

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

Р. И. Гусева

Допущено Учебно-методическим объединением

высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений РФ, обучающихся по специальности 160100 «Самолето- и вертолетостроение» направления подготовки высшего профессионального образования 160000 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Министерство образования и науки Российской Федерации

6. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ	71
6.1. Изготовление сотовых заполнителей для панелей	73
6.2. Особенности пенопластовых заполнителей	77
6.3. Способы изготовления трехслойных панелей	78
6.4. Вариант изготовления трехслойных панелей с сотовым заполнителем в четыре перехода с применением одной формы	80
6.5. Вариант изготовления трехслойной панели с заполнителем в три перехода с применением двух форм	85
6.6. Изготовление носового обтекателя самолета	91
6.7. Изготовление композитной лопасти винта вертолета	92
6.8. Изготовление панели с фольгой и синтпретом	96
6.9. Особенности изготовления многослойных шумопоглощающих композитных панелей интерьера планера самолета	102
6.10. Особенности изготовления панели крыла легкого самолета с применением пенопласта	104
6.11. Особенности изготовления толстостенных изделий из углепластика	106
6.12. Особенности технологии изготовления тонкостенных тел вращения на смолах холодного и горячего отверждения	108
6.13. Отверждение тонких слоев угольного препрета в автоклаве	109
6.14. Формование обшивки переменной толщины в хвостовом оперении самолета	111
6.15. Варианты технологических процессов изготовления трехслойных конструкций с пенопластовым наполнителем	113
6.16. Полуучение длинномерных трубчатых изделий	117
6.17. Формование изделий из термопластов, армированных углеродными волокнами	122
6.18. Особенности изготовления технологической подложки со смолой холодного отверждения для неметаллической оснастки	123
6.19. Особенности изготовления технологической подложки со смолой горячего отверждения для неметаллической оснастки	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	134

2. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Производство стекловолокон из расплава

Промышленное производство выпускает стекловолокна двух основных типов – непрерывную нить и штапельное (рубленое) волокно.

Для получения стекла и стеклянных волокон (нитей) используют шесть основных компонентов: кварцевый песок (кварц), известняк, борную кислоту, глину, уголь и полевые шпаты. Изготавливают стекло из расплава или из раствора.

Технологический процесс получения стеклянных волокон из расплава включает следующие операции:

- дробление всех компонентов на мелкие частицы, перемешивание;
- подачу в плавильную высокотемпературную печь (температура плавления смеси компонентов составляет примерно 1290 °С);
- расплавление компонентов, получение расплава стекла;
- истечение жидкой струи под давлением из фильер в прядильную шахту. Материалом фильер служит платина, часто для повышения износостойкости в отверстия фильер вставляют алмазные втулки требуемого диаметра;
- отверждение струи идет в прядильной шахте (рис. 2.1): получение моноволокна из расплава диаметром 0,05...0,50 мм, с одновременной вытяжкой еще горячего моноволокна до диаметра примерно 13 мк;

рукции из полимерных хлоридов, например, поливинилхлорид (ПВХ) и полиакрилонитрил (ПАА). Эти материалы используются для изготовления изделий, требующих высокой прочности и жесткости.

У углепластиковых изделий, например, предел прочности при растяжении составляет 100-150 МПа, модуль упругости – 100-150 ГПа, коэффициент теплового расширения – 10-15 мкм/м·°С.

Покрытия, например, «железные» и «алюминиевые» покрытия, используются для защиты изделий от коррозии и для придания им специальных свойств. Эти покрытия наносятся на изделия из полимерных композитов с помощью различных методов, например, окунания, напыления, электроосаждения и т.д.

В отличие от металлических материалов на механические характеристики полимерных композитов оказывает большое влияние история его изготовления, то есть состояние сырья, условия изготовления и сроки хранения исходных компонентов, характеристики каждого из компонентов композита, технология получения исходных компонентов. Все эти данные заносятся в специальный документ (паспорт).

3) Препрети – полуфабрикаты ориентированного полимерного композиционного материала, наполнитель которого пропитан связующим, затем подсушен в сушильных камерах до состояния «глина» (на пальцах не остаются следы связующего). В качестве наполнителя используют волокна, ленты или ткани из стекло-, угле- или органических волокон.

Препрети более технологичны, чем неподсушенные, пропитанные связующим ткани и ленты, на них нет мокрых потоков связующего, слой связующего на ткань нанесен равномерно без пустот и сучков. За счет этого препрети обеспечивают более стабильные прочностные характеристики изделия при окончательном формовании. Кроме того, работа с препретами повышает общую культуру производства, обеспечивает большую безопасность работникам при работе с вредными веществами.

4) Высоконаполненные композиции – полимерные композиционные материалы, которые непосредственно изготавливают перед работой, содержат до 55 – 60 % хаотически или ориентированного наполнителя.

5) Синпрети – полуфабрикаты полимерного композита, в котором в качестве наполнителя используют тканевый препрет, на одну сторону которого нанесен суспензией из полимерного связующего и стеклянных стекломикросфер.

Полимерные композиционные материалы обладают рядом уникальных свойств, не свойственных никакому другому материалу:

1) Прочность σ_p и деформация ϵ полимерного композиционного материала в значительной степени зависят от объема наполнителя V_n по отношению ко всему объему композита V .

При увеличении объема армирующего материала (наполнителя) в ПКМ повышаются механические характеристики (например, предел прочности при растяжении, изгибе, модуль упругости), но такое явление наблюдается до некоторого значения V_n/V (примерно 47 – 67 %). При дальнейшем увеличении объема наполнителя V_n механические характеристики ПКМ снижаются.

Иллюстрация этого свойства приведена на рис. 1.4.

2) Полимерные ориентированные композиты обладают свойством *анизотропии*, то есть их прочностные и жесткостные (деформативные) характеристики меняются в зависимости от типа переплетения волокон, схемы их укладки по отношению к оси направления нагрузки. Для оценки свойств анизотропии ПКМ вводят понятие угла армирования ϕ (угол между направлением основы ткани (или нагрузки) и направлением укладки волокон или нитей) (рис. 1.5).

Чтобы получить равнопрочный ПКМ (т.е. придать материалу свойство изотропности, когда по всем направлениям напряжения с примерно

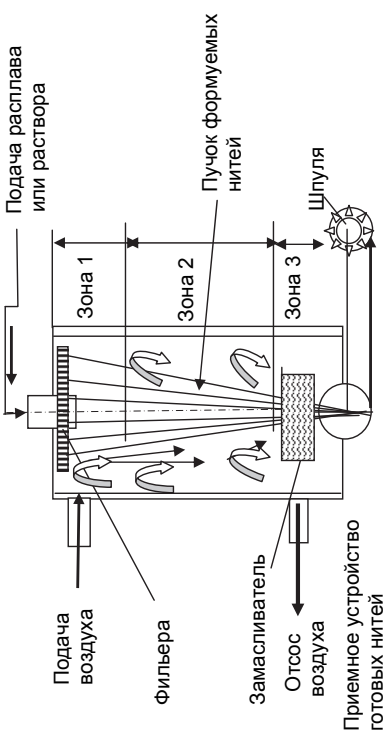


Рис. 2.1. Прядильная шахта

При формировании нити через шахту циркулирует холодный или теплый воздух, способствующий обдуванию нити и удалению из нее растворителя.

Полученные нити кондиционируют, то есть просушивают, выдерживают в определенных условиях для дальнейшей переработки в товарную продукцию (ткани, ленты).

Процесс отверждения моноволокон идет в течение десятых и сотых долей секунды.

Получают стекловолокна и из стеклосфер. Такой способ эффективен при раздельном производстве компонентов ПКМ или при кооперации предприятий. Расплав стекла вначале перерабатывается в стеклосферы, отдается на хранение до востребования, затем из стеклосфер по мере необходимости получают нити.

Штапельное рубленое волокно длиной 7...300 мм получают из расплавленной стекломассы способом воздушного вытягивания, дутьевым, центробежным или комбинированным способом.

• затем волокна покрывают замасливателем и наматывают на шпулю со скоростью 3,2 км/мин.
За счет уменьшения диаметра и ориентации молекул вдоль оси волокна ему придается большая гибкость и прочность.

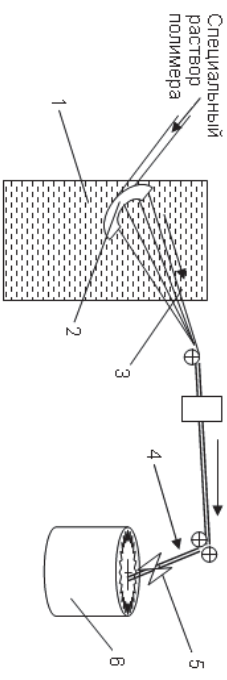


Рис. 2.2. Схема формирования нити из раствора.

- 1 – осадительная ванна с нерастворителем; 2 – фильера;
- 3 – фиксированные полимерные волокна; 4 – готовые нити;
- 5 – устройство для крутки нити; 6 – центрифуга для укладки нитей

Иногда для получения большей прочности получают нить "прожонят" через систему роликов, которые еще более ориентируют макромолекулы. Затем полученные волокна проводят через пластификационную ванну с нагревом до 95 °С разбавленной кислотой для большей вытяжки и повышения пластичных свойств нити.

ПАН-волокна, полученные методом мокрого формования, очень эластичны, могут растягиваться в 3 – 11 раз больше исходной длины. Такие волокна являются отличными сырьевыми волокнами для получения углеродных волокон.

2.4. Получение углеродных волокон пиролизом

Углеродные или углеродные волокна высокого качества получают из исходных сырьевых волокон в результате химической реакции **пиролиза** в нейтральной среде в специальных высокотемпературных ваннах.

Углеродные волокна в зависимости от используемого типа сырья имеют существенные различия в структуре и механических свойствах, поэтому в паспорте на углеродное волокно важно указать, из какого сырья получены волокна.

Мировые лидеры по производству углеродных волокон на основе ПАН в настоящее время – это фирмы Hercules (США), Тора, Мицубиси Рээн, Нихон-карбон (Япония); на основе обычных пеков – фирмы Курека Катаху (Япония), Setoim (Франция), Comptelac (Великобритания); на основе жидкокристаллических пеков – Sigril (ФРГ), UCC (Union Carbide Company) (США).

Схемы, показывающие уровень производства и потребления углеродных волокон в различных странах, показаны на рис. 2.3 и 2.4.

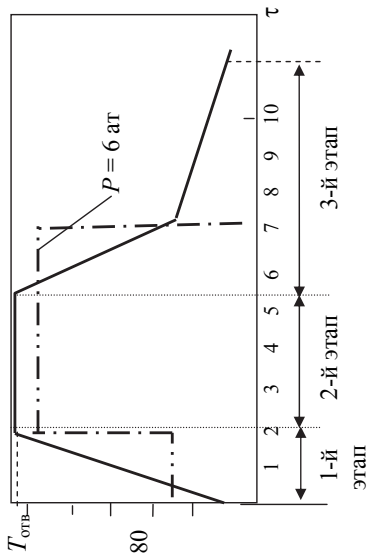


Рис. 3.1.1. Простой цикл отверждения

На первом этапе формирования проводят нагрев полуфабриката изделия до температуры отверждения.

Скорость нагрева для обеспечения равномерного прогрета по толщине изделия должна быть 1,0...1,5 град/мин. При достижении температуры 80 °С подают давление предварительного формирования, равное 2 ат, и продолжают нагрев до температуры отверждения.

На втором этапе проводят выдержку изделия 9...10 ч при температуре отверждения, давление доводят до давления окончательного формирования $P = 6$ ат.

На третьем этапе уже отвержденное изделие *охлаждают* до температуры 40...45 °С со скоростью, равной скорости нагрева 1,0...1,5 град/мин. При этой температуре снимают давление предварительного формирования.

Высоковязкие смолы с максимальной температурой отверждения лучше отверждать по ступенчатому циклу (рис. 3.2).

На первом этапе формирования при ступенчатом цикле отверждения изделие отверждают до температуры отверждения. Скорость нагрева также должна быть 1,0...1,5 град/мин. При достижении температуры 45...80 °С в пресс-форму (или в автоклав) подают давление предварительного формирования, равное 2 ат.

На втором этапе проводят выдержку изделия при достижении температуры до 100...120 °С изделия в течение 1,0...3,0 ч (начинают предварительное формирование).

• (рис. 3.3) являясь вязким смолом, как правило, простому циклу отверждения.

У связующих горячего отверждения отверждение идет в присутствии отвердителей – ароматических полиаминов или диполиаминов, ангидридов кислот, ароматических аминов, бензилдиметиламина, специальных отвердителей 9, 4,4.

Если в качестве отвердителя применяют алифатические амины, то время жизнеспособности смолы лежит от нескольких минут до нескольких часов, если для отверждения использовать ароматические амины, то время "жизни" смолы 24 ч и более, если для эпоксидных смол в качестве отвердителя выбрать ангидриды кислот, то отверждение может идти меслами. Если в состав смолы добавить ускорители, то время процесса отверждения резко уменьшается.

Смолы горячего отверждения принято классифицировать по температуре отверждения:

- отверждаемые при температуре 155...175 °С (первая группа);
- отверждаемые при температуре 130...150 °С (вторая группа).

Смолы первой группы имеют более высокую прочность, поэтому их используют для получения достаточно силовых конструкций.

В табл. 3.1 приведены примеры марок связующих и температуры их отверждения.

Таблица 3.1
Марки связующих и температуры их отверждения

Марка связующего	Температура отверждения, °С	Время отверждения, ч	Наполнитель
Эпоксидное S-211Б	150	6	Любой
Эпоксифенольное связующее ЭНФБ	165	6	Углеродный наполнитель ДУ-П-0,1
Эпоксифенольное связующее ЭНФБ	175	6	Наполнитель ЭДУР
ЭНФБ или S-211БН	180	6-7	Органопластика СВМ
УП-2130	140	6	Любой
ЭПТ-69Н	130	6	Любой
BC2526К	170	6	Любой

Термическая и химическая усадка, сопровождающие процесс отверждения полимера, влияют на точность размеров и форму изделия, так как вызывают коробление, расстрескивание деталей. Величина усадки связующего считается небольшой, если находится в пределах 1 – 3%.

В табл. 3.2 приведены физико-механические характеристики основных терморективных смол для ПКМ.

В табл. 3.3 сравниваются технологические свойства терморективных полимерных смол.

соба мокрого формования для получения вискозного волокна, полиакрилонитрила (ПАН).

На рис. 2.2 показана принципиальная схема центрифугального спонирования мокрого формования для получения вискозного волокна, полиакрилонитрила (ПАН).

под действием которого происходит растяжение и ориентация макромолекул нити вдоль оси до расчетного диаметра.

Во второй фазе формования формируется жидкая нить, выходящая из фильеры, испытывает гидродинамическое сопротивление, осадитель и практически нет полимера. Во второй фазе формования происходит фиксация (отверждение) волокна. В результате происходит фиксация (отверждение) волокна. Во второй фазе формования формируется жидкая нить, выходящая из фильеры, испытывает гидродинамическое сопротивление, осадитель и практически нет полимера. Во второй фазе формования происходит фиксация (отверждение) волокна. В результате происходит фиксация (отверждение) волокна.

В первом этапе формования (отверждения) волокна можно разбить на две фазы. В первой фазе раствор полимера в виде струй, вытекающих под большим давлением из фильер, поступает в осадительную ванну. В осадительной ванне находится раствор, в котором присутствуют нерастворитель, осадитель и практически нет полимера. Во второй фазе формования происходит фиксация (отверждение) волокна. В результате происходит фиксация (отверждение) волокна.

Получить полимерные моноволокна можно из раствора. При этом необходимо приготовить раствор полимера, из которого производят волокна. Отверждение и получение волокна из растворов происходит в осадительных ваннах методом мокрого формования. Этим методом перерабатывают растворы ксантогената целлюлозы (вискозы), полиакрилонитрила (ПАН), рейна, ацетатного шелка.

2.3. Производство полимерных волокон из раствора методом "мокрого формования"

Данная марка стекла применяется в авиационной промышленности

Характеристика	Марка стекла		
	E	S*	D
Плотность γ , г/см ³	2,54	2,49	2,16
Предел прочности на растяжение σ_p , ГПа	3,50	4,65	2,45
Предельная деформация ϵ , %	4,7	5,3	4,6
Модуль упругости на растяжение E_p , ГПа	73,5	86,5	52,5
70,0			

Таблица 2.1

Статистические свойства стекловолокон

Указанные в таблице свойства относятся к волокнам, изготовленным при нормальной температуре и влажности. При увеличении температуры в процессе термообработки предел прочности стекловолокон уменьшается, а модуль упругости растет, то есть волокна становятся более жесткими и хрупкими.

2.2. Свойства стекловолокон

Промышленность выпускает более 12 марок стекол и стекловолокон, широко используемыми из которых являются:

- 1) высококачественные стекла марки А, широко известные как натриевые или бутылочные стекла. Они используются для стеклянных листов, емкостей и бутылей и обладают высокой хемостойкостью. Содержание окиси кремния в них составляет примерно 72 %;
 - 2) алюмоборосиликатное стекло марки Е (электроизоляционное), из этого типа стекла делают в основном низкоомные волокна, содержание окиси кремния доходит до 54,3 %;
 - 3) химически стойкое стекло марки С (натрийборосиликатное) обладающее высокой хемостойкостью. Содержание окиси кремния в нем 64,6 %;
 - 4) высокопрочное магнийалюмоборосиликатное стекло S. Волокна из него используют в основном в авиационной промышленности. Содержание окиси кремния – 64,2 %. Этот тип волокон имеет высокую прочность и теплоустойчивость, поэтому применяется в производстве изделий из стеклопластика.
- Кроме окиси кремния в состав стекол входят окиси алюминия, кальция, магния, натрия, бора, железа (только у стекла S), калия и бария (только у стекла С) и другие добавки.

- Стекловолокна обладают следующими свойствами:
- 1) высокой прочностью при растяжении при нормальной температуре (доходит до 4000 МПа или 40,0 кг/мм²);
 - 2) вязкостью – стекла не собирают влагу, не набухают, не растягиваются, не разрушаются под действием воды; сохраняют прочность в воде;
 - 3) тепло- и огнестойкостью. Так как природа стекла неорганическая, то стекла не горят и не поддерживают горения, их можно использовать в области сравнительно высоких температур;
 - 4) хемостойкостью, то есть стойкостью к химикатам, под их воздействием стекла не расплавляются, не разрушаются;
 - 5) устойчивостью к воздействию грибов, бактерий, насекомых;
 - 6) низким коэффициентом линейного температурного расширения (КЛТР), примерно равным $(8,6 - 5,6) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;
 - 7) высокой температурой размягчения. В зависимости от типа стекол температура размягчения находится в пределах 727...841 °С;
 - 8) хорошими диэлектрическими и изоляционными свойствами: не проводят электрический ток. Диэлектрическая проницаемость стекол – от 5,1 до 7,0.

Среднестатистические механические свойства стекловолокон приведены в табл. 2.1.

Свойства	Смолы					
	Полиэфирные	Эпоксидные	Фенольные	Меламинные	Кремнийорганические	6
Усадка, %	2 - 8	1 - 4	10 - 12	10 - 15	5 - 8,6	
Побочные продукты отверждения	Нет	Нет	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O, RCOOH	
Давление прессования, кг/см ²	Нулевое	Нулевое, низкое	Среднее, высокое (140-3500)	Среднее (140-350)	Низкое, среднее (70-350)	
Температура прессования, °С	21 - 160	21 - 166	132 - 160	132 - 160	143 - 176	
Возможность механической обработки	Хорошая	Хорошая	Отличная	Неплохая	Неплохая	

Технологические свойства основных типов реактивных связующих

Таблица 3.3

Характеристика	Смолы			
	Полиэфирные	Эпоксидные	Фенольные	Меламинные
Прочность при растяжении σ ; кг/мм ²	2 - 8	1 - 4	10 - 12	10 - 15
Прочность при изгибе σ ; кг/мм ²	21 - 160	21 - 166	132 - 160	132 - 160
Прочность при сжатии σ ; кг/мм ²	210 - 460	250 - 420	280 - 350	350 - 700
Модуль упругости при растяжении E ; кг/мм ²	210 - 460	250 - 420	280 - 350	350 - 700
Удлинение ϵ , %	5	2 - 9	1,5 - 2,0	-
Температурный коэффициент линейного расширения α , $10^{-5}/\text{K}$	7 - 10	3,1 - 9,0	2,0	-
Адгезия полимерных волокон τ_a ; кг/мм ²	0,79	2,0	1,76	-

Физико-механические свойства «реактивных» смол

Таблица 3.2

Характеристика	Смолы			
	Полиэфирные	Эпоксидные	Фенольные	Меламинные
Прочность при растяжении σ ; кг/мм ²	2 - 8	1 - 4	10 - 12	10 - 15
Прочность при изгибе σ ; кг/мм ²	210 - 460	250 - 420	280 - 350	350 - 700
Прочность при сжатии σ ; кг/мм ²	210 - 460	250 - 420	280 - 350	350 - 700
Модуль упругости при растяжении E ; кг/мм ²	210 - 460	250 - 420	280 - 350	350 - 700
Удлинение ϵ , %	5	2 - 9	1,5 - 2,0	-
Температурный коэффициент линейного расширения α , $10^{-5}/\text{K}$	7 - 10	3,1 - 9,0	2,0	-
Адгезия полимерных волокон τ_a ; кг/мм ²	0,79	2,0	1,76	-

Продолжение табл. 3.3

3.2. Особенности процесса отверждения эпоксидных смол

Основными **тремя параметрами** (факторами), влияющими на формирование и отверждение изделия из ПКМ, являются:

- 1) фиксированная температура отверждения $T_{отв}$,
- 2) время отверждения связующего t ,
- 3) давление прессования (формования) $P_{отв}$.

Для каждого типа связующего рекомендуются определенные значения этих параметров.

Полимерные смолы могут отверждаться при повышенном давлении и при атмосферном. Приложенное давление способствует удалению летучих веществ из смолы, пузырьков газа и воздуха, монолитности получаемого композита.

При переработке полимерных композитных материалов в изделия на основе эпоксидных смол различают режим предварительного формования при давлении $P_{фор}$ от 2 до 4 ат* и режим окончательного формования при давлении $P_{отв}$ от 2 до 4 ат* и режим окончательного формования, когда идет процесс отверждения при давлении $P_{отв}$ от 6 до 10 ат.

При предварительном формовании при нагревании связующее переходит в вязко-текучее состояние, приложенное давление способствует заполнению связующим всех полостей в пресс-форме, при этом полимерный композитный материал уплотняется.

Давление окончательного формования $P_{отв}$ способствует удалению побочных продуктов реакции отверждения из связующего, при этом давление окончательно формуется изделие.

У связующих горячего отверждения в зависимости от вязкости (текучести) применяют **сложные** (ступенчатые) и **простые** циклы отверждения.

*Внесистемная единица давления. 1 ат = 1 кг/с/см² = 98,0665 кПа

Во время карбонизации и графитизации углеродные волокна подвергаются вытяжке до требуемого диаметра. Одновременно с вытяжкой в них проходит ориентация молекул в продольном направлении, нить становится прочнее, приобретает гибкость.

После вытяжки углеродные волокна проходят операцию шлихтования и нанесения аппрета (например, раствор низкой концентрации эпоксидной смолы) для повышения адгезионных свойств и предотвращения

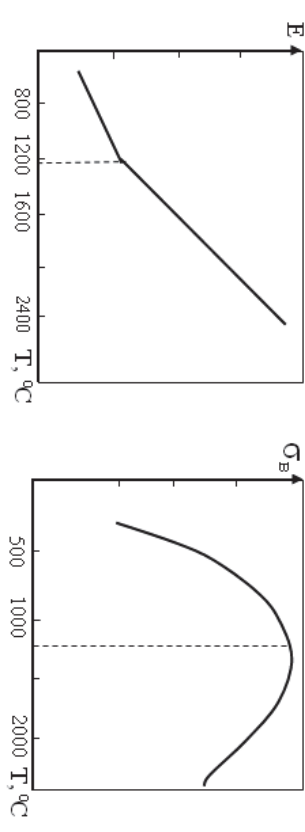


Рис. 2.5. Графики изменения прочности и модуля упругости в зависимости от температуры

Снижение прочности волокон при температуре, которая выше температуры карбонизации (1500 °С), происходит вследствие образования пор внутри волокон. Этот процесс связан с выделением газ-примесей (азота и кислорода), содержащихся в углеродных волокнах.

Изменение механических характеристик (модуля упругости E и прочности σ_n) углеродных волокон в зависимости от температуры приведено на рис. 2.5.

Если температура повышается и достигает 2500...3500 °С, то происходит процесс *графитизации*, в результате получают *высокомодульные углеродные волокна* с высоким модулем упругости и более низкой прочностью, чем при стадии карбонизации.

Изменение механических характеристик (модуля упругости E и прочности σ_n) углеродных волокон в зависимости от температуры приведено на рис. 2.5.

Снижение прочности волокон при температуре, которая выше температуры карбонизации (1500 °С), происходит вследствие образования пор внутри волокон. Этот процесс связан с выделением газ-примесей (азота и кислорода), содержащихся в углеродных волокнах.

Изменение механических характеристик (модуля упругости E и прочности σ_n) углеродных волокон в зависимости от температуры приведено на рис. 2.5.

Окисления полиакрилонитрильные волокна становятся *огнестойкими*, а пековые волокна – *неплавкими* и *черными*. Для стабилизации ПАН-волокна требуется примерно 1 ч, для стабилизации пековых волокон – 0,5 ч.

Этап 3. Для получения различных по свойствам углеродных волокон реакция пиролиза в зависимости от температуры нагрева исходных волокон делится на стадию карбонизации и графитизации.

В результате *карбонизации* образуются *высокопрочные углеродные волокна* с небольшим модулем упругости. Карбонизация идет при температуре 1000...1700 °С.

Если температура повышается и достигает 2500...3500 °С, то происходит процесс *графитизации*, в результате получают *высокомодульные углеродные волокна* с высоким модулем упругости и более низкой прочностью, чем при стадии карбонизации.

Схема получения углеродных волокон из ПАН-волокон представлена на рис. 2.6.

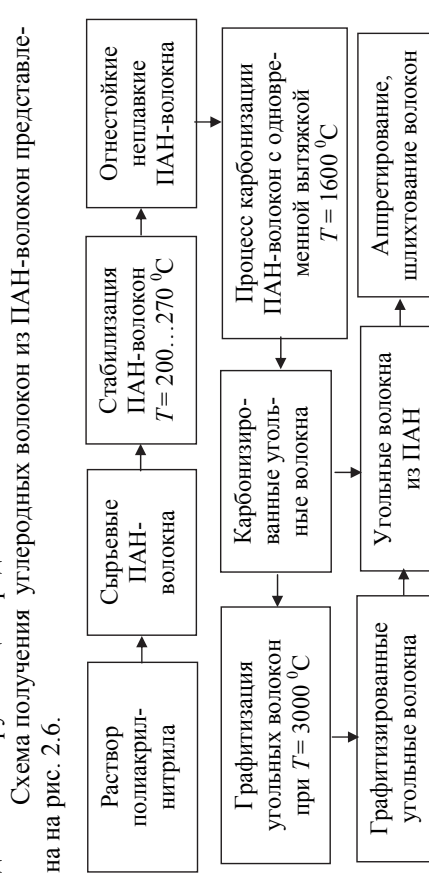


Рис. 2.6. Схема получения углеродных волокон из ПАН

Углеродные волокна на основе жидкокристаллических нефтяных и каменноугольных пеков получают, расплавляя нефтяные и угольные пеки с добавками хинолина и пиридина до температуры 350...400 °С. Полученный расплав протоняют через фильеры в прядильной шахте и вытяжные ролики, получают пековые волокна. Затем пековые волокна проходят стадию стабилизации для получения черных огнестойких и неплавких волокон. Затем пековые огнестойкие волокна поступают в высокотемпературные ванны с нейтральной средой, где происходит реакция пиролиза при температуре примерно 1500 °С. Получают высокомолекулярные жесткие углеродные волокна диаметром 10 мк длиной до 30 мм. Так как волокна получаются жесткими, их не наматывают, а складывают в коробках.

2.5. Свойства и характеристики углеродных волокон

Углеродные волокна очень ценятся, так как обладают рядом уникальных свойств:

- 1) низкой плотностью $\gamma = 1,75 \text{ г/см}^3$;
- 2) низким коэффициентом трения, что позволяет применять их в тормозных колодках шасси самолетов;
- 3) высокой электропроводностью;
- 4) отрицательным коэффициентом линейного температурного расширения вдоль волокон (КЛТР) – это означает, что при нагревании волокон они сжимаются;

Широкое применение при изготовлении изделий в самолето- и вертолетостроении, космической промышленности, автомобилестроении находят эпоксидные и эпоксиэфенольные связующие (например, их успешно используют в ПКМ для изготовления трехслойных стовых и пенопластовых панелей, обтекателей различного рода (носового, крыла с фюзеляжем), элеронов, рулей направления и высотъ, флаперонов, лопастей несущих винтов, шпектов, разгибного рода люков и лючков).

Кроме того, эпоксидные смолы применяют для изготовления высокопрочных и теплоустойчивых клеев, герметиков, покрытий, грунтовок и шпатлевок.

3.1. Эпоксидные смолы

Наибольшее использование в самолетоостроении в качестве связующих нашли реактопласты – эпоксидные и эпоксиэфенольные связующие.

Типичными представителями реактивных полимеров являются эпоксидные, фенольные, эпоксиэфенольные, метаминформальдегидные, фенолоформальдегидные и мочевиноформальдегидные смолы, а также полиэфирные, полиамидные, полиимидные и кремнийорганические смолы. Надо отметить, что мочевиноформальдегидные, фенолоформальдегидные и метаминформальдегидные смолы в качестве связующих самостоятельно не применяются, так как требуют довольно высоких давлений при формовании. Но в комбинации с эпоксидными смолами фенольные смолы успешно применяются в самолетоостроении.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Отвержденные реактопласты по сравнению с термопластами имеют более высокие значения предела прочности, модуля упругости, твердости, теплоустойчивости, и более низкий коэффициент линейного температурного расширения.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

Термопласты отверждаются, переходя в твердое состояние при охлаждении, и при повторном нагреве они вновь переходят в пластичное состояние.

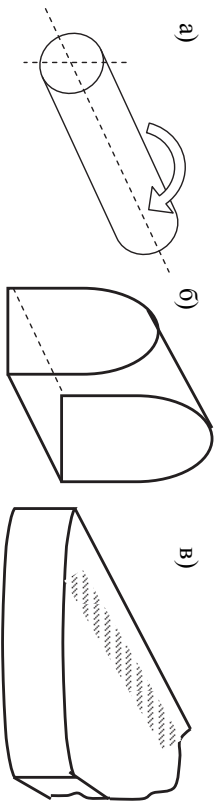


Рис. 5.8. Формы оснасток для изготовления изделий из ПКМ: а – оправка; б – болванка; в – форма

Для изготовления оправок, форм, болванок применяют различные материалы: алюминиевые сплавы, стали, резину, угле- и стеклопластиковые материалы, дерево, воск, гипс, специальный песок.

Цулаги – специальные обложки-контуры, которые используют для обеспечения точности размеров и форм наружной поверхности изделия в процессе формирования при действиях высоких давлений, а также для получения высокого качества поверхности изделия.

Различают жесткие и эластичные цулаги (рис. 5.9).

Жесткие цулаги изготавливают из алюминиевых сплавов, из немагнитических материалов толщиной 0,3...2,0 мм, перфорированные и неперфорированные; стеклопластиковые (толщиной 0,8...1,5 мм).

Перфорированные цулаги применяют при формировании деталей толщиной более 2 мм, без перфорации – менее 2 мм. Перфорационные отверстия могут быть выполнены диаметром 0,8...1,0 мм, с шагом 40...50 мм и смещением между рядами на 20...25 мм.

Эластичные цулаги изготавливают из эластичных материалов, легко принимающих контуры формовых деталей (бинтов, пленок, невulканизированного каучука).

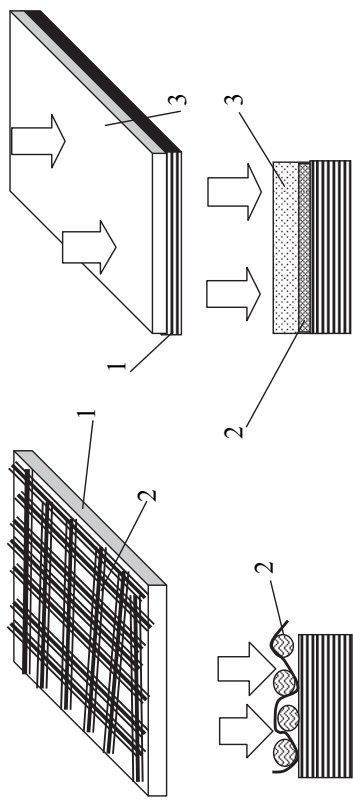


Рис. 5.6. Применение пористых и дренажных тканей: 1 – изделие; 2 – дренажная ткань; 3 – пористый материал

Дренажные ткани предназначены для удаления излишков связующего, пузырьков воздуха и газов из полуфабриката изделия в дренажную систему оснастки.

В качестве дренажных тканей используют:

- 1) не менее двух слоев сухой крупного плетения стеклоткани марки Т-10, Т-11, Т-13, пропитанных смазочным составом и выдерживающих температуру более 250 °С;
- 2) лавсановую ткань, работающую до температуры 180 °С;
- 3) фенилоновую пленку с рабочей температурой 250...260 °С;
- 4) мешковину, металлическую сетку.

Если не применять дренажный слой, то излишки связующего останутся на разделительной пленке или цулаге, и будет затруднено снятие изделия с оснастки после отверждения изделия.

Если дренажные ткани непосредственно будут соприкасаться с поверхностью изделия, то на поверхности изделия образуются отпечатки структуры ткани (рис. 5.6). При применении пористого материала такого типа отпечатков на поверхности готового изделия может не быть. Для устранения этого явления используют разделительные слои – пленки и цулаги.

Дренажные ткани предназначены для удаления излишков связующего, пузырьков воздуха и газов из полуфабриката изделия в дренажную систему оснастки.

В качестве дренажных тканей используют:

- 1) не менее двух слоев сухой крупного плетения стеклоткани марки Т-10, Т-11, Т-13, пропитанных смазочным составом и выдерживающих температуру более 250 °С;
- 2) лавсановую ткань, работающую до температуры 180 °С;
- 3) фенилоновую пленку с рабочей температурой 250...260 °С;
- 4) мешковину, металлическую сетку.

Если не применять дренажный слой, то излишки связующего останутся на разделительной пленке или цулаге, и будет затруднено снятие изделия с оснастки после отверждения изделия.

Если дренажные ткани непосредственно будут соприкасаться с поверхностью изделия, то на поверхности изделия образуются отпечатки структуры ткани (рис. 5.6). При применении пористого материала такого типа отпечатков на поверхности готового изделия может не быть. Для устранения этого явления используют разделительные слои – пленки и цулаги.

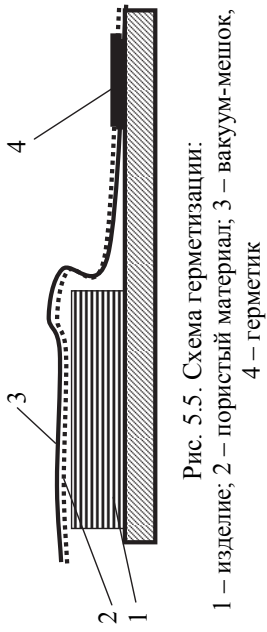


Рис. 5.5. Схема герметизации:

1 – изделие; 2 – пористый материал; 3 – вакуум-мешок; 4 – герметик

5.3. Оборудование и оснастка

Оснастка для формирования изделий из ПКМ – это оправка, болванка, формы, пресс-формы и цулаги, с помощью которых изготавливают изделия требуемых размеров и формы.

Оправка – оснастка для изготовления цилиндрических тонкостенных оболочек; тонкостенных конусных, сферических и сложнопеременных оболочек вращения.

Болванка – оснастка для изготовления деталей с большой кривизной (обшивка носка стабилизатора, обтекателя, задников).

Форма – оснастка для изготовления тонкостенных с малой кривизной деталей, панелей (рис. 5.8).

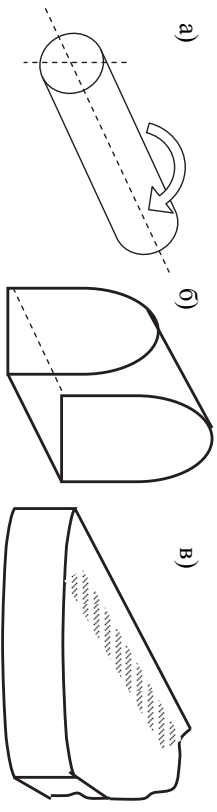


Рис. 5.9. Схемы цулаг: а – эластичная; б – жесткая; в – жесткая с давлением; г – жесткая с давлением

Для изготовления оправок, форм, болванок применяют различные материалы: алюминиевые сплавы, стали, резину, угле- и стеклопластиковые материалы, дерево, воск, гипс, специальный песок.

Цулаги – специальные обложки-контуры, которые используют для обеспечения точности размеров и форм наружной поверхности изделия в процессе формирования при действиях высоких давлений, а также для получения высокого качества поверхности изделия.

Различают жесткие и эластичные цулаги (рис. 5.9).

Жесткие цулаги изготавливают из алюминиевых сплавов, из немагнитических материалов толщиной 0,3...2,0 мм, перфорированные и неперфорированные; стеклопластиковые (толщиной 0,8...1,5 мм).

Перфорированные цулаги применяют при формировании деталей толщиной более 2 мм, без перфорации – менее 2 мм. Перфорационные отверстия могут быть выполнены диаметром 0,8...1,0 мм, с шагом 40...50 мм и смещением между рядами на 20...25 мм.

Эластичные цулаги изготавливают из эластичных материалов, легко принимающих контуры формовых деталей (бинтов, пленок, невulканизированного каучука).

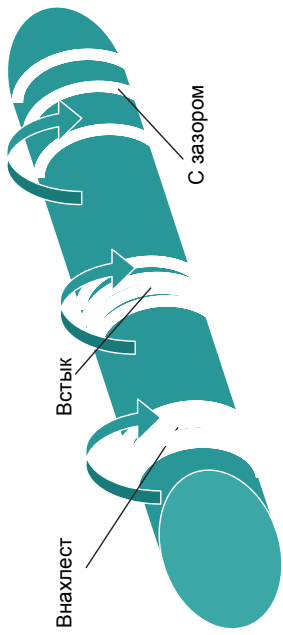


Рис. 5.13. Варианты намотки витков на оправку

При намотке возможны варианты укладки волокон, лент на оправку: внахлест, с зазором и встык (рис. 5.13).

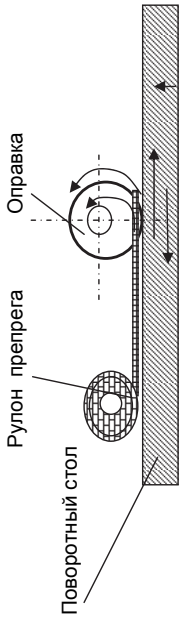
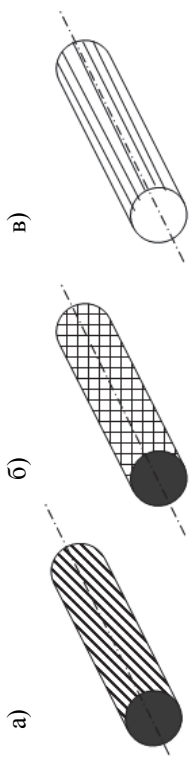


Рис. 5.12. Схема намотки методом поворотного стола

Сущность метода поворотного стола состоит в следующем:

- препрег с рулона протягивается через регулируемый зазор и крепится на оправке; оправка предварительно обработана антиадгезионным составом;
- включается поворотный стол с вибрирующим устройством, которое создает возможность перемешать препрег и наматывать его на оправку; при этом оправка поворачивается вокруг своей оси;
- вращая оправку, проводят намотку препрега на оправку.

Рис. 5.11. Схемы способов намотки на оправку: а – косоугольная; б – продольно-поперечная; в – продольная



Выбор материала для оснастки зависит:

- от количества формованных деталей или изделий;
- стоимости отформованного изделия;
- размера и точности размеров изделия;
- сложности формы изделия;
- способа нагрева оснастки.

Оснастка может быть неразборная, разборная, разрушаемая (например, из гипса или легкоплавкая), комбинированная из нескольких материалов (например, металлорезиновая, металлгипсовая, металлкомпозитная).

В зависимости от серии выпускаемых изделий оснастка может быть временной и постоянной.

Постоянная оснастка применяется для многократного использования, ее изготавливают из металла (стали, алюминиевых или титановых сплавов), композиционных материалов (стеклопластика или углепластика на эпоксидной основе). Постоянные оснастки выдерживают до 80 и более технологических циклов формирования, предназначаются для эксплуатации в течение нескольких лет.

Временная оснастка (материалом служит дерево, гипс, глина, воск) применяется, если необходимо отформовать не более 1 – 5 изделий.

При намотке длинных цилиндрических изделий конструкция оправки должна быть жесткой, чтобы не провисать под действием собственного веса или при приложении усилия натяжения нити (ленты) оправка не выгибается в стороны.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

При использовании металлической оснастки для крупногабаритных деталей для предупреждения коробления детали рекомендуется применять **технологическую подложку** из материала, по коэффициенту линейного температурного расширения (КТЛР) более подходящего к КТЛР изделия.

Подложку иначе называют термомейтравальным слоем, способным компенсировать разность температурных напряжений в оснастке и детали при формировании, если они выполнены из разных материалов. Толщина композитной подложки в зависимости от углов армирования при выкладке слоев препрега выбирают в пределах 3...5 мм.

Но такие материалы не имеют противадгезионных свойств, поэтому при их применении необходимо наносить на изделие и вспомогательные материалы противадгезионные материалы или смазки.

Лучшие сорта неотверждающегося каучука армированы стеклом, углем, органохлоками, не подвержены действию эпоксидных смол, выдерживают до 200 циклов автоклаваемого формования при высоких до 176 °С температурах.

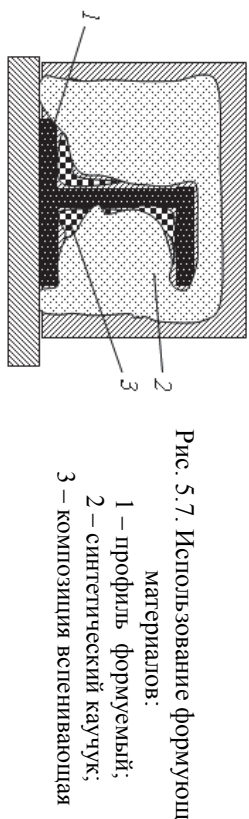


Рис. 5.7. Использование формующих

материалов:

- 1 – профилированный материал;
- 2 – синтетический каучук;
- 3 – композиция вспенивающегося материала.

Дополнительные материалы применяют при изготовлении профилированных деталей, имеющих зоны резких переходов (рис. 5.7). В качестве формующего материала, создающего и поддерживающего равномерное давление в этих зонах, применяют неотверждающийся синтетический каучук. Такой каучук близок по теплостойкости к силиконовому каучуку, но менее износостоек.

Все пленочные мешки имеют относительно малую толщину 50...80 мкм и высокую эластичность.

Вакuum-мешок из термостойкой пленки хорошо держит вакуум, обеспечивает надежную герметичность мешка при автоклаваемом формовании, но его можно использовать только один раз, так как при длительном и высокотемпературном отверждении изделия пленка затвердевает в поры дренажной ткани, охрустывает, появляются трещины, перетибы, заломы. Термостойкие пленки обеспечивают достаточно хороший съём вакуумного мешка с изделия при демонтаже после автоклаваемого формования.

Все пленочные мешки имеют относительно малую толщину 50...80 мкм и высокую эластичность.

Вакuum-мешок из термостойкой пленки хорошо держит вакуум, обеспечивает надежную герметичность мешка при автоклаваемом формовании, но его можно использовать только один раз, так как при длительном и высокотемпературном отверждении изделия пленка затвердевает в поры дренажной ткани, охрустывает, появляются трещины, перетибы, заломы. Термостойкие пленки обеспечивают достаточно хороший съём вакуумного мешка с изделия при демонтаже после автоклаваемого формования.

Время, хотя тканевые мешки можно использовать несколько циклов формования.

После каждого цикла формования дренажная система должна быть прочищена от излишков смолы.

Вакuumные мешки применяют при вакуумном и вакуум-авто-

клавном формовании.

Вакуумные мешки изготавливают либо из тканей, пропитанных рас-

творами смол, либо из пленок типа полиамидных, полипропиленовых, ко-

торые выдерживают температуру до 180...200 °С. Однако из-за пористости

материала вакуум в тканевом мешке трудно поддерживать длительное

время, хотя тканевые мешки можно использовать несколько циклов фор-

мования.

Вакуум-мешок из термостойкой пленки хорошо держит вакуум, обеспечивает надежную герметичность мешка при автоклаваемом формова-

нии, но его можно использовать только один раз, так как при длительном и

высокотемпературном отверждении изделия пленка затвердевает в поры

дренажной ткани, охрустывает, появляются трещины, перетибы, заломы.

Термостойкие пленки обеспечивают достаточно хороший съём ваку-

умного мешка с изделия при демонтаже после автоклаваемого формования.

Все пленочные мешки имеют относительно малую толщину

50...80 мкм и высокую эластичность.

Дополнительные материалы применяют при изготов-

лении профилированных деталей, имеющих зоны резких переходов

(рис. 5.7). В качестве формующего материала, создающего и поддержи-

вающего равномерное давление в этих зонах, применяют неотверждаю-

щийся синтетический каучук. Такой каучук близок по теплостойкости к

силиконовому каучуку, но менее износостоек.

В качестве смазывающего материала применяют высокоэластичные (способные удлиняться более чем на 300 %) *силиконовые* и *тефлоновые смазки*, способные принимать любую форму, смазку ЦИАТИМ, К-153). Кроме того, применяют смазывающие материалы на основе полиэфира, акрилового полимера.

Смазку наносят на поверхность пресс-формы распылителем или кистью не менее трех раз в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Эту операцию повторяют три – пять раз. Каждый слой смазки необходимо просушивать 10...15 мин при нормальной температуре.

Оснастку перед нанесением смазки следует подогреть до 60 °С, а после нанесения последнего слоя форму просушить при температуре 120...150 °С в течение 45 мин. Затем внутренние поверхности формы полируются до блеска.

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы входят в состав разделительных материалов, не должны оставлять следов на отформованном изделии после термоформования и иметь температуру самовозгорания в пределах 260 °С.

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы входят в состав разделительных материалов, не должны оставлять следов на отформованном изделии после термоформования и иметь температуру самовозгорания в пределах 260 °С.

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

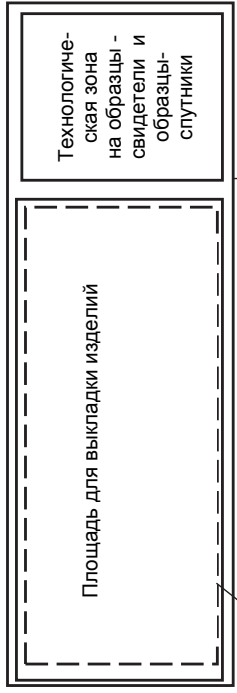
Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Смазочные материалы – материалы многократного использования: до 5 раз и больше (повторно наносят смазку через пять и более циклов формования).

Рис. 5.10. Рабочие и технологические зоны оснастки



Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

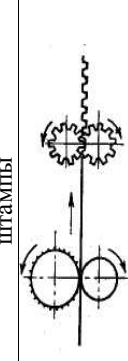
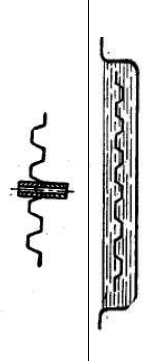
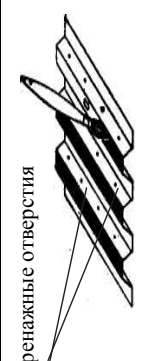
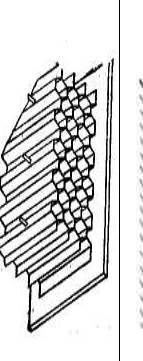
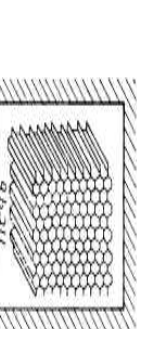
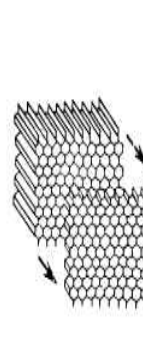
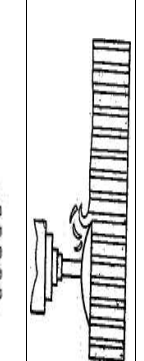

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Технологическая зона на образцы - свидетели и образцы-спутники

Площадь для выкладки изделий

Припуск на обрезку

Наименование операции	Эскиз операции
1. Обезжиривание полос фольги в растворе ОП-7 и сушка фольги	
2. Автомат АСП наносит на фольгу клеевые полосы, поддушка клея, пробивка дренажных отверстий в фольге	
3. Формирование сотовакета и закладка сотовакета в контейнер	
4. Установка контейнера в термопечь для отверждения клеевых полос	
5. Разметка сотовакета и разрезка на заготовки	
6. Фрезерование заготовок по торцам сотовакета	
7. Растяжение заготовки в специальном устройстве	
Контрольные приборы	

6. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛЫМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Полимерные композиционные материалы как более легкие и жесткие по сравнению с металлами наиболее целесообразно использовать в многослойных конструкциях с сотовым и пенопластовым наполнителем для трубчатых изделий (трубы различного назначения, удлинители, кнопочки для гольфа, корпусы теннисных ракеток), в качестве шумопоглощающих материалов в панелях, в противоударных конструкциях (шлемы, пуленепробиваемые жилеты).

Используются полимерные композиционные материалы в силовых панелях крыла, оперения самолета, в предкрылках, элеронах, рулях направления и высоты, стойлерах, шитках; а также в элементах интерьера пассажирского салона и кабины летчика, декоративных перегородках. Из полимерных композиционных материалов выполняют двери салонов, элементы оборудования, приборные доски в кабине летчика.

Трехслойные конструкции с сотовым наполнителем состоят из двух тонких прочных несущих обшивок и толстой легкой сердцевины-заполнителя, разделяющей несущие пластины и распределяющей нагрузку между ними. Такие панели отличаются увеличенной жесткостью и выносливостью при общем меньшем весе по сравнению с металлическим аналогом (рис. 6.1).

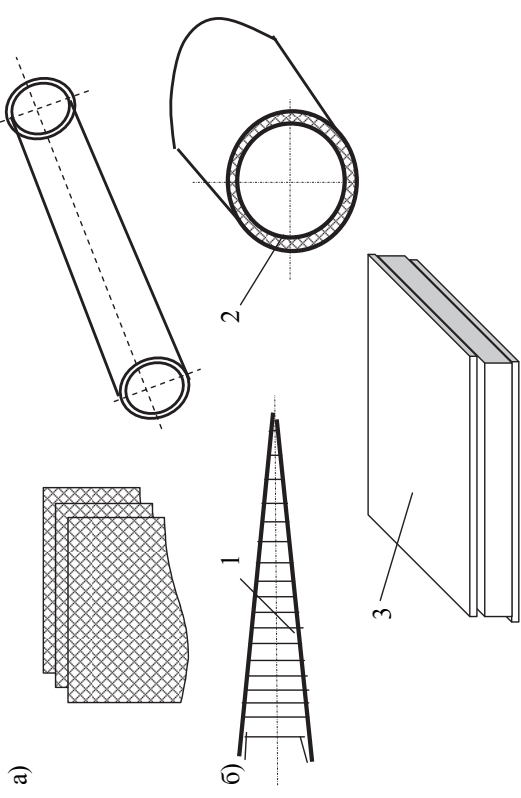


Рис. 6.1. Полимерные композитные изделия: а – слоистые; б – трубчатые; в – трехслойные изделия;

1 – на всю толщину; 2 – обложки; 3 – панели

рения толщины изделия, определения содержания в нем влаги, а также для изучения диэлектрических свойств неметаллических материалов.

Дефекты, которые могут быть обнаружены этими методами, включают пузыри, расслоения, пористость, посторонние включения, области с избытком или недостатком связующего, изменения в степени отверждения и ненормативное содержание влаги.

СВЧ-источник (антенна) направляет излучение на испытуемый объект. Отраженная или прошедшая через образец волна может быть использована для энергетической оценки. Кристаллический детектор преобразовывает результирующую волну в электрический сигнал. Загущание такого излучения в пластических массах незначительно.

Пустоты (закрытые поры) могут определяться даже в закрытых сотовых конструкциях и в абляционных материалах, адгезионно связанных с металлическими структурами. Используя сигнал частотой 30...40 ГГц, можно различить дефекты на площади 1,6×1,6 мм для композитов в сотовых сандвичевых конструкциях.

СВЧ-техника может быть использована и для непрерывного контроля для процесса отверждения связующего, и для определения степени отверждения.

Инфракрасные (термические) методы неразрушающего контроля позволяют обнаружить дефект в структуре материала, используя различия в распространении тепловых потоков. Материал сначала подвергают нагреву. Как при нагревании, так и при охлаждении регистрируется температура поверхности, для чего применяют чувствительную инфракрасную аппаратуру (радиометры). Серийно выпускаемые радиометры позволяют измерять температуру с очень высокой точностью – их погрешность менее 0,1 °С.

Простые точечные измерения, построение температурных профилей и определение температуры площади являются наиболее распространенными термическими МНК.

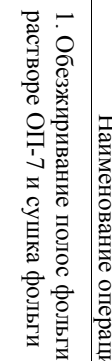
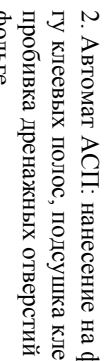
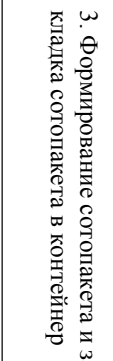
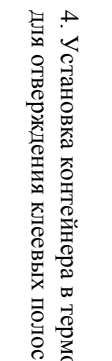

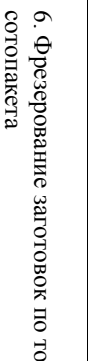
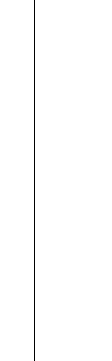
Для контроля готовых сандвичевых конструкций часто применяют метод «малярной кисти», основанный на измерении температуры поверхности материала. После кратковременного нагрева температура поверхности измеряется радиометром. Температура поверхности может непрерывно регистрироваться. При этом методе нет необходимости контакта прибора с образцом.

Для изготовления готового наполнителя из металлической фольги толщиной 0,05 мм и менее используют **метод рисования**.

В серийном производстве для изготовления сот методом растяжения (табл. 6.4) успешно применяются отечественные автоматы АСП-250, АСП-400, АСП-1000, АСП-1200, АСП-2000.

Таблица 6.4

Операции при изготовлении сот методом растяжения в автоматах АСП

Наименование операции	Эскиз операции
1. Обезжиривание полос фольги в растворе ОП-7 и сушка фольги	
2. Автомат АСП наносит на фольгу клеевые полосы, поддушка клея, пробивка дренажных отверстий в фольге	
3. Формирование сотовакета и закладка сотовакета в контейнер	
4. Установка контейнера в термопечь для отверждения клеевых полос	
5. Разметка сотовакета и разрезка на заготовки	
6. Фрезерование заготовок по торцам сотовакета	
7. Растяжение заготовки в специальном устройстве	

/		2
3-й переход – Склеивание обшивки с сотовым заполнителем		
5.1.	Проверить качество обезжиривания торцов сотового заполнителя. При необходимости обезжирить бензином или ацетоном	0,5
5.2.	Нанести клеювую пленку на торцы сотового заполнителя (можно использовать жидкий клей), подсушить клей	0,7
5.3.	Выложить 2 – 3 слоя сухой, обезжиренной стеклоткани марки Т-15, Т-10, прикатать валиком слой для удаления складок и морщин	1,0
5.4.	Установить лугату и провести склеивание в соответствии с пунктами 3.3. и 3.4	4,0
4-й переход – Формование панели		
6.1.	Использовать ту же форму, заложить сборку с сотовым заполнителем и жертвенным слоем	0,4
6.2.	Закатать на жертвенный слой клеювую пленку ВК51	0,4
6.3.	Выложить слой внутренней обшивки, используя компенсаторные складки и накладки, если необходимо	1,0
6.4.	Подготовить сборку к формованию согласно 3.3	
6.5.	Формовать сборку панели по режиму окончательного формования:	
	- в вакуум мешке создать вакуум 0,07...0,08 МПа, отключить вакуумную систему через 30 мин	1,0
	- начать непрерывный подъем температуры со скоростью 1,0...1,5 град/мин;	2,0
	- подать давление $P = 0,2$ МПа при $T = 80$ °С;	
	- продолжать нагрев с той же скоростью до температуры отверждения (γ связующих ВКС25-26К $T_{отв} = 170$ °С, γ ЭДП-69Н 130 °С);	
	- выдерживать изделие 6 ч при температуре отверждения $T_{отв}$ и давлении $P = 0,7$ МПа;	6,0
	- провести охлаждение панели в автоклаве со скоростью 1,0...1,5 град/мин в течение 1,5 ч;	1,5
	- снять давление при достижении температуры 40...50 °С, продолжить охлаждение 5 ч	5,0
	- разгрузить автоклав, разобран сборку, осторожно вынуть отформованную панель вместе с разделительной пленкой;	2,0
	- провести обрезку технологического припуска панели и вырезать образцы свидетелей	3,0
	Провести контроль панели неразрушающим способом на дефектоскопии, расклеивания, разнотолочности	6,0

Окончание табл. 6.5

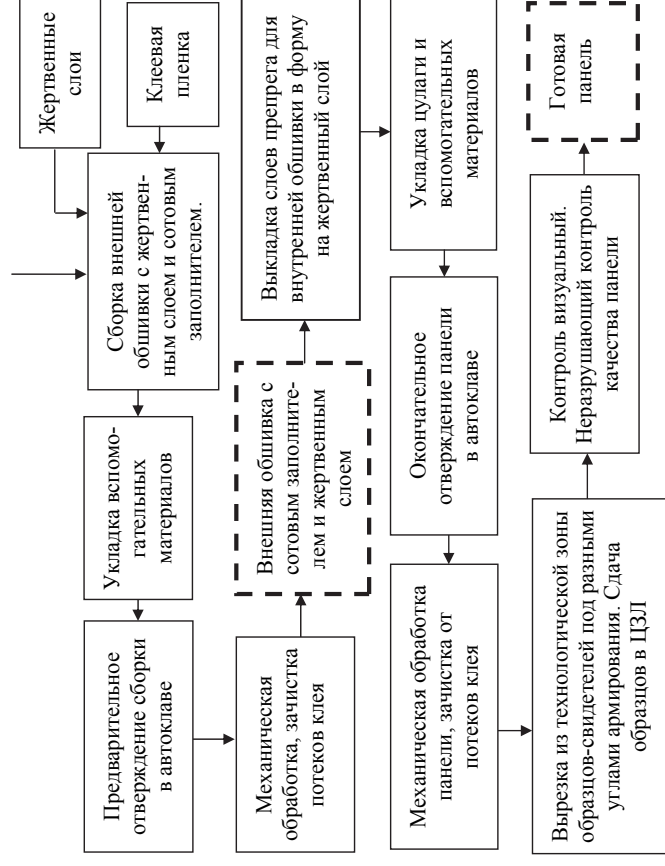


Рис. 6.7. Блок-схема изготовления трехслойной панели в четыре перехода в одной форме (продолжение)

На основании блок-схемы сборки разрабатывают технологический процесс изготовления панели, оформляя его на специальных картах, подобных таблице 6.5.

Таблица 6.5

Маршрутная карта технологического процесса

/		2
Подготовка рабочего места		
1.	Получить со склада рулон препрега, проверить сроки хранения, состав связующего, влажность и содержание летучих (проверить по паспортным данным, затем по приборам)	1,3
1.2.	Раскрыть препрег на заготовки с учетом припусков 15 мм (при раскрое учитывать требуемые углы армирования, снятые с чертежа)	1,9

Рассмотрим вариант изготовления однозамкнутого лонжерона, подчиненного *выкладкой*. В качестве оснастки используют оправку, пресс-форму и пневмооправку.

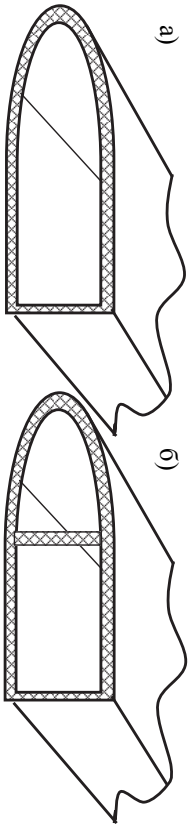


Рис. 6.16. Конструктивные варианты лонжеронов лопастей

воспринимает практически всю аэродинамическую нагрузку, приходящуюся на винт. Конструктивно представляет собой тонкостенный контур (толщина 3,0...3,5 мм) эллиптического или более сложного сечения. Лонжерон выполняются однозамкнутым (рис. 6.16, а) или двухзамкнутым (рис. 6.16, б).

- 1) изготовление отдельных секций хвостового отсека лопасти (в зависимости от длины лопасти отсеков может быть от 4 до 9);
- 2) склеивание в стапеле (термоприспособлении) секций хвостового отсека;
- 3) склеивание в другом стапеле (термоприспособлении) носовой части лопасти с хвостовым отсеком;
- 4) обмотка или обтяжка контура лопасти одним или несколькими слоями пропитанной стеклоткани с последующим отверждением;
- 5) механическая обработка лопасти и ее покраска;
- 6) контроль геометрических и весовых параметров лопасти.

Лонжерон является основным силовым элементом лопасти, который

Технологический процесс изготовления лопасти несущего винта вертолета делится на несколько этапов:

- 1) изготовление стекло-, углепластикового лонжерона в пресс-форме (или намоткой на оправку с последующим отверждением в термопечи);
- 2) изготовление стекло-, углепластиковой носовой части лопасти в пресс-форме совместно с лонжероном (с укладкой противобаттлерного груза, трубопроводной системы и отформованного лонжерона);
- 3) изготовление отдельных секций хвостового отсека лопасти (в зависимости от длины лопасти отсеков может быть от 4 до 9);
- 4) склеивание в стапеле (термоприспособлении) секций хвостового отсека;
- 5) склеивание в другом стапеле (термоприспособлении) носовой части лопасти с хвостовым отсеком;
- 6) обмотка или обтяжка контура лопасти одним или несколькими слоями пропитанной стеклоткани с последующим отверждением;
- 7) механическая обработка лопасти и ее покраска;
- 8) контроль геометрических и весовых параметров лопасти.

Лонжерон является основным силовым элементом лопасти, который воспринимает практически всю аэродинамическую нагрузку, приходящуюся на винт. Конструктивно представляет собой тонкостенный контур (толщина 3,0...3,5 мм) эллиптического или более сложного сечения. Лонжерон выполняются однозамкнутым (рис. 6.16, а) или двухзамкнутым (рис. 6.16, б).

Лонжерон является основным силовым элементом лопасти, который воспринимает практически всю аэродинамическую нагрузку, приходящуюся на винт. Конструктивно представляет собой тонкостенный контур (толщина 3,0...3,5 мм) эллиптического или более сложного сечения. Лонжерон выполняются однозамкнутым (рис. 6.16, а) или двухзамкнутым (рис. 6.16, б).

Лонжерон является основным силовым элементом лопасти, который воспринимает практически всю аэродинамическую нагрузку, приходящуюся на винт. Конструктивно представляет собой тонкостенный контур (толщина 3,0...3,5 мм) эллиптического или более сложного сечения. Лонжерон выполняются однозамкнутым (рис. 6.16, а) или двухзамкнутым (рис. 6.16, б).

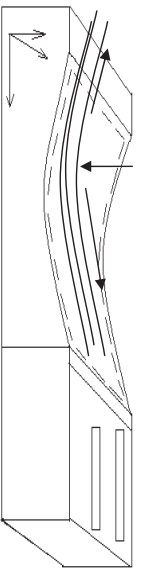
6.8. Изготовление панели с фольгой и синпрегом

Часто при оформлении интерьера самолета используют различного рода декоративные панели, полки, лючки, коробочки, в которых размещают оборудование, приборы, инструмент. Вариант композитной панели такого типа представлен на рис. 6.21.

Изготовление такой панели из стеклопластикового синпрега с усиленными слоями препрега и металлической фольгой возможно вести по такому варианту:

- подготовку основных и вспомогательных материалов и оснастки к формованию;
- укладку на оснастку препрега, синпрега, вспомогательных материалов;
- предварительное формование сборки;
- охлаждение сборки, укладка вновь в форму;
- обезжиривание поверхности сборки и металлической фольги;
- укладку металлической фольги на полуотвержденную сборку;
- подготовка к окончательному формованию и окончательное формование.

Если провести формование за один переход, то фольга, имеющая выскоий КЛТР по сравнению с ПКМ, деформируется при нагревании и образует складки. Это уменьшает прочность.

1.3.	Получить готовый наполнитель, проверить визуально качество изготовления	2	0,5
2.	Подготовка оснастки		
2.1.	Зачистить рабочую поверхность от отвержденного связующего, от пыли и обезжирить (бензин "Калоша")		0,9
2.2.	Провести смазку рабочих и технологических зон оснастки: промазать смазкой рабочую поверхность не менее трех раз в одном направлении и перпендикулярном ему		0,7
2.3.	Подсушить нанесенную смазку 15 мин при температуре $T = 40 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$		0,35
2.4.	Повторить пункт 2.2 - 2.3 – 5 раз, затем отполировать поверхность формы до блеска		2,0
3.	1-й переход – формирование внешней обшивки		
3.1.	Выложить слои препрета на поверхность формы по рискам с учетом схемы укладки слоев и углов армирования по всей площади обшивки. Выложить слои препрета и в технологическую зону для изготовления образцов свидетелей		1,7
3.2.	Каждый слой препрета прикатать валиком по прилагаемой схеме для предупреждения складок и морщин		1,0
3.3.	Подготовка к формированию а) выложить на препрет пудлу или разделительную пленку; б) выложить два слоя дренажной стеклоткани марки Т-10, пропитанной алгеизонной смазкой; в) накрыть сборку тканью марки Т-500 для вакуумного мешка; г) нанести клей на кромки мешка и на поверхность оснастки, дать время (15...20 мин) для подсушки; д) уложить термоматы на расстоянии 500 мм друг от друга по всему периметру формующей обшивки; вывести термоматы на поверхность формы;		0,7 0,6 0,4 0,8 1,7

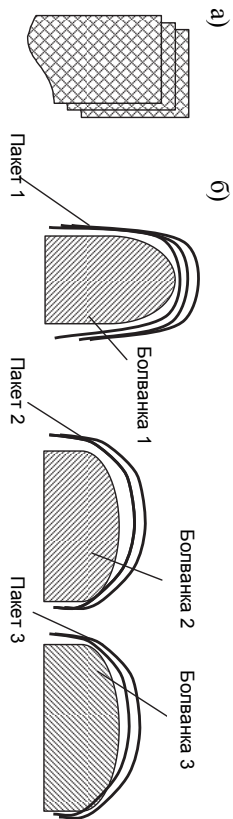
Продолжение табл. 6.5

2	е) проложить герметик марки У-30мс между поверхностью формы и тканью мешка; прижать; ж) ввести штуцера в оболочку вакуум-мешка (через 500 мм); з) заложить сборку в автоклав; и) подсоединить штуцера вакуум-мешка со штуцерами вакуум-насоса; и) провести проверку вакуум-мешка на герметичность (допускается падение вакуума с 0,07 до 0,06 МПа в течение 3...10 мин); к) провести вакуумирование сборки, создавая вакуум 0,075...0,08 МПа; через 30 мин отключить вакуумную систему	1	0,1 8,0 5,1 6,0 9,0 0,8 2,0 1,5 1,8 1,0 3,0 0,6 0,4 0,3 0,7 2,0–2,5 4,0
3.4.	Провести в автоклаве предварительное отверждение обшивки: - начать непрерывный подъем температуры со скоростью $V_{нагрева} = 1,0 \dots 1,5 \text{ град/мин}$; - при $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ подать давление 0,2 МПа; - продолжать подъем температуры до $120 \text{ }^\circ\text{C}$; - при $T_{отв} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ формовать обшивку в течение 1,5 ч при давлении 0,2 МПа		
3.5.	Провести охлаждение обшивки в автоклаве до $T = 40 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$ со скоростью 1 град/мин; при достижении $40 \text{ }^\circ\text{C}$ снять давление; - разгрузить автоклав, вынуть форму и осторожно, не снимая разделительного слоя, освободить отформованную обшивку; - из технологического припуска вырезать образцы-свидетели и отдать в заводскую лабораторию на испытание;		
4.	2-й переход – Склейка сотового наполнителя с внешней обшивкой		
4.1.	Проверить качество обезжиривания торцов сотового наполнителя, при необходимости обезжирить еще раз бензином "Калоша"		0,6
4.2.	Проверить чистоту поверхности внешней обшивки		0,4
4.3.	Заложить внешнюю обшивку в форму		0,3
4.4.	Уложить клеювую пленку ВК-51 (или нанести жидкий клей), прикатать валиком, чтобы не было складок и морщин		0,7
4.5.	Выложить частями сотовый наполнитель так, чтобы стыки образовали целые ячейки, места стыка частей заполнить клеем		2,0–2,5
4.6.	Провести предварительное склеивание обшивки с сотовым наполнителем по режиму предварительного формирования согласно пунктам 3.3 и 3.4.		4,0

Продолжение табл. 6.5

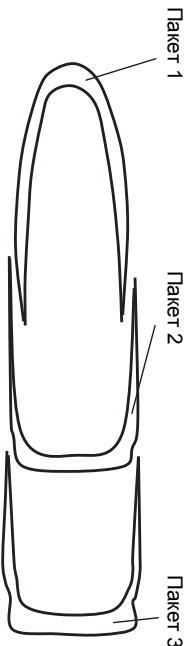
- укладку вспомогательных материалов и установка на пакеты пудлы;
- формирование пакетов отдельных частей лонжерона по режиму **предварительного формирования** (при температуре $60 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $0,2 - 0,4 \text{ МПа}$);
- снятие полуотвержденных пакетов с болванок;
- подготовку пресс-формы и распорного устройства для фиксации пакетов;
- укладку пакетов лонжерона в пресс-форму;
- протягивание двух резиновых мешков-пневмооправок внутрь по длине каналов лонжерона;

Рис. 6.19. Процесс выкладки слоев препрета на болванки



- раскрой заготовок препрета по шаблонам (рис. 6.19, а);
- изготовление болванок для пакетов лонжерон, нанесение на них антиалгеизонной смазки;
- выкладку слоев препрета на три болванки, набор трех пакетов (рис. 6.19, б);

Рис. 6.18. Технологические пакеты лонжерона



- процесс изготовления композитного **внешнего лонжерона** более сложен, но и более интересен, содержит следующие операции:
- разработку технологического членения лонжерона на отдельные составляющие лонжерон пакеты (рис. 6.18);

Технологические операции для изготовления лонжерона следующие:

- наносится на просушенный антиалгеизонно покрытие;
- выкладываются ребра КМКС имеет толщину лонжерона (один слой стеклотепрега КМКС имеет толщину $0,23 \text{ мм}$);
- выполняются подготовительные операции к формированию складывающихся дренажных тканей, разделительной пленки (аутлап);
- проводится для **предварительного** отверждения лонжерона при давлении $0,2 \text{ МПа}$, температура $100 \dots 120 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3 ч;
- охлаждают лонжерон до нормальной температуры, вынимают из автоклава;
- снимают с оправки осторожно лонжерон и внутрь лонжерона протягивают осторожно, чтобы не сорвать внутреннюю оболочку, протягивают эластичную пневмооправку из прорезиненной ткани;
- предварительно отформованный лонжерон вместе с пневмооправкой укладывают в пресс-форму, внутренняя поверхность которой предварительно смазана антиалгеизонным покрытием. Рабочая поверхность пресс-формы копирует внешнюю поверхность лонжерона с высокой точностью;
- пресс-форму закрывают крышкой. В пресс-форму вмонтированы термонагревательные элементы, датчики контроля температуры, давления;
- пресс-форму с лонжероном нагревают со скоростью $1,0 \dots 1,5 \text{ град/мин}$ до температуры отверждения $140 \dots 170 \text{ }^\circ\text{C}$. В пневмооправку подается давление **окончительного формирования**, равное $0,6 \dots 0,7 \text{ МПа}$ (рис. 6.17), пневмооправка раздувается, прижимая лонжерон к рабочей поверхности пресс-формы.

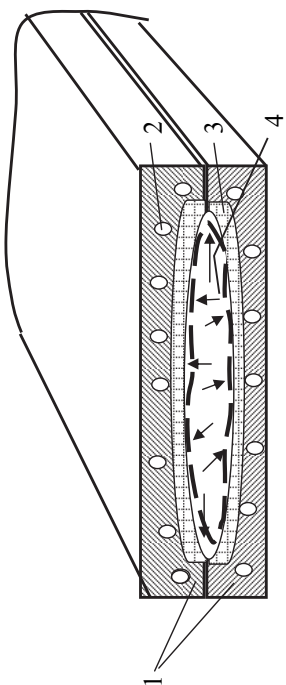


Рис. 6.17. Пресс-форма для формирования однозамкнутого лонжерона. 1 – пресс-форма, 2 – нагреватели, 3 – лонжерон, 4 – пневмооправка

Выдерживают лонжерон в пресс-форме в течение 6...7 ч до полного отверждения. Затем лонжерон охлаждают и осторожно вынимают из пресс-формы.

	1	2	3
			3,0
			3,0 4,0
3.	Второй переход – изготовление внешней обшивки в другой форме		1,9
3.1.	Перед выкладкой пакета заготовок препрегов очистить от зарызанных поверхностей матрицы, пуллага, ограничительные рамки, шпугера ножом или скребком, зашкурить мелкие царапины шлифовальной шкуркой № 1		
3.2.	Выложить слои препрега в форму согласно схеме выкладки препрегов и углов армирования. Каждый слой после укладки прикатать валиком через полипропиленовую пленку согласно пункту 2.2		1,5
3.3.	Провести предварительное формование внешней обшивки в соответствии с пунктами 2.3. – 2.4		9,0 – 12,0
4.	Третий переход – окончательное формование панели		
4.1.	Проверить качество обезжиривания торцов сотового заполнителя, при необходимости обезжирить бензином "Калпаша"		0,5
4.2.	Проверить чистоту поверхности внутренней и внешней обшивок		0,7
4.3.	Заложить предварительно отвержденную внешнюю обшивку во вторую форму		0,6
4.4.	Выложить на обшивку клеевую пленку ВК-51, прикатать, чтобы не было складок и морщин		0,6
4.5.	Выложить части сотового заполнителя по всей поверхности обшивки в соответствии с требованиями чертежа. Места стыка частей сотового заполнителя заполнить клеем		2,0
4.6.	Уложить на сотовый заполнитель через клеевую пленку ВК-51 предварительно отвержденную внутреннюю обшивку		1,0
4.7.	Провести подготовку к формованию согласно пункту 2.3.		2,0

Продолжение табл. 6.6

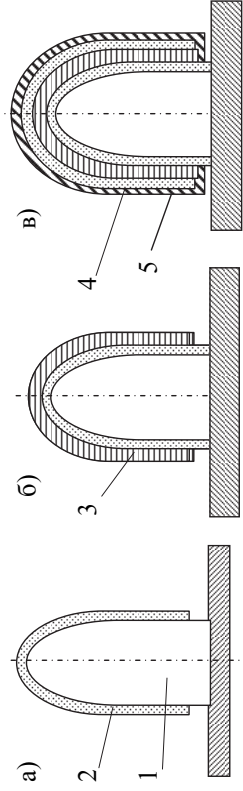


Рис. 1. Изготовление обтекателя в три перехода: 1 – болванка; 2 – сотовый заполнитель; 3 – слой внешней обшивки; 4 – цулага

На первом переходе на металлическую или неметаллическую болванку выкладывают слои препрега внутренней обшивки, проводят операции укладки вспомогательных материалов (дренажных и пористых материалов, разделительной пленки). Затем герметизируют вакуум-мешочек, проводят проверку герметичности мешка, затем проводят предварительное формование: создают внутри мешка вакуум 0,08 МПа, нагревают сборку до температуры 100...101 °С, 001...001 °С, 001...170 °С, вакуум создают 0,08 МПа в течение 3...5 ч.

На втором переходе на полукруглую внутреннюю обшивку выкладывают клеевую пленку и сотовый заполнитель, проводят подготовительные операции, затем вновь проводят режим предварительного формования.

На третьем этапе слои сотовый заполнитель выкладывают клеевую пленку, слой внешней обшивки, проводят подготовительные операции, затем сборку помещают в автоклав, проводят окончательное формование по режиму: нагрев до температуры отверждения $T_{отв} = 140...170$ °С, вакуум создают 0,08 МПа в течение 3...5 ч.

Во всех переходах применяют пуллаг для получения более точной и качественной поверхности деталей и изделия.

6.7. Изготовление композитной лопасти винта вертолета

Для технологических целей еще на стадии проектирования лопасть несущего винта вертолета конструктивно расчленяют на несколько частей: носовую часть лопасти 1 и в которой установлены элементы противоблокационной системы 2 и противоблокационные грузы 3, лонжерон 4 лопасти; хвостовую часть лопасти 5 (рис. 6.9.15). Членение лопасти на отдельные части позволяет уменьшить цикл изготовления всей лопасти. Кроме того, технологически невозможно получить лопасть в одном приспособлении (оснастке).

6.5. Вариант изготовления трехслойной панели с заполнителем в три перехода с применением двух форм

Рассмотрим формование в автоклаве трехслойной панели (рис. 6.8) с несимметричным сечением с применением отдельных форм внутренней и внешней обшивок.

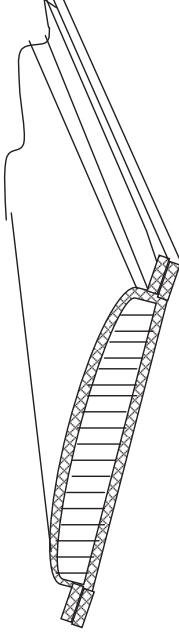


Рис. 6.8. Трехслойная панель с заполнителем несимметричного сечения

Изготовление панели в этом случае можно вести в три перехода:

- первый переход – изготовление внутренней обшивки в одной форме по предварительному режиму формования,
- второй переход – изготовление внешней обшивки в другой форме по режиму предварительного формования,
- третий переход – склейка сотового заполнителя с обшивками по режиму окончательного формования.

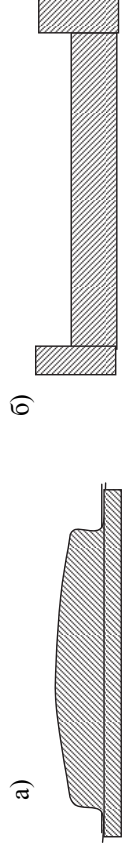


Рис. 6.9. Сечения форм: а – для изготовления внутренней обшивки; б – для изготовления внешней обшивки и всей панели

Несущие верхнюю и нижнюю обшивки трехслойной панели изготавливают из пяти слоев клееного препрега (из трех слоев КМКС и двух слоев верхних слоев препрега из органической ткани СВМ (рис. 6.10). Используют эпоксиэфенольное связующее ВС25-26К.

Составляются ведомости поставляемых материалов, паспорт на технологический процесс изготовления, маршрутный и технологический процесс изготовления (по аналогии с табл. 6.5). Все эти документы оформляются на технологических картах стандартного образца, принятого в авиационной промышленности.

В технологическом процессе формования (табл. 6.6) должны быть представлены все операции по техпроцессу, особенности проведения опе-

Окончание табл. 6.6

	1	2	3
4.8.	Формовать сборку по режиму окончательного формования:		
	- в вакуум-мешке создать вакуум 0,075...0,08 МПа, чез рез 30 мин отключить вакуумную систему;		1,0
	- начать непрерывный подъем температуры;		1,0
	- подать давление 0,2 МПа при температуре 80 °С;		2,2
	- при температуре 170 °С подать давление 0,7 МПа, выдержать параметры при заданном режиме в течение 6 ч, провести окончательное формование		6,0
	- охладить обшивку в автоклаве до температуры 40...50 °С со скоростью 1 град/мин под давлением;		1,5
	- снять давление, продолжить охлаждение в автоклаве;		2,0
	- разгрузить автоклав, разобрать сборку, осторожно вынуть отформованную панель		
	- провести обрезку технологического припуска панели;		3,1
	- изготовить из технологического припуска образцы-свидетели для прочностных испытаний;		3,0
	- провести контроль качества панели неразрушающими методом		5,0
Примечание. В процессе формования в автоклаве провести автоматическую запись температуры, давления и показания мановакуумметра. На диаграммах лентках сделать отметки начала времени формования, времени выхода на режим, время выдержки и времени окончания режима предварительного и окончательного формования. Контролировать скорость нагрева форм и изделия			

Структура технологического процесса изготовления трехслойной панели с сотовым заполнителем в четыре перехода приведена на рис. 6.11.

Конструктивные особенности форм для формования

При разработке технологической оснастки для изготовления трехслойных панелей с сотовым заполнителем необходимо учесть:

- 1) формы для изготовления *внешних обшивок* – одновариантны (рис. 6.12, а);
- 2) формы для изготовления *внутренних обшивок* – многовариантны (рис. 6.12, б, в, г).

Для изготовления внутренней обшивки при использовании варианта "б" контур ложементов 8 соответствует контуру внутренней поверхности внутренней обшивки.

0,5	Автоклав	2.3. Подготовка обшивки к формованию: - уложить цулагу, - уложить разделительную пленку, - выложить два слоя дренажной ткани, - накрыть сборку тканью для вакуум-мешка, - нанести клей на кромки мешка и на поверхность оснастки, - уложить на расстоянии 500 мм друг от друга термоматры по всему периметру обшивки, - вывести выходы термоматр на поверхность болванки, - проложить герметик У-30мэс между поверхностью болванки и тканью мешка, - ввести штуцера в оболочку вакуум-мешка - заложить сборку в автоклав - подсосадить штуцера вакуум-мешка с вакуумным насосом, - провести проверку вакуум-мешка на герметичность	Форма для внутр. обшивки с дренажной системой, раздел. пленки, дренажные ткани, термоматры Герметик Штуцера Вакуум-насос	1,2 0,5 0,8 0,6 0,8 0,4 0,8 0,4 0,7
1,2 4,0 2,5		2.4. Провести в автоклаве предварительное отверждение внутренней обшивки: - провести вакуумирование вакуум-мешка, создать вакуум 0,075...0,08 МПа; - через 30 мин отключить вакуумную систему; - начать непрерывный подъем температуры; - подать давление 0,2 МПа при температуре 80 °С - при температуре 120 °С и давлении 0,2 МПа провести формование в течение 1 ч В процессе формования в автоклаве провести автоматическую запись температуры, давления и показаний мановакуумметра. На диаграммных лентах сделать отметки начала времени формования, времени выхода на режим и время окончания режима предварительного формования. - охладить обшивку в автоклаве до температуры 40...50 °С со скоростью 1 град/мин под давлением не менее 0,2 МПа; - снять давление, продолжить охлаждение; - разгрузить автоклав, вынуть сборку, разобрать сборку, осторожно, не снимая разделительного слоя, освободить отформованную обшивку;	Автоклав	0,5 0,8 1,4 1,0

Продолжение табл. 9.6

раций, например, выкладку слоев препрегов проводить в соответствии с приведенной схемой выкладки и схемами армирования.

- 1-й слой – СВМ $\varphi = 0^\circ$
- 2-й слой – Т-10-80 $\varphi = 45^\circ$
- 3-й слой – Т-10-80 $\varphi = 90^\circ$
- 4-й слой – Т-10-80 $\varphi = +45^\circ$
- 5-й слой – СВМ $\varphi = 0^\circ$

Рис. 6.10. Схема укладки и армирования слоев обшивки

Таблица 6.6
Пример маршрутной технологической карты изготовления трехслойной панели в три перехода

Наименование операции		Оборудование, инструмент	Труд, ч
1. Подготовительные операции		2	3
1.1. Контроль основных компонентов композита (ткани и связующего, препрегов)			
1.2. Раскрой препрега на заготовки с учетом схемы армирования с припуском на усадку и выкладку до 3 см		Ножницы	2,4
1.3. Подготовка оснастки к формованию			
Нанести смазку на поверхность формы: - промазать смазкой рабочую поверхность не менее трех раз в одном направлении и перпендикулярном ему;		Кисть	0,4
- подсушить нанесенную смазку 15 мин при температуре 40...60 °С;		Фен	0,4
- повторить пункты 1.1 – 1.3 три – пять раз		Ветoshi	1,5 0,9
2. Первый переход – изготовление внутренней обшивки в первой форме			
2.1. Выложить слои препрега на поверхность формы по рискам с учетом схемы укладки слоев и угла армирования по всей длине и ширине панели		Болванка	1,7
2.2. Каждый слой прикатать валяком по схеме для предупреждения складок, морщин, неровностей, со-блюдения требуемого угла армирования		Валик	1,0

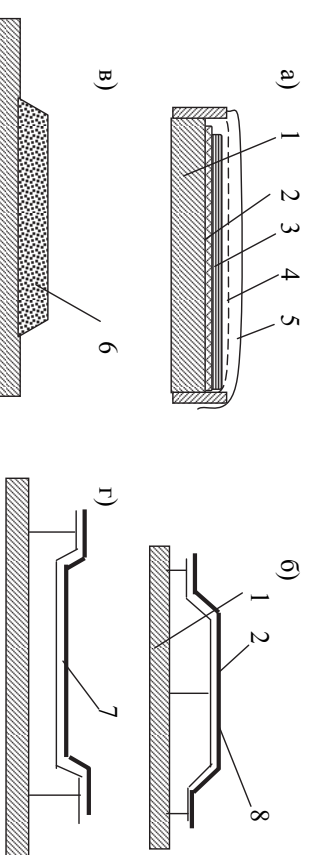


Рис. 6.12. Варианты оснасток для изготовления трехслойных панелей:

- а – для внешней обшивки; б, в, г – для внутренних обшивок;
1 – форма; 2 – технологическая подложка; 3 – издолье; 4 – цулага;
5 – дренажная ткань; 6 – имитатор детали; 7 – ложемент-вставка;
8 – ложемент оснастки

В варианте "в" для изготовления формы для внутренней обшивки используется имитатор детали. При использовании варианта "г" – контур ложемент-вставки повторяет контур внешней поверхности внутренней обшивки. Выбор того или иного варианта зависит от требований точности к контурам внутренних обшивок.

6.6. Изготовление носового обтекателя самолета

Рассмотрим вариант изготовления носового обтекателя самолета (рис. 6.13), изготовленного как трехслойная оболочка с сотовым наполнителем.
Формование обтекателя можно провести вакуумным способом в термомечи или автоклавным способом.

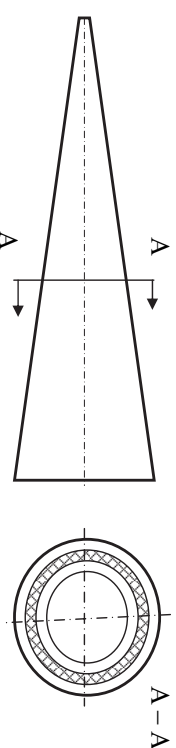


Рис. 6.13. Схема носового обтекателя самолета

Так как обтекатель не несет больших аэродинамических нагрузок, то его формование ведут, как правило, вакуумированием в **три перехода** с применением болванки-конуса и цулаги (рис. 6.14).

сроки сушки.

5) При получении со склада синпрега МСТ-6, МСТ-6П (препрег, на одну поверхность которого нанесена суспензия из связующего и микро-стеклофер), контролировать по бирке, прикрепленной к синпрегу, марку, процентное содержание связующего, толщину синпрега, срок годности, срок сушки.

4) При получении со склада эпоксиэфенольного связующего марки ЭДТ-69Н контролировать по сопроводительному талону марку связующего, его плотность (концентрацию) и срок хранения.

3) При получении со склада готовых препрегов на основе стеклотка-

ни Т-10 или Т-15 контролировать по выложенной в мешок бирке марку тка-

ни, связующего, процентное содержание связующего и летучих в препреге.

2) Обезжиривание поверхности формы бензином или ацетоном с помощью хлопчатобумажной салфетки, просушка формы на воздухе 30 мин; визуальный контроль качества подготовки поверхности формы на отсутствие на рабочей поверхности загрязнений и царапин; нанесение на рабочую поверхность формы антиадгезионной смазки марки К-21 или полиизобутиленовой смазки. Технологию нанесения смазки следует выполнять два тонких слоя смазки во взаимно-перпендикулярных направлениях, не допуская непромазаных мест. Каждый слой просушивается на воздухе не менее 15 мин. Повторяют нанесение смазки три – пять раз. Затем форму с нанесенной смазкой термообработывают в термощкафу при температуре 220 °С в течение 2,5...3,0 ч. Смазка К-21 многократно действ-

ствует, рассчитана на 4...5 циклов формования.

1) Подготовка материалов и оснастки – это зачистка рабочих поверхностей формы от остатков ранее отвержденного связующего, устранение загрязнений с помощью металлических скребков, зашкуривание мелких царапин и других дефектов на рабочей поверхности формы шлифовальной шкуркой.

Технологический процесс формования панели включает следующие операции:

1) Подготовка материалов и оснастки – это зачистка рабочих поверхностей формы от остатков ранее отвержденного связующего, устранение загрязнений с помощью металлических скребков, зашкуривание мелких царапин и других дефектов на рабочей поверхности формы шлифовальной шкуркой.

2) Обезжиривание поверхности формы бензином или ацетоном с помощью хлопчатобумажной салфетки, просушка формы на воздухе 30 мин; визуальный контроль качества подготовки поверхности формы на отсутствие на рабочей поверхности загрязнений и царапин; нанесение на рабочую поверхность формы антиадгезионной смазки марки К-21 или полиизобутиленовой смазки. Технологию нанесения смазки следует выполнять два тонких слоя смазки во взаимно-перпендикулярных направлениях, не допуская непромазаных мест. Каждый слой просушивается на воздухе не менее 15 мин. Повторяют нанесение смазки три – пять раз. Затем форму с нанесенной смазкой термообработывают в термощкафу при температуре 220 °С в течение 2,5...3,0 ч. Смазка К-21 многократно действ-

ствует, рассчитана на 4...5 циклов формования.

3) При получении со склада готовых препрегов на основе стеклотка-

ни Т-10 или Т-15 контролировать по выложенной в мешок бирке марку тка-

ни, связующего, процентное содержание связующего и летучих в препреге.

4) При получении со склада эпоксиэфенольного связующего марки ЭДТ-69Н контролировать по бирке, прикрепленной к синпрегу, марку, процентное содержание связующего, толщину синпрега, срок годности, срок сушки.

5) При получении со склада синпрега МСТ-6, МСТ-6П (препрег, на одну поверхность которого нанесена суспензия из связующего и микро-стеклофер), контролировать по бирке, прикрепленной к синпрегу, марку, процентное содержание связующего, толщину синпрега, срок годности, срок сушки.

6) При получении со склада перфорированной фольги АМГ-2Н-0,03 контролировать марку материала и внешний вид: фольга должна быть чистой, гладкой, без складок, надрывов, забоев и следов коррозии.

7) Подготовка к формованию осуществляется в следующей последовательности:

• на подготовленную рабочую поверхность формы выложить слой синпрега микросферным слоем вверх;

• разметить места усиления препрегом в синпреге по шаблону;

• выбрать микросферную суспензию из синпрега в местах усиления шпателем или лопаткой из органического стекла;

• раскроить усиливающие слои из препрега;

• выложить усиление на синпрег (допускается нахлест слоев 10...15 мм); стыки слоев разнести по площади;

• выложить слой препрега на всю поверхность панели, разровнять слои во избежание складок.

8) Формование изделия в автоклаве по предварительному режиму формования (температура 90 °С, время отверждения 40 мин, давление 0,2 МПа).

9) Подготовка к склейке с панелью с металлической фольгой осуществляется в следующей последовательности:

• расстелить фольгу на столе, подложив вниз бумагу или пленку; раскроить фольгу по шаблону с припуском не менее 10 мм;

• промыть фольгу с двух сторон высокощелочным раствором ОП-7 или ОПР-10, сушить каждую сторону не менее 30 мин;

• обезжирить фольгу бензином с двух сторон хлопчатобумажной салфеткой, сушить на воздухе не менее 20 мин (обезжиривание проводить в тонких резиновых перчатках, переносить фольгу в трикотажных перчатках); контролировать качество обезжиривания и отсутствие загрязнений;

• на столе расстелить слой чистой бумаги, застелить фольгу, уложить шаблон для разметки перфорации фольги, разметить по шаблону контур детали и базовые отверстия с помощью карандаша;

• выполнить перфорацию в фольге по шаблону с помощью просечки диаметром 10 мм, не допуская повреждений и деформаций отверстий;

• контролировать качество пробивки отверстий, их расположение; освежить поверхность панели, на которую накладывается фольга, связующим с помощью кисти;

• нанести клей или клеевую пленку на поверхность детали, установить перфорированную фольгу на деталь по базовым отверстиям, разгладить фольгу, не допуская складок;

• контролировать качество выполнения операций;

• провести приклейку металлической фольги к панели по предварительному режиму формования.

• контролировать качество выполнения операций;

• провести приклейку металлической фольги к панели по предварительному режиму формования.

• контролировать качество выполнения операций;

• провести приклейку металлической фольги к панели по предварительному режиму формования.

• контролировать качество выполнения операций;

• провести приклейку металлической фольги к панели по предварительному режиму формования.

• контролировать качество выполнения операций;

• провести приклейку металлической фольги к панели по предварительному режиму формования.

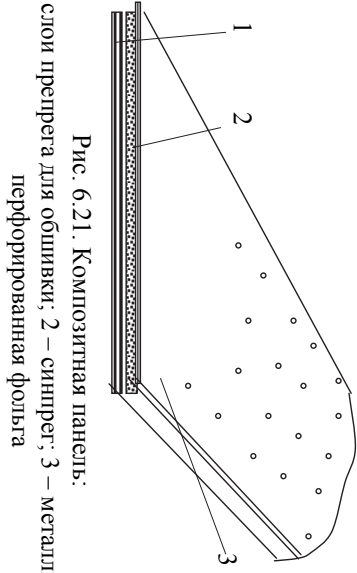


Рис. 6.21. Композитная панель:

1 – слои препрега для обшивки; 2 – синпрег; 3 – металлическая перфорированная фольга

этом укладке слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

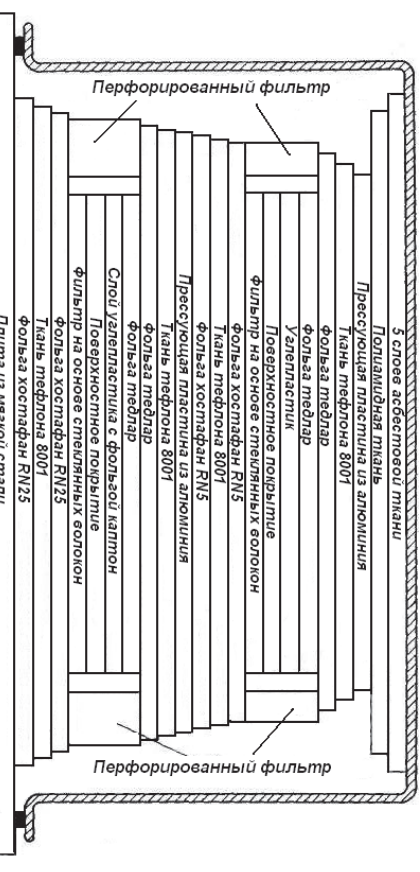


Рис. 6.31. Схема укладки материалов и тонких слоев угольного препрега

Из схемы укладки материалов следует сделать вывод, что вопросу укладки вспомогательных материалов необходимо уделять особое внимание для получения высокого качества изделия.

6.14. Формование обшивки переменной толщины в хвостовом оперении самолета

Для усиления углекомпозитного хвостового оперения вблизи мест крепления к фюзеляжу обшивка делается переменной и утолщенной (рис. 6.32).

Для скоростных самолетов, у которых обшивка нагревается достаточно сильно под действием аэродинамического нагрева, следует использовать по-разному связующее высокой теплоустойкости. Но теплоустойкие добавки, выдерживающие в связующем, могут увеличивать или снижать его вязкость.

С учетом вытекания связующего из препрега в процессе формования можно применить один из двух вариантов технологии изготовления таких обшивок:

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

1) использовать теплоустойкое связующее и формировать переменную толщину обшивки для компенсации уменьшения количества связующего в препреге и поддержания равномерной пропитки волокон (в этом случае содержание связующего падает с 40 до 34 %). Такая технология обеспечивает низкую пористость изделия, но трудоемкость работ возрастает (рис. 6.33);

2) использовать нормальную вязкость связующее, не вытекающее из препрега, не теплоустойкое, тогда слои препрега для обшивки должны быть одинакового размера, чтобы получить обшивку постоянной толщины, но при этом укладка слоев препрега должна быть совершенно другой (рис. 6.34).

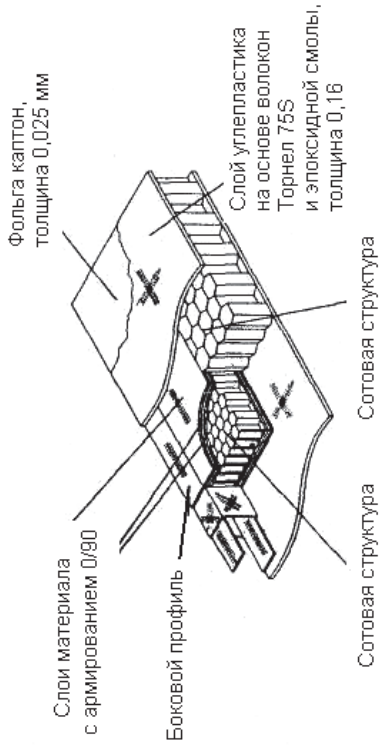


Рис. 6.30. Трехслойные панели с одним слоем угольного препрега в качестве обшивки

Различие в КЛТР особенно проявляется на стадии охлаждения. Вспомогательные материалы и металлическая пластина, на которой происходит отверждение слоя углепластика, при охлаждении сжимаются, углепластик тоже оказывается сжатым, появляется коробление углепластикового слоя и даже его разрушение.

Этот недостаток может быть преодолен постепенным снижением температуры отверждения со 120 до 80 °С, при создании вакуумирования даже на стадии охлаждения вплоть до снятия температуры до 65 °С. Для снятия температурных напряжений углепластик можно доотверждать в течение 3 ч при температуре 120 °С.

Использование алюминиевой пластины в качестве цулаги (выбирают из тех побуждений, что композит практически к ней не прилипал) показало, что коробление углепластикового слоя стало еще сильнее.

При использовании пластины-цулаги из органического коробления углепластикового слоя не наблюдается.

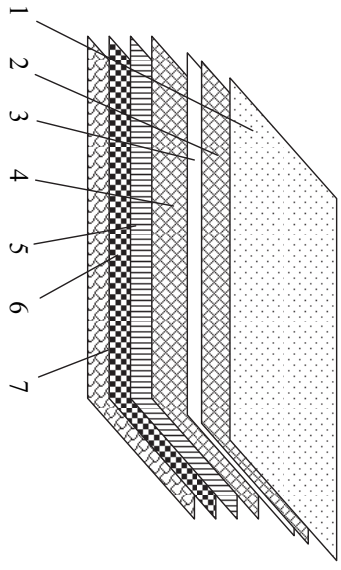
Схема укладки всех материалов при вакуум-автоклавном формовании такой пластины приведена на рис. 6.31 (по данным [3]).

На рис. 6.31 под «прессующей пластиной из алюминия» следует понимать цулагу, а под «поверхностным покрытием» – антиадгезионное покрытие, «фильтр на основе стеклянных волокон» – дренажные ткани, «тефлоновые и фостафановые ткани или обложки» – поглощающие материалы.

При клеевом способе изготовления шумопоглощающих панелей вначале на торцы сотового заполнителя с обеих сторон выкладывается

- 1 – пленка отделимая;
- 2 – стеклопластик;
- 3 – ткань нейлоновая;
- 4 – препрег сетчатый;
- 5 – заполнитель сотовый (полиамидная бумага) со стекловолокном;
- 6 – препрег из углепластика;
- 7 – бумага с рифленой поверхностью

Рис. 6.23. Схема укладки слоев панели:



Многослойные и трехслойные панели интерьера (панели пола верхней и нижней палуб, декоративные панели ограждений, перегородок, сто-ек, буфета, шумопоглощающие панели) изготавливают двумя методами: клеевым и бесклеевым.

Клеевой метод применяется для изготовления достаточно сильных многослойных панелей с сотовым заполнителем, например, панелей пола самолетов. Эти панели представляют собой трехслойную конструкцию, в которой, как правило, верхней и нижней обшивкой является стеклопластик, а сотовым заполнителем – полиамидная бумага типа «Аэровоб» или металлические соты.

При клеевом методе склеивание отдельных слоев панели обеспечивается пленочным клеем при автоклавном формовании при давлении 0,6 МПа и температуре 175 °С в течение 6 ч. Заделка панелей в контур по периметру проводится с помощью самовулканизированной пасты.

В панелях специального назначения, например, в шумопоглощающих сотовых панелях, обшивки состоят из нескольких слоев материалов: сетчатого и обычного препрега, нейлоновой ткани и стеклотекстолита, декоративной пленки (рис. 6.23).

6.9 Особенности изготовления многослойных шумопоглощающих композитных панелей интерьера планера самолета

Многослойные и трехслойные панели интерьера (панели пола верхней и нижней палуб, декоративные панели ограждений, перегородок, сто-ек, буфета, шумопоглощающие панели) изготавливают двумя методами: клеевым и бесклеевым.

Клеевой метод применяется для изготовления достаточно сильных многослойных панелей с сотовым заполнителем, например, панелей пола самолетов. Эти панели представляют собой трехслойную конструкцию, в которой, как правило, верхней и нижней обшивкой является стеклопластик, а сотовым заполнителем – полиамидная бумага типа «Аэровоб» или металлические соты.

При клеевом методе склеивание отдельных слоев панели обеспечивается пленочным клеем при автоклавном формовании при давлении 0,6 МПа и температуре 175 °С в течение 6 ч. Заделка панелей в контур по периметру проводится с помощью самовулканизированной пасты.

Клеевая пленка, фиксируется на сотовом заполнителе и прижимается плитами пресса, имеющими температуру 88...85...80 °С, приформовка идет в течение 100...180 мин. И только после этого идет сборка всей панели по типовым технологическим операциям: подготовка поверхности под склеивание, подготовка клеевой пленки, сборка панели, автоклавное формование, выдержка на воздухе, контроль образцов-свидетелей на прочность и на качество изготовления (непроклей, расслоение) (рис. 6.24).

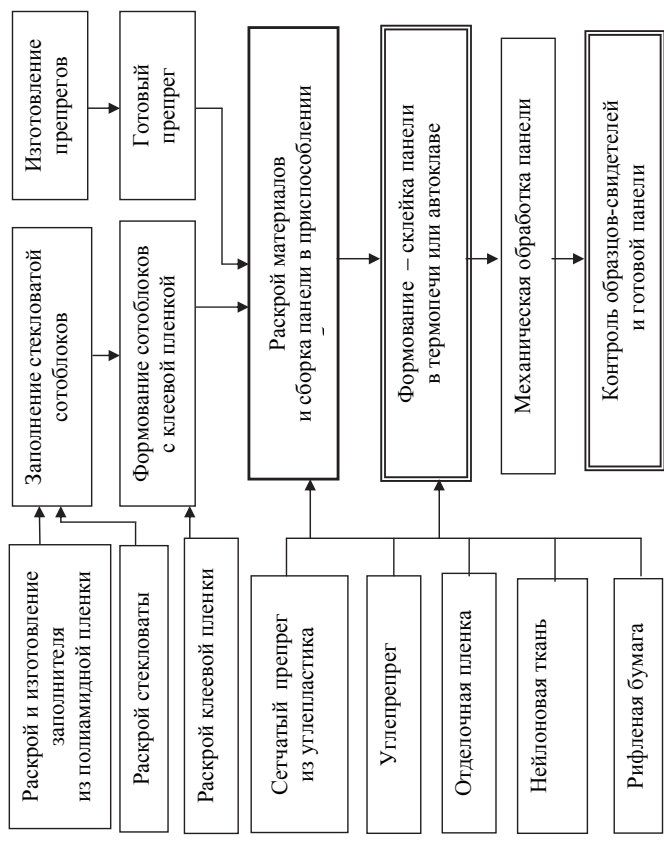


Рис. 6.24. Блок-схема изготовления шумопоглощающей панели клеевым методом

Бесклеевой метод применяется для изготовления трехслойных декоративных несильных панелей интерьера с обшивками из стекло ткани, пропитанной связующим. Панели декоративного назначения облицовываются дополнительно отделочной поливинилхлоридной пленкой.

Сборка многослойных шумопоглощающих панелей бесклеевым методом производится в следующей последовательности:

- на подготовленную поверхность оснастки укладываются слои бумаги требуемого тиснения (рифленая бумага);
- укладывается верхний перфорированный слой стеклотекстолита;

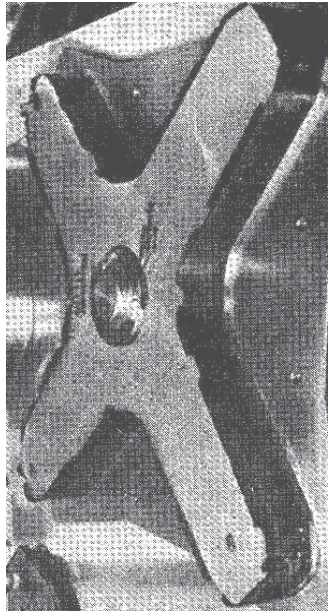
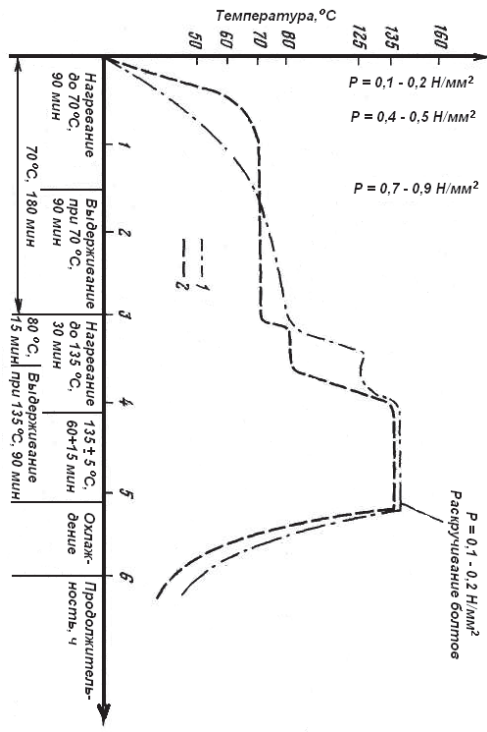


Рис. 6.26. Втулка воздушного винта в пресс-форме

Для изготовления **углепластиковых длинномерных накладок** толщиной, например, 10 мм, этапы технологического процесса следующие:

- получение 84 углепластиковых однослойных препрегов (КМКУ толщиной 0,12 мм);
- получение 11 пакетов из восьми слоев препрега, формование по режиму предварительного отверждения под давлением 0,2 МПа при температуре 85 °С в течение 3 ч;

Рис. 6.27. Сложный цикл формования втулки воздушного винта



Разборку пресс-формы проводят в горячем состоянии, чтобы при охлаждении сокращение её размеров не привело к повреждению отформованной втулки.

Экспериментально установлено, что для предупреждения перегрева внешних слоев препрега толстостенные детали должны формоваться по специальному режиму: вначале проводят предварительное формование пакетов, собранных из одиночных слоев препрега, затем проводят окончательное формование всех пакетов по специальному режиму.

Для изготовления **втулки воздушного винта** используют 136 однослойных слоев препрега. Толщину каждого слоя принимают 0,4 мм. Если предварительно формовать пакеты толщиной 5 мм, то необходимо отформовать по 12...13 слоев в каждом пакете (будет 11 пакетов).

Окончательное формование пакетов, соединенных в пресс-форме через клеевую пленку, лучше вести по сложному (ступенчатому) циклу отверждения (рис. 6.27), так как при этом гарантируется лучшее уплотнение пакетов.

Сборку пресс-формы проводят в горячем состоянии, чтобы при охлаждении сокращение её размеров не привело к повреждению отформованной втулки.

Экспериментально установлено, что для предупреждения перегрева внешних слоев препрега толстостенные детали должны формоваться по специальному режиму: вначале проводят предварительное формование пакетов, собранных из одиночных слоев препрега, затем проводят окончательное формование всех пакетов по специальному режиму.

Для изготовления **втулки воздушного винта** используют 136 однослойных слоев препрега. Толщину каждого слоя принимают 0,4 мм. Если предварительно формовать пакеты толщиной 5 мм, то необходимо отформовать по 12...13 слоев в каждом пакете (будет 11 пакетов).

Окончательное формование пакетов, соединенных в пресс-форме через клеевую пленку, лучше вести по сложному (ступенчатому) циклу отверждения (рис. 6.27), так как при этом гарантируется лучшее уплотнение пакетов.

Сборку пресс-формы проводят в горячем состоянии, чтобы при охлаждении сокращение её размеров не привело к повреждению отформованной втулки.

Далее на сборку укладывают вакуум-мешок, герметизируют его по периметру (контуру) сборки. Затем идет вакуумирование, проверка герметичности мешка, затем начинают процесс отверждения (48 ч).

Время полимеризации связующего составляет 36...38 ч, что позволяет в ручную выложить панель размером 1,2 × 4,2 м до первых признаков застывания (желатинизации) композиции.

По окончании процесса отверждения разбирают сборку: удаляют вакуумный мешок, старательно и осторожно отдирают разделительный слой от внешней обшивки панели. При этом лакокрасочное покрытие остается на панели. Полученное изделие имеет полированную поверхность внешней обшивки панели и высокое качество поверхности внутренней обшивки панели.

6.11. Особенности изготовления толстостенных изделий из углепластика

В конструкции самолетов и вертолетов используются углепластиковые элементы достаточно большой толщины до 10...16 мм: втулки воздушных винтов, усиленные накладки из углепластика для поясов лонжерона и стенок.

Усиленные накладки лонжерона имеют толщину от 16 до 25 мм при длине до 10 000 мм и более. Накладки усиления повышают жесткость и прочность лонжерона, что особенно эффективно при применении крыльев большого размаха.

Втулка воздушного винта выполняется толщиной 50...55 мм и изготавливается из тканевых угловых препрегов (рис. 6.26). Толщина каждого слоя готового препрега составляет от 0,1 до 0,3 мм.

Чтобы качественно изготовить такие детали, необходимо обеспечить равномерный прогрев детали в процессе отверждения во всех частях изделия как по длине, так и по толщине.

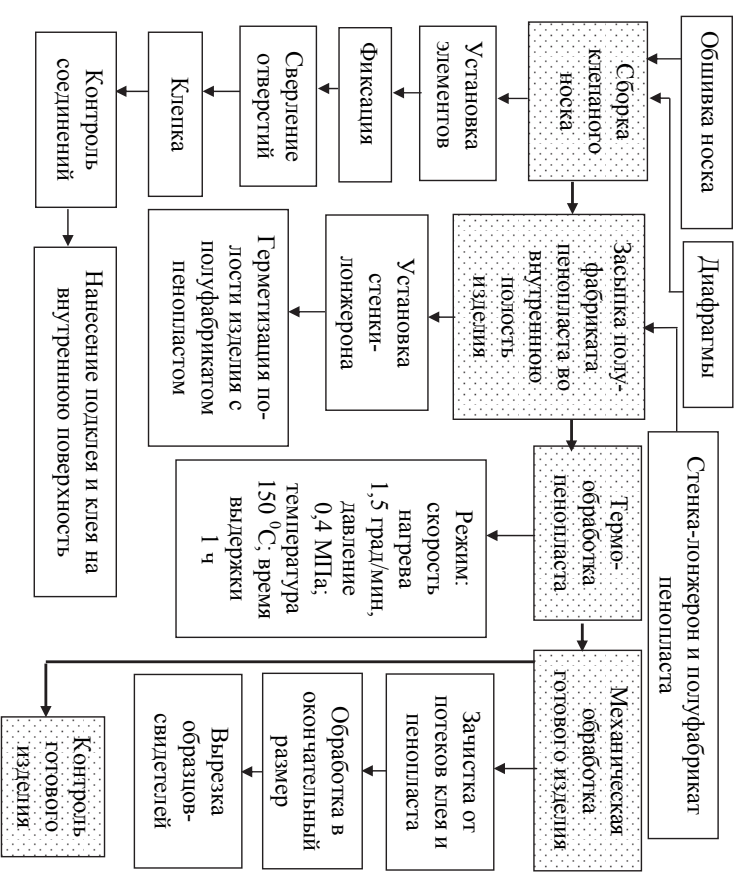


Рис. 6.37. Изготовление носка стабилизатора беспрессовым методом

Но беспрессовый метод имеет и недостатки:

- 1) возможна усадка изделия при толщине пенопласта более 10 мм;
- 2) прочность пенопласта с течением времени уменьшается, наступает естественное старение.

Для уменьшения усадки наполнителя в пенопласт вводят специальные добавки (карбид кремния, газовую сажу).

Для изделий с пенопластом большей толщины используют третий метод – *комбинированный* (рис. 6.38), сущность которого состоит в том, что на каркас и обшивку изделия наносят подклей БФ-2, в полость изделия вводят грубо обработанный питочный пенопласт в виде вкладки, в лучшем случае зазор засыпают полуфабрикат вспенивающегося пенопласта в определенном расчетном количестве. Затем обеспечивают герметичность внутреннего объема изделия.

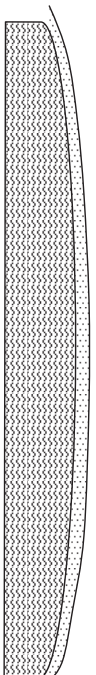


Рис. 6.46. Нанесение покрытия на мастер-модель

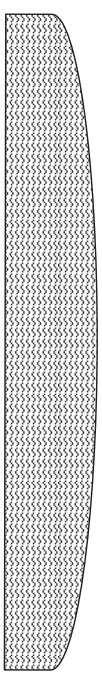


Рис. 6.45. Мастер-модель для изготовления подложки

- 2) Нанесение на поверхность модели антиадгезионной смазки и износостойкого покрытия – например, смесь эпоксидной смолы ЭД-20 с диоксидом титана марки Р-6 (ТУ6-10-1650-78) в соотношении 1:10 от объема связующего (рис. 6.46).

- 3) Выдержка покрытия до начала желатинизации.
- 4) Нанесение рубленых стекляных волокон и кусочков стеклоткани на покрытие (рис. 6.47). Укладка вспомогательных материалов, цулаги.

Блок-схема технологического процесса сборки носка *стабилизатора беспрессовым (самовспенивающимся) методом* приведена на рис. 6.37.

При отверждении обшивки постоянной толщины трудоемкостью работ при получении обшивки переменной толщины.

6.15. Варианты технологических процессов изготовления трехслойных конструкций с пенопластовым наполнителем

Изготовление трехслойных конструкций с пенопластом выполняют прессовым, беспрессовым или комбинированным методами.

Прессовый метод

Сущность прессового метода заключается в том, что соединение деталей с плиточным жестким пенопластовым наполнителем производится под внешним давлением прессования.

Технологический процесс изготовления, например, хвостовой части руля направления прессовым методом включает следующие операции:

- изготовление обшивок и элементов каркаса;
- сборку металлического каркаса руля направления;
- сборку каркаса с обшивками в сборочном приспособлении;
- вырезку частей наполнителя из жесткого пенопласта;
- складывание частей пенопласта между нервюрами, подгонку пенопласта;
- нанесение клея на внутренние поверхности каркаса и обшивок, установку вкладышей пенопласта между нервюрами;
- подготовку к формованию;
- формование изделия с пенопластом за один переход по режиму, при котором проходит отверждение клея;
- контроль качества склеивания.

Пенопласт подготавливают обычно механической обработкой для точной пригонки его обводов к внутренним обводам обшивки изделия. Эта операция требует больших затрат времени и высокой квалификации исполнителя. Неточность обработки приводит к неплотному прилеганию обшивки к наполнителю, к неполному склеиванию.

Структура технологического процесса изготовления изделия с пенопластом прессовым методом приведена на рис. 6.35.

Беспрессовый метод

Беспрессовый метод получения трехслойных конструкций с пенопластовыми наполнителями позволяет значительно упростить технологический процесс изготовления. Используется полуфабрикат пенопласта, который изготавливают и поставляют в виде жидкостей, паст, порошков, пленки, пустотелых шнуров или цилиндров длиной 5...7 мм.

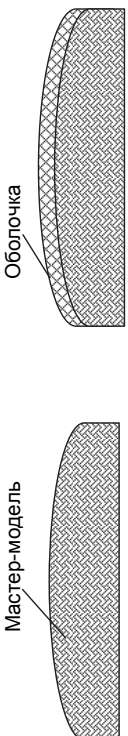


Рис. 6.49. Схема мастер-модели: а – некомбинированного; б – комбинированного типа

Мастер-модель **комбинированного типа**: основная часть – дерево, а рабочая поверхность модели, как промежуточный элемент в схеме увязки (оснастка разового использования) изготовлена из 15 слоев ткани СВМ: по схеме СВМ (0/90)_{1,5}. Связующее – высокотеплостойкое эпоксидное ВС-2526.

При выборе схемы выкладки придерживаются рекомендаций исследователей работ в области механики композиционных материалов. Технологически для обеспечения наибольшей прочности рациональной является укладка монослоев под углом ± 45°, однако при сдвиге эти слои быстрее теряют устойчивость, чем слои, уложенные под углом ± 60°. Поэтому для повышения критических напряжений сдвига внешний слой укладывают под углом 90°.

Для уменьшения напряжения и обеспечения максимальной реализации свойств оболочки модели слои должны быть ориентированы минимум в трех направлениях: 0°, ±45°, -45°. В большинстве конструкций используются слоистые композиты с ориентацией слоев во всех четырех направлениях. Это позволяет минимизировать напряжение и создать наиболее благоприятные условия поведения композита.

Мастер-модель выполняют комбинированного и некомбинированного типа (рис. 6.49).

- материал модели должен позволять производить доводку и ремонт её рабочей поверхности.

Опорная сторона мастер-модели не должна иметь отклонений от плоскостности более 1 мм;

- должна изготавливаться из легкообрабатываемых материалов (дерева, листовых пород с влажностью не более 5% (дальт-древесина);
- не должна иметь пустот, не расслаиваться и не деформироваться при формовании композитной выклеиваемой подложки;
- рабочая поверхность мастер-модели должна обеспечивать необходимое качество рабочей поверхности неметаллической обшивки.

4) На рабочей поверхности оснастки (подложки) должны отсутствовать раковины, царапины, непроклеи, расслоения, трещины и другие дефекты.

5) Технологическая подложка оснастки должна сохранять герметичность при создании вакуума под мешком 0,8...1,0 кгс/см² в течение 5 мин. Допускается падение вакуума в мешке не более 0,1 кгс/см² не менее чем за 1 мин.

6) Рабочая поверхность оснастки должна иметь разметку линии обреза и оси детали. Разметка должна быть выполнена четко и обеспечивать возможность переноса её на деталь путем отпечата.

7) Оснастка должна обеспечивать равномерность прогрева детали по всей поверхности.

- 8) Оснастка должна иметь:
 - встроенную вакуумную систему по периметру;
 - узлы для транспортировки (рым-болты или другие приспособления);

9) Углеродистая подложка оснастки должна быть замаркирована и иметь сопроводительный документ о качестве.

Последовательность этапов изготовления подложки следующая:

- 1) Изготовление мастер-модели из специальных пород дерева для обеспечения точного контура подложки (рис. 6.45).

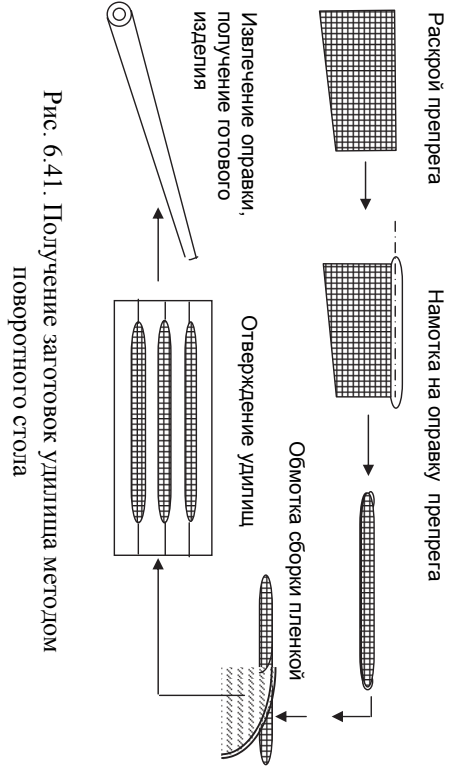


Рис. 6.41. Получение заготовок удлинища методом поворотного стола

Технологические предложения	Содержание технологического предложения
Использование гибридных материалов на основе углеродных и стеклянных волокон	Намотка: внутренний слой – стекловолокна, внешний – углеродные волокна. Намотка комбинированной тканью из углеродных и стеклянных волокон под углом 0°. Намотка углеродных волокон вдоль оси изделия, стеклянных – под углом 90° к оси.
Повышение прочности при изгибе	Намотка слоя из углеродных или других волокон почти параллельно оси изделия. Косоугольная намотка слоями пучков углеродных или других волокон с крупным шагом
Предотвращение прилипания изделия к оправке при термообработке	Покрытие фторопластом или другим антиадгезивом поверхности металлической оправки для изделий большого диаметра
Предотвращение искривления	Укладка намотанного препрега на усовершенствованную оправку и отверждение.
Улучшение качества поверхности изделия	Отверждение проводят под действием электронного пучка, при этом в полипропиленовую пленку вводят специальные добавки

Особенности и виньявая удилища

Таблица 6.8

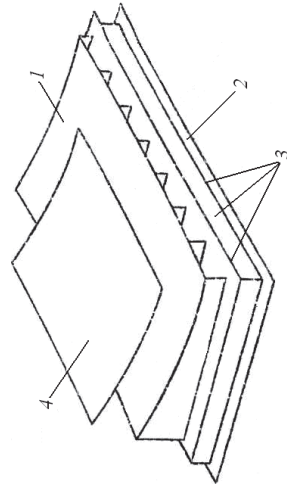


Рис. 6.43. Форма для изготовления наружных обшивок:

1 – обшивка формы; 2 – рама; 3 – набор ложементов; 4 – пуллага

Технологическая подложка устанавливается на каркас или на поверхность обшивки формы, контур внешней поверхности подложки должен соответствовать теоретическому контуру поверхности панели, а контур внутренней поверхности подложки должен четко копировать наружную поверхность обшивки формы.

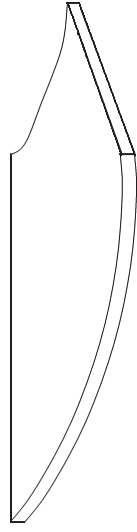


Рис. 6.44. Вид готовой подложки для формирования наружной обшивки

При изготовлении подложки необходимо применение эластичных и жестких пулаг для получения высококачественных поверхностей элементов подложки.

Технические требования к неметаллической оснастке

- 1) Оснастка должна быть формоустойчивой и иметь достаточную жесткость.
- 2) Конструкция и материал оснастки должны обеспечивать многократное формирование деталей из ПКМ (не менее 20...50 циклов формования без ремонтно-восстановительных работ) при температуре 180 °С и давлении от 3 до 6 кгс/см².
- 3) Точность формобразующей поверхности оснастки (подложки) по отношению к теоретическому контуру (ТК) должна обеспечивать изготовление на ней деталей с точностью ±0,3 мм.

После этого проводят *термообработку* клея и *пеннопласта* одновременно.

С помощью электронагревателей композицию пенопластов нагревают со скоростью 1...3 град/мин до температуры отверждения $t_{отв} = 150...180$ °С и выдерживают 30...40 мин.

Время выдержки зависит от максимальной толщины заполнителя и его плотности (например, при толщине 50 мм и плотности $\gamma = 0,15$ г/см³ выдержка должна быть не менее 4 ч).

6.16. Получение длинномерных трубчатых изделий

При производстве тонкостенных длинномерных изделий, которые встречаются на самолете, клюшек для игры в гольф, удилищ применяют метод намотки нитями и лентами или используют метод поворотного стола (при работе с готовыми препрегами).



Рис. 6.38. Схема выкладки изделия с самовспенивающимся пенопластом и вкладышем из жесткого пенопласта

Схемы процессов намотки приведены на рис. 6.39 и рис. 6.40.

Изготовление клюшек для гольфа

Сравнение двух методов изготовления изделий типа клюшек для гольфа приведено в табл. 6.7.

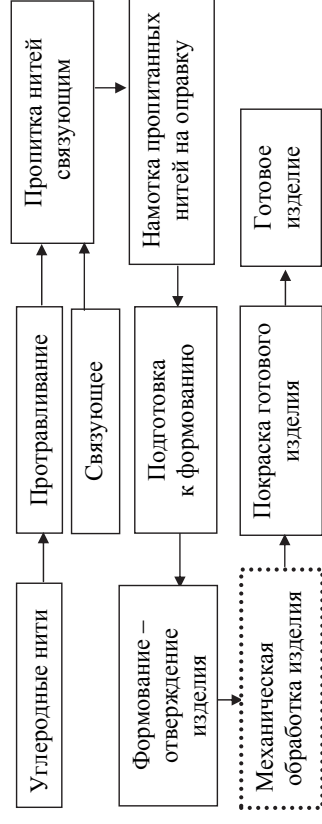


Рис. 6.39. Схема изготовления композитных клюшек методом намотки

Метод	Особенности производства	Достоинства	Недостатки
Намотки нитями	Пучок пропитанных нитей наматывают на вращающуюся цилиндрическую или коническую оправку, которая совершает возвратно-поступательное движение	1. Нить наматывают с постоянным натяжением, этим достигается высокая стабильность прочностных и жесткостных характеристик.	1. Внешняя поверхность изделия неровная, поэтому необходимо проволочить шпифование.
Метод	Угол намотки составляет $\pm(20 - 30)^\circ$, внутренний слой – под углом $\pm(40-50)^\circ$, внешний слой – под углом $\pm(0 - 10)^\circ$. Могут применяться другие схемы намотки.	2. Получают изделия с высоким содержанием волокон (до 70%). 3. Легко образуются углощенный край достаточной прочности со стороны меньшего диаметра.	2. Затруднена намотка под углом 0° , так как трудно регулировать натяжение.

Сравнение двух методов формования клошек

Таблица 6.7

Для повышения жесткости при кручении угол намотки внутреннего слоя клошки составляет $\pm(30 - 60)^\circ$, для получения достаточной прочности на изгиб внешний слой волокон ориентируют под углом от 0 до $\pm 10^\circ$ к оси трубки.

С точки зрения технологии при формовании клошек важно получить материал с низкой пористостью и строгой ориентацией волокон вдоль оси трубки.

Клошки для игры в гольф должны быть толстостенными и легкими, иметь достаточную жесткость при кручении и прочность при изгибе.

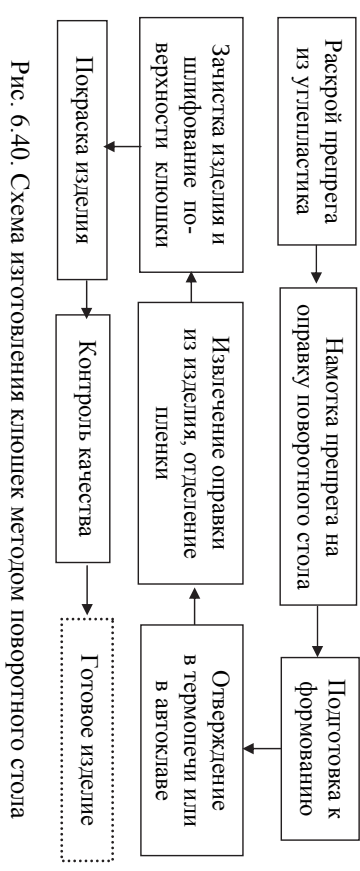


Рис. 6.40. Схема изготовления клошек поворотного стола

Для обеспечения этих требований необходимо специальным образом ориентировать волокна.

Для повышения жесткости при кручении угол намотки внутреннего слоя клошки составляет $\pm(30 - 60)^\circ$, для получения достаточной прочности на изгиб внешний слой волокон ориентируют под углом от 0 до $\pm 10^\circ$ к оси трубки.

С точки зрения технологии при формовании клошек важно получить материал с низкой пористостью и строгой ориентацией волокон вдоль оси трубки.

Метод	Особенности производства	Достоинства	Недостатки
Поворотного стола	Вырезают однонаправленный препрег и наматывают два слоя: внутренний под углом $\pm(30 - 50)^\circ$ и внешний 0° . Можно использовать высокомолекулярные нити во внутреннем слое для повышения жесткости при кручении.	1. Получают гладкую поверхность и равномерное распределение компонентов по объему. 2. Легче выполнить условие – угол намотки 0° .	1. Могут образоваться поры между слоями. 2. Технология получения проста, но прочность и жесткость при кручении ниже, чем при намотке нитями.

Продолжение табл. 6.7

Изготовление удилещ

Намоткой можно подготавливать к формованию и изделия типа удилещ, они должны быть тонкостенными, легкими и прочными, хорошо работать на растяжение.

При намотке волокна должны быть расположены параллельно оси изделия (то есть под углом 0°).

Для повышения прочности удилещ часто дополнительно волокна ориентируют под углом 90° к его оси.

Как и при производстве клошек для игры в гольф, важно обеспечить регулярность расположения волокон в структуре материала и низкую пористость связующего.

Следует отметить, что при снятии готовых удилещ с оправки могут возникнуть деформации, искривления, поэтому снятию изделия с оправки необходимо уделять большое внимание.

В табл. 6.8 приведены различные технологические приемы формования удилещ (по японским патентам), которые можно применить и для изготовления самолетных деталей.

Промышленность выпускает самые разнообразные по размерам удилещ, при этом использует различные типы волокон и их сочетания: высокомолекулярные и высокопрочные углеродные волокна, борные волокна, волокна Кевлар и органические волокна; варьируют схемы ориентации и содержание волокон, тип полимерной матрицы и методы формования.

Иллюстрация метода формования удилещ приведена на рис. 6.41.

1	2	3
Склеивание армированием	Древесина, клей и отвержденный углепластик	Элементы каркаса, рукоятку каркаса ракетки обклеивают углеродным препрегом и отверждают при повышенной температуре
Инжекционное одностадийное формование	Термопласт, армированный углеродными волокнами	Предварительно изготовленный стержень из сплава с низкой температурой плавления, помещают его в форму, проволочат углеродное волокно, содержащим углеродные волокна, получают заготовку. После охлаждения нагревают повторно (выше температуры плавления сердечника), выплавают металл и получают полый каркас ракетки
Инжекционное формование отдельных частей ракетки с последующим соединением	Термопласт, армированный углеродными волокнами	Проводят инжекционное формование отдельных частей каркаса ракетки (внутренней и внешней), затем соединяют их, чтобы внутри образовалось полое пространство, склеивают и вновь отверждают

Рис. 6.9. Этапы изготовления ракетки

Отличительная особенность метода – необходимо создавать высокое давление в формах.

Отметим главные условия формования:

- 1) Нагрев листов проводят горячим воздухом или инфракрасным излучением, причем температура должна быть на $20 - 40^\circ\text{C}$ выше, чем температура плавления полимера.

6.17. Формование изделий из термопластов, армированных углеродными волокнами

Из приведенных таблиц следует, что разнообразие методов формования полимерных композитных изделий позволяет выбрать приемлемый метод в зависимости от оснащенности предприятия и технологической организации производства и требуемого качества изготовления изделия.

При формовании изделий из термопластов полуфабрикатом служат листовые термопластичные листы, армированные короткими или длинными углеродными волокнами, например, «JORNELL».

Изделия прессуются в разъемных металлических формах. Предварительно металлические формы подогревают до температуры ниже точки плавления полимера.

Отличительная особенность метода – необходимо создавать высокое давление в формах.

Отметим главные условия формования:

- 1) Нагрев листов проводят горячим воздухом или инфракрасным излучением, причем температура должна быть на $20 - 40^\circ\text{C}$ выше, чем температура плавления полимера.

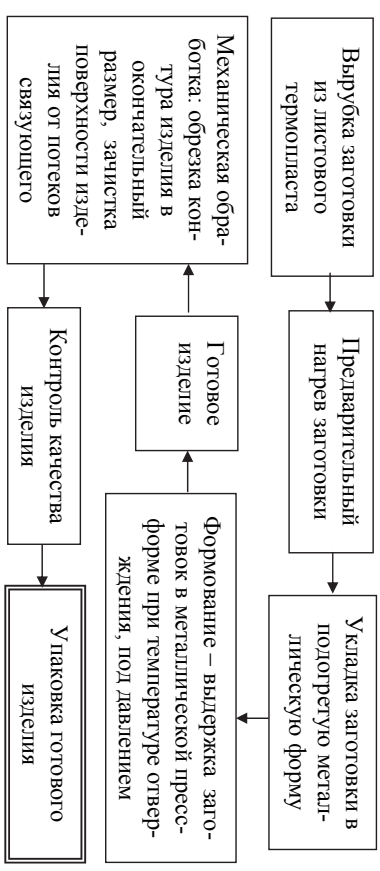


Рис. 6.42. Последовательность операций для формования листовых термопластов

Блок-схема последовательности операций штампования из термопласта, армированного углеродными волокнами, приведена на рис. 6.42.

6.18. Особенности изготовления технологической подложки со смолой холодного отверждения для неметаллической оснастки

Неметаллическая оснастка для формования панелей имеет металлический каркас, лекала для установки на них подложки и технологическую композиционную полимерную подложку (рис. 6.43).

Изготовление технологической подложки идет поэтапно.

Например, композиционная подложка имеет вид, приведенный на рис. 6.44.



Рис. 6.51. Вторая стадия технологического процесса изготовления композитной подложки

Для авиационной промышленности характерен высокий уровень развития и совершенствования изготавливаемой авиатехники. Одним из показателей технического уровня разрабатываемых конструкций самолетов служит объем применения в конструкциях полимерных композиционных материалов (до 25 %).

Многие полимерные композитные материалы имеют комплекс свойств, позволяющий обеспечить работоспособность конструкций в различных условиях и решать многоцелевые задачи. При проектировании конструкций необходимо находить комплексные решения между стремлением получить максимальный выигрыш по массе конструкции за счет применения ПКМ и высокостойким производством изделий из ПКМ.

Но эффективность и особенность использования полимерных композиционных материалов заключается в том, что из них могут создаваться изделия с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающими характеру и условиям работы изделий. Используя разные матрицы, изменяя в них содержание армирующих волокон, их ориентацию в слоях материала, сочетая в одной матрице волокна с различными упругопрочностными свойствами, можно создать материал с заданным комплексом свойств. Иными словами, в случае использования полимерных композитов материал и конструкция создаются одновременно.

Материал, изготовленный в учебном пособии, содержит подробные разработки и пояснения, которые необходимы для изучения технологических аспектов формирования изделий из полимерных композиционных материалов применительно к изделиям авиационной техники.

Учебное пособие может использоваться в качестве основного справочного и рекомендательного материала при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также для получения теоретических сведений в области технологии получения изделий из полимерных композитов.

Требования к изготовлению подложки-оболочки из ПКМ

- 1) Оснастку следует изготавливать из препрега на основе связующего марки ВСО-200 и стеклоткани марок Т-11-ГВС-9 (Т-11) или Т-25 (ВМ) толщиной $8^{+1,0}$ мм.
- 2) Лицевой слой оболочки следует изготавливать из препрега на основе связующего марки ВСО-200 и стеклоткани марки Э2-62.
- 3) Габаритные размеры оболочки должны обеспечиваться габаритными размерами мастер-модели.
- 4) Оболочка должна иметь встроенную вакуумную систему по периметру.
- 5) Оболочка должна иметь продольно поперечный силовой набор, обеспечивающий жесткость формобразующей поверхности при автоклавном формовании детали.
- 6) Продольно поперечный набор необходимо изготавливать из связующего марки ВСО-200 и стеклоткани марок Т-11-ГВС-9 (Т-11) или Т-25 (ВМ) толщиной $5^{+1,0}$ мм и крепить клеемеханическим соединением.
- 7) Для равномерного прогрева оболочки в отбортовке и стенках силового набора следует предусмотреть отверстия диаметром 100 мм.
- 8) Покрытие оболочки – эмаль марки ЭП-140 серебристая.
- 9) Оболочка должна иметь рям-болты.
- 10) Базирование детали на оболочке должно производиться с помощью штифтов, установленных по торцам детали.

Разработка технологического процесса изготовления полимерной композитной подложки

Для конкретности примем вариант конструкции оснастки из ПКМ: монолитная подложка толщиной 3...5 мм из слоев углепластикового препрега. Каркас – рама коробчатой формы и комплект ложементов из стеклотекстолита (или из алюминиевых сплавов), изготовленных на СЧПУ. Оснастка имеет вакуумную систему, состоящую из металлических трубок, штуцеров отсоса с отверстиями 3 мм с шагом 15...30 мм по всей длине.

Поскольку главным критерием выбора является равнозначность коэффициентов теплового расширения материала подложки и деталей, то для изготовления подложки, предназначенной для формования углепластиковых деталей, могут быть использованы высокопрочные углеродные ленты марок УОЛ-300, ЛЖУ, ЭЛУР-0,1, углеродная ткань марки УТ-900 на основе теплоустойчивых связующих марок 5-211Б, ВС-2526, роливсан, ВСО-200. С целью придания подложке пластичности верхний и нижний слои подложки выполняются из органопластика СВМ: СВМ (ЭЛУР 90/±45)л7 СВМ.

