгена жидкости. Однако жидкости типа тетрабромэтана чрезвычайно ядовиты, что ограничивает их использование. Рентгенография более эффективно обнаруживает объемные дефекты, чем трещины, и чувствительность метода зависит от угла между направлением пучка и плоскостью дефекта. Легче всего обнаружить трещину, если пучок параллелен плоскости трещины, и труднее всего, если он перпендикулярен плоскости трещины. Для примера рассмотрим пластину толщиной 25 мм (рисунок 24): для угла между пучком и плоскостью трещины $\alpha = 5^\circ$ и 45° минимальная толщина обнаруживаемой трещины равна 0,05 и 0,26 мм соответственно.

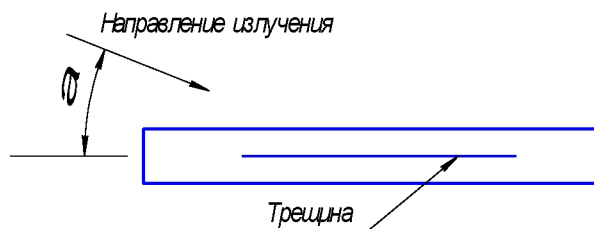


Рисунок 24 - Рентгенография

Для инспекции армированных пластиков рентген используется менее широко, чем для металлов. Это связано с высокой рентгенопрозрачностью композитов, с ориентацией межслоевых трещин преимущественно в плоскости композита и рентген представляет опасность для здоровья. Необходимость защиты сдерживает его использование, особенно в полевых условиях, когда обеспечить защиту довольно сложно.

6.3 Вибрационные методы

Вибрационные методы делятся на общие и локальные. Общие методы основаны на измерении собственных частот и затухания колебаний, причем одно измерение позволяет установить, имеет ли деталь дефект или нет. При использовании локальных методов определяют параметры колебаний детали в исследуемой области. Использование локальных методов требует большего времени, но позволяет определить расположение и размер дефектов.

Общие методы

Собственные резонансные частоты и коэффициент затухания колебаний характеризуют всю структуру и не зависят от точки измерения. Похожим образом уже много десятилетий контролируют состояние железнодорожных рельсов и колес. Постукивая по колесу и слушая издаваемый звук, делают вывод о наличии трещин.

Современное оборудование позволяет на основании похожих испытаний сделать объективные, быстрые и надежные выводы о состоянии конструкции. Если не требуется обнаружить мелкие дефекты, вся структура может быть проверена в течение нескольких секунд, что делает этот метод контроля чрезвычайно привлекательным.

Неверная последовательность укладки слоев, нарушение угла их укладки и падение свойств под действием окружающей среды приводят к легко регистрируемым изменениям частот резонансных колебаний. Колебания в армированных пластиках затухают гораздо быстрее, чем в металлах, и поэтому при наличии дефекта коэффициент затухания изменяется менее сильно, чем в металле. Тем не менее, коэффициент затухания более чувствителен к дефектам в композитах, чем резонансные частоты.

Локальные методы

Этот метод состоит в легком простукивании по композиту и прослушивании возникающего звука. Дефектные площади звучат иначе, чем бездефектные, и опытный оператор может легко обнаружить расслоения и дефекты сотовых структур. До самого последнего времени, однако, такие испытания были весьма субъективными, что сдерживало их использование.

Изменение звука при простукивании вызвано уменьшением жесткости материала вблизи дефекта. В дефектной зоне звук имеет меньшую силу и большую продолжительность. Особенно сильно снижается амплитуда высокочастотных сигналов. В настоящее время производятся приборы, позволяющие объективно оценить качество структуры путем измерения затухания и спектра резонансных колебаний.

Имеются приборы, принцип работы которых основан на резонансе отслоившихся слоев. При некоторых частотах возбуждающего сигнала амплитуда колебаний оказывается значительно более высокой, чем в бездефектном материале. Этот метод может быть очень быстрым и привлекательным способом инспекции композитов.

Поскольку вибрационные методы используют частоты не выше 30 кГц, не нужна жидкость для создания акустического контакта между датчиком и исследуемым материалом. Кроме того, вибрационное оборудование обычно является портативным, и эти методы очень удобны в полевых условиях. Примером такого оборудования может служить портативный дефектоскоп «ДАМИ-С», который в комплекте с программным обеспечением «АРМ ДАМИ» позволяет тестировать:

- Слоистые конструкции из неметаллических материалов (углепластиков, стеклопластиков, текстолитов);
- Сотовые структуры с неметаллическими обшивками и сотами из полиамидной бумаги или других материалов;
- Слоистые клееные конструкции (2-х, 3-х, 4-хслойные);
- Грубые сотовые и иные структуры с регулярно меняющимся импедансом поверхности и (или) переменной толщиной.

Недостатком метода является снижение чувствительности с глубиной дефекта.

7 Ремонт и устранение дефектов

Приводимы ниже рекомендации основаны на опыте ремонта авиационной техники, однако они носят довольно общий характер и могут применяться в других областях техники. Часто ремонт связан с заменой соединения и поэтому возможность его восстановления должна предусматриваться уже на стадии проектирования конструкции.

Как уже отмечалось, в композитах появляются дефекты в результате постепенного накопления микроповреждений, воздействия окружающей среды или случайных ударов. Обычно для этого применяют ультразвуковые и тепловые методы.

Цель ремонта состоит в восстановлении структурной целостности поврежденной конструкции. Способ ремонта зависит от типа детали и предъявляемых к ней требований. Кроме того, он зависит от внешних условий. Например, в ангарах возможен капитальный ремонт, а в полевых условиях возможности намного ограничены.

Методы создания клеевых соединений могут использоваться как для косметического, так и для капитального ремонта. Косметический ремонт применяется для устранения повреждений, которые не являются критическими для работы конструкций. При таких работах часто возникает необходимость восстановления ровной поверхности детали. Для этого на поврежденное место наносится ремонтный состав и выравнивается по контуру детали. Инжекционное заполнение используют для устранения не слишком значительных расслоений. Для этого сверлят несколько отверстий, в одно из которых под давлением вводят разогретую смолу, имеющую пониженную вязкость, до тех пор, пока она не начнет вытекать из других отверстий. К восстанавливаемой области иногда прикладывают давление, чтобы закрыть образовавшиеся трещины. Для устранения серьезных повреждений на деталь накладывают заплаты двух типов, а именно, заполняющие и внешние.

После оценки степени повреждения композита возникает вопрос об удалении из него влаги для улучшения качества склейки. Предварительное высушивание материала (в течение как минимум 48 часов при 76-93°C), медленный нагрев, невысокая температура отверждения и выбор нечувствительного к действию влаги адгезива могут полностью решить эту проблему. При повышенных температурах эксплуатации адгезивы, отверждаемые при 120°C, более чувствительны к влажности композита, чем отверждаемые при 175°C. После высушивания содержание воды в материале не должно превышать 0,5%. Для композита, состоящего из 16 или более слоев, на это может уйти более 24 часов.

Внешние накладки

Этот метод состоит в приклеивании куска композиционного материала на внешнюю поверхность ремонтируемой детали. Поверхность детали обычно не выравнивают. Эта методика требует меньшей подготовительной работы, чем инъекционное заполнения. Особенно широко этот метод используют при ограниченном доступе к ремонтируемой детали.

Область вокруг повреждения несет дополнительную нагрузку, что необходимо учитывать при принятии решения о способе ремонта. Отметим, что адгезив на границе с ремонтируемой деталью несет повышенные сдвиговые напряжения. Чтобы снизить сдвиговые напряжения, производят ступенчатое изменение диаметра слоев накладываемой заплаты. Низкая трансверсальная прочность композита налагает ограничение на толщину, при которой возможна починка данным методом. Как следствие, им можно чинить лишь относительно тонкие композиты. Вероятность отслаивания накладки может быть снижена путем дополнительного крепления при помощи болтов или заклепок, расположенных на расстоянии не менее 25 мм от отверстия.

Ремонт заподлицо

Этот метод предпочитают, если после ремонта поверхность детали должна остаться гладкой. Обычно ремонтируемой детали придают клинообразную форму, обеспечивающую наиболее прочное соединение с вставкой. Этот метод используют для ремонта несущих большую нагрузку деталей, когда необходимо снизить концентрацию напряжения вблизи места повреждения. например, для починки толстых пластин, так как внешняя заплата привела бы к появлению трансверсальных напряжений и расслоению материала.

Процедура придания ремонтируемой области клинообразной формы должна проводиться очень осторожно, чтобы композит не расслоился и был выдержан требуемый угол клина. Ориентация слоев вставки должна соответствовать схеме укладки поврежденного материала. Вставка может приклеиваться при помощи специального адгезива или матричной смолы. Соединение может иметь форму одиночного или двойного скоса. При двойном скосе меньше его длина и, кроме того, стачивается меньший объем пластины. Типичный угол скоса равен 1:20. В качестве внешнего слоя рекомендуется использовать не односторонний материал, а ткань или слой $\pm 45^\circ$, что снижает опасность поверхностного повреждения.

8 Технология изготовления деталей и агрегатов легких самолетов из ПКМ

Одна из главных особенностей при изготовлении агрегатов легких самолетов из ПКМ заключается в том, что этапы заготовительно-штамповочных работ и агрегатной сборки взаимосвязаны и часто выполняются одновременно.

8.1 Основные методы обеспечения точности сборочных процессов и взаимной увязки деталей, узлов и агрегатов легких самолетов

Основой для разработки технологических процессов ЗШР и агрегатной сборки изделий из ПКМ служат конструкторская документация, директивные технологии на данный тип ЛА и типовые технологические процессы формообразования и соединения деталей из ПКМ. Исходя из этого, в процессе технологической подготовки производства составляют ведомости потребной оснастки и определяют основные методы обеспечения взаимозаменяемости элементов конструкции планера и увязки технологической оснастки.

Компьютерная проработка конструкторской документации позволяет применить расчётно-аналитические методы построения и автоматизированного переноса на жёсткие носители информации теоретических конструкторских чертежей и плазов, контрольно-контурных шаблонов. Однако, в настоящее время увязка с помощью программных методов, ввиду ограниченного применения соответствующего технического обеспечения, используется лишь как предварительная при построении теоретических и конструктивных плазов и большинство элементов конструкции легких самолетов увязаны эталонно-макетным методом.

Для агрегатов сложных форм и больших габаритов плазы и шаблоны, служащие для отработки поверхности эталона – первоисточника увязки, изготавливаются вручную или на станках с ЧПУ.

Разработанная конструкция соединения обшивок (фюзеляж, ОЧК, баков, с элементами набора позволяет применять на практике типовые схемы сборки агрегатов (рис. 25, рис. 43, рис. 46). При данной схеме сборки обеспечивается базирование деталей и узлов, поступающих на сборку, от поверхности матрицы, т. е. от теоретического контура. Технологическое оснащение таких процессов состоит из рубильников, жёстко устанавливаемых

на матрице и сборочных отверстий, задающих положение монтируемых элементов конструкции.

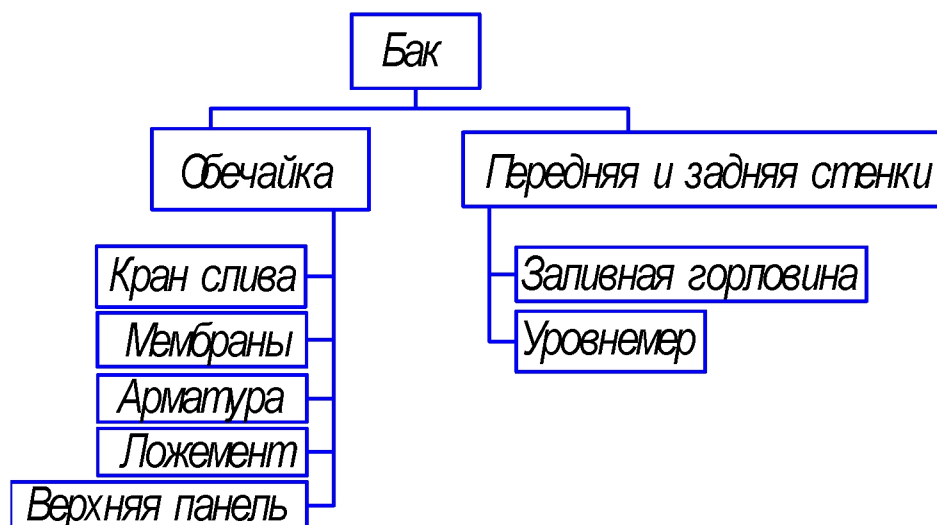


Рисунок 25 - Типовая схема сборки бака

8.2 Типовые технологии изготовления баков из ПКМ (топливных и для специальных растворов)

Формообразование конструкций баков сложной формы или плоских деталей проводится в матрицах (рис. 26) или на формовочных столах под вакуумным прижимом.

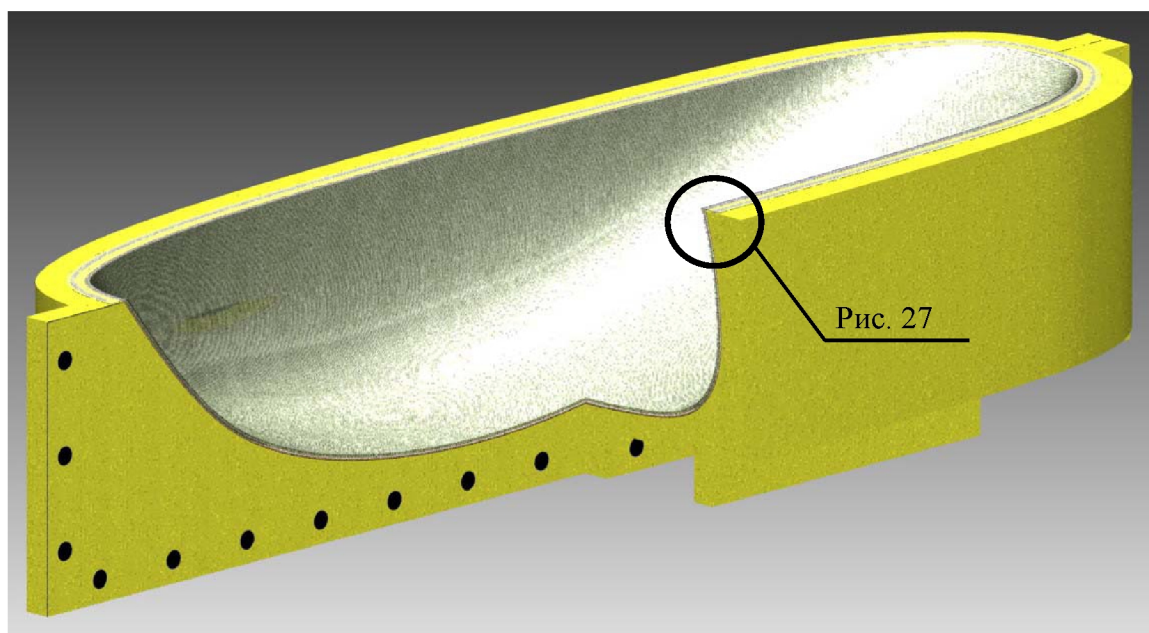


Рисунок 26 - матрица для изготовления стенок бака для специальных растворов

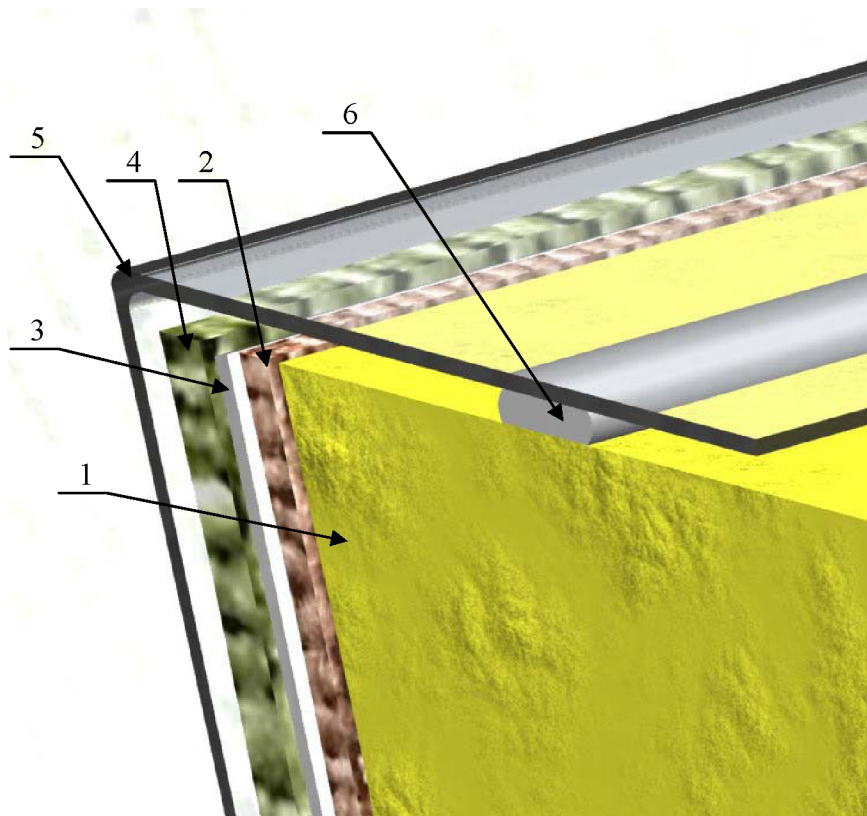


Рисунок 27 - матрица для изготовления стенок бака для специальных растворов:

1 – матрица; 2 – стеклоткань; 3 – разделительный дренажный слой; 4 – дренажная ткань;
5 – вакуумный мешок; 6 – герметик

Основные материалы для изготовления стенок бака:

- Связующие (матрица) - смола эпоксидиановая ЭД-20 ГОСТ 10587-84.
- Наполнитель – стеклоткани: Т-10, Т-10-80 ГОСТ 19170-73.
- Отвердитель связующего – полиэтиленполиамин (ПЭПА) ТУ Б 02-594-70.
- Пластификатор связующего – дибутилфталат (ДБФ) ГОСТ 8728-66.

В зависимости от назначения бака выбирается способ его формования.

Для топливных баков основным видом формообразования является формование на болване без давления или с вакуумным прижимом.

В связи с тем, что баки для специальных растворов на легких самолетах выполняются, как правило, подвесными (рис 28, рис 29) и их поверхность должна иметь минимально возможную шероховатость, формообразование их конструкций производится в матрицах под вакуумным прижимом.



Рисунок 28 - Размещение бака для специальных растворов на самолете «Ястреб»



Рисунок 29 - Размещение бака для специальных растворов на самолете «СП-30»

8.2.1 Формовка стенок баков.

Видами формообразования стенок баков являются

- вакуумная формовка, при которой обеспечивается равномерный прижим выкладываемых слоёв с давлением $P \leq 0,095$ МПа, удаление воздуха из слоистой структуры и воздуха, содержащегося в связующем. Наиболее прогрессивный способ изготовления деталей из композитов. Он позволяет производить более качественные и легкие детали, максимально реализуя свойства материалов. Этот способ более дорогой и требует дополнительного расхода технологического материала и специального оборудования.
- Формовка без использования вакуума где прижим осуществляется с помощью шпателя вручную. Метод формования требует достаточно высокой квалификации формовщика.

8.2.2 Технология вакуумной формовки сборочных единиц бака.

Изготовление сборочных единиц бака производится по технологиям, описанным в разделах 5.1.1 и 5.1.2.

8.2.3 Технология сборки бака

Схема технологического членения бака для рабочих растворов приведена на рисунке 30, схема сборки приведена на рисунке 25.

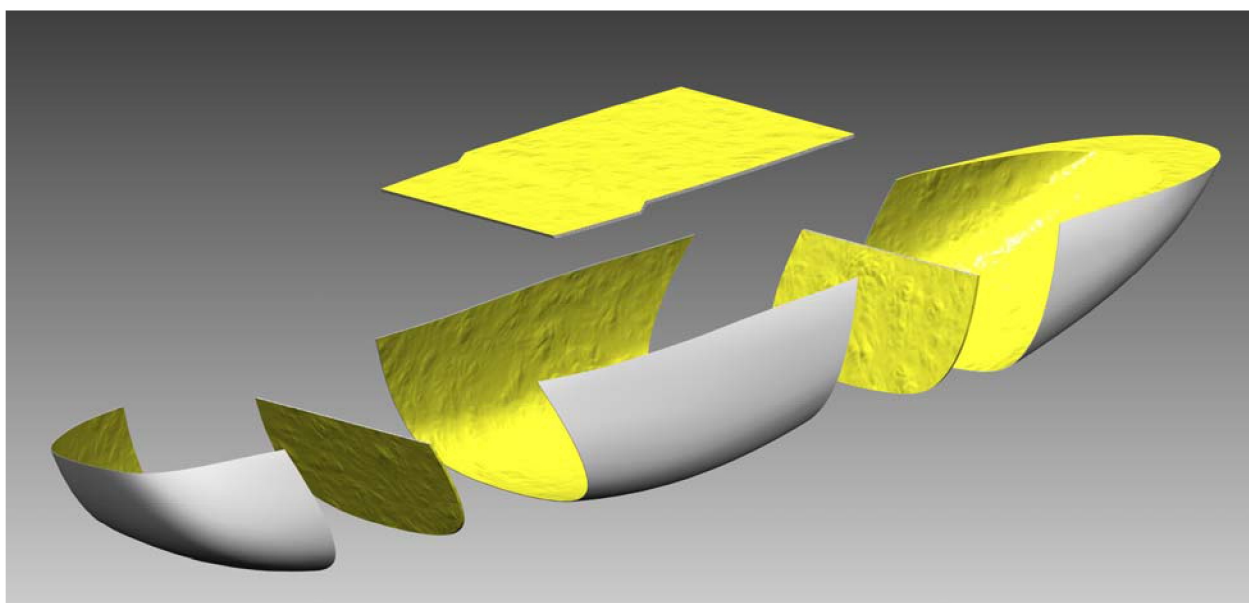


Рисунок 30 – Схема технологического членения бака для рабочих растворов

Основным видом соединений деталей бака являются клеевые, клеерезьбовые.

Наиболее трудоёмкими в операциях сборки являются подготовительные переходы: зашкуривание и зачистка склеиваемых поверхностей, подгонка, подготовка сборочной оснастки, выполняемые либо вручную, либо с использованием ручных электромашин.

Используемые методы подготовки поверхностей к склейки налагают жёсткие требования к соблюдению правил охраны труда и санитарных норм.

Способ склейки – холодный, с прижимом.

Основные требования к клеевым слоям:

Толщина $h = 0,2 \pm 0,4$ мм – при использовании клеевой композиции К-153 без наполнителя; $h = 0,4 \pm 2$ мм – К-153 с добавлением наполнителя (аэросил).

Сборка бака производится в следующей последовательности:

- По разметке на внутренней нижней части бака наносится клеевая композиция без добавления аэросила.
- На ответной части передней и задней стенок и внутренних мембран наносится такая же клеевая композиция, но уже с добавлением аэросила (рис 31)



Рисунок 31 – нанесение клеевой композиции.

- Передняя, задняя стенки и мембраны по разметке устанавливаются в нижнюю часть бака и фиксируются.
- Излишки клея удаляются (рис 32)



Рисунок 32 – удаление излишков клея.

- После полимеризации клеевой композиции место соединения зашкуривается и проклеивается мокрым уголком в несколько слоев (рис 33)



Рисунок 33 – проклеивание места стыка мокрым уголком.

- По окончании процесса излишки мокрого уголка обрезаются (рис 34)



Рисунок 34 – Удаление излишков уголка.

- После приклеивания передней и задней стенки и внутренних мембран в полость бака вклеивается арматура и уровнемер. Места выхода арматуры из стенок бака проклеиваются особенно тщательно пропитанной смолой тканью в несколько слоев.
- После подгонки крышки бака ее вклеивают по технологии приведенной выше.
- Производится контроль готового изделия.

8.2.4 Проверка бака на герметичность.

Для проверки герметичности бака используется устройство, схема которого приведена на рисунке 35.

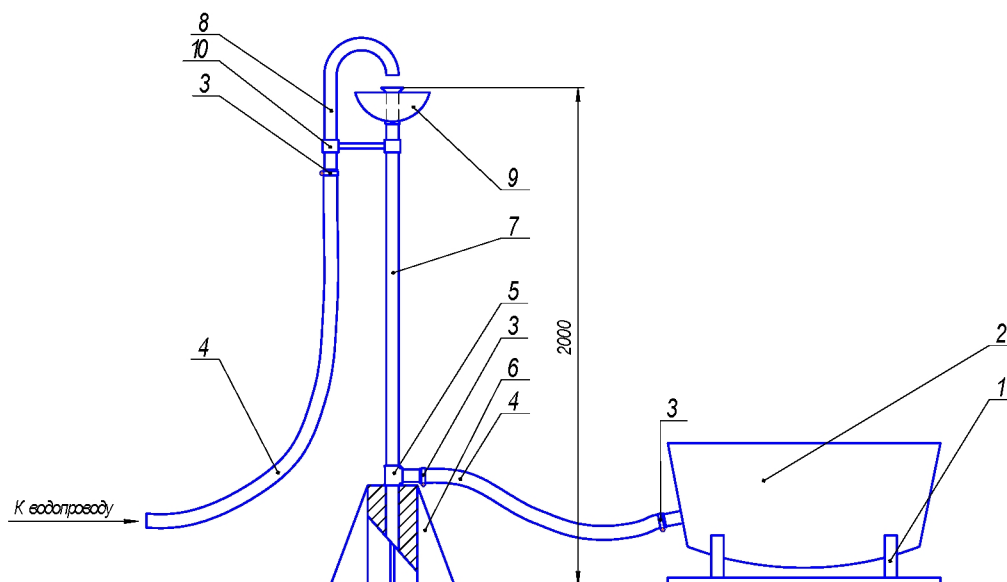


Рисунок 35 – Схема установки для проверки бака из ПКМ на герметичность:

1 – Ложемент; 2 – испытуемый бак; 3 – хомут; 4 – армированный шланг; 5 – тройник; 6 – подставка трубы; 7 – мерная труба; 8 – заливная трубка; 9 – переливной бачок; 10 – кронштейн заливной трубки

Последовательность операций при испытаниях баков (как баков для спецжидкостей, так и бензобаков):

1. собрать установку для гидроопрессовки и промыть ее водой не подключая к баку
2. закрыть заливные горловины баков штатными крышками
3. заглушить технологическими заглушками выходные штуцеры кроме дренажной трубки и одного штуцера для подключения шланга от установки
4. подключить установку к баку
5. залить бак водой до появления воды из дренажного штуцера
6. заглушить дренажный штуцер
7. залить трубку установки до перелива
8. выдержать бак под давлением 2 часа
9. проверить отсутствие течи в баке
10. при обнаружении течи отметить маркером негерметичные зоны
11. слить воду из бака
12. просушить бак 24 часа при открытых горловине и штуцерах (предпочтительно сжатым воздухом)
13. выполнить ремонт негерметичных зон (см. гл. 7)
14. повторить испытания на герметичность

8.3 Технология изготовления трёхслойных панелей отъемной части крыла методом вакуумной формовки.

Обшивка ОЧК изготавливается в формообразующем приспособлении (матрице), при помощи нескольких технологических приспособлений в три этапа.

8.3.1 Подготовка элементов обшивки и матрицы к формовке

8.3.1.1 Подготовка заполнителя (пенопласта).

Так как толщина обшивки крыла имеет большое значение, как для обеспечения расчётной прочности крыла, так и для обеспечения сборки крыла, необходимо использовать для заполнителя калиброванный пенопласт (т.е. пенопласт с заданной толщиной, в нашем случае $7\pm$ мм).

Марки пенопласта, которые используются для обшивки крыла самолёта «Ястреб» - ПС 4-60, и ПХВ. Для обеспечения нужной толщины обработка пенопласта происходит в два этапа. Первый этап – разделение (ропуск) блока пенопласта на панели нужной толщины с припуском 1 – 2 мм, при помощи нагретой до определённой температуры нихромовой струны. Существует несколько типов станков для обработки пенопласта.

На рисунке 36 представлен автоматический станок для обработки пенопласта (марок ПС-4-60, ПСБ, и т.д.) позволяющий за один проход распустать несколько листов пенопласта из одного блока. Режимы резания в таком станке выбираются автоматически в зависимости от плотности и марки пенопласта.

Однако пенопласт марки ПХВ при роспуске нагретой нихромовой струной даёт неудовлетворительные результаты, кроме того, при нагреве поливинилхлорид выделяет токсичные газы (в том числе фосген). Поэтому для роспуска пенопласта такой марки необходимо применять устройство, указанное на рисунке 37.

Как видно из рисунков роспуск пенопласта осуществляется при помощи подвижной струны (троса), причём процесс подачи пенопласта может осуществляться как вручную, так и автоматически.

Необходимо так же отметить, что существуют устройства для роспуска пенопласта с помощью нагретой нихромовой струны, где подача пенопласта осуществляется вручную. Преимущество таких устройств заключается в их дешевизне, при этом равномерное усилие реза обеспечивается оператором. Недостаток – низкая производительность и требуемая высокая квалификация оператора, самостоятельно подбирающего усилие для перемещения (подачи) пенопластового блока.



Рисунок 36 – Станок для резки пенопласта

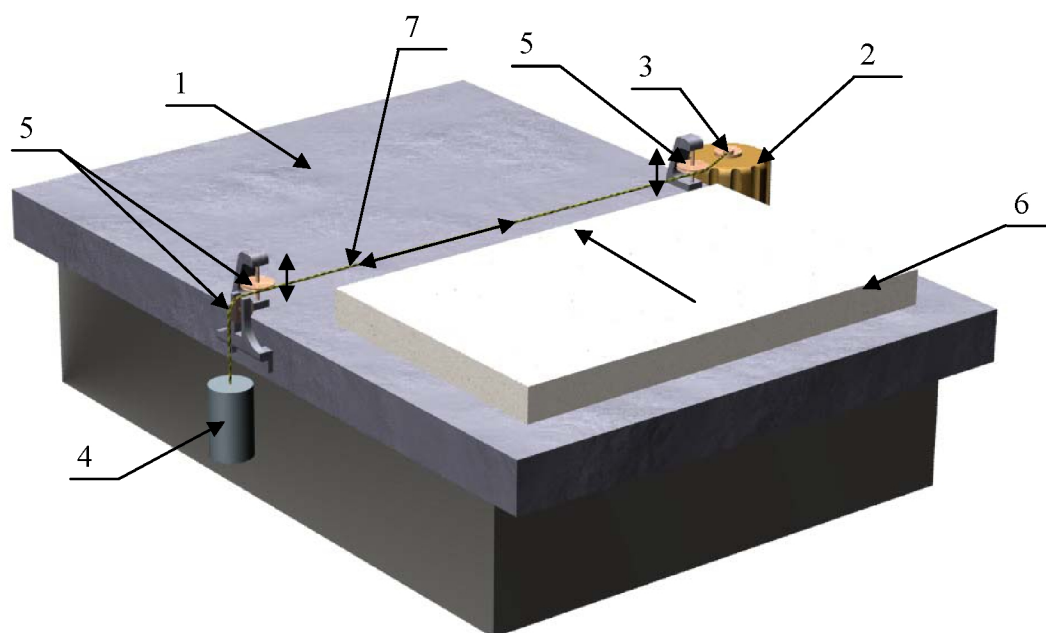


Рисунок 37 – Схема станка для распуска пенопласта типа ПХВ:

1 – стол; 2 – электродвигатель; 3 – эксцентриковый механизм; 4 – груз; 5 – ролики;
6 – пенопласт «ПХВ»; 7 – трос

После роспуска пенопласт необходимо откалибровать до нужной толщины. Данная операция может выполняться при помощи абразивно-фуговального станка (см. рисунок 38).

Настройка необходимой толщины листа производится вручную, контроль толщины осуществляется при помощи измерительного инструмента. Необходимо добиться равномерной толщины листа по длине и ширине с допуском ± 0.1 мм. Точность калибровки при помощи данного оборудования во многом зависит от квалификации оператора.

Необходимо так же отметить, что в настоящее время с целью увеличения производительности всё больше число производителей самолётов с трехслойными панелями, предпочитают приобретать пенопласты зарубежных марок (типа YS-H60G-1000/500), которые поставляются в виде калиброванных листов (номенклатура толщин листов с шагом в 5 мм).

Листы пенопласта необходимо перфорировать для обеспечения прохода воздуха и армирования эпоксидной смолой при этом используется механизм капиллярного эффекта. Перфорирование может быть выполнено несколькими методами. Наиболее прогрессивный метод основан на использовании специального оборудования – штампа для групповой пробивки отверстий (см. рисунок 39). Оптимальный диаметр отверстий для листов пенопласта толщиной от 5 до 20 мм, который обеспечивает такое устройство с шагом 20-35 мм лежит в пределах от 1,5-2,5 мм.

Подготовленные вышеописанным способом листы пенопласта обрезаются и подгоняются в матрице согласно схеме раскроя заполнителя (пенопласта) согласно схеме раскроя (см. рисунок 41). Необходимо обеспечить зазор между листами пенопласта в пределах допуска (не более 0,25 мм), для повышения качества внешней поверхности обшивки.

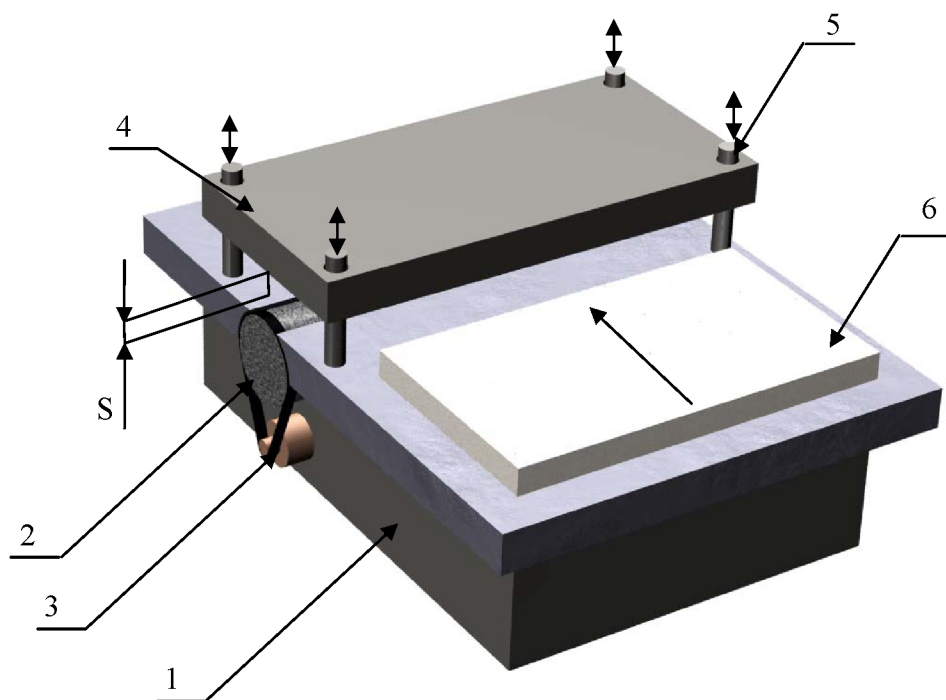


Рисунок 38 – Схема станка для калибровки пенопласта:

1 – стол; 2 – фуговальный барабан; 3 – электродвигатель; 4 – калибровочная плита;
5 – регулировочные винты; 6 – пенопласт; S – калибровочный размер

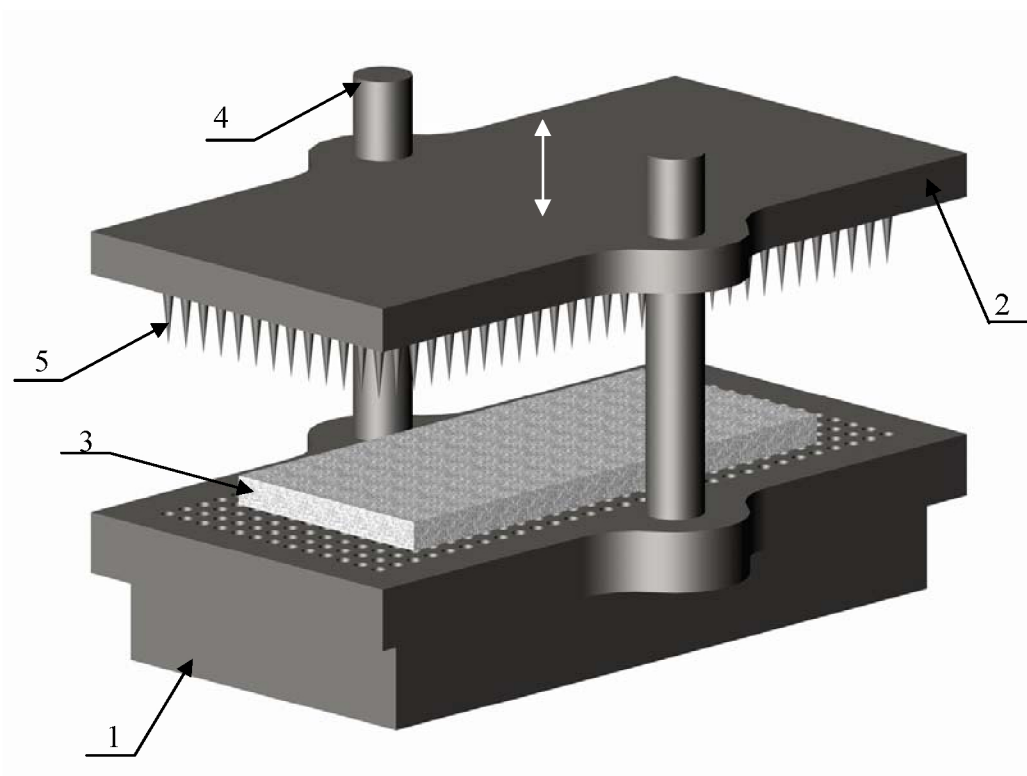


Рисунок 39 – Схема приспособления для пробивки отверстий:

1 – основание; 2 – плита; 3 – пенопласт; 4 – направляющая колонна; 5 – пробивающее устройство

8.3.1.2 Подготовка несущих слоёв (стеклоткани) и связующего.

В обшивке самолёта «Ястреб» применяются конструкционная стеклоткань марки Т-10 и её модификации, высокомодульная стеклоткань Т-25 и её модификации. Перед применением стеклоткани (обычно за 6-12 часов) необходимо удалить парафин при помощи установки для отжига стеклоткани (см. рисунок 40).

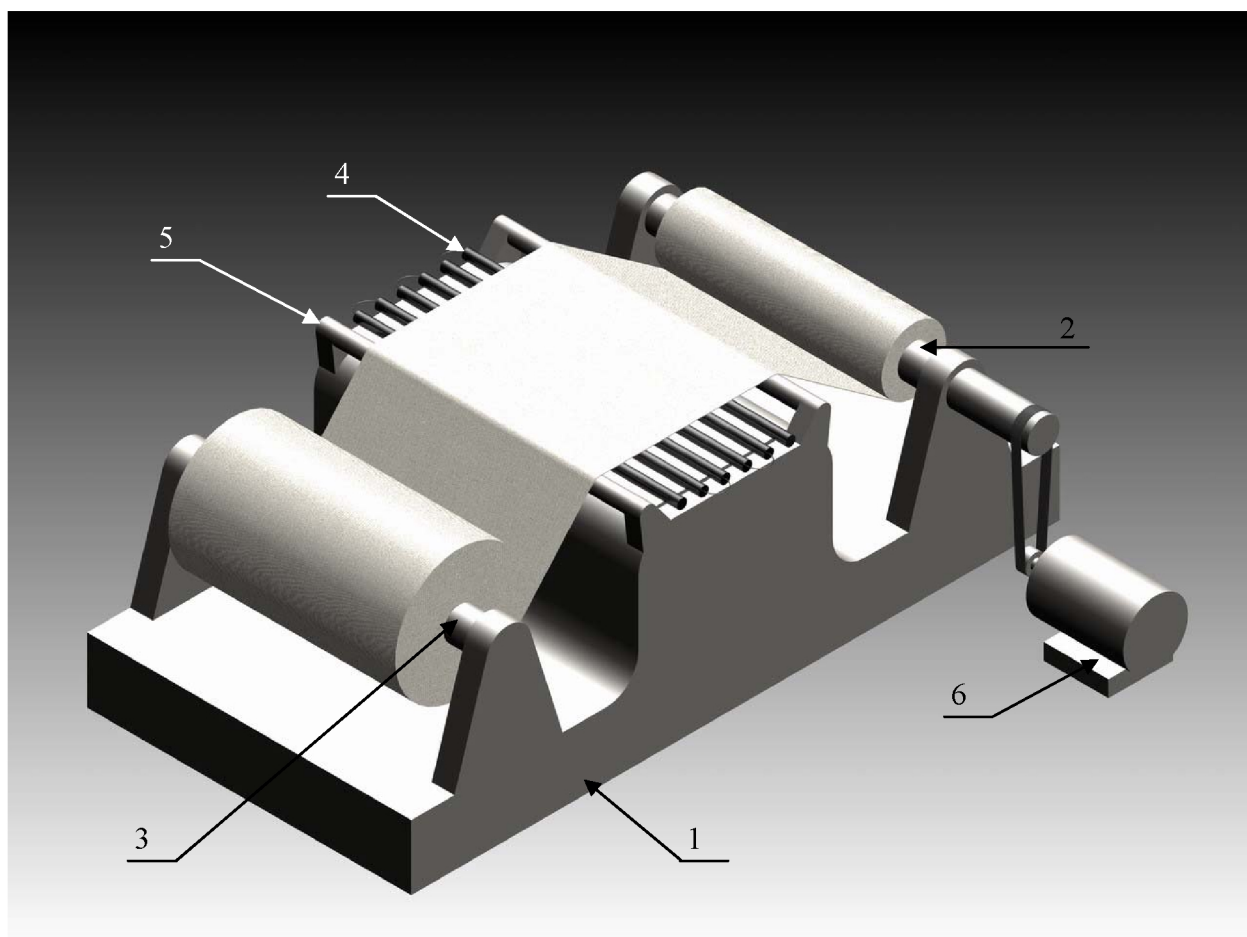


Рисунок 40 – Схема станка для термической обработки стеклоткани:

1 – станина; 2 – барабан; 3 – бобина; 4 –тен; 5 –направляющие; 6 – привод с вариатором

Скорость протяжки, расстояние ткани от тенев и, соответственно, температура и время отжига определяются для каждой партии ткани экспериментально.

Согласно карте технологического раскроя материала (см. рисунок 41), стеклоткань раскраивается на отдельные куски, сразу для наружного и внутреннего несущего слоя, на каждом куске проставляется порядковый номер маркером.

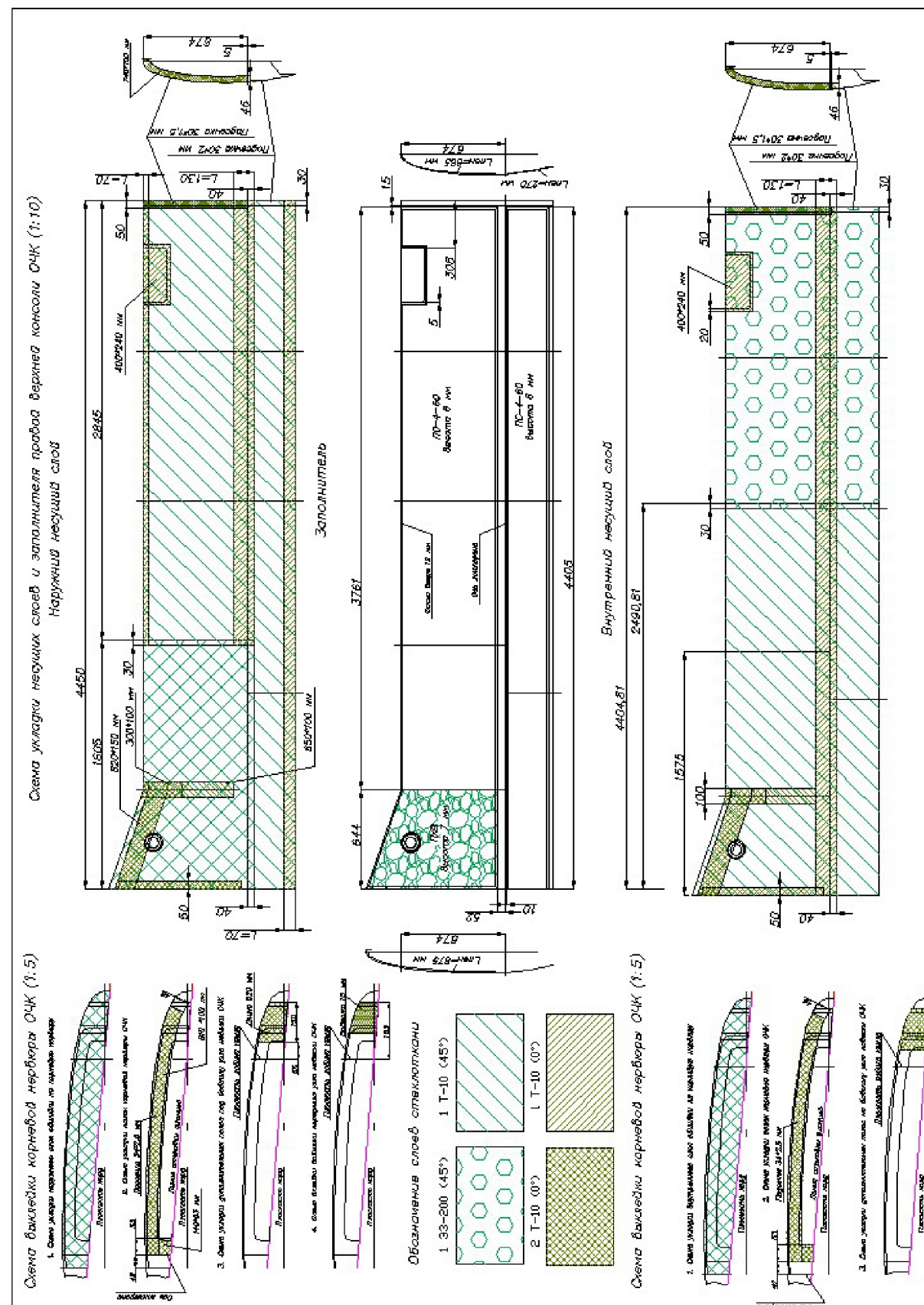


Рисунок 41 – Схема технологического раскроя материала на обшивку крыла (пример оформления).

Для пропитки стеклоткани применяется связующее в составе: эпоксидная смола марки ЭД-20, дибутилфталат в качестве пластификатора, отвердитель полиэтиленполиамин. Смола без отвердителя приготавливается не позднее чем за 24 часа до начала работы.

8.3.1.3 Подготовка формообразующей оснастки (матрицы).

Производится перед самой формовкой и состоит из очистки формы, нанесения разделительного слоя, нанесения декоративного или защитного слоя (гелькоата).

Перед последующими операциями на матрицу должны быть установлены все подсежки и закладные элементы, выходящие на наружный слой (в данном случае лючки в обшивке).

Очистка. Поверхность очищается от посторонних предметов. Поверхность формы обмывается растворителем (Уайт-спирит, ацетон, бензин «калоша») и сушится. Дефекты поверхности формы отмечаются, и при необходимости проводится текущий ремонт, после чего форма снова промывается.

Замечание: Если форма сразу не используется, то очищенную поверхность необходимо пыле-влагоизолировать.

Нанесение разделительного слоя. Разделительный слой на основе пчелиного воска наносится фланелевым тампоном. Последовательность: нанесение первого слоя, сушка при $T=20-25^{\circ}\text{C}$ 20-25 мин, нанесение второго слоя до полного высыхания. После этого производится полировка разделительного слоя фланелевым тампоном.

Нанесение декоративного слоя. Применяется как предохранительный и улучшающий внешний вид изделия. Для декоративного слоя используется эпоксидная краска ЭП-140 белого или серого цвета. Наносится на разделительный слой распылителем в два слоя с промежутком 30-40 мин.

8.3.2 Формирование элементов обшивки в матрице (формовка)

Формовка обшивки (панели) технологически разделена на две операции. Первая операция – формовка наружного несущего слоя и заполнителя (пенопласта). Вторая операция – подготовка и формовка внутреннего несущего слоя.

8.3.2.1 Формовка наружного несущего слоя и заполнителя

На декоративный слой наносится эпоксидная смола с отвердителем согласно операционной карте, в которой указывается количество связующего для каждой процедуры, и

массовая доля отвердителя в эпоксидной смоле. Смола наносится вручную при помощи гибкого (обычно резинового) шпателя, с усилием не превышающим поверхностную прочность декоративного слоя, до равномерного распределения по всей площади матрицы.

Вслед за этим на жидкую смолу выкладывается стеклоткань наружного несущего слоя согласно технологической карте раскроя ткани (см. рисунок 41). Необходимо выдерживать заданное направление волокон стеклоткани, допуск на отклонение не более 5 градусов. Стеклоткань выравнивается без механических повреждений до исчезновения складок при помощи специального тампона. При выкладке отдельных кусков необходимо обеспечить между ними перехлест 20-25 мм.

На выложенную стеклоткань наносится эпоксидная смола, размешанная с отвердителем, для окончательной пропитки стеклоткани и обеспечения прилипания пенопластового заполнителя. Пропитка стеклоткани осуществляется до исчезновения непропитанных участков и воздушных пузырей между тканью и декоративным слоем вручную при помощи шпателя.

Далее, на пропитанную стеклоткань наружного слоя по упорам выкладывается листы пенопластового заполнителя, и фиксируются на 10-15 минут при помощи технологических прижимов. Это необходимо для обеспечения действия капиллярного эффекта, вследствие которого пенопласт прилипает к стеклоткани, и после снятия прижимов остаётся в необходимом месте. Так же на ткань укладываются по технологическим упорам предварительно промазанные смолой закладные бобышки из различных материалов (дюралюминиевых сплавов, фанеры).

После снятия прижимов на пенопласт и открытые места наружного несущего слоя выкладывается дренажная ткань, обычно используется неотожённая (пропитанная парафином) электроизоляционная стеклоткань марки Э-3-200. Дренажная ткань обеспечивает удаление излишков смолы и следовательно снижение веса конструкции, а так же для равномерного распределения отсоса воздуха из под вакуумного мешка.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях между дренажной тканью и открытыми участками пропитанной смолой стеклоткани выкладывается дренированный разделительный слой (полиэтиленовая плёнка). Применение такого метода обусловлено временем технологического процесса формирования и последующей обработки поверхности перед нанесением третьего слоя (внутреннего несущего слоя).

Перед укладкой дренажного слоя необходимо обрезать припуски обшивки (стеклоткани), выходящие за пределы матрицы и очистить фланец матрицы от эпоксидной смолы по всему периметру при помощи растворителя (обычно ацетона). После высыхания растворителя необходимо выложить на фланец матрицы герметизирующую замазку (герме-

тик МС-50). На поверхность дренажной ткани укладывается дюралевая дренажная трубка наружным диаметром 18-20 мм, соединённая с вакуумным насосом резиновым шлангом. Диаметр дренажных отверстий в трубке, расположенных с шагом в 20 мм в шахматном порядке вдоль всей трубки, должен быть в пределах от 3-4 мм. Трубка должна быть обернута дренажной тканью для предотвращения забивания дренажных отверстий эпоксидной смолой. После фиксации дренажной трубки, укладывается вакуумный мешок (полиэтиленовая плёнка толщиной 0,12 мм) и тщательно герметизируется пространство между матрицей и вакуумным мешком при помощи герметика (аналогично схеме на рисунке 27).

После включения вакуумного насоса, в процессе откачки воздуха из-под вакуумного мешка необходимо контролировать равномерность распределения и натяжения плёнки.

Вакуум контролировать вакуумметром, остаточное давление под вакуумным мешком должно быть не более 0,03 кПа. Оптимальное время выдержки формируемого изделия под вакуумом составляет не менее 6 часов при температуре $t=20 - 25^{\circ}\text{C}$ и влажности воздуха в помещении, в котором производятся работы, не более 60%. После выключения вакуумного насоса выдержать сборку при нормальном давлении до снятия вакуумной оснастки не менее 8 часов.

8.3.2.2 Подготовка и формовка внутреннего несущего слоя.

Подготовка стеклоткани заполненной затвердевшим связующим (стеклопластик), заключается в абразивной обработке глянцевой поверхности до необходимой шероховатости. Поверхность пенопластового заполнителя обрабатывается только в местах выхода на внутреннюю поверхность эпоксидного связующего. Остатки абразива и материала после обработки необходимо тщательно удалить пылесосом с внутренней поверхности обшивки, перед следующим этапом формовки.

На обработанный заполнитель и несущий слой наносится связующее, согласно операционной карте. При помощи резинового шпателя связующее равномерно распределяется по поверхности внутреннего слоя со скоростью, необходимой для предотвращения преждевременной пропитки пенопласта смолой. Далее выкладывается раскроенная стеклоткань согласно схеме укладки с теми же требованиями что и для наружного слоя. После выравнивания стеклоткани производится окончательная пропитка эпоксидным связующим, до равномерного распределения заданного количества смолы по поверхности ткани.

Затем производится выкладка дренированного разделительного слоя (полиэтиленовая плёнка), по всей поверхности пропитанной стеклоткани.

Далее процедура повторяет формовку наружного несущего слоя.

Замечание: время выдержки под вакуумным прижимом внутреннего слоя может быть сокращено до 4 часов при температуре $t=20 - 25^0$ С и влажности воздуха в помещении, в котором производятся работы, не более 60 %.

По окончании всех процедур выполняется контроль готового изделия.

8.3.3 Обработка внутренней поверхности обшивки.

После полной полимеризации эпоксидного связующего, необходимо обработать внутреннюю поверхность обшивки согласно разметке, при помощи абразивного инструмента. Обрабатываются поверхности, к которым в дальнейшем будут приклеиваться элементы каркаса крыла (лонжерон, нервюры и т. д.). После обработки необходимо удалить пылесосом абразив и остатки материала с внутренней поверхности обшивки.

8.4 Технология сборки отделяемой части крыла из ПКМ

8.4.1 Особенности разработки схем членения при сборке агрегатов из ПКМ методом склеивания.

Самым распространённым процессом сборки для агрегатов, в которых от 85 до 95 % деталей изготовлены из композиционных материалов (стекло- и углепластиков) и где широко применяются трёхслойные панели с заполнителями из пенопластов, является процесс склейки деталей между собой при помощи клеев различных марок. При разработке схем членения для таких агрегатов необходимо дополнительно учитывать тот факт, что технологический процесс склейки эпоксидными компаундами (например, для сборки ОЧК самолёта «Ястреб» применяется клей марки К-153) занимает ограниченный временной промежуток, поэтому одним из главных критериев является уменьшение количества деталей одновременно поступающих на сборку.

Для обеспечения этого условия рекомендуется в процессе проектирования каких-либо агрегатов объединять детали, выполняющие различные конструктивные функции в одну, и изготавливать их совместно за один технологический цикл. Таким образом, включая одни детали в другие можно добиться уменьшения общего количества деталей в сборке. Примером применения такого подхода является технология изготовления обшивки крыла самолёта «Ястреб», в конструкцию которого включены полки концевой и корневой нервюры. На рисунке 42 представлена технологическая схема членения ОЧК лёгкого само-

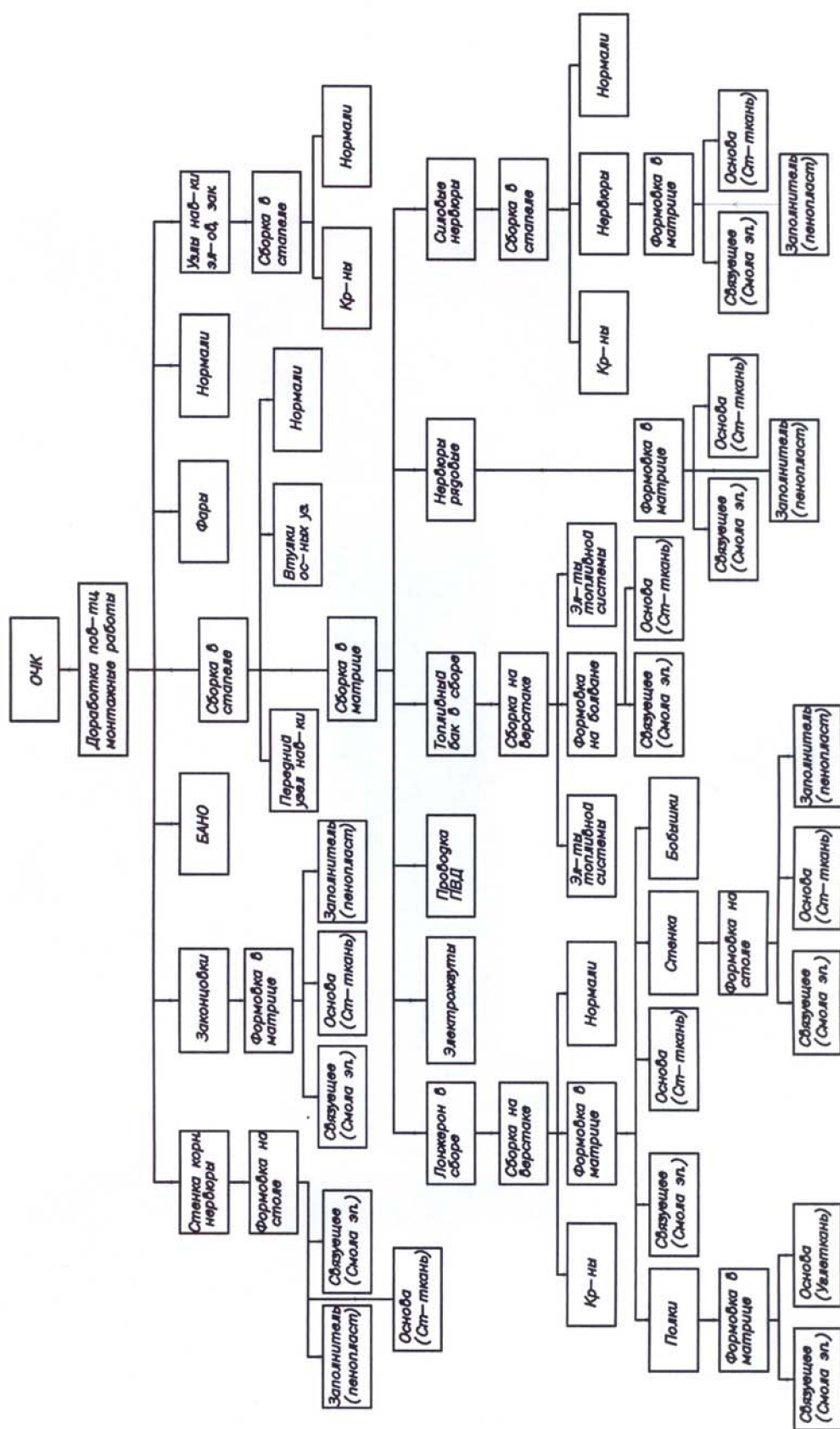
лёт «Ястреб». На схеме показаны детали, которые последовательно подаются в сборочное приспособление.

8.4.2 Схема сборки крыла лёгкого самолёта типа «Ястреб»

Все схемы сборки подчиняются следующему основному правилу: подавать на общую сборку меньшее количество элементарных деталей и больше максимально укомплектованных младших сборочных единиц. При разработке схемы сборки крыла были выделены несколько младших сборочных единиц: нервюры с узлами крепления кронштейнов навески элерона и закрылка, лонжерон с бобышками под основные узлы навески ОЧК и кронштейнами крепления качалок управления и т.д.



Рисунок 42 – Схема членения крыла лёгкого самолёта.



Такое разбиение на сборочные единицы позволило расширить фронт работ и сократить общий цикл изготовления крыла. На рисунке 43 показана схема сборки ОЧК самолёта на примере лёгкого самолёта «Ястреб».

8.4.2.1 Способ сборки и метод базирования на примере крыла лёгкого самолёта

Так как конструктивно крыло лёгкого самолёта «Ястреб» представляет собой обшивку из трёхслойных стеклопластиковых панелей и силового каркаса из таких же панелей, то способом соединения каркаса и обшивки между собой является склейка при помощи эпоксидного клея (К-153) с различными наполнителями. Обычно в качестве наполнителя используются древесные опилки определённого размера. Однако возможно применение и других наполнителей. Сборка на клею имеет ряд преимуществ, например нет монтажных напряжений как при сварке или поводки агрегата как при клёпке. К недостаткам такого метода относится ограничение по времени сборки из-за определенного времени полимеризации эпоксидного клея и усадка клея в процессе затвердевания.

Гладкая стеклопластиковая обшивка имеет существенное преимущество по аэродинамике перед клёпанной. К тому же с помощью правильных методов базирования при сборке можно добиться эталонной точности обводов крыла, что позволяет существенно повысить аэродинамические характеристики крыла и всего самолёта в целом.

При сборке крыла самолёта «Ястреб» была использован метод базирования по внешней поверхности обшивки, который относится к способу сборки по установочным базам (в данном случае носителем размеров является матрица, в которой изготавливается обшивка крыла).

Для повышения точности сборки крыла оснастка для изготовления обшивки является ещё и сборочным приспособлением, причем обшивка после формования не вынимается из матрицы. Такой метод увеличивает цикл изготовления крыла поскольку приходится последовательно изготавливать одну консоль крыла за другой. Однако это приемлемо в условиях единичного производства, к тому же при этом устраняется погрешность, возникающая при подгонке панелей обшивки в стапельную оснастку. Необходимо заметить что стеклопластиковые агрегаты типа панелей больших размеров (например обшивку крыла) нежелательно изымать из матриц и хранить в свободном состоянии поскольку нежесткая панель по мере окончательной полимеризации эпоксидной смолы (около 4 недель) может существенно деформироваться.

8.4.2.2 Схема увязки оснастки при сборке крыла лёгкого самолёта.

Для уменьшения погрешности при сборке крыла самолёта используется эталонно – шаблонный метод увязки, модифицированный с учетом единичного производства и современных методов проектирования и изготовления оснастки. Эталоном поверхности крыла в данном случае служит мастер-макет (болван) крыла, который может быть изготовлен вручную при помощи шаблонного метода или что более предпочтительно и даёт максимальную точность изготовления при помощи станка с ЧПУ. Основной погрешностью при такой схеме является погрешность изготовления болвана крыла. Эталон поверхности представляет собой жёсткий носитель размера, с которого снимается методом слепка контрэталон поверхности – матрица крыла.

Матрица, как указывалось ранее, имеет двойное назначение, являясь оснасткой, как для изготовления детали (обшивки), так и для сборки крыла. Для изготовления эталона нервюры, в матрице изготавливается эталонная обшивка, для базировки на внутреннюю поверхность обшивки, причем при базировании макетируется на клеевой шов. По обшивке методом слепка изготавливается объёмный эталон внутренней поверхности обшивки (болван ВПО). Аналогичным методом по болвану ВПО изготавливается контрэталон нервюры (матрица нервюры) для изготовления в ней непосредственно деталей. Такие болваны и матрицы изготавливаются для всех типов нервюр, для расширения фронта работ (т.е. возможности изготавливать несколько нервюр одновременно). Монтаж узлов на нервюры производится при помощи сборочного приспособления фиксирующегося непосредственно на каждой детали.

Для сборки лонжерона изготавливается контрэталон поверхности (матрица лонжерона). Так как матрица лонжерона имеет простую форму с прямыми участками, она изготавливается непосредственно по рабочим шаблонам используя конструктивные чертежи агрегата. Сборка деталей с лонжероном, не выходящих на внешний контур, производится по разметке согласно сборочным чертежам.

Так как согласно схеме сборки вклейка каркаса производится в верхнюю поверхность обшивки для обеспечения фиксации нервюр в обшивке необходима сборочная оснастка (рубильники). Так как метод увязки эталонно – шаблонный, рубильники изготавливаются по болвану ВПО, установленному в матрицу крыла, с базированием на фланцы матрицы. Так как рубильник копирует внутреннюю поверхность обшивки он является так же фиксатором лонжерона по хорде крыла при сборке.

На рисунке 44 представлена схема увязки оснастки для крыла самолёта «Ястреб».

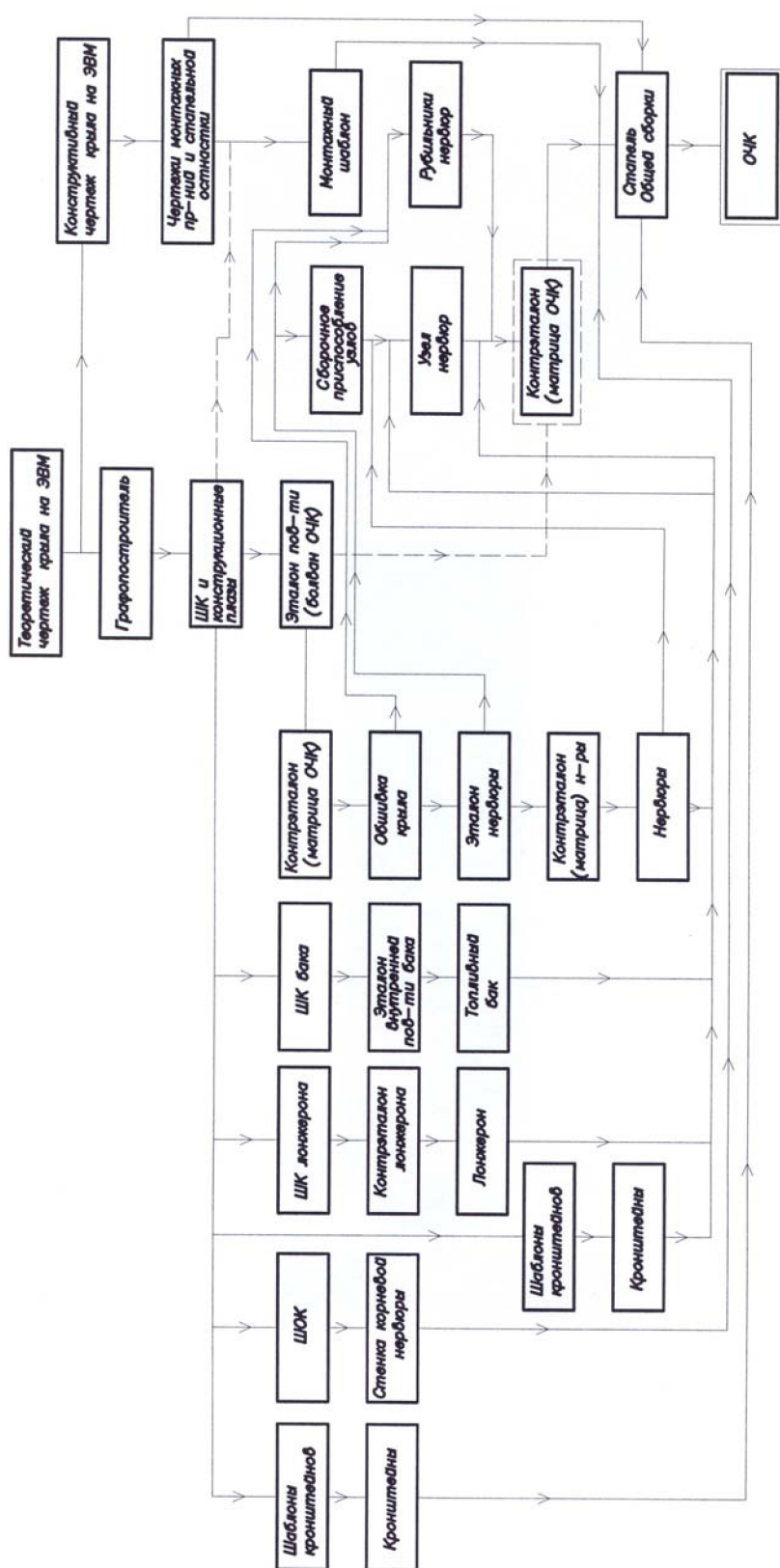


Рисунок 44 – Схема увязки оснастки для сборки крыла лёгкого самолёта.

8.4.3 Технологический процесс сборки крыла лёгкого самолёта.

8.4.3.1 Сборка подузла лонжерона (см. схему сборки ОЧК рис. 42)

В подсборку лонжерона входят соединение непосредственно лонжерона (для данного агрегата будем считать, что полки и стенка лонжерона, соединённые между собой в матрице – одна деталь) с бобышками усиления под узлы навески и кронштейнами крепления качалок управления.

Бобышки устанавливаются по разметки и закрепляются при помощи струбцин, соединение производится методом склейки, на эпоксидном компаунде К-153 со специальным наполнителем.

Кронштейны качалок попарно фиксируются по базовой поверхности, закрепляются струбциной и по направляющим отверстиям в одном из кронштейнов производится совместное рассверливание отверстия под стыковые болты. После этого отверстия обрабатываются разверткой, и производится сборка кронштейна с втулками узла навески методом расклёпки.

После разворачивания втулок, кронштейны собираются попарно на калибре разъема по стыковым отверстиям, устанавливаются на лонжерон по разметке и закрепляются при помощи струбцин. После совместного рассверливания кронштейнов и лонжерона по направляющим отверстиям, производится сборка при помощи болтов. Примечание: при сборке посадочные места кронштейнов и лонжерона промазываются эпоксидным компаундом К-153 по вышеописанной технологии.

8.4.3.2 Сборка подузла нервюры

Технологической особенностью сборки данного крыла является сборка при помощи оснастки для изготовления обшивок (матрицы), поэтому для монтажа узлов навески элементов и закрылков необходимо обеспечить взаимную увязку соединяемых узлов находящихся снаружи и внутри крыла. Для обеспечения этого условия изготавливается сборочный стапель по болвану ВПО методом слепка, на который по ШК наносится разметка и СО.

В стапель устанавливается нервюра, уголки кронштейнов и сам кронштейн навески узла, причём нервюра фиксируется по контуру, кронштейн по СО, уголки по упорам. Все закрепляется при помощи прижимных приспособлений. Затем происходит присверливание

ние уголков с кронштейном по направляющим отверстиям и клёпка вручную. Таким же образом соединяются и уголки с нервюрой. Затем производится совместное рассверливание внутренних и наружных уголков, после чего готовые узлы вынимаются из стапеля и производится внестапельная доработка – клепка анкерных гаек во внутренние уголки нервюры. Необходимо промаркировать каждую пару узлов для последующей общей сборки крыла.

Для получения сборочных отверстий под кронштейны навески элеронов и закрылков необходимо установить нервюры на поверхности нижней обшивки, зафиксировать при помощи рубильников и нанести разметку на внутреннюю поверхность обшивки по готовым отверстиям в кронштейнах нервюр. После снятия оснастки и нервюр сверлятся СО по разметке на внутренней поверхности обшивки.

8.4.3.3 Общая сборка крыла самолёта

Технологический процесс сборки состоит из ряда типовых операций. Для данного крыла группы операций подразделяются на: подготовку поверхности склеиваемых изделий, установка и фиксация элементов сборки (собственно сборка), освобождение от фиксаторов и прижимов и выемка из матрицы, сборка в стапеле, внестапельная доработка. Рассмотрим этапы сборки подробнее.

- **Подготовка склеиваемых поверхностей.**

Так как сборка элементов каркаса с обшивкой крыла происходит методом склеивания, необходимо тщательно обработать склеиваемые поверхности перед сборкой. Обычно обработка ведётся абразивным инструментом согласно разметке выполненной по сборочному чертежу. Примечание: после обработке поверхностей абразив и стеклопластиковую пыль необходимо удалить с склеиваемых поверхностей.

- **Сборка в матрице (соединение).**

В данном техпроцессе сборка и фиксация объединены в одну операцию, поскольку установленные элементы каркаса необходимо тут же зафиксировать, для предотвращения образования незаполненных участков в клеевом шве.

Перед склейкой на полку корневой нервюры, выполненную заодно с обшивкой необходимо смонтировать на заклёпках анкерные гайки для крепления стенки корневой нервюры. Сверление отверстий под анкерные гайки производится по ШК, который устанавливается по поверхности матрицы и закрепляется при помощи специальных винтовых прижимов (струбцин).

Клеящий состав наносится в два этапа. Сначала склеиваемые поверхности промазываются эпоксидным компаундом К-153, смешанным с отвердителем без наполнителя. Клей на склеиваемые поверхности наносится вручную, при помощи шпателей различной формы. Затем клей К-153 смешивается с наполнителем (обычно с мелкими древесными опилками) до консистенции, исключающей его растекание, и наносится слоем определённой толщины на те же поверхности. Клей с наполнителем выкладывается при помощи профилированного шприца для обеспечения равномерного нанесения. Замечание: промазываются без наполнителя обе прилегающие поверхности, клей с наполнителем наносится только на поверхность каркаса (нервюры, лонжерон).

В начале в верхнюю обшивку крыла лежащую в матрице устанавливается лонжерон и фиксируется по сборочным отверстиям. Закрепление происходит монтажными болтами и струбцинами. Далее необходимо удалить лишний клей из места стыка обшивки и лонжерона вручную, при помощи шпателей. После этого в обшивку устанавливаются рядовые нервюры по разметке, а силовые по упорам и закрепляются при помощи рубильников. Необходимо повторить процедуру удаления лишнего клея и для нервюр.

После окончательной полимеризации смолы, удаляются те прижимы и приспособления, которые препятствуют дальнейшей сборке крыла (например рубильники нервюр).

Затем в крыло монтируется топливный бак, фиксирующийся по фиксаторам сборочного приспособления, и закрепляется при помощи прижимов. Процедура приклейки топливного бака аналогична процедуре приклейки обшивки и каркаса. Монтажными элементами соединяющими топливный бак с нервюрами являются трехслойные панельки, подгоняемые по месту, для надёжности пространство между баком и обшивкой заполняется монтажной пеной.

В специальные каналы на внутренней поверхности обшивки укладываются все необходимые элементы электросистемы (провода) и соединительных трубок для приборов (ПВД) согласно схеме проводок соответствующих систем.

Так как одновременному соединению верхней и нижней поверхности обшивки с силовым каркасом препятствовали рубильники, после их снятия необходимо соединить каркас и нижнюю поверхность обшивки. Процедура нанесения клея аналогична вышеописанному. После нанесения клея нижняя обшивка вместе с матрицей устанавливается на силовой каркас. Матрица нижней поверхности крыла при этом фиксируется на матрице верхней поверхности крыла по фланцевым стыкам и по сборочным отверстиям. Закрепление (стягивание) матриц происходит по технологическим упорам при помощи монтажных болтов. Матрицы необходимо расположить таким образом, чтобы матрица нижней по-

верхности обшивки оказалась внизу. Примечание: необходимо по возможности удалить излишки смолы из места сочленения каркаса.

- Выемка из матрицы.

После окончательной полимеризации смолы необходимо разъединить матрицы. В настоящее время эта процедура выполняется при помощи толкателей, установленных на матрицах. Выемка готового изделия (крыла) из одной половинки матрицы производится домкратом с упором в лонжерон крыла. Необходимо контролировать усилие выемки, оно не должно превышать эксплуатационных нагрузок на крыло.

Более предпочтительным является способ отделения матриц от готового изделия сжатым воздухом. Этот способ гарантирует исключение возможности повреждение конструкции крыла и снижает трудоемкость процесса отделения матриц.

- Сборка в стапеле

Для монтажа узлов навески крыла (передний узел навески, втулки основных узлов навески) крыло устанавливается в стапельную оснастку. В стапельной оснастке установлен ответный агрегат (фюзеляж с узлами навески крыла) Для основных узлов навески по направляющим отверстиям в шпангоуте производится рассверливание отверстий под втулки в лонжероне крыла с припуском на клейку. Затем производится клейка втулок навески на эпоксидном компаунде К-153 с наполнителем, как в лонжерон крыла, так и в шпангоут фюзеляжа, совместно, при помощи монтажного болта. Примечание: вследствие схемы крепления крыла на фюзеляже необходимо производить сборку втулок основных узлов навески одновременно для левой и правой консоли крыла.

Передний узел навески устанавливается по разметке и закрепляется при помощи струбцин на ответном шпангоуте фюзеляжа. Производится присверливание узла к крылу по направляющим отверстиям и монтаж при помощи стыковых болтов. Затем производится совместное рассверливание отверстий в узле и шпангоуте по направляющим отверстиям в переднем узле навески.

- Внестапельные работы.

К данному виду работ на крыле относиться удаление облоя (излишков смолы после склейки), монтаж стенки корневой нервюры, монтаж узлов навески элеронов и закрылков и монтаж законцовки крыла.

Стенка корневой нервюры устанавливается в сборочное положение по сборочным отверстиям при помощи винтов. Отверстия под винты в стенке нервюры сверлятся по ШОК непосредственно при изготовлении нервюры. Соединение стенки с полками происходит при помощи эпоксидного компаунда К-153 со специальным наполнителем.

Монтаж кронштейнов осуществляется по сборочным отверстиям в обшивке крыла. Соединение происходит при помощи болтов.

Сборка крыла с законцовкой осуществляется при помощи склейки на смоле К-153 с наполнителем. Установка производится по поверхностям самих деталей, увязка достигается за счёт оснастки (матрице) в которой изготовлена законцовка. Фиксация производится монтажными болтами по сборочным отверстиям с последующим совместным прижимом при помощи специальных струбцин.

После отделения матриц отъемная часть крыла устанавливается на ложементы для контроля и устранения мелких дефектов наружной поверхности при помощи полиэфирной шпатлёвки, после чего поверхность крыла обрабатывается абразивным инструментом для подготовки поверхности к покраске.

По окончании всех процедур производится контроль готового изделия.

8.5 Технология изготовления и сборки фюзеляжа из ПКМ

Фюзеляж состоит из правой и левой обшивок, трёх силовых шпангоутов, двух рядовых шпангоутов, двух килевых лонжеронов и шпангоутов, двух бимсов (рис. 45).

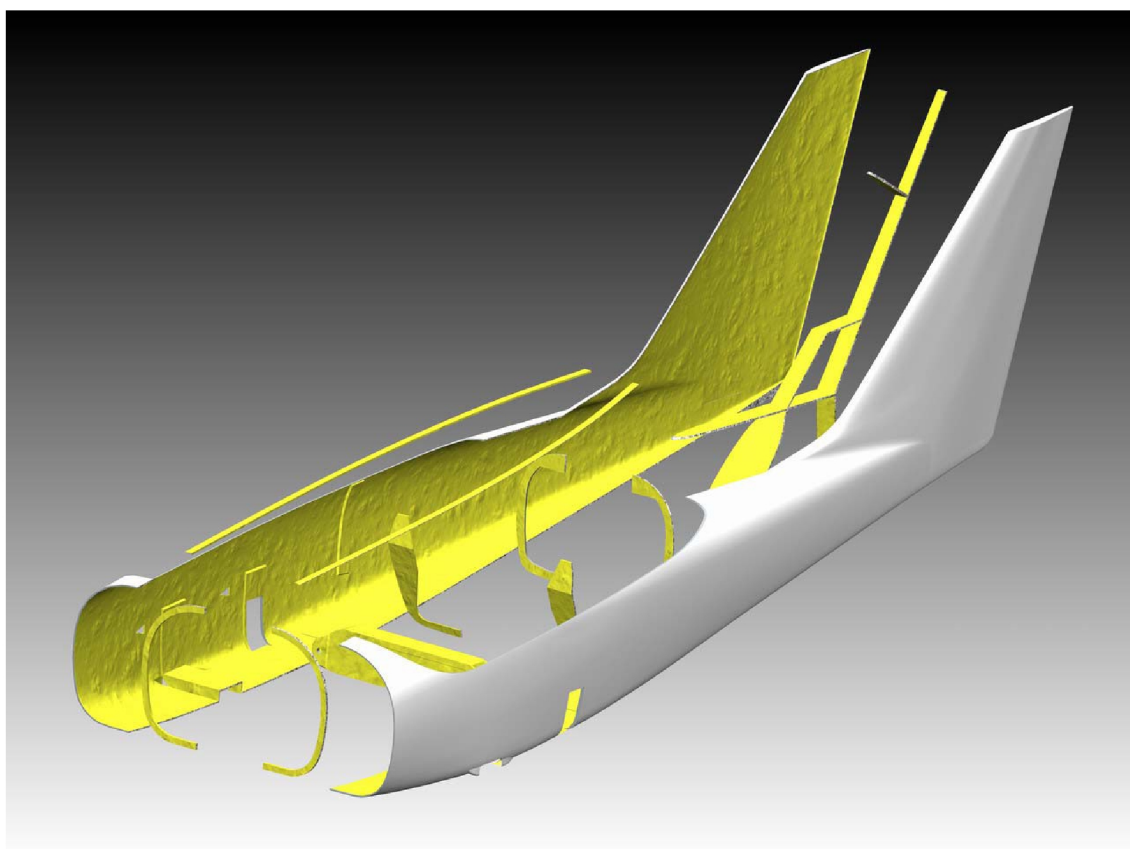


Рисунок 45 – Схема технологического членения легкого самолета.

Схема процесса изготовления фюзеляжа приведена на рисунке 46

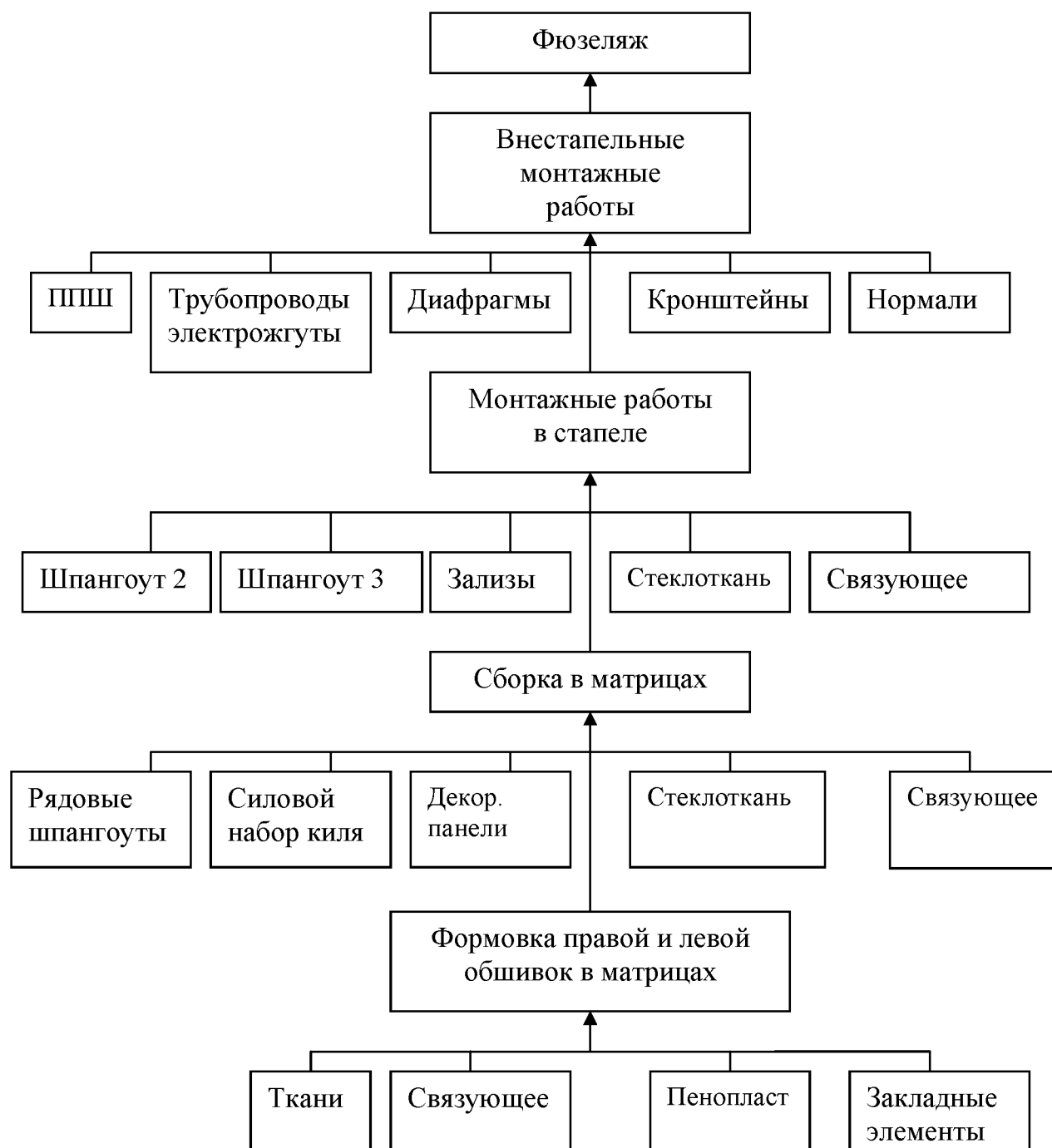


Рисунок 46 – Блок-схема изготовления обшивки и сборки фюзеляжа.

Технология изготовления обеих трехслойных обшивок фюзеляжа полностью аналогична технологии изготовления верхней и нижней обшивок крыла, кроме несколько большей трудоемкости процесса выкладки пенопласта из-за наличия вертикальных поверхностей.

В качестве стапеля для сборки фюзеляжа используется оснастка (матрица) для изготовления обшивок. Для мелкосерийного производства это вполне оправдано, так как уменьшается количество оснастки, а соответственно и её стоимость.

Сборка осуществляется с базированием на внешний контур. Поскольку, после формовки обшивок, они не извлекаются из матрицы, погрешность сборки сводится к минимуму. До соединения обшивок в матрицах в каждую из них клеиваются полушпангоуты и силовые элементы кия. Все необходимые для этого приспособления и оснастка изготавливаются по обшивкам.

Бимсы формируются непосредственно на обшивках. Приспособление для их формовки устанавливается на матрицу. Этим осуществляется их увязка с обшивкой.

По макетам половин рядовых шпангоутов, устанавливаемых в обшивке фюзеляжа изготовленные приспособления для их формования. Эти приспособления фиксируются к матрицам по КФО (рис 47, а). Соответственно они задают правильное сборочное положение сегментов шпангоутов и осуществляют их режим при сборке с обшивками. Фактически применяется база по внешнему контуру шпангоута.

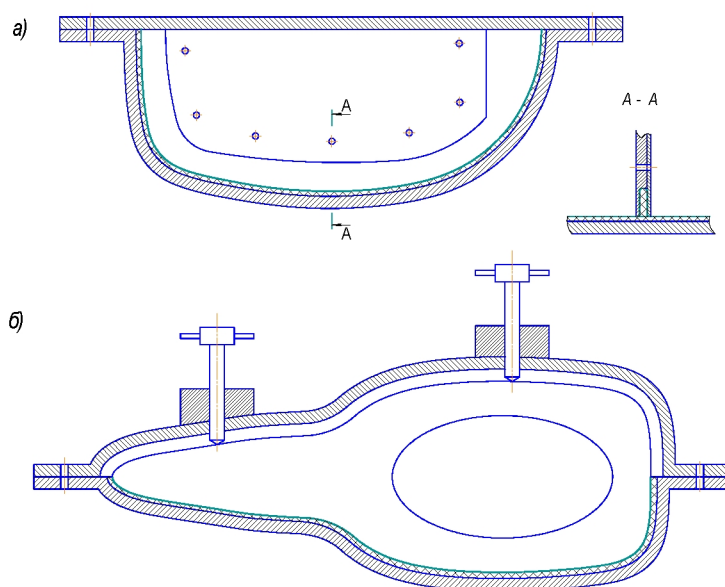


Рисунок 47 – Схема вклейки рядовых шпангоутов по КФО.

Для силового набора кия также по обшивкам изготовлены эталоны, которые были сняты с контрольных слепков. То есть базирование силового набора осуществляется по внутреннему контуру обшивок. Поэтому в этих местах нужно выдержать толщину обшивок. Это обеспечивается применением калиброванного пенопласта, отсутствием нахлестов несущих оболочек в плоскостях силовых элементов кия и высокой квалификацией.

Каркас киля устанавливается в правильное сборочное положение по упорам, зафиксированным на матрице, а также специальными прижимами винтового типа (рис. 47, б). Эти прижимы упираются двумя своими точками в каркас. Стяжка происходит до тех пор, пока не выберется зазор между крепежными точками прижима и матрицы. Такое возможно благодаря достаточной жесткости лонжеронов и шпангоутов.

Для монтажа панелей интерьера нет необходимости в применении точных методов базирования. Но из технологических соображений применяется база на внешний контур декоративных панелей.

Сборка двух обшивок фюзеляжа осуществляется двумя методами. Соединение в недоступных местах осуществляется по типу соединения хвостовой части крыла. В остальных местах стык проклеивается изнутри стеклолентой. Затем фюзеляж освобождается от матриц, и стык проклеивается снаружи по специально отформованным подсечкам. Доработка стыка с внешней стороны происходит без применения шаблонов. Критерием контроля при этом является визуальная и тактильная плавность.

Далее фюзеляж устанавливается и фиксируется в приспособлении для монтажа силовых шпангоутов. Шпангоуты устанавливаются по ОСБ и проклеиваются с обшивкой фюзеляжа стеклолентами. Первый шпангоут, являющийся противопожарным, изготовлен из алюминиевого сплава. На фюзеляж он устанавливается по специально отформованной подсечке, сверлится и клепаются.

По окончании всех процедур производится контроль готового изделия (см. гл. 6).

Заключение

По отношению к металлическим сплавам, ПКМ можно считать новыми конструкционными материалами, о достоинствах и недостатках которых отечественные машиностроители информированы существенно меньше.

В представленном пособии приведены сведения о полимерных конструкционных материалах, их структуре, компонентах, свойствах, методах изготовления, способах и местах применения, достоинствах и недостатках. Описана технология изготовления несущих элементов конструкций, широко применяемых при изготовлении легких самолетов. Эта информация позволит студентам, проходящим практику в МКБЛА, а так же специалистам промышленных предприятий, занятым выпуском комплектующих изделий для аэрокосмической техники, получать, закреплять и совершенствовать знания в областях материаловедения, проектирования, конструирования и эксплуатации летательных аппаратов и других транспортных средств, в которых несущие элементы выполняются из ПКМ.

Данное учебное пособие может служить базой для разработки ряда учебно-методических пособий по технологиям изготовления деталей и агрегатов легких самолетов и других транспортных средств.

Список использованной литературы.

1. Пластические массы, №7, 2003, с. 35.
2. Композиционные материалы: Справочник / В.В.Васильев, В.Д.Протасов, В.В. Болотин и др.; Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.: ил.
3. Композиционные материалы: Справочник / Л.Р.Вишняков, Т.В.Грудина, В.Х. Кадыров и др. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 592 с.
4. Альперин В.И., Корольков Н.В., Мотавкин А.В. и др. Композиционные материалы. – М.: Химия, 1979. – 360 с.: ил.
5. Неметаллические материалы и методы их обработки. – Минск.: Дизайн ПРО, 1998. – 240 с.: ил.

Учебное издание

*Бзатов Владимир Иванович,
Кропивенцев Дмитрий Александрович,
Шахмистов Владимир Михайлович и др.*

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Редакторская обработка *Т. Ю. Детцова*
Корректорская обработка *О. Ю. Дьяченко*
Доверстка *А. А. Нечитайло*

Подписано в печать 11.12.06. Формат 60х84 1/8
Бумага офсетная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 13,02. Усл. кр.-отт. 13,14. Печ. л. 14,0
Тираж 50 экз. Заказ ИП-4 МО/2006

Самарский государственный аэрокосмический университет
443086, Самара, Московское шоссе, 34

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета
443086, Самара, Московское шоссе, 34