



**Ю. В. Дьяченко,  
В. В. Коллеров,  
А. Н. Мещеряков**

**ТЕХНОЛОГИЯ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ**

**1992**

629.73  
293

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УКРАИНЫ

Харьковский ордена Ленина авиационный институт  
им. Н.Е. Жуковского

ПЕРЕОБЛІК 2007р.

Ю.В. Дьяченко, В.В. Коллеров,  
А.Н. Мещеряков



ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ

Учебное пособие

M-6

БИБЛИОТЕКА  
Харьковского  
авиационного института  
им. Н.Е. Жуковского

Харьков ХАИ 1992

Технология изготовления лопастей вертолетов / Н.В. Дьяченко, В.В. Коллеров, А.Н. Мещеряков. - Учеб. пособие. - Харьков: Харьк. авиаци. ин-т, 1992. - 54 с.

Рассмотрены основные технологические процессы изготовления лопастей несущего и рулевого винтов вертолета.

Дан сравнительный анализ производства лопастей из полимерных композиционных материалов и цельнометаллических. Описаны типовые технологические процессы изготовления характерных деталей и узлов лопастей, представители оснастки и оборудования, методы неразрушающего контроля качества.

Для студентов механических специальностей авиационных вузов.

Ил. 18. Табл. 12. Библиогр.: 9 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук И.А. Гриценко,  
канд. техн. наук В.П. Семенченко

## ВВЕДЕНИЕ

Вертолеты занимают прочное место среди других типов и видов летательных аппаратов. Представить себе современный и тем более будущий мир без них невозможно. За полвека вертолестроение прошло сложный, небезошибочный путь, и сегодня достигнут весьма высокий уровень технического совершенства этих машин, обеспечивающих эффективное применение винтокрылой авиации в гражданских целях и для решения военных задач.

Современный вертолет относится к наукоемким изделиям. Создание летательных аппаратов с высокими летно-техническими характеристиками и технико-экономическими показателями требует больших средств, наличия квалифицированного персонала, вычислительных мощностей, производственных ресурсов и испытательной базы, превышающих возможности одной фирмы, а иногда и отдельно взятой страны. В этих случаях страны и фирмы объединяют свои ресурсы.

Все перечисленное в первую очередь относится к лопасти несущего винта (НВ), так как технические характеристики вертолета в значительной степени определяются аэродинамическими данными его НВ и фюзеляжа.

НВ, как и рулевой винт (РВ), несмотря на многолетнюю практику его проектирования, изготовления и эксплуатации, остается объектом пристального внимания разработчиков и изготовителей любого винтокрылого летательного аппарата.

Лопастя НВ и РВ эксплуатируются в условиях сложного циклического нагружения. От их надежности зависит безопасность полета, поэтому к лопастям, особенно к лонжерону и узлу соединения лопасти с втулкой, предъявляются повышенные требования по надежности и выносливости, которые обеспечиваются специальными процессами обработки и тщательным соблюдением технологических процессов изготовления как цельнометаллических лопастей (ЦМЛ), так и лопастей из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

# 1. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ ИЗ ПКМ И ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ

На аэродинамические свойства НВ в первую очередь влияют профили, которые используются для лопастей. В течение многих лет для контуров лопастей зарубежных вертолетов применялись профили НАСА серий 00 и 230 [1].

Они имеют приемлемые характеристики и, что также важно, достаточно просты в производстве. С развитием технологии изготовления лопастей из ПКМ появились лопасти более сложных и совершенных профилей (США - семейство профилей VR, Франция - OA2 и OA3, Великобритания - RAЕ-96, ФРГ - DM-НЗТ6, DM-Н4Тв и др.). При разработке новых профилей преследовалась цель получить компромиссный вариант профиля, достаточно эффективно работающего как в наступающей, так и в отступающей частях ометаемого НВ диска. На концевых отсеках лопастей размещаются скоростные профили для ослабления влияния сжимаемости.

Большое внимание уделяется форме лопасти в плане. Традиционная форма - сужающаяся от комля к концу или прямоугольная. Как известно, основную часть тяги создает концевой отсек лопасти, где скорости обтекания наибольшие. Это позволило сделать вывод о целесообразности использования лопастей, расширяющихся к концу. Одновременно на лопасти вводятся новые, стреловидные формы законцовок.

Стреловидные законцовки лопастей снижают потери мощности на преодоление волнового сопротивления и позволяют уменьшить шум от НВ, поскольку при таких законцовках размываются концевые вихри.

РВ одновинтового вертолета - испытанное многолетней практикой устройство - в последние годы стал объектом критики из-за присущих ему недостатков: опасности для наземного персонала, аварии и поломки вследствие задевания РВ о различные препятствия при эксплуатации с ограниченных площадок, невысокой боевой живучести. Фирма Aerospatiale разработала устройство "фенестрон" (вентилятор, установленный в киле), широко применяемое на французских вертолетах. Фирмой Bell создан и испытан так называемый кольцевой киль (tail ring), являющийся, по

существу, РВ, заключенным в ограничительное кольцо. И фенестрон и кольцевой киль можно рассматривать как разновидности классического РВ, обеспечивающего более высокую безопасность обслуживающего персонала и эксплуатацию вертолетов с ограниченных площадок [1].

Примерно до 1980 года лопасти вертолета были цельнометаллическими. Существенные недостатки таких лопастей (низкий ресурс, большая масса, низкий коэффициент использования материала (КИМ), плохая ремонтпригодность и низкая боевая живучесть), а также интенсификация внедрения композиционных материалов в 80-х годах в авиационную промышленность привели к переходу в конструкции лопастей от металлов к ПКМ.

Применение ПКМ в конструкции несущих и управляющих систем сыграло важную роль в развитии вертолетостроения (табл. 1.1).

Таблица 1.1  
Тактико-технические характеристики лопастей

Характеристика	Единица измерения	Цельнометаллическая	Полимерно-композиционная
Ресурс	час	2000	5000 (в дальнейшем не ограничивается)
Масса	кг	134	110
КИМ		0,3	0,8
Расход металла	кг	576	62
Ремонтпригодность		В полевых условиях ремонту не подлежит	В полевых условиях ремонт возможен
Боевая живучесть при повреждении лонжерона снарядом калибра 23 мм		Катастрофическая ситуация	Лонжерон обеспечивает полет в течение 20-30 мин
Дополнительные характеристики			Увеличение подъемной силы на 50 кН, уменьшение габаритов, увеличение производительности вертолета на 13-23 %

В настоящее время из ПКМ разрабатываются лопасти новых вертолетов, для эксплуатируемых машин металлические лопасти модернизируются на лопасти из ПКМ.

Лопасты из ПКМ имеют следующие преимущества: очень высокий срок службы, простота в конструкции и обслуживании, более точное выдерживание параметров лопасти (профиль, крутка, форма в плане), что благотворно сказывается на аэродинамических характеристиках НВ и РВ.

Анализ трудоемкости изготовления цельнометаллических и полимерно-композитных лопастей показывает также явные преимущества последних (табл. I.2).

Т а б л и ц а I.2

Анализ трудоемкости изготовления лопастей

Элементы лопастей	Цельнометаллическая		Полимерно-композитная	
	Нормо-ч на одну лопасть	Процент от общей трудоемкости	Нормо-ч на одну лопасть	Процент от общей трудоемкости
Наконечник	10,0	6,75	6,0	6,45
Носовая часть	38,0	25,67	12,0	12,9
Лонжерон	39,0	26,35	11,0	11,83
Хвостовые отсеки	21,0	14,19	20,0	21,51
Лопасть (сборка)	20,0	13,51	20,0	21,51
Подготовка материалов и полуфабрикатов	20,0	13,51	24,0	25,8
Итого	148	100	93	100

Из приведенных данных видно, что уровень технологичности лопастей из ПКМ выше цельнометаллических.

Прогноз годового выпуска лопастей НВ и РВ вертолетов с применением методов математической аналогии показывает интенсивный рост производства лопастей из ПКМ и практически

прекращение изготовления ЦМЛ лопастей к 2000 году (рис. I.1) [2].

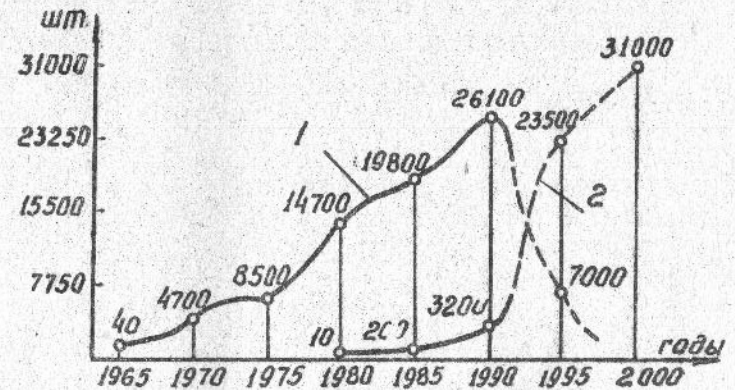


Рис. I.1

Этот расчет проводился с учетом следующих факторов:

- статистической информации о выпуске вертолетов и лопастей с начала их производства;
- увеличения ресурса и календарного срока службы лопастей из ПКМ по сравнению с ЦМЛ;
- использования лопастей из ПКМ на ранее выпущенных вертолетах;
- мощности предприятий;
- очередности оснащения технологическими комплектами;
- повышения уровня механизации и автоматизации лопастного производства.

В настоящее время недостатками лопастей из ПКМ являются: высокие трудозатраты на проектирование, особенно на прочностные расчеты; более продолжительные и дорогостоящие испытания; увеличенная по сравнению с металлами стоимость ПКМ, например, стеклопластик стоит в 8 раз, а углепластик в 30 раз дороже алюминиевого сплава Д16. Недостаточно изучена стабильность свойств ПКМ при длительной эксплуатации в различных климатических условиях (требуются длительные натурные испытания).

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТА

### 2.1. Конструктивно-технологические особенности ЦМЛ

Несмотря на интенсивное внедрение лопастей из ПКМ, доля ЦМЛ в общем объеме лопастного производства все еще велика (см. рис. 1.1). Чрезвычайно высокие требования к надежности и ресурсу лопастей вертолетов приводят к постоянному совершенствованию их конструкции и технологии производства на основе новейших методов проектирования и современных технологических процессов.

Повышение ресурса и надежности ЦМЛ, а также снижение ее массы достигается следующими методами:

- сокращением числа конструктивных и технологических разрезов;
- упрочнением силовых элементов лопасти не только термическими, но и механическими методами;
- применением новых высокопрочных и высокопластичных материалов, клеевых соединений, взамен сборно-клепаных, многослойных конструкций с сотовым наполнителем из металлов и неметаллов вместо традиционных клепаных.

Схема технологического членения современной типовой ЦМЛ несущего винта вертолета дана на рис. 2.1.

Лопасть несущего винта состоит из носовой части с лонжероном 1, хвостовых стоек 2, комлевой 3 и концевых обтекателей 4, 5, противообледенительной системы 6, узла статической балансировки лопасти 7.

Основным силовым элементом лопасти является лонжерон 1 (стальной трубчатый из стали 40ХНМА или дюралевый прессованный из сплавов АВТ-1 и АД-33), имеющий переменное сечение и толщину стенки по размаху лопасти. Комлевая часть лопасти 17 с проушинами навески лопасти на втулку НВ, выполненная из стали 30ХГСА, крепится к трубчатому лонжерону аргонодуговой сваркой, а к прессованному дюралевому - с помощью болтов.

Носовая часть лопасти, помимо лонжерона, включает в себя

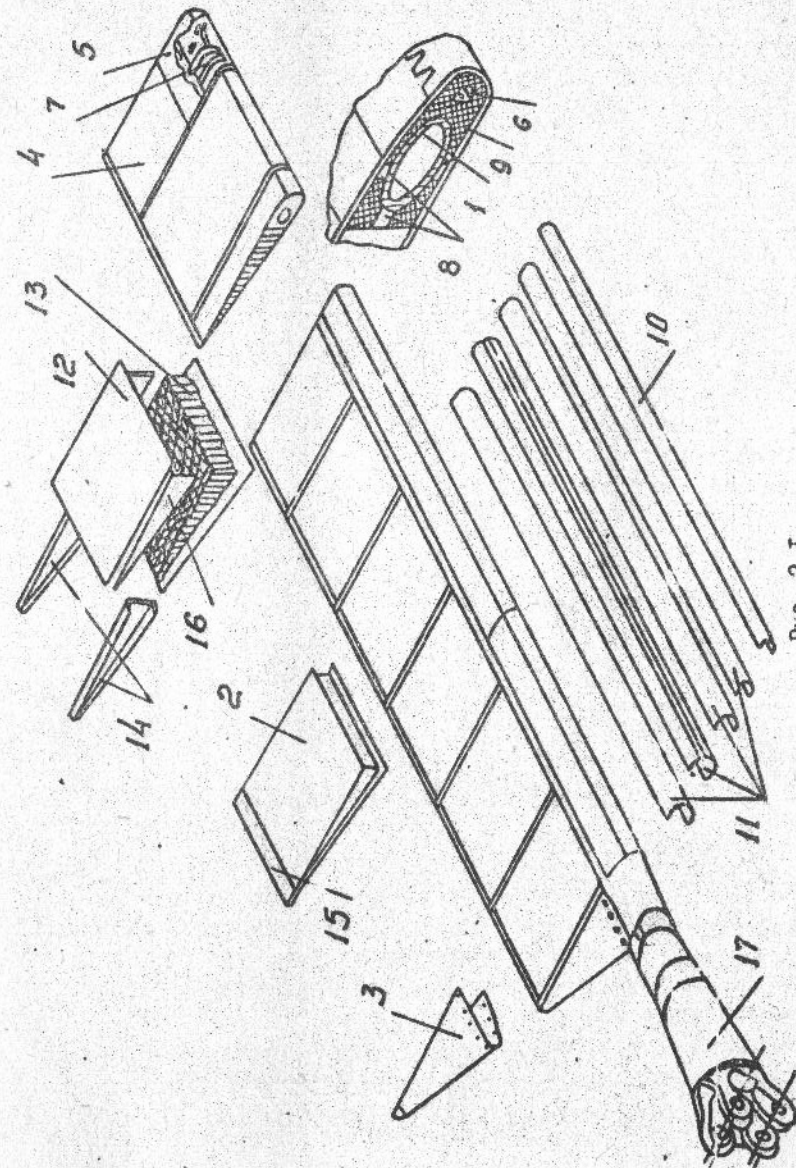


Рис. 2.1

компенсаторы 8, пенопластовый наполнитель 9, оковку-облицовку 10 и пакет 11 противообледенительной системы 6. Стеклопластиковый компенсатор 8 - промежуточное звено, передающее нагрузку с каркаса лопасти на лонжерон. Он выполнен в виде стеклопластиковых лент марки Т-10-80, пропитанных связующим составом ЭДТ-10П.

Каждый хвостовой отсек лопасти состоит из обшивки 12, нервюр 14, алого или полимерцементного наполнителя 13, дюралевого или текстолитового закрывка 15, склеенных высокопрочным клеем ВК-4Г. Между отсеками при сборке вставляются межотсечные вкладыши 16, обеспечивающие возможность разворота отсеков относительно друг друга при изгибе и кручении лопасти.

Помимо конструкции хвостового отсека из ПКМ, отработана технология изготовления металлического отсека, который дешевле, чем отсек из ПКМ. В этом случае обшивка и нервюры отсека изготавливаются из алюминиевого сплава АВТ-1 толщиной 0,3 мм, а сотовый наполнитель - из фольги АМг2-Н толщиной 0,03 мм.

Противообледенительная система в виде пакета 6 приклеивается в специальную подсежку на носке лопасти (для прессованного лонжерона) или закладывается в носовую часть лопасти при ее выклейке в стапеле.

По передней кромке лопасти приклеивается оковка 10 из титановой ленты марки ОТ-4-Г для защиты носовой части лопасти от абразивного износа.

Основные конструктивные особенности металлических лопастей НВ:

- прямоугольная форма в плане без стреловидной законцовки;
- геометрическая и аэродинамическая крутки;
- совпадение внешней поверхности прессованного лонжерона с теоретическим контуром ее сечения, формирование поперечного профиля носовой ее части со стальным трубчатым лонжероном;
- наличие системы сигнализации повреждения лонжерона и противообледенительной системы.

Наиболее характерными деталями и подборками ЦМЛ, определяющими ее конструктивно-силовую схему, являются: комлевая часть лопасти (наконечник), лонжерон и хвостовой отсек.

## 2.2. Процессы изготовления характерных деталей ЦМЛ

Детали лопастей винтов эксплуатируются в условиях сложного циклического нагружения. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования по надежности и выносливости, которые обеспечиваются специальными процессами обработки, устранением возможных концентраторов напряжений, а также упрочнением поверхностей деталей с созданием в них остаточных напряжений соответствующего знака.

Технологии упрочнения поверхностным пластическим деформированием как средство повышения сопротивления деталей переменным нагрузкам, контактной усталости, фреттинг-коррозии, а также коррозии под напряжением широко применяются в вертолетостроении, в том числе и в лопастном производстве [4].

### 2.2.1. Изготовление наконечника лопасти

Укрупненный технологический процесс изготовления наконечника лопастей НВ и РВ вертолета представлен в табл. 2.1.

Механическая обработка наконечника выполняется на станке с ЧПУ.

Таблица 2.1

Основные операции изготовления наконечника лопасти

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Рентген-участок ЦЗЛ	Входной рентген-контроль заготовки (отсутствие трещин, волосовия)	Рентген-аппарат	РУП-60
Участок станков с ЧПУ	Фрезерование плоскостей проушин с припуском на шлифование	Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ и магазинным инструментам	МА-655СМН
	Сверление, зенкерование, развертывание отверстий навески		

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Термический участок	Фрезерование плоскостей вилки с припуском на шлифование		
	Зенкование фасок, цекование гнезд под головки болтов и гаек		
Термический участок	Термическая обработка	Печь индукционная	УНКЗ-2
Шлифовальный участок	Шлифование плоскостей проушин и вилок	Плоскошлифовальный станок	3П723ДВ
Слесарный участок	Притупление острых кромок	Машина для снятия заусениц	—
Участок упрочнения	Калибрование, дорнование отверстий	Гидропресс	ЛС6-НА
	Раскатка, обкатка переходных галтелей, виброупрочнение наконечника	Пневмомашин	РПО-350
	Промывка детали	Виброустановка	ВУД-630
	Промывка детали	Моечная машина	—
Метрологический участок	Технический контроль, взвешивание	Контрольно-измерительная машина	"Дельта" АВ
Цех гальваникопокрытий	Антикоррозионная обработка (кadmирование)	Гальваническая ванна	—

Операции фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, цекования выполняются с одного установка заготовки на станке с помощью магазина инструментов.

Процессы упрочнения (поверхностным пластическим деформированием) являются финишными и осуществляются после механической, термической и чистовой обработок наконечника.

Из всех методов упрочняюще-отделочной обработки поверхностей наибольшую глубину наклепа и высокое качество обрабатываемой поверхности обеспечивает накатывание. В качестве специального инструмента применяются накатники. Оборудование — токарные, фрезерные станки. Режимы операции накатки: подача ролика — 0,07...0,15 мм/об, частота вращения детали — 80...250 об/мин, рабочее усилие — 200...400 Н, диаметр ролика — 60...100 мм, профильный радиус ролика — 2...6 мм [5].

#### 2.2.2. Изготовление прессованного лонжерона

Заготовку лонжерона из высокопрочных алюминиевых сплавов марки АВТ-1 или АД-33 получают горячим прессованием в язычковой матрице, которая на выходе сваривает несколько потоков слитка в замкнутый контур постоянного сечения с перемычками внутри или ребрами жесткости.

После тщательного рентген-контроля по выявлению трещин, волосовин и других дефектов заготовку лонжерона фрезеруют на продольном копировально-фрезерном станке модели ПМ-1, снабженном двумя горизонтальными (черновая, чистовая обработка) и одной вертикальной фрезерными головками. Фрезерование выполняют фасонными фрезами. Заготовку лонжерона закрепляют на столе станка гидравлическими прижимами.

Наружный контур лонжерона имеет участки с постоянным по длине поперечным сечением и переходные плавные. Толщина стенки лонжерона после фрезерования изменяется от 3 мм в консольной части до 20 мм в комле лонжерона.

После фрезерования внешнюю поверхность лонжерона пришабривают и вручную доводят до точного контура сечения с помощью переносных пневматических шлифовальных машин.

Лонжерон в соответствии с требованиями аэродинамики лопас-



та имеет геометрическую крутку по длине. Закрутку лонжерона выполняют на установке УЗД-1 в холодном состоянии. Во внутренний канал его вводят твердую наборную оправку, которая удерживается тросовыми растяжками в зоне крутки. Лонжерон накатывают по роликам на ложементы, зажимают силовыми скобами через гидроцилиндр. Ложементы самоориентируются по наружному контуру лонжерона и поворачиваются от силового гидропривода с автоматическим учетом угла пружинения лопасти после снятия нагрузки. После перемещения на заданный шаг лонжерон фиксируется силовыми скобами, цикл крутки повторяется.

После операции геометрической крутки в комлевой части лопасти рассверливают в два перехода отверстия крепления комлевого наконечника, которые после развертывания подвергают дорнованию и обжатию кромок.

В качестве упрочняюще-отделочной обработки прессованного лонжерона применяется виброударное упрочнение на установке модели УБЯ-3-II (рис. 2.2) [4].

Сущность способа заключается в деформации поверхностного слоя металла в результате соударения детал., совершающей колебательное движение, с насыпанными на ее поверхность стальными шариками.

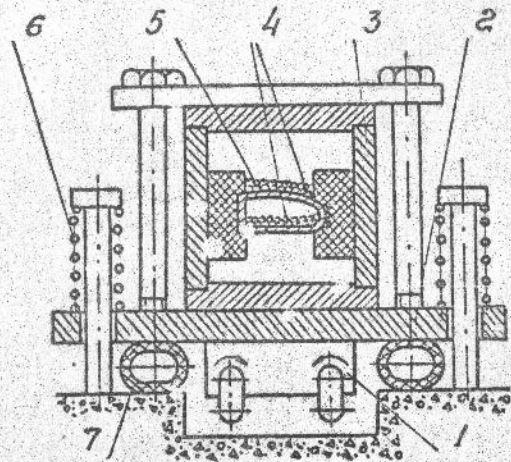


Рис. 2.2

Установка состоит из жесткой платформы 2, к ней крепят регулируемые направленные дебалансные вибраторы 1. С помощью упругих подвесок 6 платформу устанавливают на фундаменте. Для виброударного упрочнения применяют стальные закаленные шарики 4 диаметром 4,5...6 мм. Их засыпают во внутреннюю полость лонжерона 5, который помещают в специальный контейнер 3, также наполненный шариками из расчета плотности насыпки  $20 \text{ г/см}^2$  обрабатываемой поверхности. Контейнер закрепляют на платформе вибрационного устройства, установленного на резинокордовых упругих элементах 7. Амплитуда колебаний контейнера 1...5 мм, одновременно может обрабатываться до четырех лонжеронов. Виброударное упрочнение позволяет довести глубину наклепанного слоя как по наружной, так и по внутренней поверхности до 0,6 мм.

После упрочняющей обработки и промывки заготовку лонжерона деканируют в растворе кислоты для удаления тонкой пленки окислов перед нанесением защитного гальванопокрытия.

После тщательного геометрического контроля и взвешивания готовый лонжерон с комлевым наконечником поступает в стапель сборки лопасти.

### 2.2.3. Изготовление стального трубчатого лонжерона и носовой части лопасти

Для тяжелых вертолетов лонжерон ЦМЛ изготавливают из стальной холоднокатаной трубы (материал 40ХНМА). Заготовка его имеет по размаху различную толщину и форму поперечного сечения (от круглого в комле до овального в конце). После тщательного входного рентген-контроля и закалки ее подвергают шлифованию наружной и внутренней поверхностей на специализированных ленточно-шлифовальных станках СШЛН (наружное шлифование) и СШЛВ (внутреннее шлифование).

Строчечное шлифование на стенке СШЛН (рис. 2.3) выполняют посредством абразивной ленты 2, которую прижимают к обрабатываемой поверхности пневматическим контактным роликом 3. В процессе обработки заготовку лонжерона 1 перемещают по продольной оси станка с подачей 5...25 м/мин и в промежутках

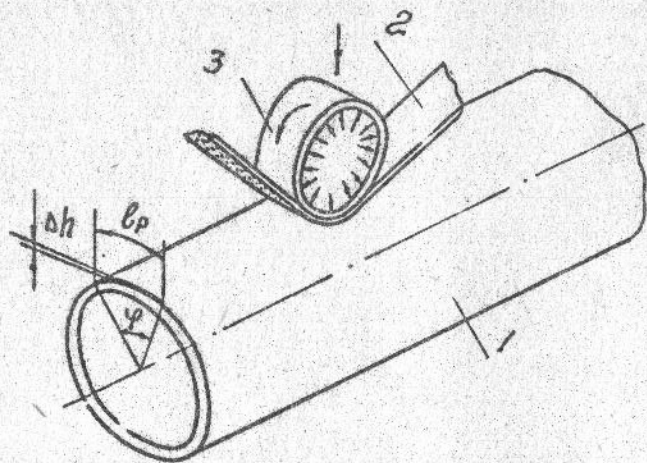


Рис. 2.3

между рабочими циклами поворачивают на заданный угол  $\varphi$ . Гидравлическая система станка следит за профилем изделия через ролики, смещение которых регулирует давление прижима шлифовальной ленты ( $0,2 \dots 1,2$  МПа) в зависимости от радиуса кривизны сечения лонжерона. Технологические параметры ленточного шлифования — глубина  $\Delta h$  и ширина  $\ell_p$  снимаемого слоя металла.

На рис. 2.4 показана схема шлифования внутренней поверхности заготовки лонжерона на станке СМДВ. Перед шлифованием в заготовку 1, установленную в приводных лонгетах и зажатую в патронах станка, с помощью штанги 2 продевают абразивную ленту 3

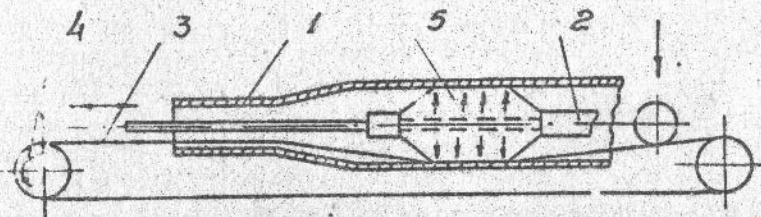


Рис. 2.4

марки ЭБ-40 шириной  $90 \dots 100$  мм и концы ее оклеивают. Электродвигатель передает вращение приводному шкиву 4, на который надет абразивная лента. Ленту прижимают к обрабатываемой поверхности упругим элементом 5, наполненным скатым воздухом через штангу 2. Давление воздуха в прижимном элементе  $0,03 \dots 0,08$  МПа, скорость перемещения ленты по строке шлифования (подача)  $5 \dots 6$  м/мин, скорость движения шлифовальной ленты  $20 \dots 25$  м/с.

Для повышения прочности при динамических нагрузках стального лонжерона применяют обкатывание роликами, виброударную и пневмодинамическую обработки.

Заготовку трубчатого лонжерона (рис. 2.5) обкатывают в два

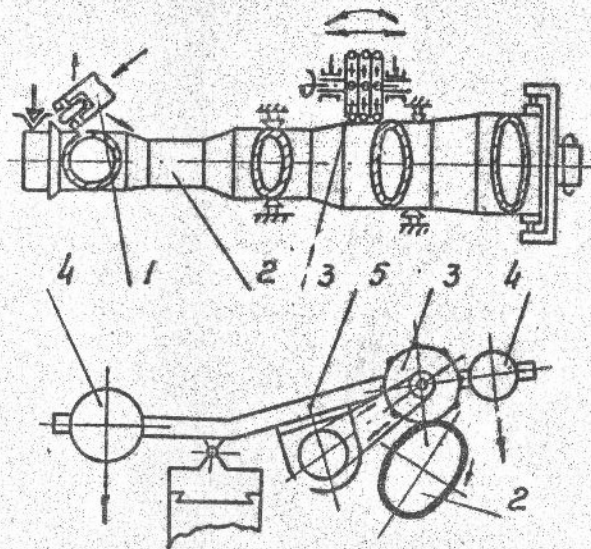


Рис. 2.5

рабочих хода при встречном и попутном вращении обкатника 3 и лонжерона 2. Обкатник вращается с частотой 2500 об/мин, лонжерон поворачивается вокруг продольной оси со скоростью  $5 \dots 6$  об/мин. Продольная подача обкатника  $0,1 \dots 0,2$  мм/об с применением обильной смазки.

Поверхности лонжерона цилиндрической и овальной формы обкатывают трех- или пятирядными роликовыми обкатниками 3. Галтели упрочняют однорядными роликовыми обкатниками 1.

Давление инструмента на обкатываемую поверхность создается тарированными пружинами или грузом 4 самоустанавливающейся каретки 5 в пределах 50...60 Н. Для соединения стального наконечника (комля) и заготовки трубчатого стального лонжерона используют аргодуговую сварку. Колцевой шов сваривают на специальной установке типа УСМК-2 в среде аргона с накидной камерой для защиты сварного шва от окружающей атмосферы. После сварки соединение наконечника с трубой лонжерона подвергают термообработке для снятия сварочных напряжений.

После грунтования внутренней поверхности атмосферостойким покрытием готовый лонжерон поступает в штапель изготовления носовой части лопасти.

Укрупненный технологический процесс изготовления носовой части лопасти представлен в табл. 2.2 [6].

Таблица 2.2

Основные операции изготовления носовой части лопасти

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный клеевой участок	Входной контроль лонжерона на отсутствие механических повреждений. Нанесение адгезионного подслоя клея ВК-3 на лонжерон. Сушка, контроль непл. клея. Укладка компенсаторов, опрессовка, контроль на обрыв	Установка контроля непроклеев	УКН-4П
Специализированный участок	Вспенивание пенопластового заполнителя в пресс-форме первого перехода	Автоклав	АЭ2,5-20
	Контроль по образцам-свидетелям на пластичность	Автоклав	АЭ2,5-20

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Оборочный участок	врезка пенопластового заполнителя для установки лапок нервюр, проверка контура пенопласта, определение статического момента лопасти	Ручной пневмоинструмент	
Специализированный участок	Укладка жгутов и изоляционных прокладок ПОС. Замер электрических параметров ПОС	Контрольный стенд	АСКЭ
Специализированный участок	Формирование контура носовой части лопасти в пресс-форме второго перехода, опрессовка, контроль отсутствия непроклеев	Автоклав	АЭ2,5-20
		Установка контроля непроклеев	УКН-4П
Участок контроля	Контроль закрутки носка, взвешивание	Специальное приспособление	
Испытательный участок	Испытание ПОС в условиях вибрации, влажной атмосферы, низкой температуры	Вибростенд Термобарокамера	КТКБ

#### 2.2.4. Изготовление хвостового отсека лопасти

Хвостовой отсек представляет собой конструкцию с основным исполнителем из алюминиевой фольги АМг-2-Н толщиной 0,03 мм. Алюминиевые отоблоки изготавливают в такой последовательности (табл. 2.3).

Обшивки и нервюры хвостового отсека выполняют из алюминиевого листа марки АЛТ-1 или из стеклопластика Т-10-80, пропитанного связующим ЭДТ-10П. Они поступают в приспособление сборки хвостового отсека отформованными, с обработанными кромками.

Т а б л и ц а 2.3

Основные операции изготовления алюминиевого сотблока

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок	Обезжиривание, сушка, димитесцентный контроль рулонной фольги	Установка	УОБ-2
Специализированный участок	Обрезка кромок, двухстороннее нанесение клеевых полос, сушка, складывание пакетов	Автоматическая установка	АСП-1000
Механический участок	Разка пакетов на блоки, фрезерование пакетов по прямолинейным и криволинейным контурам	Ленточно-пильный станок	ЛС-80-3
	Растяжение сотблока	Фрезерный станок с ЧПУ	ФМ-7М
Клеевой участок	Фрезерование торцов сотблока	Станок-автомат	АРСБ-2
	Обезжиривание сотблока в перхлорэтане	Фрезерный станок с ЧПУ	РФП-4
	Нанесение жидкой клеевой композиции на торцы сотового заполнителя	Конвейерная установка	УОП-2
	Притачка планочного клея ВК-3 на торцы сотового заполнителя	Установка	УНК-2
	Передача сотблока на приспособление сборки хвостового отсека лопасти	Установка	СНК-1

В нервюрах просверлены дренажные отверстия.

Хвостовой отсек лопасти собирают в специальном приспособлении (рис. 2.6) в такой последовательности:

1. На лицевой плите 1 приспособления закрепляют несколько слоев обшивки 2, на которую устанавливают законцовочный профиль и обшивку отсека. Обшивки в поперечном направлении

подкреплены в месте установки узла крепления лопасти элементами усиления стыковых отверстий интегральной конструкцией (титановая фольга и стеклоткань). Носовая часть лонжерона включает в себя центролодный груз 7, нагревательный элемент противообледенительной системы 8 и окровку 9 из титанового сплава УТ4-1 для защиты от абразивного износа. В конструкцию хвостового отсека лопасти 3 входят: обшивки 10 из органита, сотоблок 11 из полимерсотопласта (ПП) и нервюры 12 из органита. Между хвостовыми отсеками установлены резиновые вкладыши 13.

Лопасть рулевого винта имеет аналогичную конструкцию, только хвостовой отсек выполнен неразрезным.

Конструктивно-технологичский анализ лопасти состоит из этапов:

- разложения конструкции на простейшие конструктивно-технологические элементы и описания их свойств;
- классификации этих элементов на основе общности свойств;
- разработки директивных технологий;
- подбора состава и средств оснащения и оборудования;
- расчета показателей технологичности;
- выбора варианта решения.

Для оптимального по технологичности решения конструкции лопасти важнейшими этапами являются разработка директивных технологий, подбор состава, средств оснащения и оборудования, так как именно это в наибольшей степени влияет на технологическую себестоимость.

### 3.2. Технологическая схема изготовления лопастей из ПКМ

ПКМ - основная часть применяемых в конструкции лопастей материалов. Их использование требует создания новых методов проектирования, разработки новых технологических процессов и средств оснащения. При этом следует обеспечить их преемственность в опытно и серийном производстве. Это объясняется тем, что в агрегатах из композиционных материалов технология есть принадлежность чертежа и в значительной мере определяется составом и типом оснастки.

Поэтому принципиальные технологические решения должны быть для серии отработаны на этапе постройки опытных образцов изделий.

Применение ПКМ в конструкции вертолетов требует создания нового специализированного производства, качественно отличающегося от имеющихся на предприятиях. Так, ПКМ предъявляют качественно другие требования к операциям основного производства и контроля, а также к межоперационным и внеоперационным технологиям — транспортным, складским.

Серийное производство вертолетов с увеличением объема ПКМ в конструкциях агрегатов организовывается по однотипной технологии. В связи с этим должны быть решены задачи типизации технологических процессов, средств технологического оснащения и организации специализированного производства.

Технологическое обеспечение производства лопастей и агрегатов из ПКМ с высокой эффективностью и техническим уровнем производства основывается на использовании специально-го и специализированного оборудования, робототехнических модулей, поточных линий и др.

В соответствии со схемой технологического членения лопасти НВ (см. рис. 3.1) цех для изготовления лопастей НВ и РВ из ПКМ должен состоять из следующих отделений и участков:

#### 1. Участки подготовительного отделения:

- приготовления связующих и клеевых композиций;
- изготовления препрегов (пропитка стеклоткани, лента и т.д.);
- раскроя (препрегов, резин, клеевых пленок, обшивок хвостовых секций);
- подготовки титановой фольги;
- изготовления пенопластовых деталей.

#### 2. Участки и отделения изготовления лопастей НВ, РВ и стреловидной законцовки лопасти НВ:

- заготовительно-штамповочный;
- центровочных грузов;
- нагревательного элемента;
- ПСП;
- отоблоков;

- обшивок и нервюр;
- нанесения клея-расплава на торцы сот;
- сборки-склеивания крестовой секции;
- механической обработки сотового блока;
- пакетов препрега;
- сборки и формования лонжеронов;
- намотки лонжеронов;
- механической обработки лонжеронов;
- сборки-склеивания лопасти;
- внастенной сборки, балансировки и контроля лопасти;
- окраски лопасти;
- прѐмки и ушаковки лопасти.

Производство лопастей из ПКМ и интегральных конструкций начинается с подготовительных технологических процессов. На рис. 3.2. дана схема подготовки материалов и полуфабрикатов, а в табл. 3.1 приведены основные операции и необходимое оборудование.



Рис. 3.2

Таблица 3.1

## Подготовка материалов и полуфабрикатов

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок приготовления связующих и клеев	Приготовление связующих 5-21ПБ, 5-21ПБН, ЭД-20, СР-341А, УП-631, ЭДТ-10Н и клеев ВК-41, ВК-25, ВКВ-3, ВК-25, ВК-9	Автоматическая установка с ПУ для приготовления связующих и клеев Смеситель механический Установка ультразвукового измельчения твердых компонентов связующего	
Специализированный участок пропитки и приготовления прегрег	Пропитка тканей и полимерной бумаги Изготовление однонаправленной ленты	Автоматизированная установка для пропитки Автоматизированная установка для изготовления однонаправленной ленты	УИСТ-1000 УЛС-3
Участок подготовки титановой фольги	Обезжиривание титановой фольги	Установка для обезжиривания титановой фольги	
	Вакуумный отжиг	Вакуумная печь (устанавливается на термическом участке)	СМВ-8,8/93М1

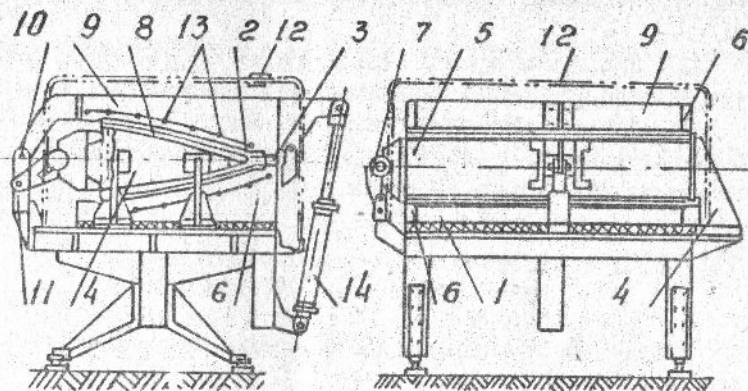


Рис. 2.6

упирает в опорную планку 3, в продольном - на торцовую плиту 4.

2. В полость между обшивками закладывают сотоблок и нервы.

3. Нервы вместе с сотоблоком поднимают технологической плитой 5 к плите 6, закрепляют плиту 5 в рабочее положение фиксатором 7.

4. Устанавливают плиту-крышку 8 со слоями асботкани и резины.

5. Закрывают верхнюю плиту 9 и закрепляют ее фиксатором 10 в вилке 11.

6. Накрывают приспособление теплоизоляционным кожухом 12. Включают электронагреватели 13 верхней и нижней плит. В течение времени полимеризации клея поддерживает режим термофиксации.

7. По окончании процесса склеивания снимают теплоизоляционный кожух 12, открывают верхнюю плиту 9 с помощью гидроцилиндра 14, снимают плиту-крышку 8 и отводят прижимную плиту 5.

8. Вынимают готовый хвостовой отсек из приспособления.

9. Проверяют качество склеивания хвостового отсека с помощью механизированной установки УКН-4П с числовой програм-

мным управлением, оснащенной импедансно-акустическим прибором ИАД-3.

Ю. Заделывают кромки отсека, герметизируют торцы сотового заполнителя эпоксидной смолой или эластомерным герметиком.

И. Готовые хвостовые отсеки для защиты от загрязнений и порчи поверхности упаковывают механизированным способом в полиэтиленовую пленку на установке СУ-1 и передают на стпель окончательной сборки лопасти.

### 2.3. Сборка и склеивание лопасти

Сборка ЦМЛ включает в себя стпельные и внестпельные работы (табл. 2.4)

Т а б л и ц а 2.4

Основные операции изготовления ЦМЛ

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Сборочный участок	Сборка и склеивание ПОС	Специальное приспособление	ЭП-7
Участок доработки	Предварительная сборка (установка лонжерона, комплектование и установка хвостовых отсеков в стпель)	Стпель сборки лопасти	
	Демонтаж хвостовых отсеков и доработка для обеспечения необходимого зазора между отсеками	Вертикально-фрезерный станок	
Специализированный участок	Сбезджиривание склеиваемых поверхностей	Приточно-вытяжная вентиляция	
Сборочный участок	Установка хвостовых отсеков с межотсечными вкладышами на лонжерон, прокладка клеевой пленкой	Стпель сборки лопасти	

О к о н ч а н и е т а б л . 2.4

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Сборочный участок	Установка рублильников и прижимов, подготовка лопасти к термостатированию	Автомат регулирования температуры	АРТИ
	Склеивание лопасти по режимам, охлаждение после термостатирования		
Специализированный участок	Демонтаж прижимов, рублильников, выемка лопасти из стпеля	Испытательные стенды	Прибор ИАД-3
	Испытание образцов-свидетелей, контроль качества склейки		
Сборочный участок	Внестпельные работы. Установка балансиров, концевых и комлевого обтекателей лопасти	Ручной пневмоинструмент	
Участок контроля	Контроль точности обводов геометрической и аэродинамической кривки лопасти	Специальное приспособление, шаблоны ШКС	
	Контроль ПОС на пробой и сопротивление изоляции	Контрольный стенд	АСКЭ
Малярный участок	Нанесение лакокрасочного покрытия и маркировочных знаков на лопасть		
Участок контроля	Контроль системы сигнализации повреждения лонжерона	Специальный стенд	АКСТ-1
	Взвешивание, продольная и поперечная балансировка	Балансировочный стенд	
Специализированный участок	Консервация лопасти		

Хвостовые отсеки с лонжероном лопасти с штапеле склеивают по режимам клеевой пленки. Давление создается боковыми прижимами под воздействием пневмоцилиндров.

Нагрев при склеивании осуществляется электронагревателями в боковых колодках прижимов. Питание нагревателей и регулирование температуры контролируется автоматикой.

### 3. ПРОИЗВОДСТВО ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 3.1. Конструктивно-технологическая характеристика лопастей из ПКМ

В производстве лопастей из ПКМ основными технологическими процессами являются: склеивание, формование и намотка. Эти методы соединения материалов имеют следующие конструктивные, технологические и эксплуатационные достоинства:

- позволяют соединять материалы, не опасаясь коррозии, и получать наиболее гладкие поверхности;
- не приводят к возникновению концентрации напряжений в стыке и гарантируют прочность соединения, равную прочности основных элементов;
- не вызывают структурных изменений в соединяемых материалах;
- резко уменьшают число входящих в сборочный узел деталей и стандартизируют способ изготовления сборочного узла;
- обеспечивают снижение массы соединений до 20% по сравнению с массой клепаных соединений;
- снижают стоимость производства узлов.

Процессы склеивания, формования и намотки повышают жесткость конструктивных элементов лопастей и в некоторых случаях дают возможность обойтись без элементов, увеличивающих жесткость. Вследствие этого созданы многослойные конструкции, состоящие из материалов с различными свойствами. Внешний слой - обшивка - основной рабочий элемент лопасти, выполнен из высокопрочных материалов, внутренний каркас - в виде силового элемента-лонжерона и заполнителя, изготавливаемого обычно

в виде ячеистой конструкции, например сотового заполнителя.

Высокая сопротивляемость многослойной конструкции сжатию позволяет ограничиваться наружным слоем малой толщины, что приводит к уменьшению массы лопасти.

Изменение направления укладки в различных слоях ПКМ вызывает дозированную деформацию кручения лопасти под нагрузкой, которая во время полета увеличивает эффективность управления.

Проектирование лопасти из ПКМ с заданным ресурсом в условиях воздействия переменных нагрузок - очень сложный процесс вследствие большого числа факторов, влияющих на прочность конструкции: появления напряжений, растрескивания и расслоения основы ПКМ при нагружении, влияния окружающей среды, наличия несплошностей в ПКМ.

В связи с этим особое место в обеспечении качества лопастей из ПКМ занимает высокая технологическая дисциплина. Соблюдение технологических режимов и точное выполнение операций от изготовления полуфабрикатов (лент, тканей, жгута) до готового узла и лопасти в целом гарантирует необходимый состав и сплошность основы, высокое качество готовых лопастей.

Первое поколение лопастей из ПКМ проектировалось по принципу непосредственной замены металлических деталей деталями из стеклопластиков. При таком подходе, естественно, не удается полностью реализовать все преимущества, которые можно получить от применения ПКМ. Выигрыш в этом случае не превышает 15...18%.

При создании конструкции лопасти с учетом оптимальных условий для ПКМ возможно снижение массы до 35%.

Рационально использовать ПКМ в интегральных конструкциях путем сочетания металлических деталей с конструкцией из ПКМ. При этом удается наиболее эффективно реализовать механические характеристики ПКМ и оптимальные массовые показатели.

Лопасть НВ из ПКМ состоит из носовой части 1, лонжерона 2, хвостовых отсеков 3, стреловидной законцовки 4, элементов усиления стыковых отверстий 5 и узла крепления лопасти 6 (рис. 3.1).

Основным силовым элементом лопасти является лонжерон, выполненный из стеклопластика с переменным по длине сечением,



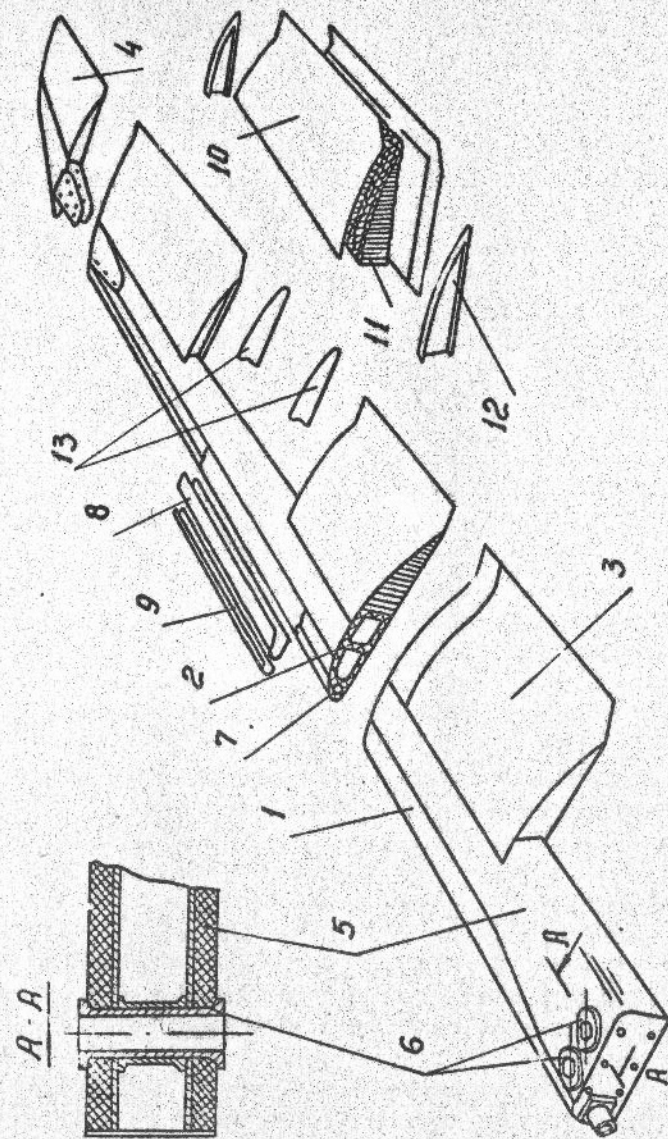


Рис. 3.1

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Участок раскрой	Нанесение клея ВК-25 на фольгу	Установка для нанесения клея на фольгу	ТСН13МЗ
	Сушка и термообработка клея	Установка для сушки и термообработки клея	
		Стеллаж элеваторный облегченный	
	Раскрой препрега, титановой фольги, складывание пакетов	Робототехнический комплекс раскрой и укладки	

Высокая производительность и качество подготовки материалов и полуфабрикатов обеспечиваются применением автоматизированных установок, поточно-механизированных линий и робототехнических комплексов.

На рис. 3.3 изображена схема изготовления нагревательного элемента с оковкой на поточной и поточно-механизированной роботизированной линии, а в табл. 3.2 приведены основные операции и необходимое оборудование.

Схема изготовления хвостовых отсеков лопасти и стреловидной законцовки показана на рис. 3.4, а в табл. 3.3 - основные операции и оборудование.

На рис. 3.5 дана схема выкладки пакетов препрега при сборке лонжерона (а) и подузловой его части (б), где 1 - 6 - номера пакетов препрега, 7 - центrovочный груз, 8 - нагревательный элемент, 9 - оковка, в табл. 3.4 представлены основные операции и необходимое оборудование для изготовления лонжерона лопасти и стреловидной законцовки.

На рис. 3.6 дана схема окончательной сборки-склеивания лопасти, а в табл. 3.5 приведены основные операции и оборудование.

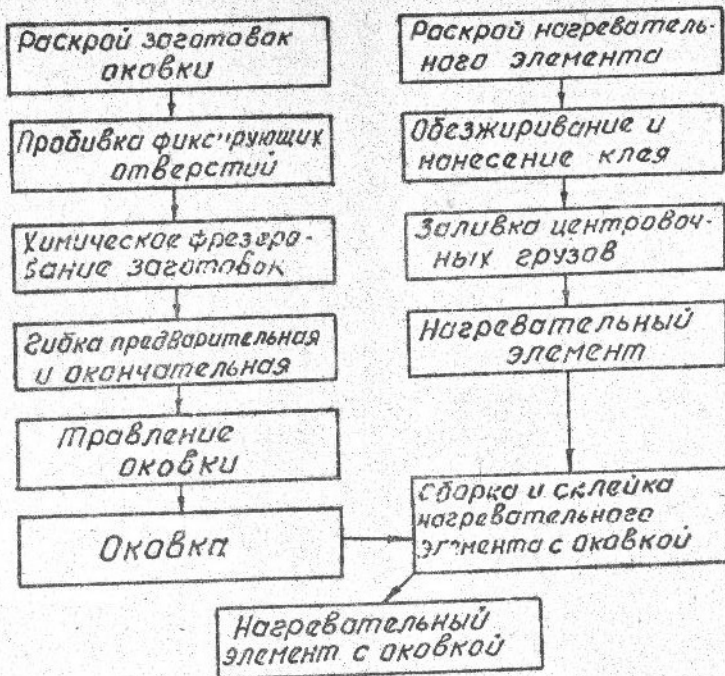


Рис. 3.3

Таблица 3.2

Изготовление нагревательного элемента с оковкой

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Заготовительно-штамповочный участок	Раскрой заготовок оковок по длине, пробивка фиксирующих отверстий, раскрой нагревательного элемента	Автоматизированный комплекс на базе кривошипного прессы	АККД 2128Е-02
	Гибка предварительная и окончательная	Робототехнический комплекс	РТУ 2КД 2330.01

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок изготовления центровочных грузов	Обрубка технологических припусков с фиксирующими отверстиями	Робототехнический комплекс	
	Травление и очистка оковок от окалины	Установка для травления	
	Заливка металлических центровочных грузов	Специальная установка для заливки центровочных грузов	
	Калибровка и обрезка в размер	Пресс	
	Взвешивание	Весы	
	Обрезинивание центровочных грузов	Пресс	100-40023
	Изготовление комлевых центровочных грузов (резиновых)	Пресс	ГОСТ 11957-73
	Обезжиривание нагревательного элемента	Устройство для обезжиривания	
	Нанесение и полимеризация клея ВК-25 на нагревательный элемент	Установка для нанесения и полимеризации клея	
	Раскрой нагревательного элемента	На заготовительно-штамповочном участке	
Специализированный участок изготовления нагревательного элемента	Пайка шинок к нагревательному элементу	Установка для пайки шинок	
	Изготовление резиновых бобышек	Пресс	100-40023
	Сборка и склеивание нагревательного элемента с оковкой, резиной и резиновыми бобышками	Установка для сборки и склеивания	ГОСТ 11957-73

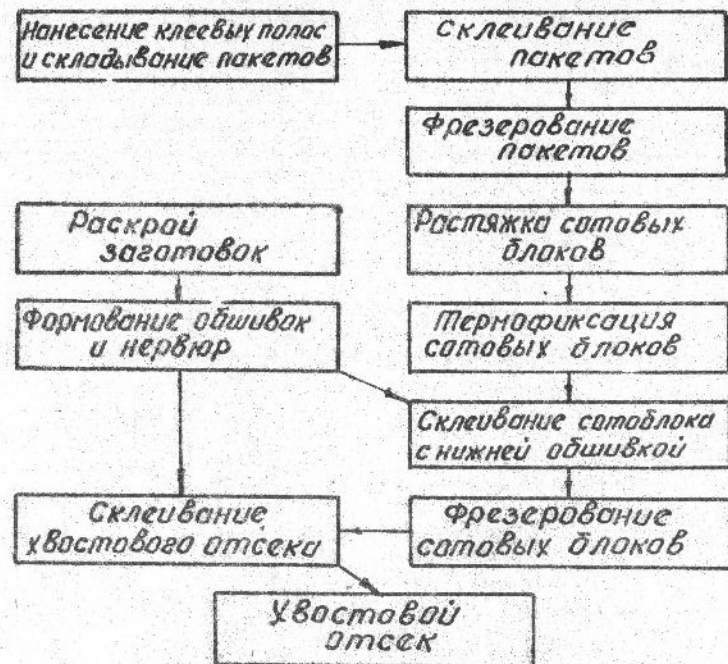


Рис. 3.4

Таблица 3.3  
Изготовление хвостовых отсеков

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок изготовления ПСП	Нанесение клеевых полос ВК-25 на пресс и укладывание пакета	Установка для нанесения клеевых полос	ОТА-156
	Сборка сотовых пакетов	Автомат для сборки сотовых пакетов	
	Склеивание сотовых пакетов	Пресс гидравлический	ДБ-2430

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
	Обрезка пакетов в габарит	Машина для резки бумаги	БРМ-4
	Раскрой пакетов на заготовку	Автоматизированная установка раскроя сотовых пакетов на заготовки с ЧПУ	
	Высечка и фрезерование "рыбок"	Пресс гидравлический Копировально-фрезерный станок	ДБ-2430 СОМЗ
	Растяжение сотовых блоков	Специализированная установка для растяжения сотовых блоков	АРСБ
	Термофиксация блоков	Печь с индукционным нагревом	
Специализированный участок изготовления обшивки и нервюр	Изготовление обшивки	Установка для формования обшивки	
	Изготовление нервюр	Установка для формования нервюр	
	Шерохование обшивки и нервюр	Установка для шерохования поверхности	
Специализированный участок нанесения клея-расплава	Нанесение клея-расплава ВК-9 на торцы сот	Установка для нанесения клея-расплава	
	Прикатка клеевой планки к обшивке и нервюре	Установка для прикатки	

Форма организации производства	Наименование операции	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок сборки-склеивания хвостовой секции	Склеивание сотового блока с нижней обшивкой и нервюрами	Специализированная установка для склеивания хвостовых отсеков	УСХО
Участок механической обработки сотового блока	Обработка сотового блока по стороне "верх" в размер	Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ	2П-17М8П
Специализированный участок сборки-склеивания хвостового отсека	Сборка-склеивание хвостового отсека	Специализированная установка для склеивания хвостовых отсеков Механизированный стеллаж элеваторный	УСХ2 ГСП-ГЗМЗ

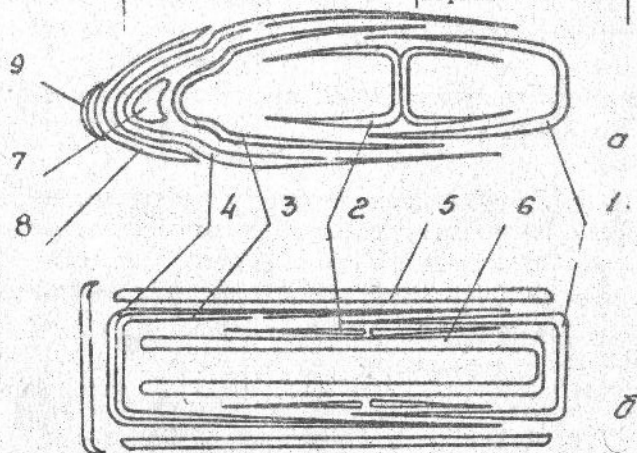


Рис. 3.5

Изготовление лонжерона лопасти и стреловидной законцовки

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок изготовления пакетов препрега	Раскрой заготовок пакетов № 1...6 лонжерона лопасти и стреловидной законцовки	Установка для калибровки препрега Портативный ультразвуковой резак Раскройно-пакетно-ручной модуль	ЕХ-К-30 РПМ-2В
Сборка и предварительная опрессовка пакетов лонжерона лопасти № 1...6 и пакетов лонжерона стреловидной законцовки	Сборка и предварительная опрессовка пакетов лонжерона лопасти № 1...6 и пакетов лонжерона стреловидной законцовки	Установки для предварительной опрессовки пакетов (7 позиций)	
Завезивание пакетов	Завезивание пакетов	Весы	
Специализированный участок сборки и формирования лонжерона	Совместная сборка и опрессовка блока пакетов № 3,4 с нагревательным элементом и оковкой	Установка для формирования носовой части лонжерона	
Окончательная сборка и формирование лонжерона	Окончательная сборка и формирование лонжерона	Механизированная установка для формирования лонжерона	УСП
Сборка и формирование лонжерона стреловидной законцовки	Сборка и формирование лонжерона стреловидной законцовки	Установка для формирования стреловидной законцовки Автоматизированная система управления процессом формирования лонжерона	АУСПТ "Полупроцессом меризация"

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок намотки лонжеронов	Изготовление лонжерона методом намотки	Установка для намотки лонжерона с ЧПУ	
Участок механической обработки лонжеронов и изготовления контрольных образцов	Обрезка лонжерона в размер	Механизированное устройство для обрезки лонжерона	
	Фрезерование внутренних стыковочных поверхностей щек концевой части лонжерона	Универсально-фрезерный станок с ЧПУ	6Т83
	Расверловка отверстий в деках комлевой части лонжерона	Радиально-сверлильный станок	2М55-1
	Установка втулок в стыковочные отверстия и склеивание шайб	Устройство для установки втулок и склеивания шайб	
	Торцовка и расточка втулок комлевой части	Координатно-расточный станок	2Д450АБ2
	Межоперационное хранение лонжеронов	Механизированный стеллаж элеваторный	
	Изготовление контрольных образцов:	Горизонтально-фрезерный станок	6Р82Г
	- обрезка;	Токарно-линторазный станок	16К30В
	- расверловка;	Плоскошлифовальный станок	3Е711В-1
	- фрезерование;	Вертикально-фрезерный станок	6Р13
	- расточная	Радиально-сверлильный станок	2М55-1
		Отрезной станок ножовочный	8725



Рис. 3.6

Таблица 3.5  
Сборка-склеивание лопасти

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
Специализированный участок сборки-склеивания лопасти	Шерохование поверхности лонжерона в зоне склейки хвостового отсека	Установка для шерохования поверхности	
	Нанесение клея ВК-9 жидкого на лонжерон и хвостовые секции	Установка для нанесения клея на лонжерон	
		Установка для нанесения клея на хвостовые секции	

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
	Склеивание хвостовых секций с лонжероном	Станция комплектующий	УСЛ
		Механизированная установка сборки-склеивания хвостовых секций с лонжероном	
		АСУ технологическими режимами склеивания лопасти	
	Установка стреловидной законцовки на лопасть на клею ВК-9	Установка для сборки-склеивания стреловидной законцовки с лонжероном	
		Механизированный стеллаж элеваторный	
Специализированный участок вне-стапельной сборки и балансировки лопастей	Внестапельная сборка лопасти, контроль точности	Стенд для внестапельной сборки и контроля	СБЛ
		АСУ ТП "Балансировка"	
Специализированный участок окраски	Шерохование стеклопластиковой поверхности лопасти перед окрашиванием	Установка для шерохования	УНС
		Шпатлевание	"Радуга"

Форма организации производства	Наименование операций	Оборудование	
		Наименование	Модель
	Сушка	Многосекционная терморadiационная сушильная камера	АБ29,008
		Нанесение эмали ЭП-140 белой и ЭП-140 серой на поверхность лопасти (2 слоя)	
	Сушка	Многосекционная терморadiационная сушильная камера	
		Нанесение надписей, линий, маркировка	

#### 4. ХАРАКТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ ИЗ ЦКМ

##### 4.1. Подготовительные процессы

ЦКМ - материалы, образованные объемным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними.

Они характеризуются свойствами, которыми не обладает ни один из компонентов, взятый в отдельности. ЦКМ состоят из пластичной основы (матрицы), служащей связующим материалом, и включений (армирующего материала).

Подготовка армирующих материалов включает в себя несколько технологических операций: испытание арматуры на соответствие ее механических характеристик техническим требованиям, расшлихтовку (обезжиривание), аппретирование (гидрофобное покрытие) [7, 8], сивание (перематка одной или нескольких нитей,

жгутов, лент с укладкой в однонаправленную полосу).

Подготовка связующего заключается в контроле компонентов в целях проверки срока годности и приготовлении компаунда (смеси компонентов связующих) [7].

Кроме основного компонента (смолы) в связующее вводят различное количество отвердителей, катализаторов, пластификаторов и пигментов, а чтобы придать связующему необходимую технологическую вязкость — растворители или разбавители.

Изделия из ДКМ получают в основном двумя способами: "мокрым" и "сухим". При "мокрой" способе армирующие материалы в виде ткани, ленты или волокна пропитывают жидким связующим непосредственно перед выкладкой, т.е. пропитка технологически совмещена с формообразованием изделия. При "сухом" способе пропитка выделена в самостоятельную операцию, в результате чего из армиатуры и связующего получают препреги: нити, жгуты, ленты и ткани, которые после пропитки связующего подсушивают и частично отверждают. Для приготовления препрегов чаще всего используют вертикальную пропиточную машину (рис. 4.1) для пропитки ленты с однонаправленной укладкой волокон [7].

В ней армиатура 5 сматывается со шпульничка 1 и, проходя через систему направляющих роликов 2, поступает в пропиточную ванну 3 с жидким связующим. После прохождения блока отжимных роликов 4 на армиатуре остается некоторое количество связующего, зависящее от структуры наполнителя, вязкости компаунда, его температуры и скорости перемотки. Пропитанная армиатура поступает в сушильную камеру 6.

В результате из компаунда удаляются летучие вещества и пространство между волокнами заполняется связующим. Высушенный препрег с помощью приводного вала 7 наматывается через прижимное устройство 8 и механизм намотки 9 на фторопластовую подложку 10.

Для приготовления тканевого препрега существуют следующие методы нанесения компаунда [7]:

- механическое нагнетание связующего в клиновидной камере;
- гидравлическая принудительная пропитка ткани;
- купание армиатуры в ванне пропиточного компаунда;
- пульверизация;

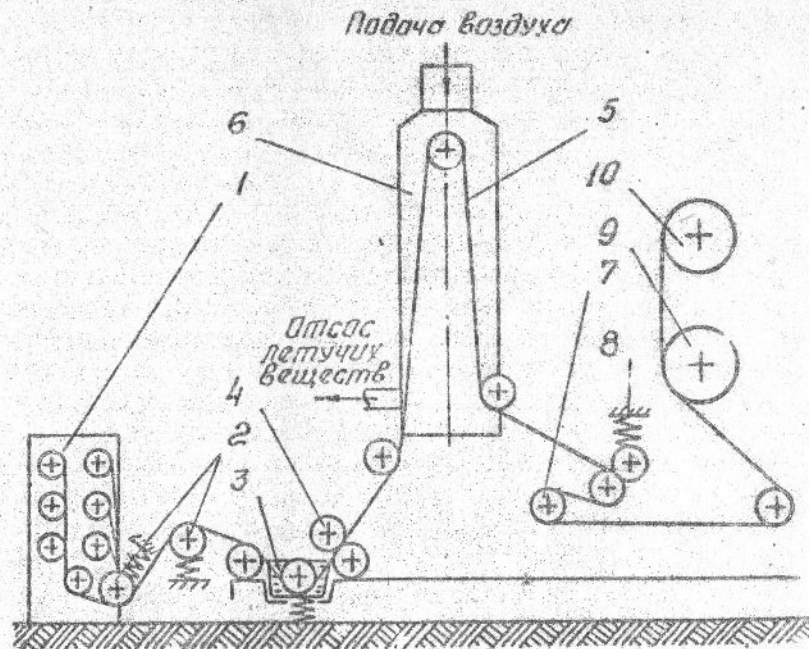


Рис. 4.1

- вакуумная пропитка засасыванием связующего в структуру ткани;
- центробежная пропитка.

При изготовлении сотового наполнителя подготовительный процесс заключается в нанесении клеевых полос на фольгу. Для обеспечения прочности при неравномерном отрыве полос пакетов сотового наполнителя клей наносят методом глубокой печати: не сплошным слоем, а растровыми микрочайками. Клеевая полоса при этом представляет собой площадь, покрытую отдельными клеевыми точками. Площадь, покрытая клеем, составляет 47... 50 % площади клеевой полосы.

Подготовительные процессы в настоящее время осуществляются на высокопроизводительных автоматических линиях.

#### 4.2. Формообразование элементов лопасти методом выкладки

Метод выкладки применяется для изготовления обшивок лопастей. Как правило, выкладка производится "сухим" способом. Схема выкладки обшивки из ПКМ с использованием вакуумного мешка изображена на рис. 4.2. На основание 1 наносят разделительный слой 2 для предотвращения адгезии между связующим 4 и основанием,

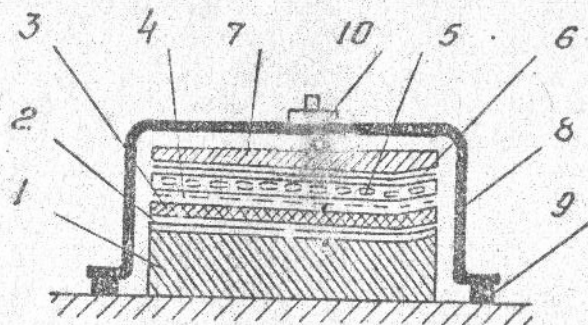


Рис. 4.2

а на разделительный слой укладывают пакет заготовок препрега 3 и пористую пленку 4. Избыточное связующее, находящееся в пакете, протекая через пленку 4, будет впитываться адсорбционным материалом 5. На верхний разделительный слой 6 крепят цугу 7 из металла или стеклопластика для равномерности передачи давления формования на пакет и придания необходимого качества поверхности обшивки.

Дренажные слои 5 отводят испаряющиеся компоненты связующего и газы из-под вакуумного мешка 8, который герметизируется жгутом 9. Вакуумование осуществляется через штуцер 10.

Для отверждения связующего используется электрообогрев пакета или выдержка его в автоклаве с радиационным обогревом.

#### 4.3. Формование деталей лопасти из ПКМ

Методы формования изделий из ПКМ весьма многообразны и зависят от марки материалов, вида полуфабриката и габаритных размеров изделия. Детали лопастей в основном изготавливают прессованием в жестких формах и формованием с помощью герметичных эластичных оболочек.

Прессование применяется для получения нервюр и носовой части лонжерона. В последнем случае деформирование препрега I в сборе с нагревательным элементом, бобышками и центровочным грузом осуществляется пуансоном 2 в матрице 3 (рис. 4.3). В зависимости от свойств формируемого материала удельное усилие прессования изменяется от 5 до 40 МПа, например, при использовании стекловолоконных материалов на фенольной смоле величина удельного давления  $35 \pm 5$  МПа.

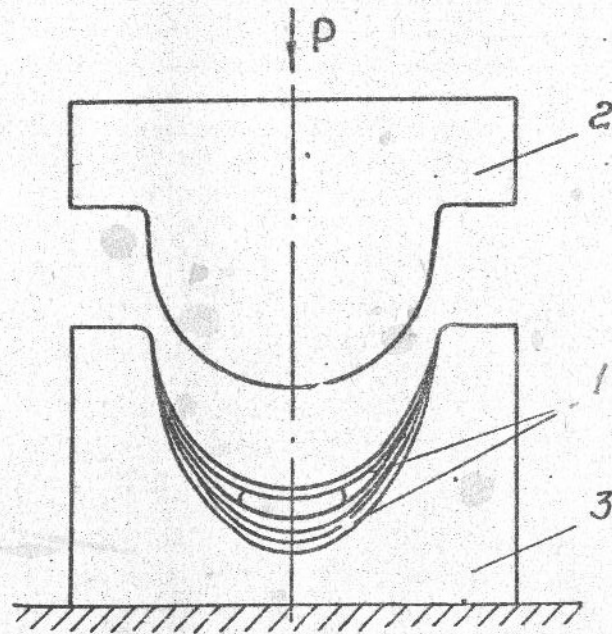


Рис. 4.3



Основные технологические параметры процесса прессования деталей из ПКМ — температура и время выдержки материала в пресс-форме.

Выбор температурного режима зависит от свойств перерабатываемого материала и размеров детали. Температура прессования крупногабаритных деталей изменяется ступенчато с соответствующей выдержкой по операции, достигает  $200^{\circ}\text{C}$ , а время выдержки — 6 часов [7].

Прессованием получают изделия с гладкой поверхностью, однородной структурой (расслоения материала весьма редки), высокими физико-механическими свойствами.

Формование с помощью герметичных эластичных оболочек позволяет получать детали сложной пространственной формы, например, лонжероны из ПКМ "сухим" методом.

Формование выполняют с применением специальных форм (негативных, позитивных и их комбинаций). После сборки изделие подвергают формованию в вакуумном мешке, помещенном в электрическую печь, автоклав, пресс-камеру (рис. 4.4). На форму 1 после адгезивной подготовки выкладывают предварительно подготовленный пакет препрега 2, на который вслед за разделитель-

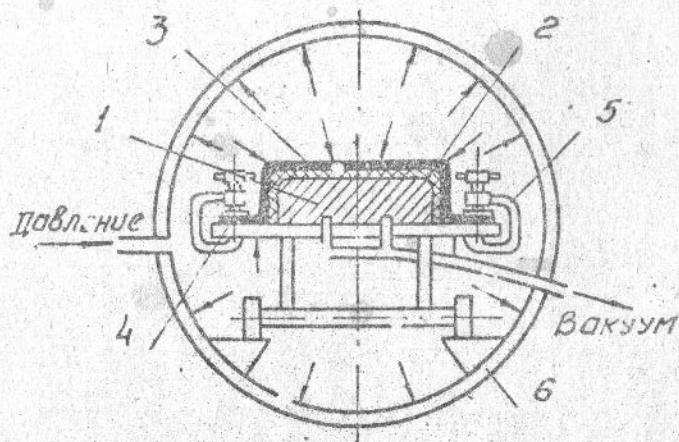


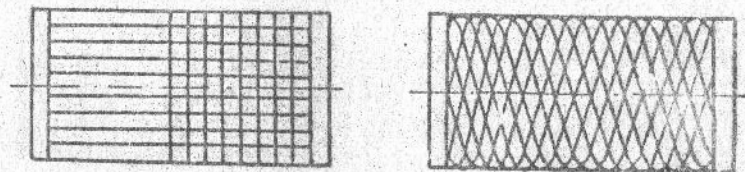
Рис. 4.4

ной антиадгезивной пленкой укладывают резиновый мешок 3. Затем форму герметизируют прижимами 4 и прижимами 5 (винтовыми, гидравлическими, пневматическими). Форму помещают в автоклав 6 и производят отверждение связующего при заданном термическом режиме и избыточном давлении, обеспечивая вакуумирование полости между мешком и препрегом. Обычно давление при автоклавном методе формования составляет  $0,8 \dots 3,0$  МПа.

#### 4.4. Получение деталей методом намотки

Изделия из ПКМ, форма которых определяется вращением произвольных образующих (лонжероны лопасти НВ и РВ), могут быть изготовлены намоткой на оправку соответствующей формы. В качестве ПКМ используют нити, ленты или ткани, пропитанные основой. Когда армирующий материал укладывают по направлению главных растягивающих напряжений, появляется возможность для получения оптимальной конструкции (с минимальной массой при заданной прочности).

Из многообразия методов намотки лонжеронов лопастей чаще всего применяют продольно-поперечный (рис. 4.5, а) и спиральный (рис. 4.5, б). Продольно-поперечный метод может быть реали-



а

б

Рис. 4.5

зован с параллельной и верной укладкой волокна. При этом арматуру располагают параллельно оси изделия или под небольшим углом к ней в виде веера. Намотку осуществляют жгутами и лентами. Соотношения и общее число продольных и поперечных слоев при намотке выбирают в соответствии с условиями работы лонжерона.

Спиральная (геодезическая) намотка выполняется путем

укладки армирующего материала, пропитанного основой, по спиральным линиям. В этом случае сокращается время подготовки арматуры и наладки станка, так как требуется лишь один рулон ткани. Однако усложняются технологические расчеты, связанные с выбором шага и угла намотки, послойным перемещением стиков и т.д. Уплотнение структуры ПКМ и фиксация арматуры в уложенном состоянии при намотке лонжеронов обеспечиваются путем технологического натяжения арматуры. Автоклавное формование создает давление для опрессовки намотанного лонжерона. При этом также используют цулаги, антиадгезионную пленку, дренажные слои и вакуумный мешок. При опрессовке лонжерона внутренним давлением на наружных поверхностях монтируют специальные формы для предупреждения деформаций.

#### 4.5. Склеивание сборочных узлов и лопасти в целом

Клеевые соединения, применяемые в конструкции лопасти по конструктивно-технологическим особенностям, можно разделить на две группы: закрытого типа, т.е. лист-лист (соединение лонжерона с носовой и хвостовой частью) и открытого, т.е. многослойные (соединение обшивки и сотовых блоков хвостовых отсеков). Для соединения первой группы чаще используют жидкие клеи, для второй — пленочные.

Изготовление хвостовых отсеков лопасти и сборка-склеивание лопасти в целом относятся к сборочным методам типа "сухого" с "сухим". Процесс базирования входящих деталей в этом случае не отличается от сборки узлов и агрегатов из металлических деталей, за исключением специфических условий временной фиксации деталей. Лопасть и хвостовые отсеки собирают в приспособлениях (см. рис. 2.6). Выполнение клеевых соединений связано с необходимостью точной подгонки сборочных элементов, подготовки поверхностей, обеспечивающих высокую адгезионные прочностные показатели изделий, нанесения клея на соединяемые поверхности, сушки (открытую выдержку) нанесенного слоя перед сборкой соединяемых деталей, отверждения клея.

Перед склеиванием поверхности зачищают шкуркой без разрушения волокон (до снятия глянца). Попадание масла и влаги на

обрабатываемые поверхности не допускается. После удаления пыли пылесосом поверхность склеиваемых ПКМ обрабатывают спиртом, модифицированными алкидными смолами или их композициями.

Жидкие клеи после проверки срока годности и концентрации наносят на склеиваемые поверхности кистью или пульверизатором. Клеевые пленки предварительно раскраивают и монтируют между сопрягаемыми поверхностями.

Для удаления из клеевого слоя растворителя, наличие которого приводит к образованию пористого шва с пониженной прочностью, применяют открытую выдержку клея при комнатной или повышенной температуре. Клеи, не содержащие растворителя, и пленочные выдержки не требуют. Для получения качественного высокопрочного клеевого шва при сборке необходимо создавать определенный технологический натяг в соединении путем распределенной нагрузки.

В зависимости от типа клеевой композиции клей может отверждаться по "холодному" или "горячему" режимам.

#### 5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ

Лопастей вертолета — ответственные агрегаты. От их надежной работы зависит безопасность полета, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по качеству изготовления.

Дефектами конструкции являются повреждения в структуре материалов, которые ухудшают их физико-механические характеристики, установленные техническими условиями.

Допустимы дефекты лопасти, ухудшающие физико-механические характеристики в пределах погрешностей инженерных расчетов и механических испытаний.

Источники дефектов — низкое качество используемых материалов и нарушение технологической дисциплины на производстве. Те или иные отклонения от заданного технологического процесса всегда имеют место. Поэтому такие ответственные агрегаты, как лопасти вертолета, подлежат тщательному контролю качества перед началом эксплуатации.

В табл. 4.1 представлены основные контролируемые параметры и средства контроля, позволяющие оценить величину дефекта этих параметров неразрушающими методами.

Таблица 4.1  
Неразрушающий контроль качества

Объект контроля	Контролируемые параметры	Величина параметра, норма дефекта	Средства контроля
Лонжерон ПКМ	Толщина стенок	6...10 ± 0,5 мм	Акустический толщиномер УТ-801
	Сплошность материала	Наибольшая протяженность дефекта 4 мм, суммарная площадь расслоений 2,3% от общей площади	Акустические дефектоскопы АД-40И, УД-237М, АД-50У
	Посторонние включения	Не допускаются	Рентгеноустановка РУП-200
	Неприклеи под антиабразивной резиной	20 см <sup>2</sup> на площади 0,5 м <sup>2</sup>	Рентгеноустановка РУП-150
	Глубокие неприклеи в носовой части	20 см <sup>2</sup> на площади 0,5 м <sup>2</sup>	Рентгеноустановка РУП-200
Наконечник, металлический лонжерон	Качество внутренней поверхности	Отслоения не допускаются	Эндоскоп РВП-456
	Волосовины, микротрещины	Не допускаются	Рентгеноустановка РУП-600
Хвостовой стоек	Неприклеи обшивки с сотовым блоком и нервюрами	Наибольшая величина неприклея: - по хвостовому стрингеру не отходящие на торцы отсека 12x25 мм; - обшивки с сотовым блоком 60 см <sup>2</sup> ; - по контуру 10 мм; - сквозная между полками нервюр и обшивками 15 мм	Акустические дефектоскопы АД-40И, АД-50У, установка УКЧ-4П, при др ИАД-3 Голографическая установка Автоматизированная установка УКСК-1500
	Прочность склеивания	По образцам на отрыв	Установка для контроля прочности склеивания ИАД-3

Окончание табл. 4.1

Объект контроля	Контролируемые параметры	Величина параметра, норма дефекта	Средства контроля
Лопасть	Неприклеи обшивки хвостового отсека с лонжероном	Не допускаются	Акустические дефектоскопы АД-40И, АД-50У, голографическая установка
	Контроль сечения и угол закрутки	По ТУ	Автоматизированная установка для контроля контура сечения и угла закрутки, оптический квадрант
	Несоконость	По ТУ	Измеритель несоконости типа ИИД

Контроль качества изделий из ПКМ существенно отличается от контроля металлических деталей. В ПКМ значительно затухают колебания, они неэлектропроводны и получаются в процессе изготовления конструкции. Последнее не позволяет стандартизировать требования к поставляемому материалу и вынуждает проводить общий или выборочный контроль материала уже в готовых конструкциях. Кроме того, из-за специфических свойств ПКМ нельзя в полной мере использовать дефектоскопы, применяемые для контроля металлов.

Это потребовало разработки и внедрения новых приборов (см. табл. 4.1), основанных на акустических, рентгеновских и оптических методах контроля [9].

Таким образом, анализ конструктивно-технологических особенностей и основных технологических процессов изготовления лопастей вертолета из ПКМ и ЦМЛ показывает существенные преимущества лопастей из ПКМ как в конструктивном, так и в технологическом плане. Это предопределяет интенсивное вытеснение последними цельнометаллических лопастей из конструкции современных вертолетов.

Вместе с тем внедрение в производство технологических процессов изготовления лопастей из ПКМ вызывает необходимость коренного переоснащения предприятия, освоения большой группы специфических процессов обработки ПКМ, проведения большого

объема проектных и научных исследований, связанных с разработкой нового оборудования, оснастки и сложного приборного обеспечения.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итоги науки и техники. Сер. авиастроения. Т. 10. За рубежом вертолеты / Под ред. Ружицкого Е.М. М., 1989. С. 116.
2. Биряков Н.М., Резниченко В.И., Шарильщикова В.И. Технология вертолетостроения. М., 1985.
3. Резниченко В.И. Изготовление лопастей вертолетов из неметаллических материалов. М., 1977.
4. Технологическое обеспечение авиационного производства / Строганов Г.Б., Ройк Ю.Г., Климентьев В.И. и др. М., 1991.
5. Отделочные операции в машиностроении: Справ. / Руденко П.А., Шуба М.Н., Огнивец В.А. и др. Киев, 1990.
6. Григорьев В.И., Ганиханов Ш.Ф. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов. М., 1977.
7. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов: Учеб. пособие / Гайдачук В.Е., Гречка В.Д., Кофрин В.Н. и др. Харьков, 1989.
8. Павлов И.В. Полимерные композиционные материалы: Учеб. пособие. Харьков, 1987.
9. Нерезрушающие методы контроля конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов в производстве и эксплуатации: Учеб. пособие / Буланов В.В., Гайдачук В.Е., Гречка В.Д. и др. Харьков, 1989.

#### ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
I. Сравнительный анализ конструктивно-технологических характеристик лопастей вертолетов из ПКМ и цельнометаллических . . . . .	4
2. Технология изготовления цельнометаллических лопастей вертолета . . . . .	8
2.1. Конструктивно-технологические особенности ЦМЛ . . . . .	8
2.2. Процессы изготовления характерных деталей ЦМЛ . . . . .	11
2.2.1. Изготовление наконечника лопасти . . . . .	11
2.2.2. Изготовление прессованного лонжерона . . . . .	13
2.2.3. Изготовление стального трубчатого лонжерона и носовой части лопасти . . . . .	15
2.2.4. Изготовление хвостового отвода лопасти . . . . .	19
2.3. Сборка и склеивание лопасти . . . . .	22
3. Производство лопастей вертолетов из полимерных композиционных материалов . . . . .	24
3.1. Конструктивно-технологические характеристики лопастей из ПКМ . . . . .	24
3.2. Технологическая схема изготовления лопастей из ПКМ . . . . .	27
4. Характерные технологические процессы изготовления лопастей вертолетов из ПКМ . . . . .	41
4.1. Подготовительные процессы . . . . .	41
4.2. Формообразование элементов лопасти методом выкладки . . . . .	44
4.3. Формование деталей лопасти из ПКМ . . . . .	45
4.4. Получение деталей методом намотки . . . . .	47
4.5. Склеивание сборочных узлов и лопасти в целом . . . . .	48
5. Контроль качества изготовления лопастей . . . . .	49
Список использованной и рекомендуемой литературы . . . . .	52

Юрий Вениаминович Дьяченко,  
Вячеслав Викторович Коллеров,  
Александр Николаевич Мещеряков

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТОВ

Редактор В.И. Филатова

Св. план, 1992, поз. 10

Подписано в печать 17.09.92г.

Формат 60x84 1/16. Бум. офс. # 2. Офс. печ.

Усл. печ. л. 3. Уч.-изд. л. 3,37. Т. 150 экз. Заказ 79. Цена 85 к.

Харьковский авиационный институт

310070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17

Ротапринт типографии ХАИ

310070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17