

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

АВТОКЛАВНОЕ ФОРМОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ

Методические указания

САМАРА 1995

Составитель В. С. Феоктистов

УДК 621.016

Автоклавное формование элементов конструкций летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов: Метод. указания /Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. В. С. Феоктистов. Самара, 1995. 32 с.

Представлены основные сведения по применению ПКМ в самолето- и вертолетостроении. Дана классификация конструктивно-технологических характеристик изделий из ПКМ, применяемых в производстве ЛА. Рассмотрены основные принципы технологических процессов изготовления полуфабрикатов (препрегов); подготовки и реализации одного из методов получения изделий из ПКМ — автоклавного формования.

Изложены порядок разработки технологической документации и требования безопасности при изготовлении изделий из ПКМ.

Предназначены для студентов специальностей 1301 (специализация "Композиционные материалы"), 1301.01 и 1301.03. Работа подготовлена на кафедре производства летательных аппаратов.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева

Рецензенты: канд. техн. наук П. В. Лычев,
Ю. Е. Паламарчук

* * *

Повышение эффективности летательных аппаратов (увеличение дальности полета при сохранении начальной взлетной массы, увеличение нагрузки при сохранении той же дальности полета, уменьшение линейных размеров, материалоемкости, отношения массы конструкции к полезной массе и мощности (тяге) и т. д.) — основополагающая задача при создании новых образцов авиационной техники.

Анализ показывает, что наиболее перспективным с точки зрения повышения эффективности летательного аппарата является снижение его массы, переход к конструкциям с меньшим количеством деталей. Принципиально решить эту проблему оказалось возможным только с появлением нового класса материалов — полимерных композиционных материалов (ПКМ), существенно отличающихся по своей структуре и физико-механическим свойствам от традиционных материалов.

Применение в конструкции самолетов 40% ПКМ позволяет снизить массу пустого самолета на 30% и добиться наибольшей экономии при минимальных расходах [1].

Использование ПКМ в самолето- и вертолетостроении потребовало коренного пересмотра организации производственного процесса.

1. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ПКМ), ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (ЛА)

При разработке новых конструкций самолетов отечественные и зарубежные ученые в настоящее время идут по пути повышения экономичности, эффективности, надежности, ресурса летатель-

ного аппарата (ЛА), улучшения его маневренности, снижения шума в салоне и на взлетной полосе, уменьшения загрязненности окружающей среды.

Сравнительный анализ последних технических достижений в области аэродинамики и электроники показывает, что наиболее перспективным с точки зрения эффективности ЛА является снижение массы конструкции путем использования ПКМ, порошковых алюминиевых и алюминий-литиевых сплавов.

Применяемые в конструкциях самолетов материалы можно условно разделить на три группы.

Первая группа — металлические сплавы на основе алюминия и титана. Из материалов этой группы изготавливаются фюзеляж, крыло, оперение, агрегаты механизации крыла, а также посадочные устройства. К этой группе конструкционных материалов также относятся металлические композиционные материалы.

Вторая группа — полимерные композиционные материалы. Эти материалы по сравнению с материалами первой группы имеют ряд преимуществ, позволяющих значительно повысить эффективность конструкций. Наиболее перспективными с точки зрения снижения массы конструкции и стоимости являются ПКМ на основе полимерных стекло-, органо- и углеродистых волокон, т. е. стеклопластики, органопластики и углепластики.

Третья группа — неметаллические конструктивно-декоративные материалы (полиамиды, пенопласты, полистиролы, резины и др.).

Масса деталей из неметаллических материалов второй и третьей групп в зависимости от типа самолета может быть в пределах 13...20% от массы самолета [1]. ПКМ создают в результате склеивания, химического соединения основы (связующего), с армирующим материалом (наполнителем).

В качестве основы-связующего используются эпоксидные, полиэфирные и фенольные смолы различной модификации. Различные виды армирующих материалов-наполнителей представлены на рис. 1.

1. *Стекловолокниты* — материалы с хаотически расположенными штапельными волокнами длиной 50...500 мм и жгутами длиной



Рис. 1. Основные виды армирующих материалов-наполнителей

50...100 мм. Стекловолокниты изотропны, но их механические свойства недостаточно хороши, и поэтому эти материалы используются для изготовления малонагруженных деталей.

2. *Стеклопластики* — материалы, в которые входят стеклянные нити, волокна, ленты, ткани полотняного или сатинового плетения. ПКМ с основой из стеклопластиков обладают высокой механической прочностью. Из них изготавливаются детали, воспринимающие аэродинамические нагрузки (обтекатели, зализы, крышки люков и др.).

3. *Органопластики* — материалы с органическими волокнами, лентами, нитями, жгутами и тканями. Относятся к легким материалам, их плотность равна $0,95...1,4 \text{ кг/см}^3$. Одним из основных показателей работоспособности органопластиков является ползучесть. По удельной жесткости он в 2 раза превосходит стеклопластики, но при этом в 1,5...2,0 раза уступает угле- и боропластикам.

Органопластики обладают хорошими теплоизоляционными свойствами: их тепло- и температуропроводность в два раза ниже, а удельная теплоемкость на 50...70% выше, чем у стеклопластиков. Механические характеристики угле- и органопластиков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические характеристики угле- и органопластиков [2]

Объем волокон наполнителя в ПКМ, %		Предел прочности при сжатии, МПа	Модуль упругости, МПа
углеродных	органических		
100	-	10,5	1,87
76	23	9,8	1,75
68	32	8,2	1,65
-	100	10,3	0,53

Органопластики характеризуются высокой удельной прочностью, хорошими показателями прочности при сжатии, изгибе и сдвиге, являются хорошими диэлектриками. Эти материалы устойчивы к действию ударных и знакопеременных нагрузок, плохо воспламеняются, и их характеристики достаточно стабильны при высокой влажности.

Органопластики применяются:

- в конструкциях, испытывающих предельные растягивающие напряжения, например в сосудах высокого давления;
- в деталях и узлах декоративных элементов интерьеров самолетов и вертолетов;
- в деталях и узлах электро- и радиотехнического назначения, например в обтекателях для укрытия антенн и т. п.

4. *Углепластики* — материал с углеродными нитями, волокнами, лентами, тканями. Волокна изготавливаются из полиакрилонитратных заготовок либо из смолы — остатка, образующегося при высокотемпературном расщеплении в процессе переработки нефти.

Основные преимущества углепластиков: малая плотность, высокое статическое сопротивление усталости, жесткость, сопротивляемость коррозии, износо- и абразивостойкость, малые коэффициенты линейного расширения и электрической проводимости.

В основном используются углепластики на эпоксидной основе. ПКМ на фенольной основе используются только для изготовления деталей оборудования и интерьера пассажирских кабин из-за негорючести.

5. *Боропластики* — материалы с борными волокнами (волокна из поликристаллического бора, осажденного на вольфрамовую проволоку) и борными стеклонитями, состоящими из параллельно расположенных борных волокон.

В зависимости от предела прочности при растяжении σ_B выпускаются борные волокна трех сортов:

- первый сорт — волокна с $\sigma_B \geq 32,5$ МПа,
- второй сорт — волокна с $\sigma_B = 27...32,4$ МПа,
- третий сорт — волокна с $\sigma_B = 22,5...27$ МПа.

ПКМ с боропластиковым армирующим материалом применяется для изготовления направляющих и рабочих лопаток турбин, оболочек компрессора ТТД, подкрепляющих элементов металлического силового набора планера, емкостей, рассчитанных для хранения газа под высоким давлением.

Следует отметить и недостатки ПКМ. Главный из них — коррозия, возникающая при контакте ПКМ с металлическими деталями например, при контакте углепластиков с алюминиевыми сплавами и обычной углеродистой сталью, а также при контакте боропластиков со сталью 30ХГСА). Другой недостаток ПКМ — необходимость экранирования радиоэлектронного оборудования и защиты от грозовых электроразрядов из-за низких электро- и теплопроводимости [3].

2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩАЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛА

Детали, изготавливаемые из полимерных композиционных материалов, отличаются конфигурацией и габаритами; последние определяют методы получения и формования деталей. По конфигурации детали из ПКМ разделяются на пять классов.

Класс № 1. Детали плоские и одинарной кривизны, угол подъема кривой не более 5° .

Габаритные размеры деталей: длина — 12000 мм, ширина — до 4000 мм. Детали данного класса получают методом ручной или автоматизированной выкладки на станках типа ВКЛ 1х2,5 ПУ, ВКЛ 2х12 ПУ, ВКЛ 4х12 ПУ.

Метод формования деталей — автоклавное формование в автоклавах типа АЭ 1,2x4, АЭ 3,15x16, АЭ 4,5x16.

Типовыми представителями деталей данного класса являются силовые обшивки агрегатов типа передней панели воздухозаборника, руля направления, крышки люка, обтекателя привода стабилизатора, руля поворота, щитка шасси и др.

Класс № 2. Детали одинарной кривизны с углом подъема кривой более 5°.

Габаритные размеры деталей: длина — до 12000 мм, ширина — до 4000 мм.

Детали данного класса получают методом ручной выкладки с применением механизации на станках типа 1x2,5 ПУ, ВКЛ 2x12 ПУ, ВКЛ 4x12 ПУ.

Метод формования деталей — автоклавное формование в автоклавах типа АЭ 1,2x4, АЭ 3,15x16, АЭ 4,5x16, АЭ 4,5x26.

Типовые представители деталей данного класса — элементы конструкции агрегатов (шпангоуты, элементы предкрылка, элементы элерона, руля поворота). Лопатки газотурбинных двигателей — вентиляторные, спрямляющие, направляющие, рабочие.

Класс № 3. Детали, представляющие собой тела вращения, и детали сложной формы.

Габаритные размеры деталей: длина — до 6000 мм, диаметр до 2000 мм.

Детали данного класса получают методом автоматизированной намотки на станках типа НК-9ПУ, НК-11ПУ, ВНС-1.

Метод формования деталей — автоклавное формование в автоклавах типа АЭ 1,2x4, АЭ 1,15x16 или вакуумное формование.

Типовые представители деталей данного класса — силовые обложки корпусов, конические обложки, корпуса РДТТ, канал воздухозаборника, отсек закрылка.

Класс № 4. Детали типа лонжеронов.

Габаритные размеры деталей: длина — до 9000 мм, диаметр — до 550 мм.

Метод получения — автоматизированная намотка на станках типа НЛ-3ПУ.

Метод формования — автоклавное формование в автоклавах типа АЭ 3,15x16.

Класс № 5. Детали сложной формы.

Габаритные размеры деталей: длина — до 500 мм, ширина — до 500 мм.

Метод получения — таблетирование полуфабриката материала.

Метод формования — прямое или литьевое прессование в закрытых пресс-формах на прессах.

Типовые представители деталей класса: средненагруженные детали кронштейнов, крышек, корпусов редукторов и т. д.

3. ПОЛУФАБРИКАТЫ (ПРЕПРЕГИ) И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Качество деталей из композиционных материалов связано с технологическим процессом получения полуфабриката (препрега) и формованием из него изделия. Наиболее распространенным является метод изготовления деталей из однонаправленных и тканых лент, предварительно пропитанных связующим.

3.1. ОБОРУДОВАНИЕ, ИСХОДНЫЕ И СВЯЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Изготовление однонаправленных и тканых лент из композиционных материалов производится на установках типа УЛК и УПСТ, снабженных соответственно дополнительным узлом рядовой укладки ленты и блоком автоматического регулирования скорости и температуры по зонам сушильной камеры.

Принципиальная схема установки УПСТ представлена на рис. 2.

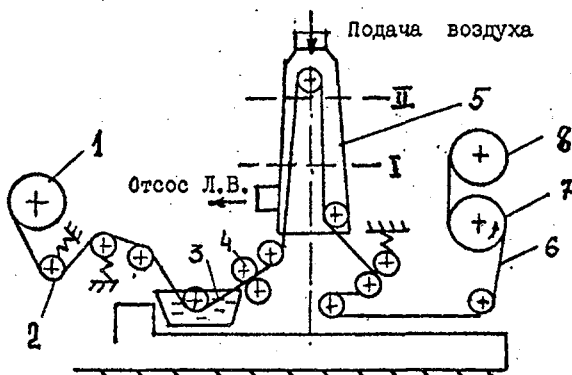


Рис. 2. Схема пропиточной установки УПСТ: 1 — катушка с лентой; 2 — устройство натяжное; 3 — ванна пропиточная; 4 — устройство отжимное; 5 — камера сушильная; 6 — препрег; 7 — механизм намотки; 8 — катушка с полиэтиленовой пленкой

Материалы, применяемые для изготовления однонаправленных и тканых полуфабрикатов (препрегов), должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов или технических условий, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

*Материалы, необходимые для изготовления
однонаправленных и тканых лент
типа ЛУ-2, ЛУ-3, ЛУ-II [3]*

Материал	ГОСТ, ТУ	Назначение
Углеродный жгут марки ВМН-4	ТУ 48-2048-74	Наполнитель препрега
Тканая стеклолента	ГОСТ 5937-68	" - "
Эпоксидный компаунд КДА	ТУ 6-09-1380-70	Компонент связующего Э-341А
Отвердитель ТЭАТ	МРТУ 6-09-2865-66	" - "
Смола ЭД-20	ГОСТ 1087-72	" - "
Смола ЭТФ	ТУ 6-05-211-516-75	Компонент связующего ЭТФ
Смола ЭН-6	ТУ 6-05-1585-72	Компонент связующего ЭНФБ
Спирт этиловый	ГОСТ 18300-72	Растворитель для приготовления связующего
Ацетон технический	ГОСТ 2603-71	" - "

Для приготовления связующего применяют такие исходные материалы, как смола, отвердитель, активатор, растворитель и др., которые в соответствующих пропорциях тщательно перемешиваются в специальных смесителях типа Р4Э. Последние представляют собой герметичные емкости-смесители, снабженные датчиками для контроля основных параметров приготавливаемого связующего (температуры, плотности, вязкости и др.).

Приготовленное связующее должно удовлетворять требованиям, указанным в табл. 3, и храниться в плотно закрытой таре с биркой, на которой указаны:
наименование связующего;

Основные параметры связующих

Марка связующего	Концентрация, %	Плотность при 20 °С, г/см	Вязкость при 20 °С, по ВЗ-1, с
Э-341А	45 ± 2	0,946	-
ЭТФ	50 ± 2	0,975	6,5
ЭНФБ	50 ± 2	0,977	-
ЭП-1	80 ± 2	1,1	4,4
ЭП-2	70 ± 2	1,07	3,2
УП-2130	50 ± 2	-	2,7
СП-97	43 ± 2	-	5,2

номер партии связующего,
дата приготовления,
срок годности,
подпись ответственного за приготовление связующего,
подпись контролера ОТК.

Приготовленные смолы, в силу естественных химических процессов отверждения и повышения вязкости; имеют ограниченные сроки хранения. Так связующее Э-341 — не более 45, а ЭТФ — не более 10 суток, ЭНФБ, УП-2130 — не более 6 месяцев; СП-95, СП-97, ЭП-1, ЭП-2 — не более 2 месяцев.

3.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТКАНЫХ ЛЕНТ

Технологический процесс пропитки тканых лент и получение полуфабриката препрега состоит в следующем.

Проверяется исправность узлов и механизмов установки (см. рис. 2) согласно инструкции по эксплуатации. Катушку с лентой устанавливают на валок и закрепляют. Соединяют тканую ленту с заправочным полотном (их сшивают металлической иглой или склеивают термопластичной пленкой). Заправочное полотно пропускают через систему валков. Включают нагрев сушильной камеры установки и устанавливают температурный режим сушки ленты, указанный в табл. 4.

Температурный режим сушки тканых лент типа ИУ
при пропитке связующим

Марка связующего	Температура по зонам, °С		
	верхняя	средняя	нижняя
Э-341А	55 ± 5	45 ± 5	35 ± 5
ЭТФ	55 ± 5	45 ± 5	35 ± 5
ЭНФБ	60 ± 5	50 ± 5	40 ± 5
СП-95, СП-97	85 ± 5	75 ± 5	55 ± 5

После протяжки заправочного полотна тканой углеродной ленты через нижний пропиточный вал в ванну заливают связующее до уровня 50 мм от нижнего края пропитывающего ролика, что обеспечивает полное и равномерное распределение смолы по длине и сечению ленты. При достижении заданного режима включают механизм намотки и устанавливают скорость протяжки около 0,4...2,0 м/мин, обеспечивающую необходимые режимы пропитки и подсушки ленты. В процессе намотки на рулон готовая пропитанная лента-препрег прокладывается полиэтиленовой пленкой во избежание склейки между собой слоев препрега.

В процессе пропитки ленты контролируются следующие параметры:

- равномерность натяга ленты по ширине,
- уровень связующего в ванне,
- температура сушки,
- температура связующего,
- плотность (концентрация) связующего,
- метраж ленты по счетчику метража.

Температуру сушки и температуру связующего контролируют по многоточечному потенциометру с записью на ленточной диаграмме. Уровень связующего контролируют по уровнемеру. В процессе работы через каждый час замеряют плотность связующего денсиметром путем отбора проб из пропиточной ванны. Контроль содержания растворимых, летучих и связующего в ленте осуществляется на образцах, отрезанных в начале и конце формируемого препрега (для начала и конца катушки).

Каждый рулон пропитанной ленты укладывают в полиэтиленовый мешок, который заваривают. Под пленку помещают пас-

порт с указанием даты пропитки, номера рулона, марки и номера партии ленты, содержания связующего, летучих и растворимой смолы, числа метров ленты, а также с подписью контролера ОТК. Срок хранения готовых препрегов приведен в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Сроки хранения препрегов

Марка связующего	Марка препрега	Хранение, сут при T °C	
		0-5 °C	20-25 °C
ЭТФ	КМУ-1Л	7-10	2
Э-341А	КМУ-3Л	20	10
ЭНФБ	КМУ-4Л	45	6 мес.

По истечении указанного срока хранения необходимо провести повторный анализ препрегов на содержание летучих и растворимой смолы. Если лента соответствует предъявленным требованиям, она считается годной в течение 24 часов.

4. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛА ИЗ ПКМ ФОРМОВАНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ЭЛАСТИЧНОЙ ОБОЛОЧКИ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

К методам формования элементов конструкции ЛА из ПКМ с эластичной диафрагмой-мембраной относятся:

- формование в вакуумном мешке (рис. 3),
- формование в пресс-камере (рис. 4),
- формование под давлением в прессе (рис. 5),
- формование в автоклаве (рис. 6).

Во всех перечисленных выше методах эластичные диафрагмы отделяют пакет заготовок из ПКМ от находящихся под давлением газов в процессе отверждения материала. Из герметичной полости, образующейся между пакетом заготовок и диафрагмой, откачивают воздух, чтобы давление там было ниже, чем приложенное к диафрагме.

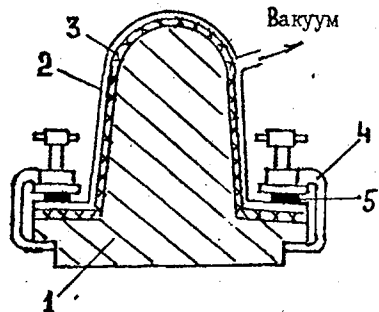


Рис. 3. Формование в вакуумном мешке: 1 — форма; 2 — мешок вакуумный; 3 — изделие формируемое; 4 — прижим; 5 — жгут для герметизации

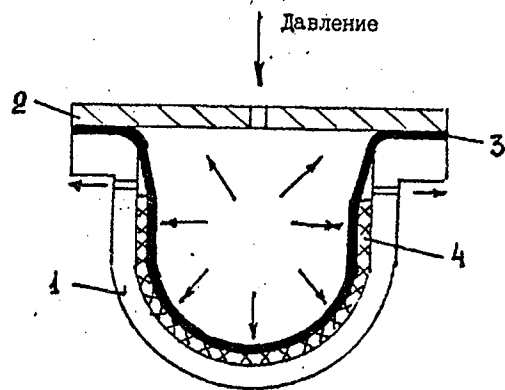


Рис. 4. Формование в пресс-камере (зажимы не показаны): 1 — форма; 2 — крышка формы; 3 — мешок вакуумный; 4 — изделие формируемое

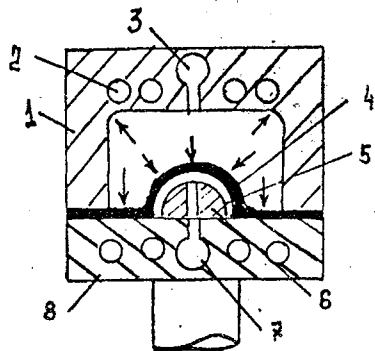


Рис. 5. Формование под давлением в прессе: 1 — верхняя плита прессы; 2 — нагреватели; 3 — коллектор для подачи сжатого газа; 4 — диафрагма; 5 — заготовка; 6 — форма; 7 — коллектор для соединения с атмосферой или вакуумом; 8 — нижняя плита прессы

Благодаря образующемуся перепаду давлений с разных сторон диафрагмы происходит придание изделию необходимой формы и уплотнение материала. Уплотнение пакета заготовок достигается в результате устранения пустот и удаления избытка смолы.

Первый метод — формование в вакуумном мешке (см. рис. 3) — отличается дешевизна оснастки, возможность формования деталей практически любых габаритов. Главный недостаток этого метода — недостаточная величина давления, определяемая атмосферным давлением, и отверждением заготовок при комнатных температурах. Эти факторы существенно уменьшают диапазон формуемых материалов и ограничивают применение этого метода на практике.

Второй метод — формование в пресс-камере (см. рис. 4) — обеспечивает высокое давление (до 0,8...1,2 МПа) и повышенную температуру, которая определяется температурой нагретаемого в пресс-камеру газа. Однако существенным недостатком данного метода является отсутствие возможности оперативного регулирования в процессе формования температуры и давления.

Третий метод — формование под давлением в прессе (см. рис. 5) — в основном лишен недостатков первого и второго методов, но имеет ограничения по габаритам формуемых деталей, которые определяются габаритами рабочей зоны прессы и технологической оснастки.

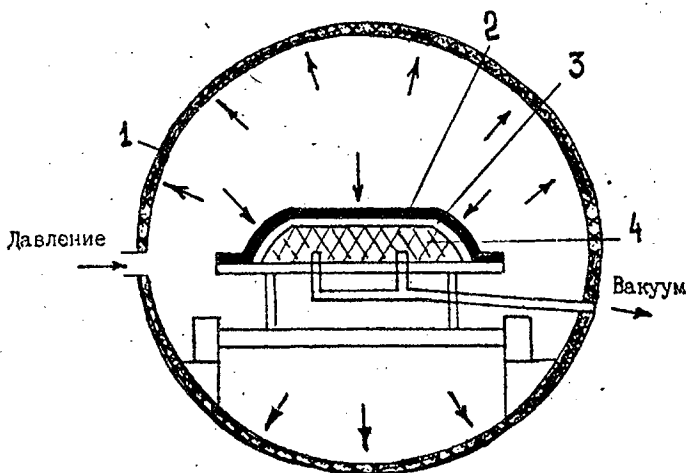


Рис. 6. Формование в автоклаве (зажимы не показаны): 1 — автоклав; 2 — диафрагма; 3 — заготовка; 4 — форма

Четвертый метод — формование в автоклаве (см. рис. 6) — наиболее распространенный метод изготовления изделий из ПКМ с помощью эластичной диафрагмы. Высокая стоимость оборудования компенсируется широкими возможностями этого метода. При автоклавном формовании имеется возможность в ходе процесса оперативно регулировать температуру и давление, контролировать и записывать основные параметры процесса, формовать одновременно детали различной сложности и габаритов.

5. АВТОКЛАВНОЕ ФОРМОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ

5.1. ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, ОСНОВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Оснастку (форма, оправка) рекомендуется изготавливать из жестких материалов, длительно работающих при температуре 250° С и давлении 1,6 МПа:

- неметаллических (ТР-1198-75, НИАТ),
 - металлических (алюминий, сталь) толщиной не менее 5 мм.
- Оснастка должна обеспечивать:

- выкладку пакета изделия и получение технологических припусков, позволяющих изготавливать образцы-свидетели со структурой изделия;
- возможность монтажа ограничительной рамки и вакуумной диафрагмы при сборке технологического пакета (для случая формования обшивок типа панелей).

Конструкция и материал оснастки в случае использования вакуумных диафрагм должны быть герметичны. Если технологические припуски на оснастке выполнить сложно (из-за габаритов детали, сложности конфигурации), то образцы-свидетели следует изготавливать на отдельной форме; формование деталей и образцов-свидетелей производится одновременно.

Для оформления наружной поверхности детали применяют цулаги:

- металлические (толщиной 0,3...5 мм), перфорированные и неперфорированные;
- стеклотекстолитовые (КАСТ, ВФТ, толщиной 0,8...2,5 мм), перфорированные и неперфорированные.

Перфорированные цулаги применяют при формовании деталей толщиной более 2 мм, цулаги без перфорации — менее 2 мм.

Перфорационные отверстия выполняют диаметром 0,8...1,0 мм, с шагом и смещением между рядами на 10...15 мм.

Оснастка по точности изготовления должна быть на два класса выше точности детали. Оформляющие поверхности оснастки должны иметь шероховатость от $\sqrt{20}$ до $\sqrt{0,08}$, цулаги — не более $\sqrt{20}$.

Ограничительные рамки используют при формировании плоских деталей или деталей с малой кривизной размерами более 500x500 мм для снижения вытекания связующего. Ограничительные рамки должны быть металлическими (алюминий, сталь) или стеклотекстолитовые. Конфигурация и высота рамки выбираются в соответствии с конструктивными размерами детали. Зазор между внутренним контуром ограничительной рамки и заготовкой — не более 2 мм.

Для вакуумирования (отсоса воздуха и летучих веществ) рекомендуется использовать вакуумные трубки, изготовленные из мягких металлов (алюминий, медь), диаметр трубок (внутренний) — не менее 10 мм. Вакуумная трубка имеет на одном конце заглушку и перфорацию по всей длине, кроме участка 200...300 мм для подключения к вакуумной системе. Отверстия в трубке выполняются диаметром 1...4 мм и располагаются по длине трубки не менее чем в два ряда через 10...12 мм.

Автоклавы типа АЭ 1,2x4, АЭ 1,8x6, АЭ 2,5x10, АЭ 3,15x16, АЭ 4,5x26 предназначены для формирования и отверждения деталей из композиционных материалов, склеивания отформованных деталей и сотовых конструкций. Автоклав представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд, установленный на опорах с приварным эллипсоидальным днищем и поворотной крышкой (см. рис. 6). Внутри автоклава на опорной тележке установлены трубчатый холодильник и электрический нагреватель (нагревательный элемент — нихромовая лента). Охлаждение установки — водяное. Вакуумирование формуемой детали осуществляется вакуум-насосом.

Технические характеристики автоклава АЭ 4,5x26

Диаметр рабочей зоны, мм	4500
Длина рабочей зоны, мм	26000
Рабочее давление, МПа	5...6
Рабочая температура, °С	380
Рабочая среда	инертный газ, чистый воздух
Общая мощность, кВт	926

Материалы, применяемые для автоклавного формования, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Основные и вспомогательные материалы

Наименование, марка	ТУ, ГОСТ, ТР	Назначение
1	2	3
Стеклоткань Т-10 " - " ПС	ГОСТ 11970-73 ТУ 36-12-247	Для использования в качестве дренажных слоев
Стеклоткань ЭГ-62	ГОСТ 19907-74	Для использования в качестве вспомогательного слоя
Пленка полипропиленовая	ТУ 38-1022-70	Разделительный слой (антиадгезионный)
Ткань "500" " - " НТ-7	ОСТ 38.05-1-71 ТУ 38-10543-70	Для изготовления вакуумных мешков (диафрагм)
Герметик ВИКСИНТ У-2-28	ОСТ 1.41403-73	Для герметизации швов на мешках и зазорах
Ацетон технический Бензин "Калоша"	ГОСТ 2603-71 ГОСТ 443-76	Для обезжиривания оснастки
Подслой П-9, П-11	ТР 29-1027	Для увеличения адгезии герметика к поверхности ткани
Смазка К-21	МРТУ 6-02-457-68	Для антиадгезионного покрытия
Клей 88 (88Н)	ТУ 38-105540-73	Для склеивания диафрагм
Лента изоляционная термостойкая	ГОСТ 14256-69	Для крепления термопар
Пленка полиэтиленовая	ГОСТ 10354-73	Для упаковки готовых деталей

5.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВАКУУМНЫХ МЕШКОВ И ДИАФРАГМ

Технологический процесс изготовления вакуумных мешков (диафрагм) из ткани "500" или НТ-7 состоит из следующих операций:

- визуального контроля материала,
- разметки и раскроя ткани,
- подготовки ткани к склеиванию,
- дублирования ткани (соединения двух слоев),
- соединения и склейки ткани внахлест (наращивание полотнищ) при формовании крупногабаритных деталей,
- установки штуцеров или дренажных трубок,
- склейки вакуумного мешка по боковым швам,
- дополнительной герметизации швов вакуумного мешка (диафрагм),
- выдержки вакуумного мешка или диафрагмы на воздухе.

Вакуумный мешок можно изготовить предварительно или непосредственно на собранном технологическом пакете. Ткань мешка перед началом работ контролируют визуально на отсутствие дефектов. Размеры готового мешка должны обеспечивать возможность свободного размещения в мешке одного или нескольких технологических пакетов в один ряд и возможность установки штуцеров или дренажных трубок вне зоны технологических пакетов.

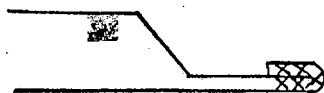
При разметке и раскрое ткани предусматривается для соединения ткани внахлест не менее 150 мм и на швы 75...100 мм с обеих сторон.

Подготовка ткани к склеиванию состоит из следующих операций:

- удаление алюминиевого покрытия с ткани в местах склеивания,
- обезжиривание (бензином БР-1) поверхностей под склейку с последующей выдержкой на воздухе не менее 15 мин.

При дублировании ткань склеивают по текстильным поверхностям. Клей следует наносить в два слоя во взаимно перпендикулярных направлениях с последующей выдержкой на воздухе каждого слоя в течение 15...20 мин. Затем соединяют склеиваемые поверхности ткани и тщательно прикатывают роликом. Швы вакуумного мешка (диафрагмы) склеивают по схеме, приведенной на рис. 7,а, а вакуумную диафрагму приклеивают к оснастке по схеме, приведенной на рис. 7,б.

Для повышения надежности вакуумных мешков (диафрагм) в процессе их использования рекомендуется дополнительно герметизировать швы (стыки) одним из двух приведенных способов или их комбинацией:



а



б

Рис. 7. Схема приклеивания диафрагм: а — внахлест; б — к поверхности формы

1) наружные швы обрабатывают герметиком типа У-2-28;

2) герметизируется вакуумный мешок (диафрагма) с помощью прижимных планок или струбцин (с резиновыми прокладками).

Готовый вакуумный мешок перед использованием выдерживают на воздухе при температуре $23 \pm 5^\circ \text{C}$ не менее 24 часов. К готовому вакуумному мешку (диафрагме) прикрепляют бирку с указанием даты изготовления, марки материала и клея, Ф И О исполнителя. Вакуумный мешок хранят в развернутом состоянии (допускается аккуратное свертывание) на стеллаже не более 6 месяцев.

Вакуумные мешки (диафрагмы), изготовленные из ткани "500", "50011" и НТ-7 с помощью клея

марки 88 (88Н), предназначены для одноразового использования в процессе автоклавного формования.

5.3. ПОДГОТОВКА ОСНАСТКИ, СБОРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАКЕТА

Подготовка оснастки, ограничительной рамки и цулаги к формованию заключается в следующем:

- очистка от загрязнений (ножами или скребками),
- обезжиривание бензином и ацетоном (под вытяжкой),
- нанесение антиадгезионной смазки К-21.

Антиадгезионный слой наносят, на оснастку в виде 10%-го раствора в бензине в два слоя во взаимно перпендикулярных направлениях с сушкой на воздухе каждого слоя не менее 15 мин.

Термообработку оснастки производят при температуре $220 \pm 5^\circ \text{C}$ в течение 2 часов. Впитывающие дренажные слои (стеклоткани Э-2-62, Э-4-64) обрабатывают антиадгезионной смазкой К-21 аналогично.

Сборка технологического пакета для деталей толщиной более 2 мм:

1. Для равномерного отбора связующего и летучих рекомендуется применять впитывающие слои.

2. В качестве антиадгезионного слоя между оснасткой и пакетом заготовок прокладывают полипропиленовую пленку.

3. Сборка технологического пакета производится по схеме, показанной на рис. 8: оснастка — полипропиленовая пленка — пакет заготовок — полипропиленовая пленка — 2...3 дренажных слоя стеклоткани (впитывающие слои) — вакуумный мешок (диафрагма).

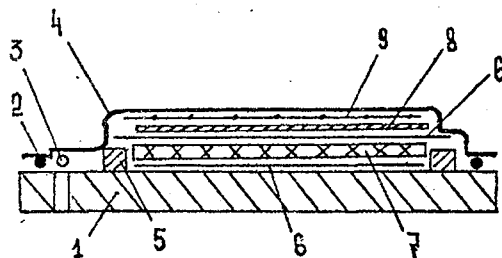


Рис. 8. Схема технологического пакета: 1 — форма; 2 — уплотнитель; 3 — боковое выпускное отверстие; 4 — диафрагма; 5 — ограничительная рамка; 6 — пленка; 7 — пакет заготовок; 8 — цулага; 9 — дренажный слой

4. Цулаги и антиадгезионная полипропиленовая пленка должны иметь перфорацию.

5. Перед сборкой технологического пакета проверяют срок годности препрега по сопроводительным документам.

6. Дренажные слои стеклоткани с более плотной структурой (марки Т-10) выкладывают на цулагу, на них помещают дренажные слои с менее плотной структурой (стеклосетка марки ГС).

7. Термопары размещают на технологическом припуске (не менее двух на изделие) и закрепляют с помощью термостойкой изоляционной ленты.

8. Вакуумную трубку укладывают между дренажными слоями стеклоткани по периметру собранного пакета.

Сборка технологического пакета деталей толщиной менее 2 мм производится по следующей схеме: оснастка — полипропиленовая пленка — пакет заготовок — полипропиленовая пленка — цулаги — 2...3 дренажных слоя стеклоткани — вакуумный мешок (диаф-

рагма). Цулаги допускаются использовать неперфорированные, зазор между ограничительной рамкой и цулагой не герметизируется.

5.4. ПОДГОТОВКА АВТОКЛАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАКЕТА К ФОРМОВАНИЮ

Перед началом автоклавного формования производят осмотр автоклава, приборов и пневмосистемы. Необходимо убедиться в наличии заземления, исправности корпуса и крышки автоклава, приборов для измерения давления, вакуума, температуры, предохранительных устройств.

Технологический пакет помещают на автоклавную тележку и соединяют с помощью вакуумных трубок с вакуумной системой установки. Герметичность сборки пакета проверяют по снижению вакуума. Допускается снижение вакуума в системе при отключенном вакуумном насосе с 0,07 до 0,06 МПа в течение 3 мин. Термопары проверяют на отсутствие обрывов и правильность подключения их к приборам. Автоклавную тележку вместе с пакетом помещают в автоклав и вторично проверяют герметичность пакета при открытой крышке автоклава. Крышку автоклава закрывают при включенном вакуумном насосе.

Последующая проверка на герметичность сборки пакета и системы вакуумирования производится при закрытой крышке автоклавной установки. В автоклаве создается давление 0,3 МПа сжатым воздухом и производится проверка на герметичность технологического пакета по снижению вакуума, после чего давление сбрасывается. Допускается уменьшение вакуума при отключенном вакуумном насосе на 0,01 МПа не менее чем за 3 мин.

5.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС АВТОКЛАВНОГО ФОРМОВАНИЯ [5]

Технологический процесс автоклавного формования углепластика КМУ-4, связующее марки ЭНФБ:

— в вакуумной системе создается вакуум 0,075...0,085 МПа, включается нагрев и начинается подъем давления;

— температура поднимается до 80° С в течение 20...30 мин, давление — до 0,3...0,5 МПа;

— при достижении температуры 80...100° С вакуумный насос отключается, а система вакуумирования "мешков" (диафрагм) соединяется с атмосферой;

— продолжается нагрев до температуры 110° С в течение 10...15 мин, при достижении температуры $110 \pm 7^\circ$ С обеспечивается давление формования 0,6 МПа;

— продолжается подъем температуры до 165° С в течение 20...30 мин, формуемый материал выдерживается при давлении 0,6 МПа и температуре 165° С в течение 6 ч; в течение всего процесса разброс температуры не должен превышать $\pm 5^\circ$ С, давления — $\pm 0,025$ МПа;

— формовка охлаждается до температуры 40...50° С со скоростью 0,5...1° С в мин под давлением не менее 0,25 МПа. Допускается длительность процесса формования (время выдержки) сокращать до 4 ч при условии, что дополнительные технологические процессы (термостабилизация) их компенсируют;

— давление снижается до атмосферного, открывается автоклав, извлекается технологический пакет.

Технологический процесс автоклавного формования углепластиков КМУ-3, связующее марки Э-341А (5-211Б):

— в вакуумной системе создается вакуум 0,8...0,9 МПа, включается нагрев и начинается подъем давления;

— температура поднимается до 120° С в течение 80...90 мин, давление — до 0,6...0,9 МПа (в зависимости от толщины пакета);

— формуемый материал выдерживается при давлении 6...9 кгс/см² и температуре 120° С в течение 4 ч (разброс температур не должен превышать $\pm 5^\circ$ С, давления — $\pm 0,05$ МПа);

— давление снижается до 0,3 МПа, а пакет охлаждается до температуры 40° С не менее 90 мин;

— снижается давление, отключается вакуумный насос, отформованная деталь извлекается из автоклава, производится разработка технологического пакета.

При автоклавном формовании деталей необходимо строго выполнять технологические указания по ведению процесса. Контролируют состояние препрега и сборку технологического пакета

на герметичность, а также следующие параметры технологического процесса:

- скорость подъема температуры в автоклаве (регулирующим потенциометром),
- время вакуумирования и время начала подъема давления в автоклаве,
- величину и стабильность температуры формования (регулирующим потенциометром),
- величину и стабильность давления,
- время выдержки при температуре формования и давлении (по записи на диаграммах),
- скорость охлаждения технологического пакета.

Во время проведения технологического процесса формования следят за работой и состоянием оборудования, контрольной аппаратуры, при неисправностях принимают меры по аварийному останову автоклава (следует руководствоваться внутренней инструкцией предприятия на установку).

5.6. КОНТРОЛЬ ОТФОРМОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ, ТРАНСПОРТИРОВКА, ХРАНЕНИЕ

Отформованная деталь подвергается следующему контролю:

- визуальному для выявления наличия раковин, отслоений, инородных включений и т. д.;
- геометрических размеров изделия с помощью шаблонов, калибров, штангенциркуля, толщиномеров и т. д. согласно требованиям чертежа;
- сплошности материала детали неразрушающими методами [1],
- физико-механических характеристик материала: плотности, пористости, содержания компонентов, прочностных показателей на соответствие требованиям чертежа и паспорту на материал; образцы для проведения физико-механических испытаний изготавливают из технологических припусков или образцов-свидетелей со структурой изделия и из однонаправленного материала;
- деталь взвешивают на весах с точностью до 1% величины ее веса.

Транспортировка деталей разрешается любым видом транспорта в таре, не допускающей механических повреждений.

Отформованные детали помещают на стеллажи или ложементы. Во избежание появления на деталях царапин и пятен поверхность стеллажей и ложементов обтягивают мягким материалом (фланелью, байкой, сукном и т. п.).

К детали приклеивают сопроводительный формуляр (ярлык, бирку) с соответствующей маркировкой (место приклейки формуляра указывается в чертеже). Деталь упаковывают в целлофановую или полиэтиленовую пленку (герметичность необязательна) и хранят на стеллажах. Температура воздуха в помещении $23 \pm 5^\circ \text{C}$, влажность 40...80%, срок хранения детали 5 лет.

6. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Технологический процесс изготовления деталей из композиционных материалов должен состоять из трех типовых процессов:

- входного контроля материалов (связующего, наполнителя, клеев);
- изготовления полуфабрикатов;
- получения заготовок деталей и их формования.

На каждый из перечисленных технологических процессов составляется технологический паспорт по следующей форме:

№ пп	Отв. за контроль	№ операции технологического процесса	Контролируемые параметры	Регистрируемые параметры	Дата проверки операции	Рабочий	Мастер ОТК

6.1. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ

Технологический процесс "Входной контроль" должен включать следующие разделы:

- материалы,
- оборудование, оснастка, инструмент,

— методика входного контроля связующего, наполнителя, клеев и др.

Перед началом работы проверяется оборудование, оснастка, инструмент и заключение о пригодности к работе записывается в технологический паспорт. Входной контроль материалов должен включать контроль связующего, наполнителя и других материалов.

Контроль связующего

1. Партия связующего проверяется на соответствие техническим условиям по сопроводительным документам, предъявляемым ОТК.

2. Представитель ОТК проводит визуальный осмотр состояния партии связующего и его упаковки и делает запись в технологическом паспорте.

3. Производят контроль основных параметров, указанных в ТУ на связующее. Результаты контроля записывают в технологический паспорт на входной контроль.

4. Оформленный технологический паспорт вкладывают в конверт входного контроля и сдают на хранение в ОТК.

5. Выписывается бирка на каждую партию связующего с указанием номера партии связующего, даты изготовления, срока годности и номера технологического паспорта на входной контроль.

Контроль наполнителя

1. Партия наполнителя проверяется на соответствие ТУ по сопроводительным документам, которые предъявляют ОТК.

2. Представитель ОТК производит осмотр партии наполнителя и его упаковки и делает запись в технологическом паспорте.

3. После испытания образцов-свидетелей оформленный технологический паспорт и протоколы испытаний предъявляют ОТК и вкладывают в конверт входного контроля. Конверт сдают на хранение в ОТК.

4. Выписывается бирка на партию наполнителя по результатам входного контроля. В бирке указаны номер партии наполнителя и номер технологического паспорта на входной контроль.

6.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ (ПРЕПРЕГОВ)

Технологический процесс "Изготовление препрегов" должен содержать следующие разделы:

- материалы,
- оборудование, оснастка, инструмент,
- технологический процесс получения полуфабрикатов.

Оборудование, оснастка, инструмент перед началом работы проверяются по инструкции; заключение о пригодности к работе должно быть занесено в технологический паспорт.

Партию полуфабриката заваривают в полиэтиленовый мешок. Проводят анализ образцов полуфабриката из каждой партии. Оформляют протокол анализа. Протокол и окончательно оформленный паспорт предъявляют ОТК. Выписывается бирка на каждую партию полуфабриката. Бирка содержит номер технологического паспорта, дату получения, срок годности полуфабриката.

6.3. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ И ИХ ФОРМОВАНИЕ

Технологический процесс "Получение заготовок деталей и их формование" должен содержать следующие разделы:

- материалы,
- оборудование, оснастка, инструмент,
- подготовка оснастки,
- подготовка оборудования,
- технологический процесс.

Заключение о пригодности работы оснастки, оборудования и инструмента заносится в технологический паспорт.

Получение заготовок деталей (сборка технологического пакета — процесс намотки или выкладки)

1. Контролируются условия хранения, срок и качество упаковки полуфабриката. В технологическом паспорте отмечается время выгрузки полуфабриката из холодильника и время начала получения заготовок. ОТК предъявляются бирки на полуфабрикат.

2. В технологический паспорт записываются номера технологических паспортов на процесс получения полуфабрикатов.

3. В технологический паспорт записывают контрольные точки режимов получения заготовок.

4. По окончании процесса намотки или выкладки деталь предъявляют ОТК для визуального контроля.

5. На конверте контроля процесса записывают номер чертежа комплекта, наименование детали и номер техпаспорта на процесс получения заготовок и их формования.

Формование детали

1. По окончании формования заготовку предъявляют ОТК для визуального контроля.

2. В технологический паспорт записывают контрольные точки режимов формования.

3. ОТК предъявляют образцы (для оценки физико-механических и физико-химических свойств детали).

4. Результаты испытаний образцов (пористость, плотность, соотношение компонентов, механические характеристики и т. п.) оформляют в протоколы испытаний. Номера протоколов записывают в технологический паспорт.

5. ОТК предъявляют протокол испытаний и окончательно оформленный технологический паспорт. Технологический паспорт и протокол испытаний вкладывают в конверт контроля качества детали.

6. Выписывается бирка на деталь с указанием номера чертежа, комплекта, номера технологического паспорта, даты оформления. Бирку крепят к детали.

7. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ

При организации производства и проведении технологического процесса изготовления изделий из композиционных материалов необходимо соблюдать:

— "Правила по технике безопасности и промсанитарии при работе со стекловолокном и стеклотканью", утвержденные ЦК профсоюзов отрасли 8 марта 1968 г.;

— "Временные правила по технике безопасности и промсанитарии при работе с композиционными материалами" (НИАТ, 1978 г.).

Помещения, предназначенные для изготовления деталей из композиционных материалов, должны отвечать требованиям,

предъявляемым "Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий" СН-245-71, и должны быть оборудованы специальной приточной вентиляцией, а также первичными средствами пожаротушения. Температура помещения для переработки композиционных материалов должна быть 18...23° С, относительная влажность — не выше 70%.

К работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и имеющие разрешение на работу с эпоксидными смолами, материалами на их основе и растворителями и прошедшие инструктаж по технике безопасности и безопасным приемам труда.

Для защиты кожных покровов рук от воздействия смол, отвердителей и растворителей рекомендуется применять биологические перчатки. При попадании отвердителей, смол на кожу или в глаза следует тщательно промыть их водой. Работающий с эпоксидной смолой должен быть обеспечен защитной одеждой — хлопчатобумажным халатом.

При изготовлении препрегов и деталей из борного волокна (жгута) следует знать, что борное волокно ввиду высокой жесткости и хрупкости представляет опасность как колющий материал. Работы со связующим и его компонентами проводят только в спецодежде, исключающей возможность их попадания на кожу. В зоне пропитки и приемки ленты должны быть установлены местные вытяжные устройства с расходом воздуха не менее 25 м³ /ч, исключающие возможность накопления вредных газов выше следующих предельно допустимых концентраций (ПДК):

- ацетона — 200 мг/м³ ,
- толуола — 50 мг/м³ ,
- эпихлоргидрина — 1 мг/м³ ,
- спирта — 1000 мг/м³ .

Содержание паров растворителей в воздухе рабочего помещения сушильной камеры не должно превышать 50% концентрации, соответствующей нижнему пределу их взрывоопасности. Контроль паров ЛВЖ должен осуществляться автоматическим газоанализатором, встроенным в установку.

Приготовление связующего должно производиться в отдельном помещении, отвечающем требованиям, отраженным в начале этого раздела. Места хранения полуфабрикатов должны быть оборудованы местным отсосом.

При работе с оборудованием для намотки, выкладки, автоклавного формования следует соблюдать правила по безопасности труда и специальные инструкции, утвержденные на данном предприятии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Крысин В. Н., Крысин М. В.* Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций. М.: Машиностроение, 1989. 240 с.
2. *Портной К. И.* и др. Структура и свойства композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
3. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев и др. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.
4. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 2/ Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1988. 584 с.
5. Руководящие технические материалы (РТМ) 1.4.401-78 /Изготовление деталей и агрегатов из ПКМ. ВИАМ. НИАТ, 1979.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Полимерные композиционные материалы (ПКМ), применяемые в производстве летательных аппаратов (ЛА)	3
2. Классификация и общая конструктивно-технологическая характеристика изделий из ПКМ, применяемых в производстве ЛА	7
3. Полуфабрикаты (препреги) и технология их изготовления	9
3.1. Оборудование, исходные и связующие материалы	9
3.2. Технологический процесс изготовления тканых лент	11
4. Существующие методы получения элементов конструкции ЛА из ПКМ формованием с помощью эластичной оболочки. Общая характеристика	13
5. Автоклавное формование деталей и изделий из ПКМ	16
5.1. Оборудование, оснастка, основные и вспомогательные материалы	16
5.2. Изготовление вакуумных мешков и диафрагм	18
5.3. Подготовка оснастки, сборка технологического пакета	20
5.4. Подготовка автоклава и технологического пакета к формованию	22
5.5. Технологический процесс автоклавного формования	22
5.6. Контроль отформованных деталей, транспортировка, хранение	24
6. Порядок разработки технологической документации	25
6.1. Входной контроль	25
6.2. Изготовление полуфабрикатов (препрег)	27
6.3. Получение заготовок деталей и их формование	27
7. Требования безопасности при изготовлении изделий из ПКМ	28
Библиографический список	30

АВТОКЛАВНОЕ ФОРМОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Составитель *Василий Сергеевич Феоктистов*

Редактор Г. А. Усачева
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Т. И. Щелокова
Компьютерная верстка О. А. Карасева

Подписано в печать 31.05.95. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 1,86 .
Усл.кр.-отг. 2,0. Уч.-изд.л. 1,9 . Тираж 200 экз.
Заказ **327** .
Арт. С-31/95.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.