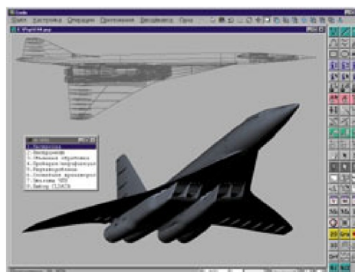
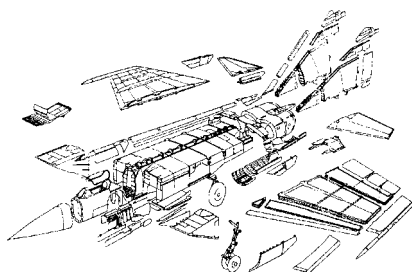




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

Ю. А. Вашуков, О. В. Ломовской А. А. Шаров

Технология и оборудование сборочных процессов



Мультимедийное пособие

САМАРА

2011

УДК 629.735.33.002 (07)
ББК 30.14
В 234

Авторы: **Вашуков Юрий Александрович,**
Ломовской Олег Владиславович,
Шаров Андрей Алексеевич

Компьютерная верстка: М. В. Георгиевский

Вашуков, Ю. А. Технология и оборудование сборочных процессов [Электронный ресурс] : мультимед. пособие / Ю. А. Вашуков, О. В. Ломовской, А. А. Шаров; М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (5,98 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-RW).

Рассмотрен самолёт как объект сборочного производства и изложены положения об оценке технологичности авиационных конструкций. Рассмотрена современная технология выполнения соединений при сборке авиационных конструкций, инструмент, технологическое оснащение, сборочные приспособления. Изложены современные методы увязки в самолётостроении. Рассмотрены прогрессивные методы сборки авиационных конструкций из металлических и композиционных материалов. Изложена методика проектирования технологических процессов сборки, методика проектирования сборочных приспособлений. Описаны методы контроля авиационных конструкций.

Учебное пособие предназначено для подготовки специалистов по специальностям 160201.65 «Самолёто-и вертолётостроение», (Государственный образовательный стандарт второго поколения - ГОС-2) и по направлению 160100.65 «Самолёто-и вертолётостроение» по дисциплине «Технология сборочно-сварочных процессов» в 9, 10 семестрах; по направлению 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств» (Федеральный Государственный стандарт третьего поколения –ФГОС-3) по дисциплине «Технология производства аэрокосмической техники» в 7, 8 семестрах.

Оно может быть использовано при изучении теоретического материала по технологии производства авиационной техники студентами 4 - 6 курсов. Может быть полезно молодым специалистам авиационной отрасли.

Подготовлено на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении СГАУ.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАНЕРА САМОЛЁТА	6
1.1 Самолёт как объект сборочного производства	6
1.2 Технологические характеристики современного самолёта	11
1.2.1 Внешние обводы самолёта	11
1.2.2. Конструктивно-технологическое членение самолёта	11
1.2.3 Технологические разъемы и стыки	13
1.2.4 Панелирование агрегатов, отсеков и секций	14
1.2.5 Расположение силового набора планера самолёта	15
1.3 Конструктивно-эксплуатационные разъемы	19
2. МЕТОДЫ СБОРКИ	23
2.1 Сборка по базовой детали	24
2.2 Сборка по разметке	25
2.3 Сборка по сборочным отверстиям	27
2.4 Сборка по базовым поверхностям	30
2.4.1 Сборка с базированием от поверхности каркаса	30
2.4.2 Сборка с базированием от наружной поверхности обшивки	32
2.4.3 Сборка с базированием от внутренней поверхности обшивки	33
2.5 Сборка по базовым отверстиям	35
2.5.1 Сборка с базированием по КФО	35
2.5.2 Базирование по отверстиям под стыковые болты	36
2.6 Точность и технико-экономические показатели различных методов базирования	38
3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ	39
3.1 Особенности проектирования технологических процессов сборки в самолётостроении	39
3.2 Выбор схемы базирования и состава оснащения сборки	42
3.3 Требования к деталям, поступающим на сборку	43
3.3.1 Конструктивная компенсация погрешностей при сборке	43
3.3.2 Компенсация погрешностей при сборке механической доработкой контура деталей	44
3.3.3 Компенсация погрешностей сборки путём заполнения зазоров	44
3.4 Проектирование рабочего технологического процесса	46
4. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ В САМОЛЁТОСТРОЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ	51
4.1 Общая характеристика применяемых в самолётостроении соединений	51
4.2 Технологический процесс выполнения заклёпочного соединения	52
4.3 Способы образования и обработки отверстий под болты и заклёпки	54
4.3.1 Сверление отверстий	54
4.3.2 Зенкерование отверстий	57
4.3.3 Развертывание отверстий	58
4.3.4 Протягивание отверстий	30
4.3.5 Упрочнение отверстий методами пластической деформации	62
4.3.6 Выполнение отверстий в деталях из композиционных материалов	63
4.3.7 Образование отверстий под потайные головки заклёпок	64
4.3.8 Механизация подготовки отверстий под заклёпки	65
4.4 Клёпка сплошных заклёпок общего назначения	68
4.4.1 Автоматическая клёпка	68

4.4.2 Прессовая клёпка	72
4.4.3 Клёпка раскаткой	76
4.4.5 Ударная клёпка	78
4.5 Клёпка высокоресурсными сплошными стержневыми заклёпками	82
4.6 Клёпка специальными и составными заклёпками	85
4.6.1 Клёпка пустотелыми заклёпками	86
4.6.2 Клёпка составными заклёпками	86
4.7 Обеспечение и контроль качества заклёпочного шва	90
4.8 Болт-заклёпочные соединения	93
4.9 Болтовые соединения	97
4.10 Герметизация соединений	100
4.10.1 Методы герметизации соединений	100
4.10.2 Поверхностный метод герметизации соединений	100
4.10.3 Внутришовный метод герметизации соединений	102
4.10.4 Комбинированный метод герметизации соединений	104
4.10.5 Работоспособность герметичных соединений, контроль герметичности	104
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И УВЯЗКА СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ	107
5.1 Назначение сборочных приспособлений и технические требования к ним	107
5.2 Классификация и конструкция сборочных приспособлений	111
5.3 Проектирование сборочных приспособлений	115
5.3 Прогрессивные конструктивные схемы сборочной оснастки	118
5.3.1 Упрощенное сборно-разборное приспособление для сборки панелей	118
5.3.2 Приспособление с упругим прижимом обшивок	119
5.3.3 Приспособление для групповой сборки узлов	120
5.3.4 Станок сборки агрегата с рабочими площадками на двух уровнях	121
5.4 Изготовление и монтаж сборочных приспособлений	122
5.5 Взаимная увязка сборочных приспособлений	127
5.6 Основные схемы увязки деталей и оснастки	129
5.6.1 Метод объёмной увязки	130
5.6.2 Программно-инструментальный метод увязки	135
5.6.3 Бесплазовые методы увязки	136
6 СБОРКА ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ САМОЛЁТА	138
6.1 Сборка отсеков и агрегатов непанелированной конструкции	138
6.2 Сборка отсеков и агрегатов панелированной конструкции	141
7 СБОРКА АГРЕГАТОВ И ОТСЕКОВ САМОЛЁТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	144
7.1 Изготовление агрегатов и отсеков из композиционных материалов	144
7.2 Изготовление полуфабрикатов	150
7.3 Изготовление деталей и узлов методом намотки	152
7.4 Изготовление узлов и деталей методом выкладки	155
7.5 Технология выполнения комбинированных клееклёпаных соединений	158
8 ОБЩАЯ СБОРКА, КОНТРОЛЬ И НЕВИЛИРОВКА САМОЛЁТА	161
8.1 Общая сборка планера самолёта	161
8.2 Контроль аэродинамических обводов планера самолёта	163
8.3 Нивелировка самолёта	169
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	176
Приложение: Экзаменационные вопросы	177

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой производства летательных аппаратов в условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции на мировом рынке является снижение трудоемкости и себестоимости изготовления авиационной техники, а также удовлетворение требований по увеличению ресурса самолётов за счет повышения качества узлов и деталей путём внедрения новых процессов, а также путем механизации наиболее ответственных технологических процессов.

Сборка планера самолета является заключительным этапом технологического процесса воспроизведения аэродинамических обводов самолёта, который во многом определяет качество выпускаемого изделия.

Сборка отличается от других технологических процессов тем, что ее составными частями являются разнообразные, физически разнородные процессы установки, клепки, сварки, склеивания и т. п. /1, 2, 3/.

Классические основы технологии агрегатно-сборочного производства изложены в трудах известных специалистов по технологии самолетостроения, в частности А. Л. Абибова, П. Н. Белянина, В. В. Бойцова, М. П. Горбунова, В. П. Григорьева, Е. П. Шекунова, В. И. Ершова, В. В. Павлова, М. Ф. Каширина, С. М. Лещенко и др.

Новые конструктивные решения, применяемые в настоящее время авиационные материалы и виды соединений, тенденция к большей монолитности деталей обуславливают необходимость разработки новых технологических процессов сборки и новых вариантов практической реализации классических схем сборки при смене объектов производства. Новые технологические решения в агрегатно-сборочном производстве изложены в современных изданиях авторов А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова, Б. Н. Марьина, В. И. Волкова, Буланова И. М., О. С. Сироткина, В. И. Шпорта и др.

В настоящем электронном конспекте лекций изложены прогрессивные технологические решения при разработке процессов сборки планера самолетов, апробированные в процессе серийного производства самолета Су-27 на Комсомольском-на-Амуре авиационном производственном объединении (КнААПО) /4-8/.

Сложность формы конструктивных элементов планера самолета не позволяет задавать геометрические свойства сопрягаемых деталей и увязывать их с помощью традиционных машиностроительных чертежей. Для этого вычерчиваются плазы, на которых в натуральную величину воспроизводятся конструктивные элементы, а их изготовление осуществляется по шаблонам, снятым с плаза. Основными недостатками этого метода являются высокая трудоемкость и длительность цикла технологической подготовки производства, поскольку для запуска в производство самолета необходимо изготовить несколько сот плазов и десятки тысяч шаблонов. Начиная с 80-х годов, происходит внедрение в авиационной промышленности систем геометрического моделирования, что позволило модифицировать плазово-шаблонный метод и автоматизировать ряд трудоемких процедур. Появление тяжелых CAD/CAM-систем, позволяющих моделировать не только детали, но и сборочные единицы, создает предпосылки для перехода на бесплазовое производство авиационной техники /9/.

Успешная реализация больших потенциальных возможностей, заложенных в новых технических решениях, в новых технологиях, в новых методиках технологической подготовки производства авиационной техники, зависит от уровня подготовки и объема знаний специалистов, работающих в этой области.

1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАНЕРА САМОЛЁТА

1.1 Самолёт как объект сборочного производства

Современный самолёт является сложной машиной, требуемые лётно-технические характеристики которой накладывают специфические особенности на конструкцию его агрегатов и как следствие на технологию изготовления /1/.

В отличие от других изделий машиностроения самолет как объект производства обладает рядом специфических особенностей, которые отражаются на технологиях сборочного производства.

Многодетальность планера самолёта. Количество деталей узлов в конструкции планера коммерческого самолета (не считая нормалей) достигает ста тысяч единиц и более. Эта особенность самолёта влечет за собой необходимость применения многочисленных и разнообразных технологических процессов, специальной сборочной оснастки, усложняет планирование, контроль и учет незавершенного производства.

Большая номенклатура используемых материалов. В настоящее время до 70 % общего количества деталей коммерческого самолета изготавливается из легких сплавов различных марок, 25% - из легированных сталей и остальная часть - из неметаллических материалов.

Повышение требований к лётно-техническим характеристикам самолёта, повышение требований к его надежности вызывает необходимость применения новых материалов, например, жаропрочных сталей, титановых сплавов, металлических и полимерных композиционных материалов, что приводит к дальнейшему расширению номенклатуры используемых в самолетостроении материалов. Многие из этих материалов трудно поддаются обработке обычными методами, поэтому для выполнения слесарно-сборочных операций требуются новые технологии.

Сложность пространственных форм и высокие требования по точности к аэродинамическим обводам. Размеры деталей планера изменяются от нескольких миллиметров (крепежные детали) до десятков метров (стрингеры, полки лонжеронов, листы обшивки, монолитные панели, монолитные шпангоуты, рамы и т. д.). При этом большинство деталей значительных габаритных размеров обладает малой жесткостью, что создает трудности получения точных размеров в процессе сборки из них узлов и агрегатов. Именно этими особенностями обусловлено применение в самолетостроении многочисленных сборочных, монтажных и других приспособлений и специальных технологических методов обеспечения взаимозаменяемости узлов, панелей и агрегатов.

Большая трудоемкость сборочных процессов. Она составляет до 50 % общей трудоемкости при изготовлении планера современного самолета.

К особенностям сборочных процессов следует отнести также применение в планере большого числа разнообразных по конструкции неразъемных соединений с помощью клепки, сварки, пайки, склейки, запрессовки, развальцовки и т. п. Для выполнения таких соединений используют специализированное оборудование: скобы, прессы и автоматы для групповой клепки, машины для электроконтактной сварки, автоматы для дуговой электросварки в среде защитных газов и в вакууме, специальные станки и приспособления для изготовления сотовых конструкций, отсеков и панелей из пластмасс, керамики, металлокерамики, волокнистых композиционных материалов и т. д. Для герметизаций отсеков в агрегатах самолета применяют специальные герметики и специальное оборудование.

Высокие требования к качеству самолета в целом и его отдельным элементам. Качество самолета как объекта производства представляет собой комплекс его тактико-технических характеристик и показателей, характеризующих надежность его в эксплуатации.

Чтобы удовлетворить требованиям, предъявляемым к самолету, необходимы не только рациональная его конструкция в проекте, но и возможность осуществления этой конструкции на производстве с заданной степенью точности. Например, к аэродинамическим поверхностям самолета, предъявляются высокие требования не только чистоты (гладкости), но и точности. Допуски на внешние обводы в ряде случаев составляют десятые доли миллиметра, а на стыковые поверхности соответствуют 9...8, а в отдельных случаях 7-му качеству.

Повышение требований к эксплуатационной надежности самолета привело к разработке высокоресурсных соединений, процессов, инструмента и оборудования для их выполнения.

Частая смена объектов производства. Непрерывное повышение требований к лётно-техническим характеристикам самолета вызывает необходимость их совершенствования на базе достижений науки и техники. В силу этого запущенные в производство самолеты быстро морально стареют и заменяются образцами более совершенной конструкции. В связи с этим непрерывно модернизируется - совершенствуется материально-техническая база - специфическое оснащение самолетостроительного производства.

Большой объем работ по подготовке производства. Современный скоростной самолет представляет собой исключительно сложный объект производства. Трудоемкость его изготовления измеряется сотнями тысяч человеко-часов. Подготовка к запуску такого самолета в серийное производство является весьма сложной и трудоемкой задачей.

Технологическую и организационную подготовку серийного производства в целях сокращения сроков ведут последовательно-параллельным методом. По этому методу в соответствии с принятыми организационными формами производства и структурой самолета, параллельно и с некоторым сдвигом во времени ведется техническая отработка чертежей, проектирование технологических процессов, конструирование, изготовление и освоение оснастки. В результате значительно сокращаются сроки подготовки серийного производства самолетов.

Как любая сложная машина самолёт состоит из агрегатов – его составных частей, законченных в конструктивном отношении. У самолетов в качестве основных агрегатов выделить:

- ³⁵₁₇ планер;
- ³⁵₁₇ органы приземления (шасси);
- ³⁵₁₇ двигатели;
- ³⁵₁₇ системы управления, обслуживающие планер, двигатели и шасси;
- ³⁵₁₇ механизмы и агрегаты, обеспечивающие выполнение специальных функций;
- ³⁵₁₇ специальное оборудование и средства связи.

По конструктивным и технологическим свойствам указанные агрегаты значительно отличаются друг от друга, поэтому изготовление их требует специализации производства. Так, например, проектированием и изготовлением планеров самолётов занимается специальные проектные организации, а также опытные и серийные предприятия, составляющие специализированную отрасль - самолетостроение. Проектированием и изготовлением двигателей, приборов различного специального оборудования занимаются соответствующие специализированные отрасли авиационного производства: двигателестроение, приборостроение и др.

В сборочных цехах самолетостроительного завода выполняются следующие виды работ:

- ³⁵₁₇ сборочные, включающие установку деталей планера в сборочное положение, соединение их в узлы, панели и агрегаты. Сборка планера в целом является завершающим этапом этих работ;
- ³⁵₁₇ монтажные, связанные с установкой на планере двигателей, приборов, систем управления и различного рода специального оборудования.

Объем сборочных и монтажных работ зависит от количества входящих в конструкцию планера деталей и количества устанавливаемых на планере механизмов, приборов и специальной аппаратуры. Представление об объеме сборочных и монтажных работ могут дать следующие данные, относящиеся к четырехмоторному самолету. В конструкции планера такого самолета насчитывается до 60 000 различных деталей, на самолете устанавливается более сотни электродвигателей, 150 различных приборов, несколько радиостанций и монтируется несколько сот метров различных коммуникаций (электрических, гидравлических и пневматических систем).

Технология сборочных работ разрабатывается с учетом свойств материалов, из которых изготавливаются детали планера, и способов соединения деталей между собой.

При разработке технологии сборочных работ особое внимание должно быть уделено вопросам механизации и автоматизации этих работ, что позволяет быстрее осваивать новые изделия в серийном производстве, и обеспечивает выпуск их в требуемых количествах.

В самолетостроении механизация и автоматизация сборочных работ развиваются по пути дальнейшего внедрения в производство клепально-сборочных и сварочно-сборочных станков и автоматов, механизации процессов установки и съема изделий из сборочных приспособлений - стапелей, механизации постановки болтов и винтов. Кроме того, создаются автоматизированные стенды для общей сборки самолета.

Необходимость членения планера самолета на детали, узлы панели, отсеки, и агрегаты диктуется возможностями производства и необходимостью иметь конструктивные, эксплуатационные разъемы и стыки.

Эксплуатационные разъемы и стыки создаются с целью замены, осмотра или регулирования различных механизмов и систем в процессе эксплуатации самолета. В некоторых случаях эксплуатационные разъемы вызваны ограничениями габаритных размеров отдельных агрегатов по условиям их перевозки и хранения на складах.

Для обеспечения эксплуатации и подходов к элементам конструкции и отдельным механизмам наряду с эксплуатационными разъемами делаются различные специальные смотровые лючки, закрываемые крышками.

Конструктивные и эксплуатационные разъемы и стыки намечаются при проектировании агрегата, причем выбор места их расположения обычно не встречает затруднений; иначе обстоит дело с выбором технологических стыков, так как целесообразное в технологическом отношении членение конструкции зависит от многочисленных факторов, в том числе от программы производства, габаритных размеров отдельных агрегатов и отсеков, способа соединения деталей при сборке узлов, панелей и т. д.

Рациональное членение конструкции на отсеки, панели, узлы и детали позволяет существенно снизить массу, повысить ресурс и надежность конструкции в целом, что достигается резким сокращением объема соединений при одновременном увеличении габаритных размеров полуфабрикатов и деталей.

Значительное усложнение технологии получения полуфабрикатов, раскроя, формообразования и сборки компенсируется увеличением ресурса и уменьшением массы самолета.

Поэтому во всех возможных случаях функции конструктивных, технологических и эксплуатационных разъемов, стыков и вырезов (лючков) необходимо совмещать, уменьшая этим количество соединений конструкции.

При совмещении функций различных разъемов, стыков и лючков следует стремиться к наиболее полному удовлетворению эксплуатационных требований с целью обеспечения лучших подходов и минимального времени на осмотр и замену агрегатов, механизмов, приборов.

Сборка планера организуется по схеме параллельно-последовательных операций, начиная со сборки подузлов, узлов, панелей, агрегатов и кончая общей сборкой самолета или вертолета в целом.

На основе разработанной последовательности сборочных операций составляется схема сборки, которая является одним из основных технологических документов для сборочных цехов.

В схему сборки вносятся указания о порядке комплектования собираемого изделия деталями и узлами, а также технические требования на детали и узлы, определяющие, в каком виде они подаются на сборку.

Высокие требования предъявляются к деталям, входящим в стыковые соединения, так как малейшие их неточности приводят к большим доводочным работам и нарушают всю систему взаимозаменяемости деталей. Технологическая схема сборки, определяя порядок сборки, является в то же время и основным исходным документом для разработки технических требований на сборочные единицы - детали, узлы, панели и агрегаты.

При сборке планера самолета необходимо учитывать жесткие требования в отношении точности воспроизведения его аэродинамических обводов и достижения заданной прочности узлов и агрегатов.

Эти требования и возможные допуски зависят от назначения самолета и указываются в технических условиях.

В качестве примера на рисунке 2 приведены некоторые данные об отклонениях размеров по обводам и в местах стыков отдельных агрегатов среднемагистрального пассажирского самолета.

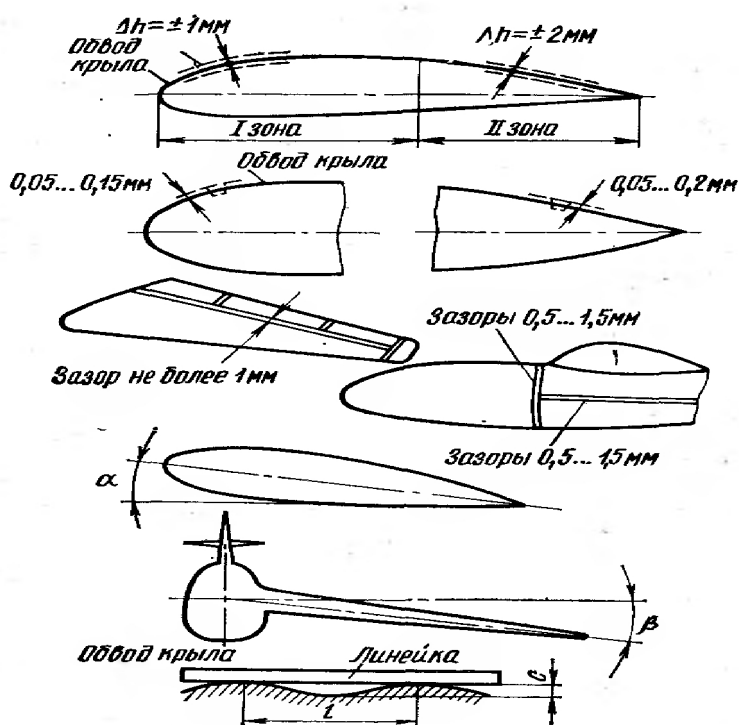


Рисунок 1.1 - Допуски на аэродинамический контур и установочные углы агрегатов самолёта

Вся поверхность самолёта делится на аэродинамические зоны, в качестве примера отклонения по обводам крыла приведены для двух аэродинамических зон. В первой зоне допуск равен +1 мм, а во второй зоне ± 2 мм. Допуск δc на аэродинамические обводы крыла в поперечном его сечении представляет собой разность на одну сторону между соответствующими размерами полученного обвода и обвода шаблона ШК, а допуск δc на плавность обводов, т. е. в продольном сечении крыла (вдоль его размаха) определяется выражением:

$$\delta c = c/l,$$

где c - высота (глубина) волны; l - длина волны;

Головки потайных заклепок могут выступать относительно поверхности обшивки в первой зоне крыла в пределах 0,05 ... 0,15 мм, во второй зоне - 0,05 ... 0,2 мм. В этих же пределах допускаются и углубления в обшивке, получающиеся при точечной сварке;

Зазоры в местах стыков от дельных листов обшивки на крыльях не должны быть более 1 мм, а на фюзеляже - не более 1,5 мм;

Допуски на установочный угол α и на угол поперечного V крыла равны каждый 6 мин.

При разработке технологических процессов сборки, приспособлений и инструмента при выборе оборудования для выполнения сборочных работ необходимо руководствоваться требованиями, предъявляемыми к точности собираемого узла или агрегата.

При сборке планера различают следующие основные виды работ:

³⁵₁₇ *узловая сборка*, включающая сборку отдельных панелей, нервюр, лонжеронов, шпангоутов и т. д.;

³⁵₁₇ *агрегатная сборка*, представляющая собой сборку отдельных отсеков и агрегатов;

³⁵₁₇ *общая сборка*, т. е. сборка планера из агрегатов с последующим монтажом на нем различного оборудования, приборов и механизмов.

Объем сборочных работ определяется конструкцией планера, физико-механическими свойствами материалов, из которых он изготовлен, и видами заготовок, из которых изготовлены отдельные детали и узлы.

Трудоемкость сборочных работ для металлических самолетов клепаной конструкции составляет примерно 45 ... 50 % общей трудоемкости при изготовлении самолета. В изготовлении самолета узловая сборка составляет 12 ... 25 %, агрегатная сборка - 18 ... 20 % и общая сборка - 12 ... 15 %.

Приведенные данные о трудоемкости различных видов сборочных работ являются приближенными и определяют удельное значение этих работ при изготовлении самолета. Кроме указанных уже факторов, объем отдельных видов сборочных работ зависит от глубины проработки технологического процесса сборки, степени оснащения сборочных работ необходимым оборудованием и инструментом и качества поступающих на сборку деталей с точки зрения удовлетворения требований взаимозаменяемости.

С внедрением в конструкцию самолета монолитных деталей и панелей объем сборочных работ уменьшается, причем главным образом в результате уменьшения объема работ на узловой и агрегатной сборках.

Перспективы развития современной авиационной техники в значительной мере связаны с использованием прогрессивных композиционных материалов. Появление таких материалов как углепластики, органопластики и боропластики существенно расширило объемы применения композитов в элементах самолёта. На самолете АН-124 «Руслан» применены детали и сборочные единицы из композитов общей массой $5,5 \times 10^3$ кг, что позволило снизить массу конструкции до $1,5 \times 10^3$ кг и сэкономить в течение периода эксплуатации не менее 18×10^6 кг топлива. Еще шире представлены композиты в самолетах ИЛ-96, ТУ-204. В силовых конструкциях современных вертолетов на долю композитов приходится 45...55 % от общей массы, благодаря чему массу конструкции удастся снизить на 25...30 %. Ресурс работы при этом увеличивается в 2...3 раза, а трудоемкость изготовления снижается в 1,5...2 раза.

1.2 Технологические характеристики современного самолёта

Технология сборки планера в значительной степени зависит от решения ряда коренных вопросов его конструктивного оформления в целом. К таким вопросам относятся форма внешних обводов и общая компоновка агрегатов самолета, степень конструктивно-технологического членения планера и его агрегатов, расположение силового набора, расположение и оформление конструктивно-эксплуатационных разъемов.

1.2.1 Внешние обводы самолёта

Технологичность самолетов в значительной степени определяется рациональным выбором аэродинамических обводов, к которым предъявляются следующие основные требования /2/.

1. Простота аэродинамических форм агрегатов планера и всех входящих в конструкцию планера элементов.

2. Максимальное применение поверхностей одинарной кривизны, т. е. поверхностей с прямолинейными образующими, которые обеспечивают простоту, точность и оперативность выполнения геометрических расчетов (в том числе расчетов данных о контурах и поверхностях при подготовке управляющих программ для оборудования с ЧПУ при автоматизированном изготовлении плазов и обводообразующей оснастки), высокую точность и простоту увязки конструкции агрегатов. В случае линейчатой поверхности, заданной двумя ее плоскими сечениями, контуры всех промежуточных сечений могут быть определены простейшим расчетом или графическим построением на одной проекции.

Применение линейчатых поверхностей дает следующие преимущества:

³⁵₁₇ предельно упрощаются обработка и контроль рабочих контуров и поверхностей плоской и объемной рабочей и контрольно-эталонной технологической оснастки. Обработка сводится к обеспечению прямолинейности образующих между двумя базовыми сечениями. Для этого требуются более простые станки с ЧПУ (по числу программно-управляемых координат);

³⁵₁₇ устраняется необходимость изготовления шаблонов продольного набора сечений агрегата, что сокращает количество и трудоемкость изготовления оснастки.

3. Обеспечение высокой преемственности аэродинамических форм агрегатов планера для новых модификаций самолета. Это позволяет значительно сократить количество и трудоемкость изготовления плазов и обводообразующей оснастки и, кроме того, вторично использовать ранее изготовленную оснастку.

1.2.2. Конструктивно-технологическое членение самолёта

Под конструктивно-технологическим членением понимается разделение самолета конструктивными, эксплуатационными и технологическими разъемами и стыками на агрегаты, отсеки, секции, узлы и детали. В качестве примера на рисунке 1.2 представлена схема конструктивно-технологического членения на узлы и агрегаты самолёта МИГ-25, а на рисунке 1.3 приведена схема конструктивно-технологического членения отъёмной части крыла самолёта на узлы, панели и детали /2/, /3/.

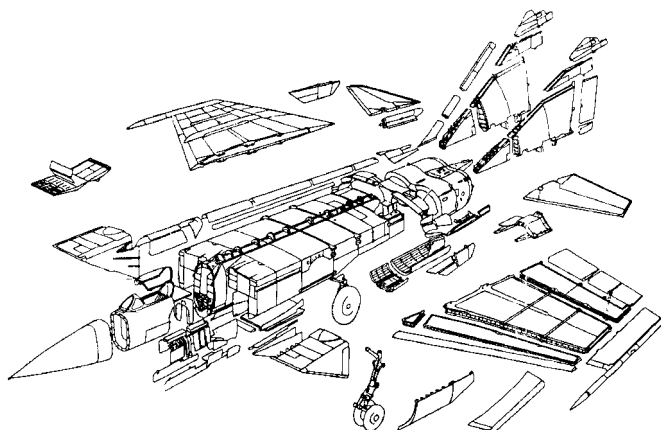


Рисунок 1.2 - Конструктивно-технологическое членение самолета МИГ-21

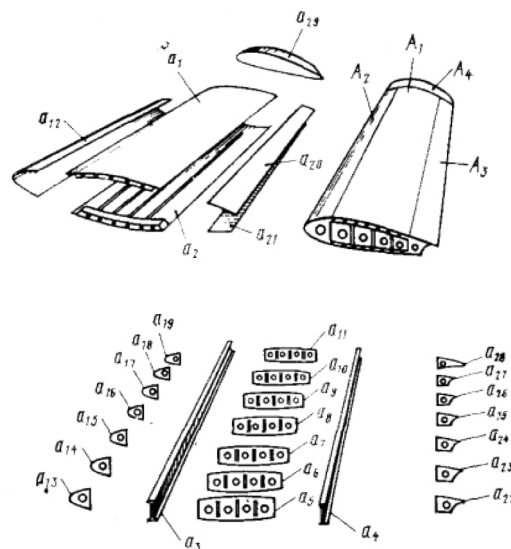


Рисунок 1.3 - Конструктивное членение отъемной части крыла:

A_1 - кессон; A_2 - носовая секция; A_3 - хвостовая секция; A_4 - законцовка; a_1 a_2 — верхняя и нижняя панели; a_3 , a_4 — лонжероны; $a_5... a_{11}$ - нервюры кессона; a_{12} — обшивка носа; $a_{13} ... a_{19}$ - носики нервюр; a_{20} , a_{21} — обшивки хвостовой секции; $a_{22} ... a_{28}$ — хвостовики нервюр; a_{29} — законцовка

Деталью называется элементарная часть изделия, изготовленная из целого куска материала. Деталь является первичным элементом сборки.

Узлом называется несколько соединенных между собой деталей каркаса: сборные лонжероны, шпангоуты, нервюры и т. д.

Панель представляет собой соединение нескольких деталей каркаса с обшивкой.

Агрегат является законченной в конструктивном и технологическом отношении частью планера, состоящей из панелей, узлов и деталей. Агрегаты - это крыло, фюзеляж, элерон, стабилизатор и т. д.

Отсек является частью агрегата.

Разъем - соединение, позволяющее производить некоторые перемещения или полное отсоединение одного агрегата (узла) от другого без повреждения основных и крепежных элементов конструкции.

Стык - любое неразъемное соединение, не позволяющее отсоединить один узел (секцию, отсек) от другого без повреждения основных и крепежных элементов конструкции.

Конструктивными называются разъемы и стыки, обусловленные различием в функциональном назначении отдельных элементов планера или особенностями их конструкции.

Эксплуатационными называются разъемы, определяемые требованиями эксплуатации - транспортировки, замены отдельных частей планера, двигателя, оборудования и т. п.

Технологическими называются разъемы и стыки, определяемые требованиями независимого и параллельного изготовления отдельных частей самолета.

Применение конструктивных, эксплуатационных или технологических разъемов и стыков определяется тем, какие требования при членении приняты за основные. Возможно совмещение конструктивных, эксплуатационных и технологических разъемов и стыков, что способствует уменьшению массы конструкции за счет сокращения их общего числа.

При членении учитывают также требования, обусловленные необходимостью улучшения летно-тактических характеристик самолета и общими тенденциями развития авиа-

ционной техники. Например, увеличение монолитности конструкции деталей и сборочных единиц, создание «интегральных» конструкций агрегатов без эксплуатационных разъемов приводит к уменьшению числа стыков и деталей крепления. При этом улучшаются массовые характеристики самолета. Большая монолитность конструкции, также как и мелкое членение, могут быть при определенных условиях неэффективными с точки зрения технологических, экономических или организационных требований. Оптимальное членение конструкции должно определяться на основе технико-экономических расчетов с учетом конкретных условий производства.

1.2.3 Технологические разъемы и стыки

В серийном производстве конструктивных и эксплуатационных разъемов, как правило, недостаточно, поэтому вводят технологические разъемы и стыки, членящие агрегаты на более мелкие сборочные единицы - отсеки, секции и узлы /3/.

От характера членения зависит выбор конструкции деталей, методов и средств их сборки, способов соединения деталей и узлов, схемы герметизации топливных и воздушных отсеков, а в случае сварной конструкции - порядок сварки замыкающих швов.

Членение агрегатов на отсеки, секции и узлы - важнейшее технологическое требование к конструкции. Расчлененная конструкция обеспечивает:

- ³⁵₁₇ расширение фронта работ при проектировании технологических процессов и средств оснащения, что сокращает сроки и трудоемкость подготовки производства;
- ³⁵₁₇ комплексную механизацию и автоматизацию процессов выполнения соединений, что приводит к повышению их качества, росту производительности труда и улучшению условий труда;
- ³⁵₁₇ наилучшие условия для контроля качества основной массы соединений;
- ³⁵₁₇ расширение фронта работ путем организации параллельной сборки отсеков, секций и узлов, что сокращает цикл сборочных работ;
- ³⁵₁₇ транспортировку и ремонт агрегатов и отсеков.

При решении вопросов членения агрегатов учитываются возможность применения прогрессивных методов сборки, характеристики технологического оборудования, наличие и удобство подходов для выполнения сборочного процесса, программа выпуска изделия.

Технологическое членение фюзеляжа без конструктивно-технологических разъемов на отсеки определяется назначением отдельных частей фюзеляжа с учетом постоянства закона формообразования поверхности в пределах одного отсека, а также требованиями качественной и нетрудоемкой стыковки крыла и оперения с фюзеляжем. Для обеспечения стыковки крыла и фюзеляжа необходимо предусмотреть два технологических стыка, расчленяющих фюзеляж на носовую часть (Ф1), центроплан (ЦП) и хвостовую (Ф2) часть. Необходимость дополнительного членения фюзеляжа на отсеки определяется его конструкцией и принятой организацией производства, учитывающей программу выпуска изделия.

Членение отсеков фюзеляжа на секции определяется габаритными размерами листов обшивки, характеристиками оборудования для выполнения соединений и принятой схемой сборки отсеков.

Членение сварных агрегатов должно обеспечивать свободные подходы к месту сварки, позволяющие автоматизировать и механизировать трудоемкие работы под подготовке кромок и поверхностей, а также процесс сварки.

Для выполнения этих требований необходимо следующее:

- ³⁵₁₇ при образовании сложных поверхностей в конструкциях предусматривать их членение на переходах кривых;
- ³⁵₁₇ для агрегатов типа тел вращения (фюзеляжа, гондолы двигателей) сварные швы располагать в плоскостях, проходящих через продольную ось, или в плоскостях, параллельных или перпендикулярных ей;

- 35
17 технологические стыки отсеков располагать в одной плоскости, не допуская в конструкции нетехнологичных ступенчатых стыков;
- 35
17 не допускать в конструкции стыка сочетания контактной сварки и сварки плавлением;
- 35
17 обеспечивать двусторонний подход к швам главного направления (швы в направлении наибольшей длины) для непрерывной работы автоматического сварочного оборудования;
- 35
17 предусмотреть возможность контроля сварных соединений и устранения дефектов;
- 35
17 отделять сварные отсеки от клепаных, обеспечивая возможность создания специализированных сборочных цехов;
- 35
17 в конструкциях, где наряду с точечной сваркой применяется клепка, применять прессовую клепку. Если это невозможно, ударную клепку производить до точечной сварки.

1.2.4 Панелирование агрегатов, отсеков и секций

Под панельированием понимается технологическое членение агрегатов, отсеков и секций на сборные или монолитные панели [3].

Сборные панели состоят из обшивки и силовых элементов каркаса. Монолитные панели представляют собой монолитные детали - литые, прессованные, катаные, локально-штампованные и др.

При разработке схемы панельирования агрегатов необходимо учитывать сортамент листов, прессованных панелей и катаных плит (длину и ширину), поставляемых промышленностью; характеристики металлорежущего и заготовительно-штамповочного оборудования (фрезерного, гибочного, обтяжного и др.); характеристики оборудования для выполнения клепаных и сварных соединений (сверлильно-зенковальных установок, прессов, сверлильно-клепальных автоматов, сварочных машин и автоматов и др.).

Определение габаритных размеров панелей - первая задача при выборе схемы панельирования. Второй задачей является определение состава элементов внутреннего силового набора, вынесенного на обшивку. Для агрегатов, имеющих сборные панели, может быть несколько вариантов решения этой задачи (рисунок 1.4.).

В случае членения агрегатов на панели, включающие только обшивку и стрингеры, существенно ухудшаются условия механизации процессов соединения панелей со шпангоутами и нервюрами при сборке агрегата. Эффективность варианта панельирования, при котором панели содержат большое число поясов силовых шпангоутов или нервюр, снижается из-за трудоемкой стыковки этих элементов при сборке агрегата. Наилучшие технико-экономические показатели во многих случаях обеспечиваются при членении агрегатов на панели, включающие обшивку, стрингеры, части несильных шпангоутов или нервюр.

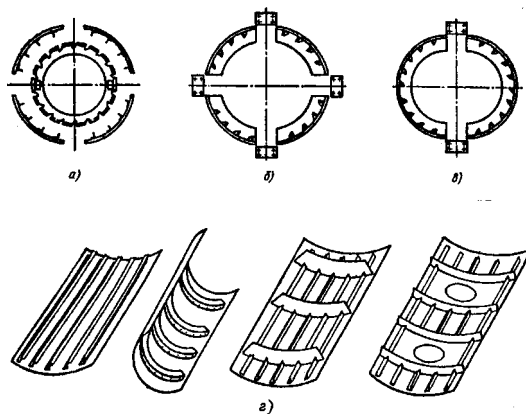


Рисунок 1.4 - Варианты панельирования фюзеляжа:

а — панели из обшивки и стрингеров; б — панели из обшивки, стрингеров и частей шпангоутов;
в - панели из обшивки, стрингеров и половинок шпангоутов; г - типовые панели фюзеляжа

Выбор оптимальной схемы панелирования в каждом конкретном случае должен производиться путем комплексного расчета основных технико-экономических показателей производства (уровня механизации, трудоемкости, затрат на оснастку) по каждому варианту.

Одним из основных показателей технологичности агрегата является коэффициент панелирования K_n , который определяется отношением панелированной площади S_n ко всей его площади S_a . Этот коэффициент должен стремиться к единице. Агрегат полностью панелирован, если $K_n = 1$.

Число панелей, на которые расчленяется агрегат, оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели производства - фронт работ, сложность и количество сборочной оснастки, производственные площади, производительность труда при выполнении сборочных и монтажных работ, трудоемкость стапельных работ.

На рисунке 1.5 показано изменение коэффициента относительной трудоемкости p , при различных условиях сборки в зависимости от числа клепаных панелей m . Под коэффициентом относительной трудоемкости понимается отношение трудоемкости расчлененной конструкции к трудоемкости нерасчлененной конструкции. График составлен исходя из следующих условий: диаметры секций - 1...4 м; соотношение сборочно-клепальных и монтажных работ для нерасчлененной конструкции 6:4 (60 % от общей трудоемкости составляют сборочно-клепальные работы и 40 % - монтажные); монтажные работы выполняются вручную; условия ручного и механизированного труда наилучшие; потери труда не учитываются; фронт работ всегда наибольший, полная взаимозаменяемость деталей и узлов. При этом применяются следующие схемы сборки [1/].

Схема А. Производится выполнение клепаных соединений пневморучным инструментом одновременно на всех панелях, на которые расчленена секция; параллельно на панелях выполняются все монтажные работы, затем из панелей собирается секция.

Схема Б. Отличается от схемы А применением прессовой групповой клепки при соединении обшивки со стрингерами. Вся остальная клепка осуществляется вручную.

Схема В. Предусматривается полная механизация выполнения соединений всех элементов продольного и поперечного набора с обшивкой. Монтажные работы выполняются на панелях.

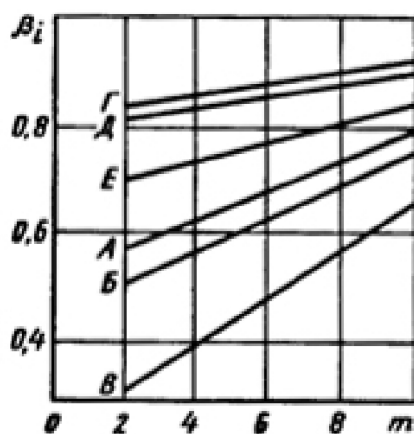


Рисунок 1.5 - Изменение коэффициента относительной трудоемкости для различных схем сборки

Схема Г. Отличается от схемы А тем, что монтажные работы выполняются в секции после ее сборки из панелей.

Схема Д. Отличается от схемы В тем, что монтажные работы выполняются в секции.

Схема Е. Все клепаные соединения выполняются с помощью автомата, а монтажные работы ведутся в секции.

Анализ зависимостей, приведенных на рисунке 1.5, позволяет сделать следующие выводы:

³⁵₁₇ членение секций на панели всегда приводит к снижению трудоемкости. Оно тем больше, чем совершеннее процесс выполнения клепаных соединений, больше монта-
жей устанавливается на панелях и меньше объем стыковочных работ;

³⁵₁₇ увеличение числа панелей приводит к возрастанию коэффициента относительной трудоёмкости. Это указывает на повышение трудоемкости стыковочных работ при сборке панелированной секции, хотя трудоемкость сборки панелей при этом снижается.

Для агрегатов, состоящих из монолитных панелей и отдельных монолитных узлов каркаса, схема панелирования определяется стыками монолитных панелей, соединяемых между собой и с деталями каркаса.

При панелировании конструкций сварных агрегатов могут быть применены три варианта членения: панельный, секционный, комбинированный.

При панельном варианте предусматривается радиальное членение оболочки с поперечными силовыми элементами конструкции (рисунок 1.4, *а, б, в*) и обеспечивается широкий фронт работ в условиях свободного подхода в зону выполнения соединений. Однако этот вариант имеет ряд недостатков: невозможен непрерывный процесс сварки швов главного направления при переменной толщине полок поперечных силовых элементов; наличие поперечных силовых элементов на панелях резко увеличивает деформации узла в результате сварки; высокая трудоемкость подгонки продольных стыков большой длины. В целом этот вариант нерационален и может быть применен только в исключительных случаях при условии двустороннего подхода к сварным швам главного направления.

Панелирование сварных агрегатов необходимо вести с учетом следующих технологических требований:

³⁵₁₇ в пределах панели должно быть обеспечено постоянство закона формообразования обводов;

³⁵₁₇ в конструкции панелей недопустимо сочетание различных видов соединений;

³⁵₁₇ все виды сварки, применяемые при сборке панелей, должны выполняться на серийном оборудовании;

³⁵₁₇ предусматривать применение минимальной номенклатуры видов сварки и избегать пакетов разной толщины в соединениях одной панели;

³⁵₁₇ предусматривать возможность применения унифицированной оснастки при сборке панелей;

³⁵₁₇ не применять конструкции панелей с большим числом поясов силовых элементов, несущих узлы стыковки.

Различают членение агрегатов самолёта на отсеки и секции. На рисунке 1.6 представлены примеры секционного и комбинированного членения агрегата.

При секционном варианте (рисунок 1.6, *а*) предусматривается осевое членение на секции оптимальной длины. При этом обеспечиваются снижение массы за счет использования коротких стыковочных фитингов по стрингерам, возможность компенсации утяжки от сварки посредством распорных устройств, позволяющих создать в обечайке предварительный натяг; точность периметра двух сопрягаемых элементов за счет сварки замыкающего поперечного шва на эталоне внутренней поверхности /3/.

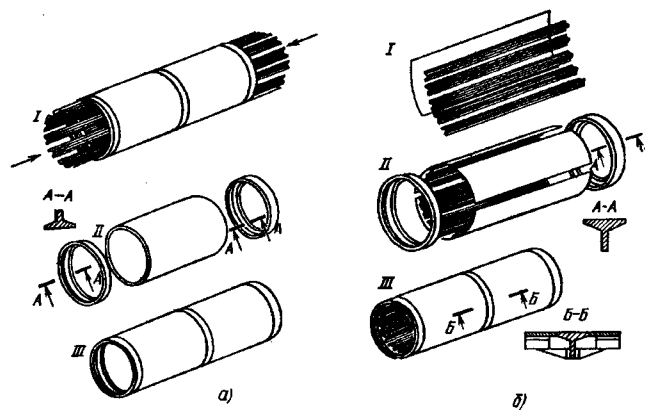


Рисунок 1.6 - Секционный (а) и комбинированный (б) варианты членения конструкций:
 I - сварка продольного набора с обшивкой; II - сварка силовых элементов поперечного набора с обшивкой;
 III - сварка отдельных секций

Недостатками секционного варианта являются значительная трудоемкость и увеличенный цикл сборки при последовательной точечной электросварке (ТЭС) стрингеров в замкнутой обечайке. Вариант рационален при длине секции 1,5...3,0 м и применении высокопроизводительной ТЭС.

При комбинированном варианте (рисунок 1.6, б) предусматривается радиально-осевое членение оболочки без поперечных силовых элементов конструкции. При этом обеспечиваются широкий фронт работ при установке стрингеров, точный периметр при образовании секций на эталоне поверхности, возможность механической обработки продольных и поперечных стыков.

Недостатком комбинированного варианта является увеличение массы за счет применения удлиненных стыковочных фитингов. Комбинированный вариант наиболее рационален при небольшой жесткости панелей.

1.2.5 Расположение силового набора планера самолёта

С целью сокращения издержек при производстве авиационной техники в процессе проектирования агрегатов и панелей необходимо учитывать следующие технологические требования к расположению силового набора [2]:

³⁵₁₇ элементы поперечного силового набора (шпангоуты, нервюры) должны располагаться в плоскостях, перпендикулярных продольной оси фюзеляжа, gondолы двигателя или оси одного из лонжеронов крыла, киля или стабилизатора;

³⁵₁₇ стрингеры и другие детали продольного силового набора фюзеляжа должны располагаться по образующим цилиндра;

³⁵₁₇ малки всех деталей поперечного силового набора должны быть постоянными вдоль контуров. Выполнение этого требования существенно упрощает обработку деталей и изготовление заготовительной и сборочной оснастки. При расположении лонжеронов стрингеров по линиям равных процентов хорды обеспечивается постоянство их малки, но не выполняется требование взаимной параллельности заклепочных или сварных швов. Для агрегатов с незначительным сужением в плане предпочтительнее параллельное расположение лонжеронов и стрингеров, так как в этом случае изменение малки по длине стрингеров невелико и может не учитываться при изготовлении стрингеров;

³⁵₁₇ в агрегатах, имеющих прямолинейные образующие, но состоящих из цилиндрических и конических секций, шпангоут необходимо располагать на стыке в цилиндрической части секции;

- ³⁵₁₇ при выборе расстояний между элементами силового набора необходимо обеспечить свободные подходы для выполнения соединений механизированным инструментом или высокопроизводительным оборудованием;
- ³⁵₁₇ расстояние между последовательными элементами поперечного набора должно быть одинаковым и кратным 50. Постоянство и кратность расстояний между всеми шпангоутами (или нервюрами) упрощает монтаж сборочных приспособлений с использованием плаз-кондуктора и инструментального стенда;
- ³⁵₁₇ углы между смежными плоскостями, в которых расположены стрингеры, должны быть равны между собой.

Расположение стрингеров с равными угловыми шагами позволяет собирать панели в групповых стапелях без сменных рубильников.

1.3 Конструктивно-эксплуатационные разъемы

При проектировании конструктивно-эксплуатационных разъемов (КЭР) должны быть обеспечены взаимозаменяемость агрегатов и повышение производительности труда / 4/.

Взаимозаменяемость агрегатов по КЭР является важнейшей составной частью технологичности конструкции самолета. Под взаимозаменяемостью понимается свойство конструкции агрегата (отсека), позволяющее производить его сборку и замену при ремонте без выполнения подгоночных работ по разъемам в пределах допусков на геометрические, механические и физико-химические параметры. При высокой степени взаимозаменяемости агрегатов значительно снижаются трудовые и материальные затраты, повышается качество сборки, становится возможным внедрение прогрессивных методов производства.

Уровень взаимозаменяемости КЭР определяется видом разъема (фланцевый, ушковый, телескопический, ленточный, шарнирный, шлицевый, цапфовый); формой контура стыкуемых агрегатов (круглые, прямоугольные, эллиптические); расположением плоскости разъема (прямые, наклонные, ломаные, ступенчатые); возможностью регулирования положения элементов разъема. Схема, отражающая классификацию КЭР, приведена на рисунке 1.7.

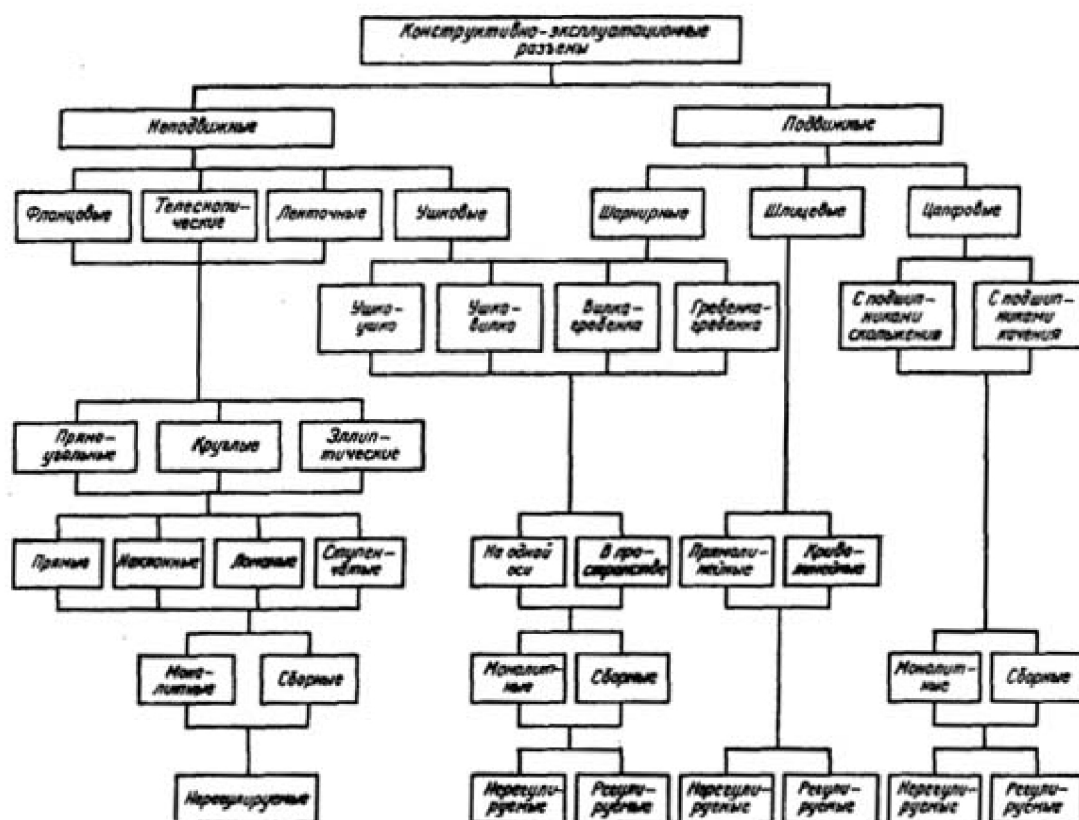


Рисунок 1.7 – классификация конструктивно-эксплуатационных разъемов

Расположение КЭР определяет членение самолета на агрегаты и отсеки. Основным критерий рациональности расположения КЭР - эффективность производства, возможность транспортирования агрегатов и удобство обслуживания самолета в эксплуатации. От выбора расположения КЭР зависят:

³⁵
17 габаритные размеры агрегатов и отсеков;

³⁵₁₇ возможность объединения сборных частей и деталей в агрегаты и отсеки, характеризующиеся единой спецификой технологических процессов сборки и испытаний.

³⁵₁₇ В отдельные отсеки необходимо выделять герметические кабины, отсеки оборудования в целях обеспечения возможности подачи их на сборку загерметизированными, испытанными, с законченными монтажами. Силовые отсеки агрегатов также рекомендуется выделять в отдельные под сборки для обеспечения выполнения всех стыковочных и доводочных работ в комплектовочных стендах механосборочного цеха;

³⁵₁₇ способы обеспечения взаимозаменяемости агрегатов и отсеков.

Так, КЭР необходимо располагать в плоскостях, перпендикулярных оси фюзеляжа или плоскости хорд крыла, а оси рельсов и узлов механизации крыла - в плоскостях, параллельных плоскости симметрии самолета и перпендикулярных плоскости хорд крыла. В этом случае обеспечивается наибольшая простота контрольно-эталонной оснастки, сборочных и разделочных приспособлений. Все средства обеспечения взаимозаменяемости существенно усложняются, если КЭР выполнен неплоским, поэтому неплоские КЭР не технологичны.

Обеспечение взаимозаменяемости становится крайне сложной задачей, если конструкция предусматривает соединение более двух агрегатов или секций с одним КЭР. При соединении двух агрегатов через третий нарушается расположение их стыковочных баз. В отдельных случаях стыковка может быть облегчена введением размерных компенсаторов, но это обычно утяжеляет конструкцию.

Аналогичные требования предъявляются и к расположению узлов навески рулей, элеронов, закрылков, щитков, створок, люков и т. п. Узлы их навески должны устанавливаться на одном агрегате, в контур которого они вписываются.

Расположение КЭР должно обеспечивать свободные подходы для механизированной разделки отверстий под стыковые болты и обработки посадочных мест в узлах разъема.

Разъем можно считать технологичным, если он обеспечивает возможность качественной стыковки агрегатов (отсеков) - без применения специальных приспособлений, определяющих взаимное расположение агрегатов в пространстве; без подгонки или совместной обработки сопрягаемых поверхностей агрегатов; стыковку при наличии свободных подходов, позволяющих механизировать обработку стыковых отверстий и постановку крепежных элементов. Основным фактором, определяющим технологичность разъема, является схема базирования.

В общем случае всякое твердое тело (деталь, узел, агрегат), рассматриваемое в системе трех взаимно перпендикулярных осей, может иметь шесть степеней свободы: три перемещения и три поворота относительно осей координат.

При стыковке двух агрегатов (отсеков) определенность их взаимного положения обеспечивается наличием связей, ограничивающих возможные перемещения одного агрегата относительно другого. Для неподвижных разъемов это достигается лишением тела шести степеней свободы, для подвижных - пяти и меньше, в зависимости от функционального назначения агрегата.

Таким образом, чтобы устанавливаемый агрегат был неподвижен относительно ответного агрегата, необходимо иметь шесть опорных точек, образующих сборочную базу со следующими свойствами:

³⁵₁₇ поверхности, линии или точки базовых элементов должны быть изготовлены с точностью, обеспечивающей требуемую точность положения устанавливаемого агрегата относительно другого;

³⁵₁₇ базовые элементы должны обеспечивать возможность фиксации устанавливаемого агрегата.

В качестве примера рассмотрим базирование секций фюзеляжа с фланцевым разъемом (рисунок 1.8, а).

При стыковке каждый из агрегатов лишается шести степеней свободы. Три базовые точки на стыке каждого из агрегатов оформлены приливами 1...6. Контакт по этим приливам лишает каждый из агрегатов трех степеней свободы. Агрегаты соединяются классным болтом 7 с неподвижной посадкой по отверстиям в приливах 7 и 5. Этот болт (сеч. А - А на рисунок 1.8, а) лишает каждый из стыкуемых агрегатов еще двух степеней свободы - возможности перемещения в двух взаимно перпендикулярных направлениях в плоскости разъема.

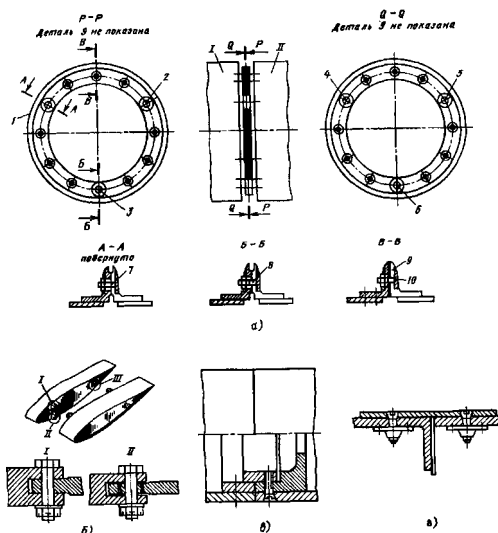


Рис 1.8. Типы разъемов:

а - фланцевый разъем: I, II - секции фюзеляжа; 1...6 - приливы, 7 - классный болт; 8 - болт в овальном отверстии; 9 - компенсирующие прокладки; 10 - болт с зазором; б - разъем агрегатов по трем узлам (I-II) типа ухо-вилка; в - телескопический разъем; г - ленточный разъем

Болт 8, соединяющий агрегаты через круглое отверстие в приливе 6 и овальное отверстие в приливе 3 (сеч. Б - Б на рисунок 1.8, а), лишает агрегаты шестой степени свободы - возможности поворота вокруг оси болта 7.

Все остальные болты 10, соединяющие агрегаты по разъему, устанавливаются в отверстия с зазором по диаметру (сеч. В-В на рисунок 1.8, а).

Контакт между плоскостями Р и Q разъема агрегатов обеспечивается заполнением зазора между ними специально предусмотренными компенсаторами 9, обуславливающими силовое замыкание плоскостей разъема без особых требований к точности обработки стыка каждого агрегата.

Рассмотренный вид разъема обеспечивает точную координацию агрегатов без применения стыковочных приспособлений и совместной обработки элементов разъема.

Введение в конструкцию разъема дополнительных элементов базирования делает его статически неопределимым и неизбежно приводит к необходимости выполнения подгоночных операций или к совместной разделке отверстий.

Разъем становится также статически неопределимым, если заменить овальное отверстие в приливе 3 или любое другое крепежное отверстие (рисунок 1.8, а) классным. Соединение агрегатов по такому разъему без совместной разделки отверстий выполнить невозможно, так как для этого требуется выдержать расстояние между отверстиями под болты 7 и 8 с исключительно высокой точностью, недостижимой в условиях реального производства. Кроме того, для точной совместной разделки классного отверстия в приливах требуется установка обоих агрегатов в специальный стыковочный стенд.

В целом фланцевые разъемы относятся к числу наиболее технологичных. Многовариантность конструкций фланцевых разъемов определяется общей тенденцией максимального снижения массы при проектировании самолета. С этой целью массовые характе-

ристики разъема стремятся приблизить к массовым характеристикам технологического стыка.

Разъемы типа ухо - вилка по конструктивному оформлению весьма разнообразны. Как правило, эти разъемы накладывают на стыкуемые агрегаты значительное число избыточных связей, а многоплоскостность не позволяет производить отработку стыковых узлов за один установ инструмент. Поэтому требуются специальные меры по повышению технологичности их конструкции.

На рисунке 1.8, б показан вариант технологичного разъема агрегатов по трем узлам типа ухо - вилка. Для того чтобы такой разъем соответствовал требованиям правила шести точек, необходимо соединение агрегатов по узлу I выполнять классным болтом с неподвижной посадкой по плоскостям вилки и уха, а по узлу II - классным болтом через сферический подшипник в вилке при наличии зазоров между плоскостями уха и вилки. Узел II должен быть «плавающим» как в плоскости разъема, так и в перпендикулярном к этой плоскости направлении. Во многих случаях практически достаточно обеспечить перемещение узла лишь в плоскости разъема, так как неточность совпадения отверстий уха и вилки в направлении, перпендикулярном этой плоскости, может быть компенсирована незначительным упругим деформированием элементов разъема. Узел III крепится на агрегате после стыковки.

Телескопические разъемы могут быть технологичными лишь в том случае, если они обладают достаточной жесткостью в радиальном направлении и по своему конструктивному оформлению и габаритным размерам допускают обточку и торцовку после сборки на станках токарного типа. Таким образом, взаимное положение соединяемых агрегатов будет зависеть от точности обработки базовых поверхностей. Подходы к стыковым болтам (гайкам) в телескопических разъемах могут быть внешними и внутренними. При внутреннем подходе к болтам конструкция разъема менее технологична, чем при внешнем. Один из вариантов технологического телескопического разъема показан на рисунке 1.8, в.

Ленточные разъемы (рисунок 1.8, г) можно представить как вдвоенные телескопические разъемы. Они обычно нетехнологичны. Для этих разъемов характерны высокие требования к точности увязки агрегатов по обводам. При наличии ступеньки стыковые ленты в процессе эксплуатации быстро разрушаются. Сборочными базами являются отверстия стыковых болтов по поверхности агрегатов. Так как положение базовых поверхностей не регулируется, при установке в процессе сборки или замене агрегатов в эксплуатации требуется совместная разделка отверстий под стыковые болты.

Шарнирные разъемы конструктивно выполняются по схеме разъема ухо - вилка и отличаются от неподвижных ушковых разъемов тем, что лишают соединяемые агрегаты не шести, а пяти степеней свободы. На одну степень свободы (вращение вокруг оси) разъем не должен накладывать связей. Поэтому приведенные выше рекомендации по проектированию технологичных разъемов типа ухо - вилка остаются в силе и для шарнирных разъемов, но с заменой шести базовых точек пятью.

2. МЕТОДЫ СБОРКИ

Сборка узлов, секций, отсеков и агрегатов может осуществляться различными методами. Метод сборки предопределяет структуру всего технологического процесса сборки, выбор оборудования, уровень качества готовых изделий /1/.

Методы сборки выбирают в зависимости от конструкции самолета. В то же время метод сборки может повлиять на конструкцию, в результате чего конструкцию изменяют в соответствии с требованиями технологии производства. Так было при переходе на реактивную авиацию, когда появилась необходимость для получения аэродинамических обводов высокой точности перейти на новый метод сборки - метод сборки с базированием панелей планера самолета на наружную поверхность обшивки. Для компенсации неизбежных погрешностей расстояний между обшивкой и деталями каркаса потребовалось изменение конструкции и введение специальных элементов конструкции - компенсаторов.

Методы сборки определяют весь комплекс технологической подготовки производства: выбор схем базирования и сборки, а также технологической оснастки, обеспечивающих изготовление деталей и сборку изделий с заданным уровнем взаимозаменяемости и точности; процессы изготовления и монтажа технологической оснастки для производства деталей и сборки изделий.

Конструкция самолета и технология его изготовления находятся во взаимосвязи. Существенные изменения в конструкции, выполненные на основе новейших достижений науки и техники, неизбежно вызывают необходимость использования новых технологических процессов и, наоборот, новые технологические решения позволяют усовершенствовать конструкцию самолета. При этом, как правило, вначале изменяется конструкция самолета, а затем технология. Классификация применяемых методов сборки приведена на рисунке 2.1.

В зависимости от вида сборочных баз применяются три метода сборки совмещением сборочных баз элементов конструкций.

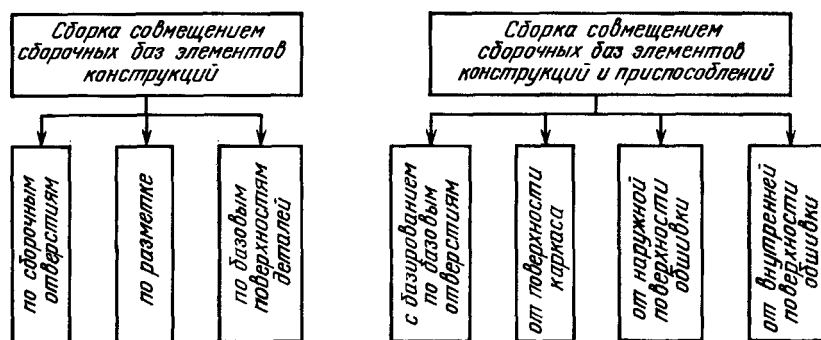


Рисунок 2.1 – классификация методов сборки

2.1 Сборка по базовой детали

Сборка по базовой детали - процесс, при котором одну из деталей принимают за базовую и к ней в определенной последовательности присоединяют другие детали, входящие в собираемый узел /1/. Этот метод применяется при сборке изделия из жестких деталей, сохраняющих под действием собственного веса свои форму и размеры. При этом входящие в изделие детали разделяют на несколько сборочных групп, каждую из которых собирают по базовой детали, входящей в данную группу. Данный метод сборки применяется при производстве шасси самолета, агрегатов и узлов пневмо- и гидросистем.

Для пояснения процесса сборки по базовой детали рассмотрим сборку силового цилиндра управления посадочными щитками самолета.

На рисунке 2.2 приведены чертеж цилиндра и схема его сборки. Как видно из схемы, в процессе сборки цилиндра базовыми являются различные детали.

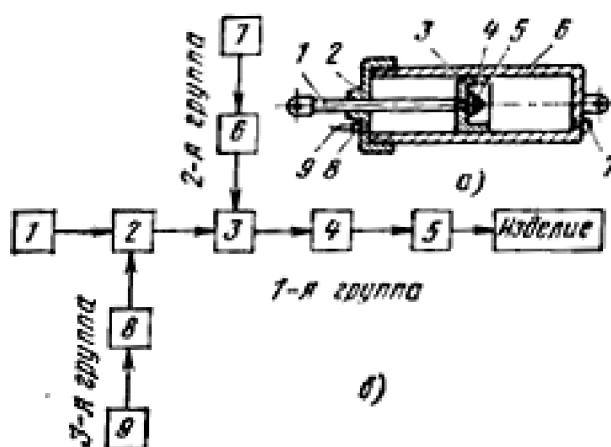


Рисунок 2.2 - Силовой цилиндр и схема его сборки по базовой детали:

а - эскиз цилиндра; б - схема сборки;

1 - шток; 2 - крышка; 3 - поршень; 4 - шайба; 5 - гайка; 6 - цилиндр;

7 и 8 - штуцеры; 9 - шланг

При сборке 1-й группы за базовую деталь берут шток 1 и устанавливают на него в указанной на схеме последовательности крышку цилиндра 2, поршень 3, шайбу 4 и гайку 5. Затем собирают 2-ю группу, т. е. штуцер 7 устанавливают на деталь 6 (во 2-й и других группах может быть две, пять и более деталей в зависимости от конструкции собираемого изделия), 2-ю группу соединяют с первой, при этом базовой является деталь 3. Группу 3-ю деталей 8 и 9 соединяют с 1-й группой по базовой детали 2.

При высоком качестве изготовления деталей (соблюдение заданных величин зазоров и натягов) цилиндр собирается быстро, так как не требуется подгонка и доработка деталей.

По базовой детали, как правило, изделия собирают на верстках, иногда применяют и приспособления, которые удерживают собираемое изделие и поворачивают его в удобное для сборщика положение.

2.2 Сборка по разметке

Сборка по разметке - процесс, при котором взаимное положение деталей, входящих в узел, определяют непосредственно измерением расстояний между ними и по рискам, нанесенным на деталях при разметке. Применяется в основном при сборке опытно-экспериментального образца самолёта /1/.

Сборка по разметке производится при помощи универсальных слесарных инструментов и приспособлений (струбцин, чертилки, керны, метра, циркуля, ручных и настольных тисков и т. д.). Детали, поступившие на сборку, размечают вручную или фотоконтактным методом (по специальным шаблонам из винипроза).

Так, например, лючок, состоящий из петли, диска и замка (рисунок 2.3, а) можно собрать двумя способами.

Первый способ включает следующие операции:

- ³⁵₁₇ разметку центров отверстий под заклепки в петле 1 по размерам c , t_1 f и кернение центров отверстий (рисунок 2.3, б);
- ³⁵₁₇ установку петли 1 на диск 2 по размерам; $L/2$ и закрепление петли и диска струбцинами 4 (рисунок 2.3, в);
- ³⁵₁₇ сверление отверстий под заклепки в петле и в диске по накерненным центрам;
- ³⁵₁₇ вставка заклепок в отверстие, расклепывание заклепок, снятие струбцин;
- ³⁵₁₇ разметка отверстий под заклепки в замке, кернение центров, установка замка на диск, сверление отверстий, постановка заклепок, соединяющих замок с диском.

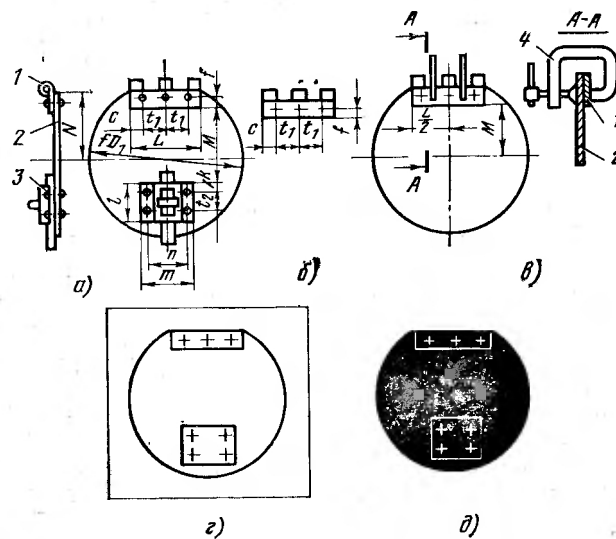


Рисунок 2.3 - Лючок и сборка его по разметке:
1 - петля; 2 - диск; 3 - замок; 4 - струбцина

Процесс сборки по разметке включает много переходов, связанных с разметкой центров отверстий в каждой детали, кернением положения центров, измерением расстояний между деталями, установкой и снятием струбцин и т. д.

По второму способу сборка производится в следующем порядке:

- ³⁵₁₇ на листе винипроза (рисунок 2.3, г) в натуральную величину наносят контуры диска, лючка, петли, замка и положение центров заклепок для крепления петли и замка к диску;
- ³⁵₁₇ на заготовку диска наносят фотоэмульсию и просушивают ее;
- ³⁵₁₇ на диск накладывают лист винипроза так, чтобы внешний контур диска, нанесенный на винипрозе, совпал с контуром металлического диска. Фотографируют и проявляют отпечаток на заготовке диска (рисунок 2.3, д);

- ³⁵₁₇ по полученному отпечатку сверлят в диске (предварительно меньшего диаметра) отверстия под заклепки;
- ³⁵₁₇ на диск устанавливают петлю, совмещая ее контур с разметкой на диске, закрепляют петлю струбцинами (рисунок 2.3, в) и сверлят отверстия в диске и петле по отверстиям в диске, вставляют заклепки и расклепывают их;
- ³⁵₁₇ в таком же порядке устанавливают замок.

Установка деталей в сборочное положение по разметке - операция трудоемкая и длительная. Взаимозаменяемость узлов и панелей при сборке с разметкой практически невозможна.

Небольшие затраты на оснастку и сравнительно малый цикл подготовки производства позволяют применять указанный метод в опытно-конструкторском и мелкосерийном производствах для сборки плоских узлов и цилиндрических панелей.

2.3 Сборка по сборочным отверстиям

Сборка по сборочным отверстиям (СО) - процесс, при котором сборка осуществляется путем совмещения взаимосогласованных отверстий, выполняемых при изготовлении сопрягаемых деталей. В эти отверстия на период сборки вставляются фиксаторы, технологические болты или технологические заклепки с последующим окончательным соединением деталей (рисунок 2.4) /3/.

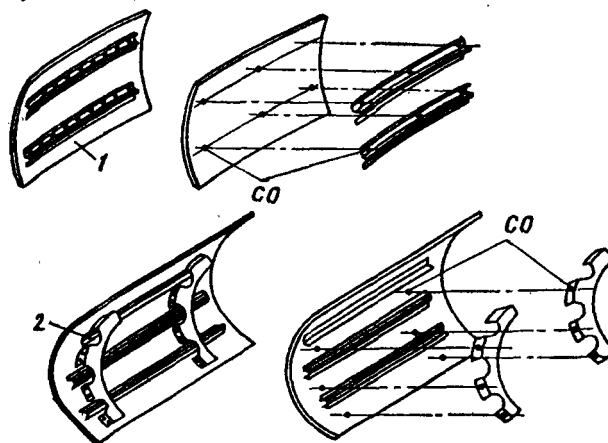


Рисунок 2.4 - Сборка панелей по СО: — панель с продольным набором;
2— панель с продольным и поперечным наборами

Базирование по СО возможно, когда допуски на обводы или взаимное положение деталей больше погрешностей процесса сборки.

Существенным фактором, влияющим на выбор варианта сборки по СО, является способ увязки положения СО между собой и контуром узла или панели. При плазово-шаблонном производстве могут использоваться две схемы увязки: с использованием плоских шаблонов или макета поверхности [4].

В первом случае (рисунок 2.5, а) положение СО снимают с конструктивного плаза (КП) на шаблон контрольно-контурный (ШКК), по которому изготавливают шаблоны контурные (ШК) на все детали, входящие в узел. В местах расположения СО на ШК устанавливают кондукторные втулки, через которые можно сверлить отверстия непосредственно в деталях. ШК служат для изготовления обводообразующей оснастки - инструментальных штампов, формблоков, оправок (ОП), сборочных приспособлений (СП), а так же промежуточных носителей информации - шаблонов гибки (ШГ), шаблонов внутреннего контура (ШВК), шаблонов развертки детали (ШРД).

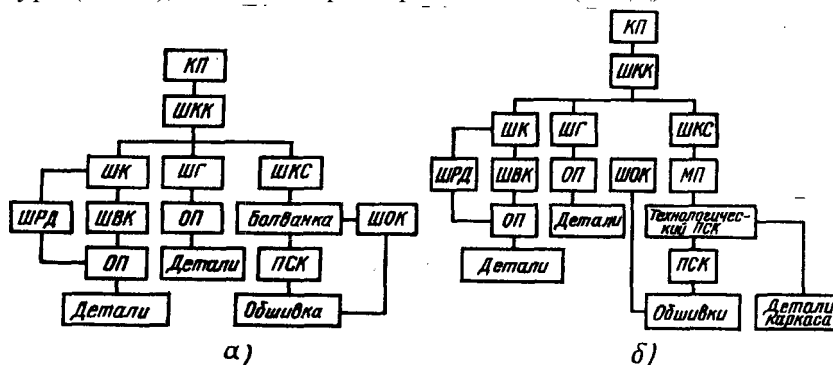


Рисунок 2.5 - Схемы увязки СО: а - с использованием шаблонов;
б - с использованием макета поверхности

На обшивке информация о положении СО передается от ШКК, через шаблоны контуров сечений (ШКС) на болванки, пуансоны из пескоклеевой массы (ПСК) и шаблоны обрезки контура (ШОК).

Для панелей со сложными криволинейными поверхностями применяют схему увязки с использованием пространственных носителей геометрической информации (рис. 1.8, б). Общим первоисточником увязки СО в этом случае является макет поверхности (МП) или эталон поверхности для обшивок и деталей каркаса.

По производственному опыту авиационного предприятия КнААПО целесообразно применять схемы увязки СО на базе независимого метода производства. Первоисточником увязки является математическая модель поверхности (ММП) и чертежи узлов и деталей. На станках с ЧПУ производится обработка и разметка болванок, формблоков и оправок, по которым изготавливают эталонные обшивки и детали каркаса.

После контрольной сборки эталонных деталей положение СО переносится на рабочую оснастку (рисунок 2.6).

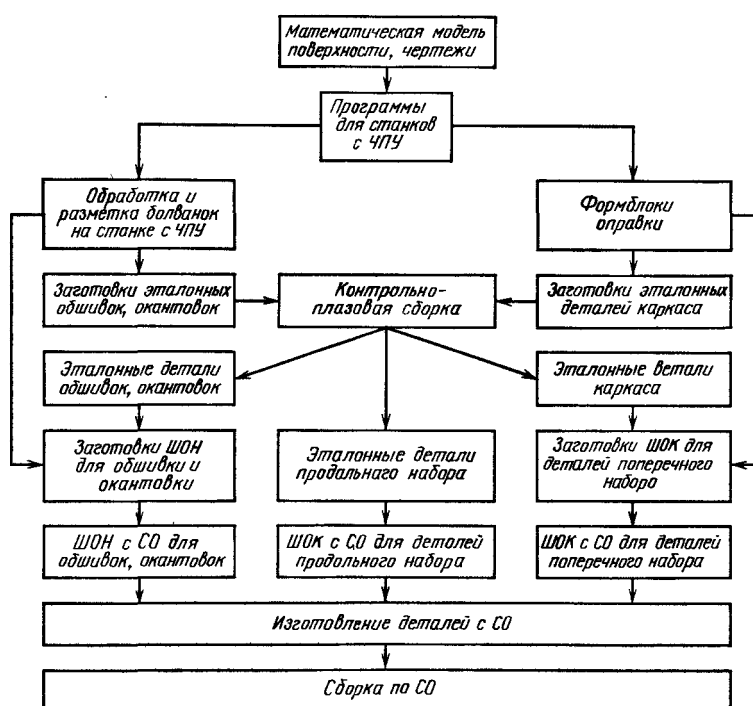


Рисунок 2.6 - Схема увязки СО на базе независимого метода оснастки для панелей и узлов линейных поверхностей

Для узлов и панелей сложной криволинейной формы первоисточником увязки является макет поверхности. СО на макете поверхности размечают с помощью лазерных нивелиров (рисунок 2.7), установленных на инструментальном стенде с ЧПУ модели МС-636Ф-2-11.

Сборочные отверстия располагаются в местах установки заклепок или болтов. Места расположения СО наносят на чертеж или указывают в специальных схемах. Для установки детали в сборочное положение должно быть не менее двух СО. При длине базировочного элемента более 500 мм СО располагают с шагом 500...800 мм. Расстояния между СО желательно назначать кратными 50 мм, что дает возможность использовать плаз-кондуктор при изготовлении шаблонов.

Широко применяется увязка узлов, состоящих из плоских деталей, на основе числовых координат СО по размерам чертежа с использованием универсального двухкоординатного оборудования по схеме: числовые координаты - станок - деталь - сборка.

На КНААПО разработан новый способ сборки по СО, реализующий эту простую и дешевую схему увязки для панелей с криволинейной поверхностью.

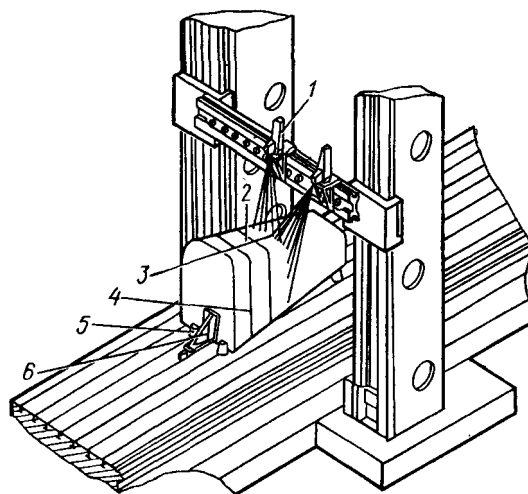


Рисунок 2.7. Разметка макета поверхности на стенде модели МС-636Ф-2-11:

1 - лазерный нивелир, 2 - ось симметрии макета, 3 - базовые точки оси симметрии, 4 - поперечная ось макета, 5 - базовая опора (домкрат), 6 - координатный угольник

Сборка осуществляется в следующем порядке. Сверлят сборочные отверстия с припуском при раздельной обработке обшивки и деталей. Для этого обшивку устанавливают на индексируемое приспособление станка, фиксируют по криволинейной поверхности с помощью шаблона по базовым отверстиям. Затем поворачивают обшивку в рабочее положение и сверлят СО с одним направлением подачи инструмента для фиксации первой детали. После этого обшивку поворачивают в следующее положение и сверлят другие сборочные отверстия для фиксации следующей детали и т. д.

При сверлении сборочных отверстий угол α между направлением подачи инструмента и нормалью N к поверхности детали вычисляется по формуле

$$\alpha = \arcsin \frac{\left(\frac{D}{2} - h\right) \cdot (d/2)}{S/2}, \quad (2.1)$$

где D - диаметр отверстия под крепежный элемент; h - минимальный припуск для окончательной обработки отверстия; d - диаметр сборочного отверстия; S - толщина пакета.

В деталях СО сверлят следующим образом. Сначала детали устанавливают с помощью шаблонов по базовым отверстиям на индексируемое приспособление. Каждую из деталей сверлят в положении, соответствующем положению, при котором сверлились сборочные отверстия в обшивке, при этом угол α для каждой детали равен углу α при сверлении соответствующих СО в обшивке.

Далее фиксаторами соединяют обшивку с деталями с фиксацией их взаимного положения по СО. Затем рассверливают сборочные отверстия до окончательного диаметра крепежного элемента по нормали к сопрягаемым поверхностям и устанавливают в них крепежные элементы.

Базирование по СО возможно при образовании обводов агрегата (рисунок 2.8) и установке в сборочное положение элементов продольного и поперечного набора (каркаса) (рисунок 2.9).

Так, при сборке с образованием обводов агрегата размер внешнего обвода определяется выражением /1/

$$H_x = \widehat{1} + H_1 + H_2 + H_3 + \widehat{2}, \quad (2.2)$$

где $\widehat{1}$ и $\widehat{2}$ — номинальная толщина обшивки.

Погрешность размера по внешнему обводу определяется из формулы

$$\delta H_x = \delta \hat{\alpha}_1 + \delta H_1 + \delta H_2 + \delta H_3 + \delta \hat{\alpha}_2 + 4\delta z + c_i \quad (2.3)$$

где $\delta H_1, \delta H_2, \delta H_3$ - размеры, определяющие положение сборочных отверстий в деталях; $\delta H_1, \delta H_2, \delta H_3, \delta \hat{\alpha}_2, \delta \hat{\alpha}_1$ - погрешности размеров $H_1, H_2, H_3, \hat{\alpha}_2, \hat{\alpha}_1$; δz - зазор между диаметром сборочного отверстия d_{co} и диаметром фиксатора d_{ϕ} (рисунок 2.8); c_i - погрешность размера вследствие деформации и пружинения.

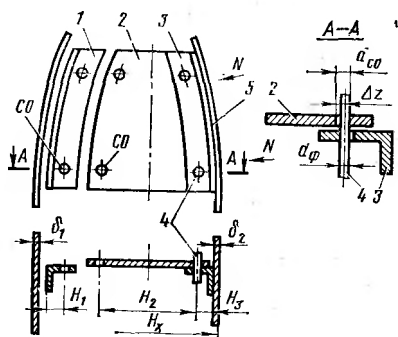


Рисунок 2.8 - Образование обводов агрегата при сборке с базированием по СО:
1 и 3 — профили; 2 — стенка; 4 — фиксатор;
5 — обшивка

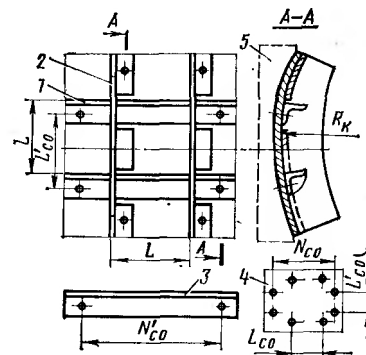


Рисунок 2.9 - Базирование деталей каркаса по СО:
1 - стрингеры; 2 - шпангоуты; 3 и 4 - расположение СО в стрингерах и обшивке; 5 - ложемент поддерживающего устройства

В случае базирования по СО элементов продольного или поперечного набора (рисунок 2.9) погрешность замыкающего звена AL на размер L при применяемых процессах образования СО составляет $\pm(1,0 \dots 1,5)$ мм, что вполне удовлетворяет требованиям по точности расположения элементов продольного набора в стыкуемых узлах или панелях.

Точностные возможности метода сборки по СО в зависимости от конструктивного оформления сборных частей приведены в таблице 2.1. Погрешность внешнего обвода при сборке по СО достигает $\pm 1,2$ мм.

Таблица 2.1
Погрешность обводов и взаимного расположения деталей при сборке по СО

Тип подсборки	Примеры подсборок	Погрешность сборки по СО, мм	
		обводов	взаимного положения деталей
Плоская с одной базовой деталью	Стенки шпангоутов, лонжеронов, перегородок	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$
Пространственная с малой кривизной	Панели цилиндрические и малой двойной кривизны	$\pm 1,0$	$\pm 0,6$
Пространственная со значительной кривизной	Панели двойной кривизны, обтекатели, зализы	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$

Сборка с базированием по СО при плоских узлах (панелях) производится на столах или с применением простейших приспособлений, которые в этом случае служат для поддержания деталей в сборочном приспособлении и не оказывают влияния на точность образования форм и обводов изделия. Сборочные отверстия в деталях сверлятся при изготовлении деталей по шаблонам (плоским и объемным), по разметке, фотоконтактным методом или в приспособлениях для сверления.

2.4 Сборка по базовым поверхностям

Сборка по базовым поверхностям деталей - процесс, при котором определенность базирования деталей изделий может быть достигнута путем их сопряжения с ранее установленными деталями /1/.

Возможность базирования детали по базовым поверхностям деталей определяется следующими условиями:

- ³⁵₁₇ обеспечением заданной точности установки очередной детали посредством сравнения с расположением ранее установленных деталей;
- ³⁵₁₇ отсутствием ограничения для приложения фиксирующей нагрузки;
- ³⁵₁₇ достаточной жесткостью базовых элементов и их способностью воспринимать фиксирующие и другие нагрузки, возникающие при сборке.

Точность установки детали определяется точностью сборочной базы, образованной поверхностями ранее установленных деталей. Базирование деталей по базовым поверхностям деталей можно осуществлять также путем ориентации их относительно кромок, вырезов, подсечек и т. п., если обеспечивается фиксация базируемой детали относительно основной базы.

Конструктивное оформление чертежа изделия, при сборке которого может быть использовано базирование по базовым поверхностям деталей, должно предусматривать фиксацию устанавливаемой детали одним из следующих способов: струбцинами, прижимными фиксаторами, макетными болтами и заклепками, прихваткой сварными точками.

Сборка совмещением сборочных баз элементов конструкций и приспособлений представлена двумя классификационными группами: с базированием по отверстиям и базированием по поверхности.

2.4.1 Сборка с базированием от поверхности каркаса

Сборка с базированием от поверхности каркаса - процесс, при котором базой для устанавливаемых обводообразующих элементов являются обводы деталей ранее собранного каркаса /1/.

При таком способе базирования обшивка или панель устанавливается внутренней поверхностью на опорные поверхности собранного каркаса и прижимается рубильниками, лентами или шнурами. В этом случае погрешности обводообразующих элементов каркаса полностью переносятся на обводы окончательно собранного изделия. Поэтому необходимо добиваться наибольшей точности обводов при сборке каркаса, так как при установке обшивки или панели невозможно исправить образовавшиеся погрешности.

Существует несколько вариантов этого метода базирования (рисунок 2.10). На рисунке 2.10, а показан случай, когда панель с элементами продольного набора устанавливается на каркас и прижимается силами N-N к его поверхности. На рисунке 2.10, б на каркас устанавливается обшивка, а на рисунке 2.10, в - монолитная панель.

Для всех случаев размер собранного агрегата или отсека по внешнему обводу можно определить по выражению

$$H_x = H_k + \hat{c}_1 + \hat{c}_2, \quad (2.4)$$

где H_x — номинальный размер внешнего обвода собираемого изделия в рассматриваемом сечении; H_k - номинальный размер каркаса и его диаметр; $\hat{c}_1$ и $\hat{c}_2$ — номинальная толщина обшивок (панелей).

С учетом погрешностей получим

$$\Delta H_x = \Delta H_k + \Delta \hat{c}_1 + \Delta \hat{c}_2 + c_i. \quad (2.5)$$

На рисунке 2.10, г показан пример базирования по каркасу, когда обшивка присоединяется к каркасу при помощи клея или припоя (пайка).

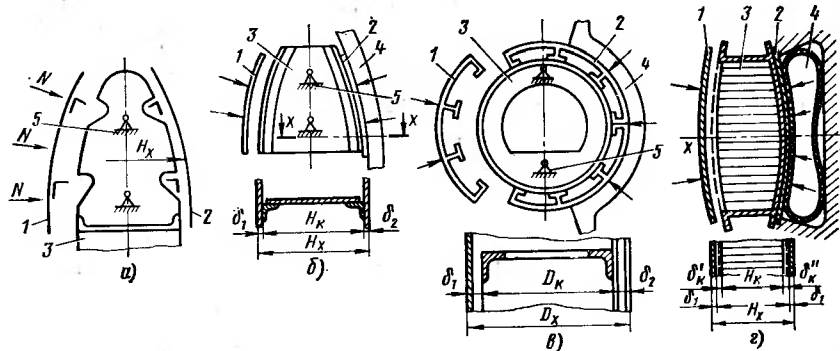


Рисунок 2.10 - Схемы базирования по поверхности каркаса:

1 - обшивка (панель) до установки на каркас; 2 - обшивка (панель), установленная на каркас; 3 - каркас; 4 - элементы сборочного приспособления, прижимающие обшивку к каркасу (стрелками показано направление прижима); 5 - фиксация каркаса в сборочном приспособлении

При этих методах соединения погрешность внешнего обвода

$$\delta H_x = \delta H_k + \delta \hat{\alpha}_{k1}^6 + \delta \hat{\alpha}_{k1}^{24} + \delta \hat{\alpha}_{k1}^{24} + \delta \hat{\alpha}_{k1}^{24} + c_i \quad (2.6)$$

где $\delta \hat{\alpha}_{k1}^6$ $\delta \hat{\alpha}_{k1}^{24}$ - погрешности по толщине слоя клея (припоя).

Рассмотренные варианты базирования по поверхности каркаса показывают, что отклонения δH в точности обвода изделия зависят от точности образования обводов каркаса, отклонений по толщине обшивок и толщине слоя связующего вещества (клея или припоя).

Если поверхность каркаса волнистая, это проявляется и на внешних обводах обшивки. Объясняется это тем, что жесткость каркаса больше жесткости обшивки, прижимаемой к нему силами $N - N$. После того как собираемое изделие извлекается из приспособления, обшивка, присоединенная к каркасу, не возвращается в исходное положение.

Базирование от поверхности каркаса применяется при сборке агрегатов самолетов легкого и среднего классов, отсеков непанелированной конструкции, состоящих из монолитных и сборных нервюр и шпангоутов.

2.4.2 Сборка с базированием от наружной поверхности обшивки

Сборка с базированием от наружной поверхности обшивки - процесс, при котором базой для устанавливаемых обводообразующих элементов являются опорные поверхности приспособлений, выполненные по наружной поверхности обшивки. Этим способом собираются большинство отсеков с помощью ступеней с откидными рубильниками [1].

На рисунке 2.11 приведены различные варианты такого метода базирования. Схема, приведенная на рисунке 2.11, а, показывает, что панель прижимается силами Q к обводам рубильников 4. В этом положении панель соединяется с элементами каркаса 3. После постановки заклепок 5 наружный обвод обшивки соответствует внешнему обводу агрегата. Размер H_x по внешнему обводу в рассматриваемом сечении равен размеру приспособления

$$H_x = H_{\pi}. \quad (2.7)$$

Размер H_x для схем, приведенных на рисунке 2.11, б и в, определяется также по формуле (2.6).

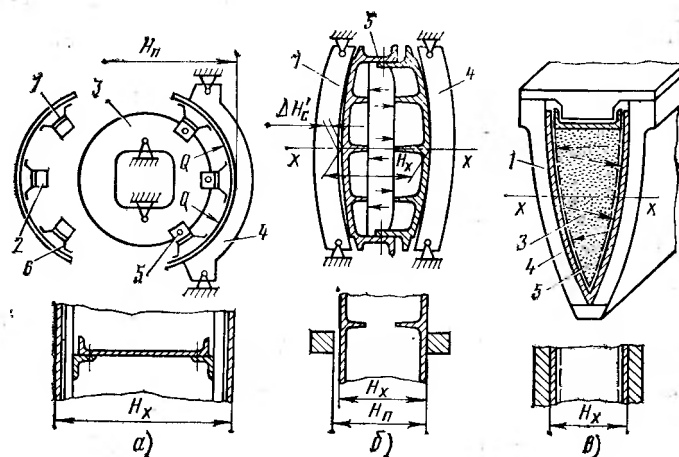


Рисунок 2.11 - Схемы базирования по наружной поверхности обшивки:

а - листовая конструкция; б - конструкция из монолитных панелей; в - конструкция с самовспенивающимся заполнителем; 1 - панель (обшивка); 2 - компенсатор; 3 - каркас; 4 - рубильники (ограничительные плиты) приспособления; 5 - соединяющий элемент (заклепка, болт, клей); 6 — стрингер

2.4.3 Сборка с базированием от внутренней поверхности обшивки

Сборка с базированием от внутренней поверхности обшивки - процесс, при котором базируемая обшивка или панель устанавливается внутренней поверхностью на базовые поверхности сборочного приспособления или на поверхности специальных макетных элементов - нервюр, шпангоутов и др. Сущность этого метода сборки заключается в образовании технологического каркаса с помощью силовых элементов агрегата и макетных элементов. Так, при сборке агрегатов крыла и оперения, состоящих из лонжеронов балочного типа, панелей с продольными элементами каркаса, стыковых нервюр с обводом по внутреннему контуру обшивки и промежуточных нервюр, соединяемых с панелями компенсаторами, рациональной является следующая схема сборки [1/].

Панель устанавливается в сборочное положение, опираясь внутренней поверхностью на базовые поверхности сборочного приспособления или на поверхности специальных макетных нервюр (рисунок 2.12).

Собранные лонжероны 1 и 5 устанавливают на УБО на фиксаторы в кронштейнах 6 и закрепляют их в сборочном приспособлении. Затем устанавливают между лонжеронами макетные нервюры 7 на технологические болты, базирова их относительно лонжеронов по СО в приклепанных к лонжеронам профилях 9 и нервюрах 7. Между макетными нервюрами располагают самолетные нервюры 4 с базой по СО, соединяя их с лонжеронами заклепками. На собранный таким образом каркас устанавливают панели 2 с укрепленными компенсаторами 3. Для установки панелей существует два этапа - предварительный и окончательный. Предварительно одну из панелей (левую) накладывают на базовую поверхность макетных нервюр 7 и прижимают лентой 8 с усилием Q к макетным нервюрам. В таком положении панели по НО в компенсаторах 3 сверлят отверстия под заклепки в самолетных нервюрах 4.

После сверления отверстий во всех установленных самолетных нервюрах панель вынимают из приспособления, устанавливают вторую панель (правую) и сверлят по НО в компенсаторах отверстия под заклепки в самолетных нервюрах. После сверления отверстий соединяют заклепками компенсаторы 3 с самолетными нервюрами 4. Затем снимают макетные нервюры и устанавливают на их место самолетные, базирова их на лонжеронах по СО. Вновь установленные самолетные нервюры соединяют с лонжеронами заклепками. Потом по НО в стрингерах сверлят отверстия под заклепки во всех установленных самолетных нервюрах и соединяют их заклепками с компенсаторами.

Выполнив все соединения по правой панели с каркасом, окончательно устанавливают левую панель и заклепками соединяют установленные на ней компенсаторы с самолетными нервюрами.

После выполнения всего объема сборочных работ кессон вынимают из приспособления.

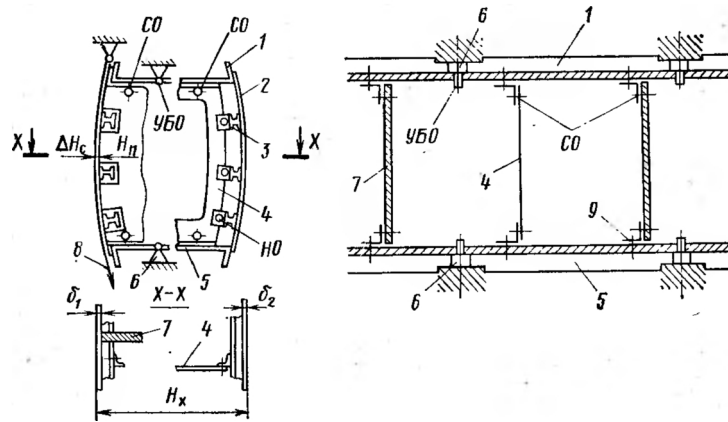


Рисунок 2.12 - Схема базирования по внутренней поверхности обшивки

В собранном кессоне по внешнему обводу в сечении размер

$$H_x = H_n + \delta_1 + \delta_2 \quad (2.8)$$

Погрешность размера

$$\delta H_x = \delta H_n + \delta \delta_1 + \delta \delta_2 + c_1 \quad (2.9)$$

где H_n размер приспособления (макетной нервюры); δH_n - погрешность размера H_n .

При замкнутой макетной нервюре за δH_n принимают погрешность размера H_n по ее дужке. При разомкнутой макетной нервюре (шпангоуте), когда отдельные ее части устанавливают на фиксаторы, $\delta H_n = \delta H_n + 4\delta z$, т. е. учитываются погрешности базирования составных частей макетной нервюры.

2.5 Сборка по базовым отверстиям

Сборка по базовым отверстиям (БО) - процесс, при котором взаимное положение устанавливаемых элементов конструкций определяется совмещением отверстий в деталях и элементах сборочного приспособления /3/.

БО располагаются на базовых осях подборок или на расстояниях, кратных 25...50 мм. Система БО позволяет применять единые базы при обработке деталей и сборке узлов и агрегатов. Кроме того, эта система может быть использована в качестве базы при монтаже бортового оборудования.

Базирование по БО наиболее целесообразно применять при сборке узлов, панелей, отсеков и агрегатов средних, тяжелых и сверхтяжелых самолетов.

Сборка по БО универсальна и хорошо сочетается с другими методами сборки. Так, при сборке панелей и секций фюзеляжа применяется комбинированная схема базирования, при которой верхние панели собираются с установкой обводов шпангоутов по БО, указанная база сохраняется и в стапеле сборки отсека; боковые панели собираются с установкой обводов шпангоутов по БО, в качестве установочной базы на сборке отсека используются обводы и БО.

При сборке силовых и базовых узлов рациональной является следующая схема базирования:

- ³⁵₁₇ формирование внешнего обвода узла с базированием обводообразующих элементов по поверхности приспособления;
- ³⁵₁₇ образование новых БО по кондукторам приспособления;
- ³⁵₁₇ установка узла по БО на сборке агрегата.

Сборочные приспособления обеспечивают требуемое взаимное положение собираемых деталей, определенное положение обрабатывающего инструмента относительно детали, придание формы недостаточно жестким деталям и узлам в процессе сборки. При этом создаются следующие преимущества по сравнению со сборкой по разметке:

- ³⁵₁₇ исключается разметка и пригонка деталей;
- ³⁵₁₇ ускоряется и облегчается процесс сборки;
- ³⁵₁₇ достигается взаимозаменяемость собираемых узлов, панелей и агрегатов;
- ³⁵₁₇ возможна механизация процесса сборки.

Этим и объясняется широкое применение сборочных приспособлений на серийных заводах при производстве самолетов и вертолетов.

В самолетостроении при сборке узлов и агрегатов в приспособлениях применяют специфические способы базирования, которые во многом зависят от месторасположения и назначения собираемых деталей в изделии. Так, при базировании деталей, определяющих внешние обводы агрегатов, в качестве баз используют поверхности деталей каркаса и обшивки, координатно-фиксирующие отверстия (КФО), а при базировании стыковых узлов и узлов крепления оборудования к элементам планера - отверстия под стыковые болты (ОСБ).

2.5.1 Сборка с базированием по КФО

Детали поперечного набора каркаса устанавливают в приспособлении и фиксируют их по специальным координатно-фиксирующим отверстиям - КФО на период соединения обшивки (панели) с деталями каркаса. Такие детали (шпангоуты, нервюры) поступают на сборку с просверленными в них координатно-фиксирующими отверстиями (КФО), такие же отверстия имеются и в элементах сборочного приспособления /1/.

В процессе сборки детали 1 поперечного набора каркаса - шпангоуты - устанавливают в вилки 2 сборочного приспособления и фиксируют по КФО фиксаторами 3 (рисунок 2.13). Затем части шпангоута соединяют между собой накладками 4 при помощи заклепок

или болтов. На подготовленный таким образом каркас устанавливают панель 5 с продольным набором. Панель прижимают силой к каркасу с помощью лент 6 (или другим способом) и затем соединяют панель со шпангоутами.

Размер по внешнему обводу собранного агрегата

$$H_x = \overset{\sim}{1} + H_1 + H_{\text{КФО-П}} + H_2 + \overset{\sim}{2}. \quad (2.10)$$

Погрешность размера по внешнему обводу

$$\Delta H_x = \Delta \overset{\sim}{1} + \Delta H_1 + \Delta H_{\text{КФО-П}} + \Delta H_2 + \Delta \overset{\sim}{2} + 4\Delta z + c_i, \quad (2.11)$$

где $H_{\text{КФО-П}}$ - размер между координатно-фиксирующими отверстиями в вилках сборочного приспособления; $\Delta H_{\text{КФО-П}}$ - погрешность размера $H_{\text{КФО-П}}$.

При этом методе базирования сборка производится в приспособлениях упрощенной конструкции, не имеющих рубильников и ложементов.

Точность получаемых обводов, как и при базировании по каркасу, зависит от точности обводов каркаса, точности расположения КФО в деталях и элементах сборочной оснастки и точности обшивки по толщине.

Положение КФО в деталях выбирают кратным 50 мм относительно осей изделия.

Сверление и разделка КФО в деталях каркаса выполняется в заготовительно-штамповочных цехах по кондукторам или на специальном разметочном столе с системой плаз-кондукторных отверстий и линейек.

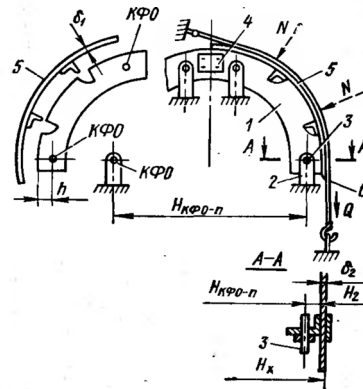


Рисунок 2.13. Базирование по КФО:

1 - шпангоут; 2 - вилка; 3 - фиксатор; 4 - накладка; 5 - панель; 6 - лента

2.5.2 Базирование по отверстиям под стыковые болты (ОСБ)

Отверстия под стыковые болты в деталях совмещают с базовыми поверхностями приспособления и соединяют детали, образующие стык с элементами каркаса. Такой метод базирования применяется в нескольких вариантах /1/.

На рисунке 2.14, а показана схема базирования стыковой гребенки по отверстиям под стыковые болты (ОСБ). В этом случае базирующие болты вставляются в отверстия стыковой гребенки и отверстия стапельной плиты, определяя тем самым положение гребенки относительно обшивки, которая опирается на рубильники приспособления.

После сборки изделия и освобождения его из приспособления погрешности линейных и угловых размеров будут равны:

$$W_x = W_{\Pi} + c_i; \quad (2.12)$$

$$\Delta \overset{\sim}{\alpha}_i = \Delta \overset{\sim}{\alpha}_{\Pi} + \Delta \overset{\sim}{\alpha}_i, \quad (2.14)$$

где W_x - размер в приспособлении между стыковыми поверхностями; $\overset{\sim}{\alpha}_{\Pi}$ - угол в приспособлении между базовыми осями и осями, определяющими положение стыковых узлов; $\Delta \overset{\sim}{\alpha}_i$ - отклонение угловых величин вследствие деформаций конструкции после сборки.

Примеры базирования стыковых узлов по ОСБ при помощи фиксаторов, установленных на плите приспособления, приведены на рисунке 2.14, б и специальных ответных стыковых узлов - на рисунке 2.14, в.

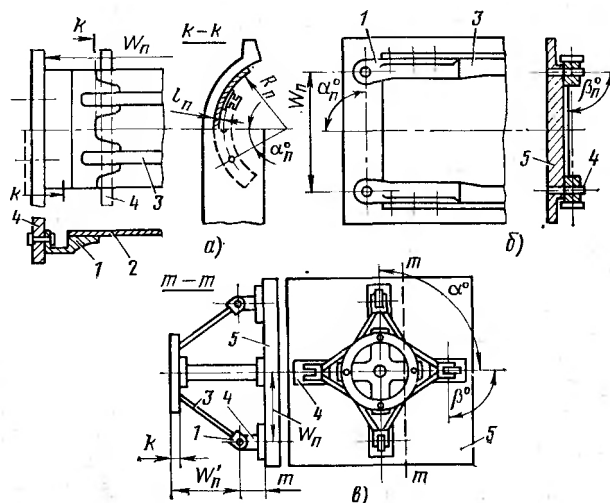


Рисунок 2.14. Базирование деталей, входящих в стыки, по ОСБ:

1 - стыковой узел (гребенка); 2 - обшивка; 3 - элементы каркаса собираемого изделия; 4 - базовые поверхности приспособления; 5 - каркас сборочного приспособления

После установки на фиксаторы приспособления стыковых узлов их соединяют с элементами каркаса.

2.6 Точность и технико-экономические показатели различных методов базирования

При сборке одного и того же узла, панели, отсека, агрегата для установки деталей каркаса и обшивки в сборочное положение применяют различные сборочные базы. Так, например, при сборке кессона крыла (рисунок 2.13) лонжероны в сборочное положение устанавливают по УБО, макетные и самолетные нервюры - по СО, а панели - по внутренней поверхности обшивки /1/.

Во всех случаях применения при сборке одного изделия нескольких сборочных баз основным методом базирования считают тот, при котором формируется внешний обвод агрегата.

В соответствии с требованиями по точности внешних обводов самолета или вертолета определяют метод, удовлетворяющий этим требованиям. В таблице 2.2 приведена точность по внешнему обводу $\delta H_x = 2\hat{\alpha}_{обв}$ (где $\hat{\alpha}_{обв}$ — отклонение обвода с одной стороны профиля) при различных методах базирования. Величины δH_x рассчитаны по формулам (2.2) ... (2.14).

Таблица 2.2

Технико-экономические показатели в % при сборке изделия с применением различных методов базирования

Метод базирования	Точность внешнего обвода, δH_x , мм	В сфере подготовки производства					В сфере основного производства	
		$G_{осн}$	$C_{т-осн}$	$T_{осн}$	$N_{осн}$	C_t	Е	Ц
По наружной поверхности обшивки	$\pm 0,7$	100	100	1000	100	100	100	100
По поверхности каркаса	$\pm 1,5$	95	95	90	90	115	95	120
По внутренней поверхности обшивки (при замкнутой макетной нервюре)	$\pm 2,0$	50	55	40	70	65	70	90
По сборочным отверстиям	$\pm 3,0$	50	45	40	60	70	65	80
По координатно-фиксирующим отверстиям	$\pm 2,5$	50	70	60	65	60	80	85

Обозначения: $G_{осн}$ -расход материала на сборочную оснастку; $T_{осн}$ - трудоемкость изготовления оснастки; $C_{т-осн}$ - себестоимость изготовления оснастки $N_{осн}$ - количество сборочной оснастки; C_t - технологическая себестоимость сборки рассматриваемого в примере изделия; Е - площадь, занимаемая сборочной оснасткой; Ц - продолжительность цикла сборки изделия.

При удовлетворении требований по точности несколькими методами базирования выбирают тот, который имеет наилучшие технико-экономические показатели в сфере подготовки производства и сфере основного производства.

Приведенные в таблице 2.2 данные следует рассматривать как качественную оценку рассматриваемых методов базирования. Более точные количественные технико-экономические показатели по каждому методу базирования можно получить только для конкретного изделия при строго зафиксированном технологическом процессе.

Такие технико-экономические расчеты производят при разработке технологических процессов сборки конкретных изделий.

3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ

3.1 Особенности проектирования технологических процессов сборки в самолётостроении

Согласно ГОСТ Р 15.201-2000 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство» на этапе подготовки производства предприятие-изготовитель должно выполнить работы, обеспечивающие технологическую готовность предприятия к изготовлению продукции в оговоренные контрактом (договором) сроки в заданных объемах, в соответствии с требованиями КД и законодательства Российской Федерации, а также следующие основные работы /4/:

- ³⁵₁₇ разработку технологической документации (ТД) (или корректировку полученной ТД) на изготовление продукции для поставки, контроля и испытаний;
- ³⁵₁₇ отработку конструкции на технологичность с учетом стандартов ЕСТД;
- ³⁵₁₇ заключение договоров (контрактов) с поставщиками комплектующих изделий и материалов и лицензионных соглашений с правообладателями на использование объектов промышленной и интеллектуальной собственности;
- ³⁵₁₇ подготовку и представление в территориальные органы Госстандарта России каталожного листа продукции в установленном порядке;
- ³⁵₁₇ другие работы.

Подготовку производства считают законченной, когда изготовителем продукции получена вся необходимая документация, разработана (отработана) ТД на изготовление продукции, опробованы и отлажены средства технологического оснащения и технологические процессы, подготовлен персонал, занятый при изготовлении, испытаниях и контроле продукции, и установлена готовность к освоению производства продукции.

В процессе разработки ТД при проектировании технологических процессов сборки изделия определяются все данные, необходимые для выполнения сборочных работ:

- ³⁵₁₇ выбираются схемы сборки и базирования, схемы обеспечения точности и взаимозаменяемости;
- ³⁵₁₇ разрабатываются технические условия на поставку элементов изделия на сборку; определяется состав и последовательность выполнения этапов сборки, операций и переходов; выбирается состав оборудования, инструмента и оснастки;
- ³⁵₁₇ определяется состав и квалификация исполнителей; рассчитываются нормы времени, расценки и режимы операций; вычисляется трудоемкость и технологическая себестоимость, цикл сборки и т. д.

Сборочные работы в самолетостроении являются многовариантными как по возможному составу и последовательности операций технологического процесса, так и по составу применяемой оснастки, оборудования, инструмента и т. д. Кроме того, сборочные работы органически взаимосвязаны с другими процессами изготовления изделия через технические условия на поставку деталей и сборочных единиц по этапам сборки. Поэтому все задачи проектирования технологических процессов сборки необходимо решать комплексно, с учетом других задач технологической подготовки производства изделия. В этих условиях проектирование оптимальных технологических процессов и оснащения сборки требует большого количества трудоемких вычислений, поэтому для повышения качества и эффективности проектирования следует применять автоматизированное проектирование с использованием САПР.

Необходимость сокращения сроков подготовки производства и ускорения выпуска новых самолетов приводит к использованию на разных этапах освоения выпуска изделий технологических процессов сборки, различающихся организацией сборочных работ, при-

меняемой сборочной оснасткой, оборудованием и инструментом и т. д. Поэтому рабочая технология разрабатывается в виде *временных технологических процессов и рабочих технологических процессов сборки*.

Временные технологические процессы действуют в основном на первом этапе освоения в производстве нового самолета, т. е. при изготовлении деталей и сборке головной серии. Временная технология содержит общий план и маршрутную технологию обработки деталей, узлов и агрегатов в различных цехах и технологические условия на промежуточную поставку деталей. При изготовлении самолета по временной технологии пользуются в основном универсальным оборудованием и инструментом, применяют небольшое количество специальных приспособлений, работы нормируются по опытно-статистическим нормам.

На основании опыта, полученного при изготовлении самолета по временной технологии, разрабатывают и внедряют рабочие технологические процессы серийного производства, оснащают цехи высокопроизводительным оборудованием и оснасткой для того, чтобы наряду с получением требуемого качества обеспечить заданную программу выпуска при высоких технико-экономических показателях. К моменту освоения производством рабочих технологических процессов, оснастки и оборудования временная технология должна быть изъята из производства и ритмичный серийный выпуск самолетов должен производиться по рабочей технологии.

При сборке самолетов широко применяются технологические процессы различного уровня унификации: стандартные, типовые, унифицированные по составу элементов технологической системы или последовательности сборочных операций. Элементами технологической системы сборочных работ являются оборудование, инструмент, рабочая и контрольно-измерительная оснастка, вспомогательные материалы и т. д.

Содержание процесса проектирования сборочных работ определяется в основном конструктивно-технологическими свойствами собираемого изделия. Для простых сборочных единиц можно непосредственно начинать проектирование рабочего технологического процесса сборки. Для более сложных сборочных единиц - агрегатов, отсеков, сложных узлов и панелей планера проектирование технологических процессов сборки разделяется на этапы выбора схемы базирования и состава оснащения сборки, определения последовательности выполнения сборочных операций, проектирования рабочего технологического процесса сборки.

На первом этапе решаются следующие задачи:

- ³⁵₁₇ выбор схемы базирования элементов сборочной единицы и схемы сборки;
- ³⁵₁₇ выбор конструктивной схемы сборочной оснастки;
- ³⁵₁₇ выбор схемы обеспечения точности, взаимозаменяемости и схемы увязки технологической оснастки;
- ³⁵₁₇ разработка технических условий на поставку деталей и сборочных единиц по этапам сборки (ТУ);
- ³⁵₁₇ разработка ТУ на проектирование сборочной оснастки.

На втором этапе решаются такие задачи:

- ³⁵₁₇ выбор возможных последовательностей установки элементов сборочной единицы с учетом условий их базирования и доступа к месту установки;
- ³⁵₁₇ выбор возможных последовательностей выполнения операций соединения, герметизации с учетом последовательности установки элементов сборочной единицы;
- ³⁵₁₇ выбор оптимальной последовательности выполнения всех операций сборки.

На третьем этапе решаются следующие задачи:

- ³⁵₁₇ определение состава рабочей оснастки, инструмента, оборудования и вспомогательных материалов;
- ³⁵₁₇ определение состава и квалификации исполнителей;
- ³⁵₁₇ расчет режимов и нормирование операций сборки;

- ³⁵₁₇ расчет технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта технологического процесса;
- ³⁵₁₇ оформление карт технологического процесса сборки.

При решении указанных задач технологического проектирования требуемый состав и полнота представленных данных о конструктивно-технологических свойствах изделия и свойствах технологической системы весьма различны. Поэтому при проектировании технологии сборки технолог обычно рассматривает не все элементы сборочной единицы одновременно, а выделяет основные элементы конструкции, важные для решения данной задачи. Например, при выборе схемы базирования и сборки кессона крыла (рисунок 3.1) вначале рассматриваются только лонжероны, нервюры и панели. После выбора схемы базирования и сборки основных элементов рассматриваются все остальные элементы сборочной единицы - способы их базирования и сборки устанавливаются с учетом вариантов сборки основных элементов конструкции.

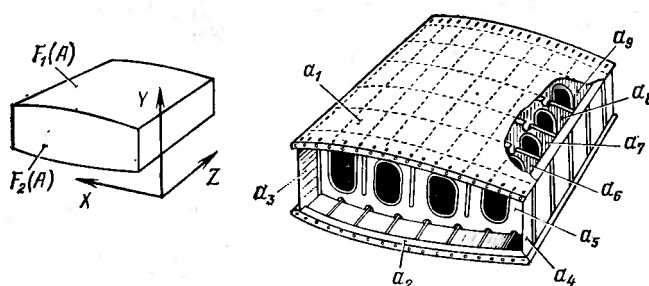


Рисунок 3.1 Кессон центроплана крыла:

a — основные контуры кессона; $F_1(A)$ — контур аэродинамических обводов, $F_2(A)$ — контур разъема кессона с ОЧК; б — конструкция кессона: G_1, a_1 — панели; a_3, a^* — лонжероны; $a_5, a_6, Я_7, Я_8, a»$ — нервюры

Наборы основных элементов сборочной единицы, рассматриваемые в конкретном случае, представляют собой расчетные модели, каждая из которых является аналогом изделия или технологической системы, включающим минимум данных, необходимых для решения конкретной задачи с учетом требуемой точности решения. Построение расчетной модели изделия представляет собой процесс выделения и анализа свойств элементов изделия, влияющих на решение данной задачи, с последующим объединением в один элемент модели эквивалентных по составу рассматриваемых свойств элементов конструкции изделия. Аналогичными способами строятся расчетные модели технологической системы сборки изделия.

Для обеспечения комплексного решения всех задач, а также возможности использования ЭВМ при технологическом проектировании рекомендуется все свойства изделия и технологической системы описывать с помощью понятия контура (ГОСТ 22770—77). Контур отображает в математической модели конструктивно-технологические свойства изделия или технологической системы; понятие контура является обобщением таких понятий, как свойство, характеристика, параметр, показатель и т. п. /1/.

3.2 Выбор схемы базирования и состава оснащения сборки

В собранном изделии каждый его элемент должен занимать относительно других элементов строго определенное положение. Для выполнения этого условия необходимо достигнуть определенности базирования каждого устанавливаемого элемента изделия, что обеспечивает требуемое качество геометрических контуров конструкции и сборочной единицы в целом /4/.

Геометрический контур представляет собой совокупность поверхностей, линий и точек объекта, имеющих определенное функциональное назначение. Например, геометрическими контурами кессона центроплана (рисунок 3.1) будут: контур аэродинамических обводов, контур фланцевого разъема центроплана с ОЧК, контур сопряжения панели с лонжероном и т. д.

Определение всех возможных составов сборочных баз для a_k осуществляется следующим образом:

1. Выявляются все контуры элемента a_k , которые могут быть сопряжены с контурами базовых элементов; к числу таких контуров принадлежат поверхности сопряжения с другими элементами сборочной единицы и поверхности, которые можно дополнить базовыми элементами оснастки.
2. Выявляются контуры, необходимые для обеспечения определенности базирования элемента a_k .
3. Определяются возможные составы сборочных баз для a_k .

Выбор оптимальной схемы базирования при сборке отсека (агрегата) связан с большим объемом вычислений, поэтому его целесообразно осуществлять с применением ЭВМ. Исходными данными для выбора оптимальной схемы базирования являются данные о конструктивно-технологических свойствах сборочной единицы и о возможных составах сборочных баз входящих элементов конструкции. Например, для кессона крыла (рисунок 3.1) исходные данные включают в себя: перечень, число, наименование и габаритные размеры узлов и панелей, виды соединений, толщину пакета, число болтов, заклепок, необходимых для соединения узлов и панелей между собой. За критерий оптимальности чаще всего принимается технологическая себестоимость сборки.

Схема сборки сборочной единицы A формируется на основе схемы технологического членения путем введения в эту схему сборочных приспособлений. Основанием для определения конструктивной схемы сборочного приспособления является состав базовых элементов сборочной оснастки в выбранной схеме базирования. Так, если при сборке кессона центроплана используется упомянутая ранее схема базирования $B_i(A)$, то в стапеле сборки кессона должны быть стапельные плиты $я$, и фиксаторы КФО лонжеронов $я_{10}$. После выбора конструктивной схемы сборочного приспособления выбирается схема увязки плазово-шаблонной и эталонной оснастки, необходимой для обеспечения точности и взаимозаменяемости сборочной единицы.

Детали и узлы, поступающие на сборку, должны удовлетворять требованиям, заданным в чертежах изделия, и техническим условиям на поставку, отражающим особенности процесса сборки. Требования к деталям и узлам, поступающим на сборку, разрабатываются после выбора схемы базирования и согласования с соответствующими цехами схемы сборки агрегатов, отсеков (секций) и узлов. По мере освоения производства изделия технические условия на поставку узлов и деталей могут изменяться.

3.3 Требования к деталям, поступающим на сборку

Сборка планера самолета представляет собой заключительное звено многоуровневого производственного процесса, связывающего между собой различные способы формообразования, которые обеспечивают различную степень точности формы собираемых деталей. Изготовление с высокой точностью взаимозаменяемых деталей является одной из основных задач производства, его заготовительных и механообрабатывающих цехов /4/.

Точности изготовления жестких деталей простой формы легко достигнуть, учитывая возможность применения к ним системы допусков и универсальных измерительных инструментов. При изготовлении самолетных деталей сложной формы и малой жесткости система допусков и посадок не обеспечивает требуемой точности, вследствие чего для контроля этих деталей применяются жесткие носители размеров и формы. Кроме того, на размеры некоторых деталей даются припуски, которые снимаются в процессе сборки. Размеры припусков и специальные требования вносятся в технические условия на поставку детали. Таким образом, детали, поступающие на сборку, должны соответствовать данным чертежа и удовлетворять техническим условиям на поставку.

В самолетостроении отсутствует полная взаимозаменяемость деталей в рамках узла или агрегата, при этом широкое распространение получила сборка по правилу компенсации.

Сборка по правилу компенсации возможна лишь в том случае, когда наряду с соответствующим выбором баз деталей выполняются следующие условия:

- ³⁵₁₇ сборка производится в приспособлении, воспроизводящем основной сборочный размер;
- ³⁵₁₇ сборочные базы деталей можно совместить с базовыми поверхностями приспособления;
- ³⁵₁₇ взаимное расположение установленных в приспособлении деталей можно зафиксировать, соединив их между собой непосредственно или через третью деталь.

Это правило осуществляется путем регулирования размера замыкающего звена одним из следующих методов компенсации погрешностей при сборке.

3.3.1 Конструктивная компенсация погрешностей при сборке

Конструктивная компенсация обеспечивается специальной конструкцией узла, благодаря которой собираемые детали перед окончательным закреплением могут перемещаться относительно друг друга с целью достижения более существенных для работы узла геометрических параметров. В зависимости от типа геометрических параметров конструктивная компенсация может быть линейной или угловой.

Линейная компенсация применяется главным образом при узловой и агрегатной сборке. Примером сборки с использованием линейной конструктивной компенсации является сборка кессона крыла в приспособлении. В этом случае размер между заклепочными швами может изменяться благодаря конструкции соединения панелей через специальные детали-компенсаторы. Благодаря этому положение аэродинамического контура кессона крыла относительно лонжеронов сборочного приспособления с заданной точностью обеспечивается независимо от накопленных погрешностей при изготовлении деталей и сборке верхней и нижней панелей.

Угловая компенсация применяется в основном при проведении сборочно-монтажных операций в процессе монтажа систем самолёта (система управления, гидросистема и т.п.).

3.3.2 Компенсация погрешностей при сборке механической доработкой контура деталей

Необходимым условием сборки с механической доработкой контура (подгонкой) деталей является наличие припуска /3/.

Выбор припусков осуществляют следующим образом.

1. На основании анализа конструкции собираемого изделия определяют элемент конструкции (замыкающий элемент), на котором можно назначить припуски, удаляемые при сборке подгонкой по месту. При этом следует руководствоваться положением о недопустимости нарушения размеров других элементов конструкции. Замыкающее звено выбирают из числа тех элементов, на которых с наименьшими затратами труда и с определенным уровнем качества можно выполнить подгоночные работы.

2. На все элементы собираемого изделия назначают допуски, технически выполнимые в условиях конкретного производства. Допуски не должны выходить за пределы, установленные ТУ.

3. На замыкающем элементе конструкции припуски задают на поверхностях, которые сопрягаются с другими элементами конструкции и дают возможность компенсировать накопление погрешности формы без нарушения прочности стыкуемых элементов при обеспечении их функционального назначения.

Выполнение этих условий обеспечивает достижение заданной точности узлов и агрегатов самолета доработкой замыкающего элемента при практически выполнимых производственных допусках на все входящие элементы конструкции собираемого изделия.

Подгонка осуществляется ручным или механизированным способом путем обрезки припусков на листовых деталях, опиливания кромок и плоскостей деталей, шабрения сопрягаемых плоскостей, фрезерования поверхностей, сверления и развертывания отверстий.

Метод сборки с механической доработкой контура деталей применяют при стыковке агрегатов планера. Для этой цели применяют специальные разделочные стенды [9], объединяющие в одном устройстве стапель сборки с фрезерным и (или) разделочными станками.

Разделочные стенды являются сложным и дорогостоящим оборудованием, обычно используемым при серийном производстве самолетов.

3.3.3 Компенсация погрешностей сборки путем заполнения зазоров

Заполняемые зазоры между сопрягаемыми поверхностями могут являться результатом сложения погрешностей при отклонении размеров в пределах допусков на изготовление входящих в сборку узлов и деталей либо они могут быть предусмотрены конструкцией в качестве компенсирующего замыкающего размерного звена /3/.

Зазоры заполняются одним из следующих способов: подбором пакета прокладок различной толщины, механической обработкой (подгонкой) прокладки, заполнением компенсирующим заполнителем.

Наиболее эффективным с точки зрения снижения трудоемкости, повышения точности сопряжений и снижения монтажных напряжений в узле является использование заполнителей [17].

Заполнители представляют собой полимерную композицию холодного отверждения различной вязкости. Менее вязкий заполнитель рекомендуется преимущественно для заполнения зазоров между деталями способом нагнетания или путем использования шпателя, более вязкий - для профилирования в виде жгутов и технологической ленты.

Заполнители приготавливаются смешиванием компонентов ручным или механизированным способом по заказам сборочных цехов.

К деталям, поступающим на сборку, предъявляются следующие основные требования.

А. По взаимозаменяемости:

- ³⁵₁₇ соответствие в пределах установленных допусков фактических размеров детали ее размерам по чертежу;
- ³⁵₁₇ воспроизведение требующегося по чертежу рельефа и формы (обводов, подсечек, малок);
- ³⁵₁₇ правильность положения сборочных, направляющих и базовых отверстий относительно базовых осей контура;

Б. По прочностным и эксплуатационным характеристикам:

- ³⁵₁₇ использование материалов требующихся марок, выполнение условий термообработки, обеспечение требуемого качества поверхности и заданной массы;
- ³⁵₁₇ применение заданных антикоррозионных и декоративных покрытий;

В. По специальным требованиям, оговариваемым в чертежах, технических и технологических условиях:

- ³⁵₁₇ выдерживание заданных зазоров между склеиваемыми или герметизируемыми поверхностями;
- ³⁵₁₇ сохранение перпендикулярности осей отверстий для стыковых болтов к торцам стыковых шпангоутов;
- ³⁵₁₇ наличие припусков на обработку после сборки в разделочных стендах отверстий и торцевых стыковых гребенок.

Требования к деталям, поступающим на сборку, разрабатывают после того, как сделан выбор методов базирования и составлены согласованные с соответствующими цехами схемы сборки агрегатов, отсеков узлов. Разработанные требования к входящим деталям оформляются в виде специального документа – карты поставки, где отражена степень законченности каждой детали.

3.4 Проектирование рабочего технологического процесса

Проектирование рабочего технологического процесса является завершающим этапом технологической проработки узла, агрегата, на котором формируется технологическая документация - карты технологического процесса сборки изделия. При технологическом проектировании должен быть обеспечен максимальный уровень оптимизации и унификации технологических процессов и оснащения сборочных работ. В соответствии с современными требованиями организации технологического проектирования проектирование должно быть преимущественно автоматизированным и лишь при невозможности или нецелесообразности использования информационных технологий - неавтоматизированным, т. е. выполняемым традиционными методами /4/.

При неавтоматизированном проектировании рабочего технологического процесса технолог разрабатывает карты технологического процесса сборки, руководствуясь нормативными и справочными материалами - ГОСТами, РТМ, производственными инструкциями, справочниками и т. п. Анализируя чертежи изделия и используя полученные ранее данные о схеме базирования и сборки, о конструктивной схеме сборочной оснастки и последовательности установки элементов сборочной единицы, технолог определяет состав и последовательность выполнения операций соединения, герметизации, контроля и т. д., а также выбирает необходимое оборудование, инструмент, оснастку и вспомогательные материалы. Все эти данные заносятся в карты технологического процесса сборки. Далее определяется требуемая квалификация (разряд работы) исполнителей-сборщиков и с помощью нормативов времени рассчитывается время выполнения операций сборки и соответствующие расценки для начисления заработной платы исполнителям-сборщикам. Выбор оптимальных решений при этом осуществляется на основании приближенных расчетов и опыта технолога с учетом конкретных условий производства.

Сборка планера организуется в виде параллельно-последовательного выполнения операций, начиная со сборки узлов, панелей, отсеков, агрегатов и кончая общей сборкой самолета или вертолета. На основании схемы членения самолета и разработанной последовательности сборочных операций, составляют схему сборки самолета.

По степени расчлененности собираемых агрегатов планера различают дифференцированные и недифференцированные схемы сборки [29]. Дифференцированная схема сборки соответствует членению агрегата на отсеки, панели, узлы и детали (рисунок 3.2, а). При этом для каждой сборочной единицы изготавливают сборочные приспособления. Сборку выполняют широким фронтом; благодаря свободному доступу к зонам работ широко применяют механизированное и автоматизированное оборудование, что обеспечивает высокую производительность труда и хорошее качество продукции. При недифференцированной схеме сборки (рисунок 3.2, б) агрегат собирают непосредственно из деталей и незначительного числа узлов, минуя стадию сборки панелей и секций.

Сборку выполняют в стапеле агрегата; из-за стесненных условий и ограниченного доступа здесь преобладают ручные работы и производительность труда значительно ниже, чем при дифференцированной сборке.

В серийном производстве применяют дифференцированную схему сборки. Недифференцированную схему сборки применяют в опытном производстве с целью сокращения цикла производства за счет сокращения сроков изготовления сборочной оснастки. Независимо от дифференциации необходимо получить точность внешних обводов планера в пределах 1,0...2,5 мм. При значительных размерах и малой жесткости конструкции планера обеспечить такую точность обычным путем сборки по методу полной взаимозаменяемости невозможно. Поэтому на всех уровнях сборки действует правило компенсации: основной сборочный размер должен образовываться не как сумма погрешностей собираемых деталей и подборок, а как определяемый сборочными базами оснастки с требуемой

точностью для данного уровня сборки независимо от погрешностей сборки или изготовления предыдущих уровней.

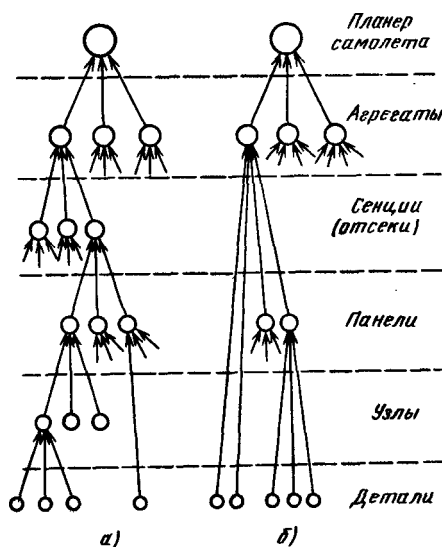


Рисунок 3.2 - Дифференцированная (а) и недифференцированная (б) схемы сборки

Отсеки имеют различные варианты членения, а следовательно, и схемы сборки.

Схема сборки самолета является основным технологическим документом. На основании этой схемы разрабатывают схемы и технологические процессы сборки отдельных сборочных единиц — узлов, панелей, отсеков и агрегатов с учетом их положения в общей схеме сборки ЛА.

Для разработки технологических процессов используют исходную информацию. Различают базовую, руководящую, справочную исходную информацию для разработки технологических процессов.

Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие и программе выпуска этого изделия.

Руководящая информация включает данные, содержащиеся в государственных и в стандартах предприятий, устанавливающих требования к технологическим процессам и методам управления ими, а также в стандартах на оборудование и оснастку; документации на действующие единичные, типовые и групповые технологические процессы; классификаторах технико-экономической информации; производственных инструкциях; материалах по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков, норм расхода материалов и др.); документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

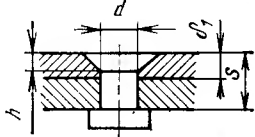
Справочная информация включает данные, содержащиеся в технологической документации опытного производства; описания прогрессивных методов изготовления и ремонта; каталогах, паспортах, справочниках, альбомах - компоновок прогрессивных средств технологического оснащения; планировках производственных участков; методических материалах по управлению технологическими процессами.

Автоматизация технологического проектирования базируется на представлении закономерностей и связей между конструктивно-технологическими свойствами изделия и технологической системы в виде математических зависимостей, объединяемых в математические модели изделия и технологической системы. Эти зависимости отражают реальное содержание процессов производства, поэтому они необходимы не только при автоматизированном, но и при неавтоматизированном проектировании. При автоматизированном проектировании применяют типовые табличные, сетевые и перестановочные математические модели [2]. Табличные модели используются для поиска стандартных решений - типовых или групповых технологических процессов, типового состава оснащения и т. п.; сетевые модели используются для выбора унифицированных решений - вариантов техно-

логических процессов, унифицированных по последовательности выполнения операций, различных вариантов оснащения и т. п.; перестановочные модели используются для получения индивидуальных проектных решений.

Рассмотрим типовые математические модели технологических операторов, используемых при проектировании технологических процессов. Табличная модель операторов представляет собой матрицу контуров, строки которой соответствуют операторам технологического процесса, а столбцы — контурам, характеризующим свойства изготавливаемого изделия. Порядок строк соответствует очередности выполнения операторов, каждому набору свойств $F(A_i)$ конкретного изделия A_i в данной табличной модели соответствует единственный технологический процесс T_i . Примером табличной модели является модель (рис. 3.3) операторов выполнения заклепочного соединения. Черный кружок на пересечении k -й строки и i -го столбца матрицы контуров означает, что элемент матрицы $C_{k(i)}=1$, при этом оператор $\tau_{k(i)}$ может быть использован для изготовления изделия с контуром F_j . Поиск технологического процесса по табличной модели сводится к определению строк матрицы, в которых контурам изделия соответствуют значения $C_{k(i)}=1$. Порядок найденных операторов $\tau_{k(i)}$ технологическом процессе соответствует их порядку в табличной модели.

Сетевая модель операторов включает в себя матрицу контуров табличной модели и граф взаимосвязи операторов, отражающий смежность и возможную очередность выполнения операторов (рис. 3.4).



	Заклепки с потайной головкой				
	Заклепки с выступающей головкой				
	$d_1 < h; S \leq d$	$d_1 < h; S < 0,5d$	$d_1 < h; S > d$	$d_1 > h$	
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Сверление отверстия в каркасе	τ_1				
Зенкование гнезда в каркасе	τ_2				
Сборка пакета	τ_3	●	●	●	●
Сверление пакета	τ_4	●	●	●	●
Зенкование гнезда в обшивке	τ_5				●
Штамповка гнезда пуансоном	τ_6	●			
Рассверливание пакета	τ_7	●			
Вставка заклепки	τ_8	●	●	●	●
Штамповка гнезда заклепкой	τ_9		●	●	
Образование замыкающей головки	τ_{10}	●	●	●	●

Рисунок 3.3. Табличная модель операторов выполнения заклепочного соединения

	Контур листа ($d \leq 2$ мм)	
	F_1	F_2
Установка листа для примерки	τ_1	●
Разметка места обработки по шаблону	τ_2	●
Разметка места обработки по линейке	τ_3	●
Выемка листа из приспособления	τ_4	●
Обрезка припуска ручными ножницами	τ_5	●
Снятие припуска пневмофрезой	τ_6	●
Снятие припуска пневмомолотком	τ_7	●
Снятие припуска напильником	τ_8	●
Зачистка заусенцев по кромкам	τ_9	●
Нанесение грунтов по кромкам	τ_{10}	●
Установка листа окончательная	τ_{11}	●

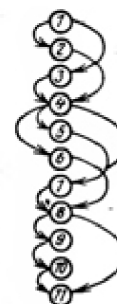


Рисунок 3.4 - Сетевая модель операторов доводки кромок при установке листа обшивки:
а - матрица контуров операторов; б - граф взаимосвязи операторов

В сетевой модели для изготовления одного и того же изделия A_i с составом контуров $F(A_i)$ может существовать несколько вариантов технологических процессов, различающихся составом операторов. Проектирование технологического процесса по этой модели сводится к поиску пути в графе взаимосвязи операторов и далее к решению по матрице контуров вопроса о том, содержат ли все строки матрицы, соответствующие вершинам найденного пути, элементы $C_{k(i)}=1$. Если таких путей несколько, то существует несколько вариантов технологических процессов и из их числа выбирается оптимальный вариант. Сетевые модели могут применяться и для выбора состава элементов технологической системы.

Для расчета технико-экономических показателей сборки (штучного и операционного времени, трудоемкости, технологической себестоимости и т. п.) в дополнение к табличным, сетевым и перестановочным моделям используются формулы и таблицы числовых значений величин, влияющих на эти показатели.

Автоматизированное проектирование технологических процессов сборки при наличии типовых математических моделей осуществляется следующим образом (рисунок 3.5):

³⁵₁₇ диагностирование модели и автоматизированное проектирование сборки по табличной, а в случае невозможности - по сетевой или перестановочной модели;

³⁵₁₇ если проектирование технологического процесса невозможно ни по табличной, ни по сетевой, ни по перестановочной моделям, то осуществляют неавтоматизированное проектирование.

³⁵₁₇ Автоматизированное проектирование в САПР может охватывать различные этапы технологического проектирования [2]. Подсистема сборочных работ САПР функционирует следующим образом (рисунок 3.6).

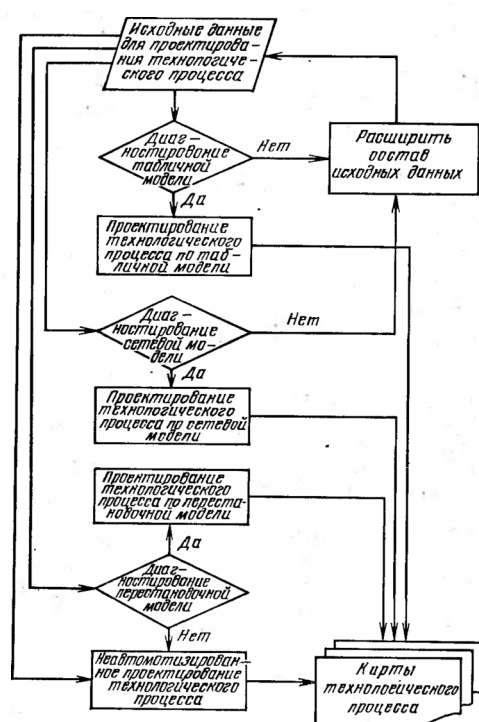


Рисунок 3.5 – Организация проектирования технологических процессов

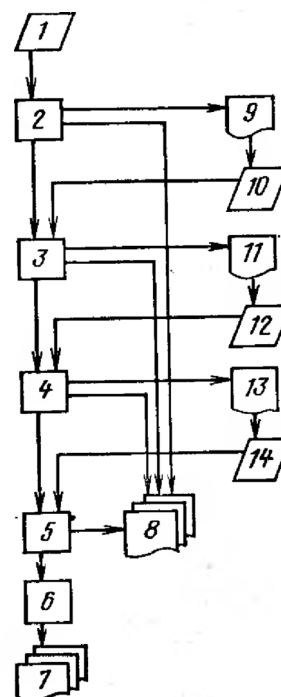


Рисунок 3.6 – Схема функционирования подсистемы сборочных работ в САПР:

1 - подготовка исходных данных; 2 - выбор схемы базирования; 3 - определение конструктивной схемы сборочного приспособления; 4 - определение последовательности установки элементов сборочной единицы; 5 - проектирование рабочего технологического процесса сборки; 6 - формирование технологической документации; 7 - печать документации; 8 - печать промежуточных результатов проектирования; 9 - варианты схем базирования; 11 - варианты конструктивных схем сборочных приспособлений; 13 - варианты последовательности установки; 10, 12, 14 - дополнение и изменение исходных данных

В автоматизированном режиме, основанном на диалоге технолога с ЭВМ (блоки 1...14), за человеком остается право выбора оптимального варианта решения из числа воз-

можных, полученных ЭВМ в конце каждого этапа проектирования. При этом можно в процессе проектирования изменять или дополнять исходные данные, а также изменять последовательность этапов проектирования на ЭВМ или исключать некоторые этапы, принимая решения без ЭВМ. В автоматическом режиме (блоки 1...8) проектирование осуществляется при неизменной последовательности всех этапов без вмешательства человека. Человек может лишь прервать проектирование и изменить начальные исходные данные для осуществления повторного проектирования с самого начала. Наиболее эффективным является автоматизированное проектирование в режиме диалога технолога с ЭВМ, так как этот режим позволяет использовать творческие возможности и опыт человека в сочетании с большой скоростью и точностью выполнения вычислений на ЭВМ.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРИМЕНЯЕМЫХ В САМОЛЁТОСТРОЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ

4.1 Общая характеристика применяемых в самолётостроении соединений

Соединение деталей, узлов, панелей и агрегатов самолетов и вертолетов при сборке производится различными способами. Применяемые в самолётостроении соединения разделяют на: *неподвижные неразъемные* (клепка, сварка, пайка, склеивание), *неподвижные разъемные* (болтовые и винтовые) и *подвижные разъемные* (шарнирные соединения, болтовые, валы и подшипники) /3/.

Неподвижные неразъемные соединения и неподвижные разъемные соединения обеспечивают неизменное положение собираемых деталей и узлов друг относительно друга. Подвижные соединения допускают такие перемещения.

По конструктивно-технологическим признакам соединения разделяют на:

- а) соединения, выполняемые силовыми точками (заклепками, болтами, сварными точками). Характерными признаками таких соединений являются: ослабление соединяемых деталей из-за отверстий под заклепки и болты и нагрева деталей в зоне постановки сварных точек; концентрация напряжений в детали в зоне постановки силовой точки при нагружении конструкции; невысокая производительность труда при постановке силовых точек вследствие прерывистости выполнения соединений;
- б) соединение непрерывным швом (сварка роликовая и плавлением, склеивание, пайка). Характерные признаки таких соединений: ослабление соединяемых деталей при их нагреве в процессе сварки, склеивания, пайки; значительная концентрация напряжений в детали в зоне шва; непрерывность процесса соединения, облегчающая механизацию и автоматизацию;
- в) комбинированные соединения (точечная сварка + склеивание, клепка + склеивание, клепано-болтовое соединение). Такие соединения обладают всеми признаками соединений силовыми точками и непрерывным швом.

Выбор того или иного вида соединения зависит от конструкции самолета и материалов, из которых изготовлены его отсеки, узлы и детали.

В конструкциях самолетов из легких сплавов преобладающим видом соединения является клепка. При изготовлении самолетов из сталей и титана (имеется в виду обшивка) соединения выполняют электроконтактной и дуговой сваркой.

При применении в конструкции самолета монолитных панелей и узлов количество клепаных и сварных соединений уменьшается, но увеличивается количество болтовых соединений. Монолитные узлы и панели в этих случаях соединяют между собой и с обшивкой болтами.

Для конструкций из композиционных материалов (КМ) наибольшее применение находят клепаные, клееклепаные и штифто-болтовые соединения. В вертолётостроении широкое применение получили клеевые и клееболтовые соединения. Для соединения пакетов больших толщин и смешанных пакетов (КМ + металл) эффективно использовать болты и болт-заклепки.

4.2 Технологический процесс выполнения заклёпочного соединения

При сборке узлов, панелей и агрегатов самолётов и вертолётотов из легких сплавов клёпка до настоящего времени остается наиболее распространенным видом неразъемного соединения, так как она обеспечивает требуемую надежность и ресурс работы агрегатов планера /1/.

В самолето- и вертолётостроении применяется большое количество различных типов заклепок. Для открытых мест конструкции, где возможен двухсторонний подход в зону клепки, применяют обычные стержневые заклепки. При клепке закрытых мест, когда подход к одной из головок заклепок невозможен, применяют специальные заклепки для односторонней клепки.

Обычные — стержневые заклепки изготавливают из легких сплавов и сталей с потайными или выступающими закладными головками.

Наиболее распространенные типы заклепок приведены на рисунке 4.1. Все применяемые в самолетостроении заклепки стандартизированы, имеют шифр, указывающий форму закладной головки, марку материала, диаметр и длину.

Заклёпки из алюминиевых сплавов имеют предел прочности на срез $\frac{1}{100}$ 180 ... 280 МПа, стальные заклепки — $\frac{1}{100}$ 350 ... 500 МПа.

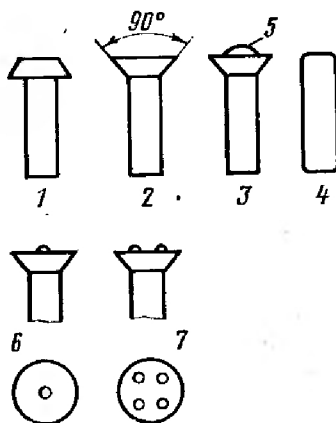


Рис. 13.1. Виды заклепок:

1 — с плоской закладной головкой — ЗП; 2 — с потайной закладной головкой ЗУ — 90° или ЗУ — 120°; 3 — с компенсатором ЗУК; 4 — стержневая; 5 — компенсатор; 6 — маркировка материала Д18 на головке заклепки; 7 — маркировка материала Д19П на головке заклепки

Технологический процесс клепки, состав операций и их последовательность во многом определяются требованиями обеспечения ресурса и герметичности, типом заклепок, методом сборки. Рассмотрим этот процесс на примере выполнения потайного негерметичного шва по следующим операциям (рисунок 4.2):

I — образование отверстия под заклепку. Отверстие под заклепку можно получить сверлением или пробивкой;

II — образование гнезда под головку потайной заклепки под размер зенкованием или штамповкой листов;

III — вставка заклепки в отверстие; Из выступающей части стержня образуется замыкающая головка заклепки;

IV — образование замыкающей головки заклепки размером прессованием или ударом. При образовании замыкающей головки прессованием вначале пакет сжимается силой Q, а затем усилием P осаживается стержень и образуется замыкающая головка. При достижении срабатывает система микровыключателей, и прессование прекращается. В случае клепки ударом с помощью пневматического клепального молотка высота замыкающей го-

ловки определяется рабочим-клепальщиком по интуиции, выработанной длительной тренировкой;

V — снятие путем механической обработки излишнего материала для получения требуемой величины выступа (операция выполняется для швов, к которым предъявляется высокая степень точности);

VI — контроль выступа потайных головок и размеров замыкающих головок заклепок.

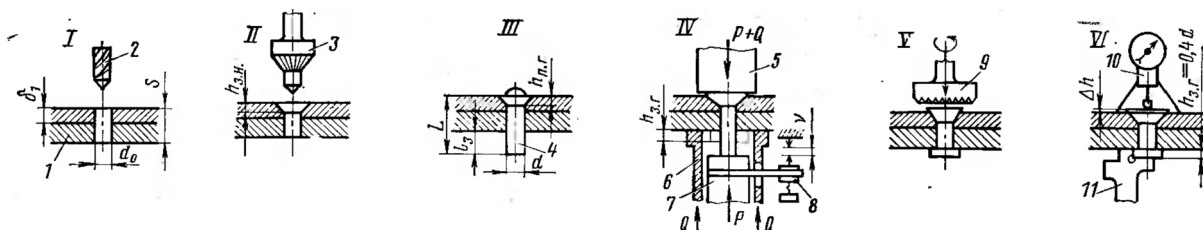


Рисунок 4.2 - Операции процесса клепки:

1 — склепываемый ракет; 2 — сверло; 3 — зенковка; 4 — заклепка ЗУК;
5 — верхний пуансон; 6 — прижим; 7 — нижний пуансон; 8 — система микровыключателей;
9 — торцевая фреза; 10 — индикатор с подставкой; 11 — шаблон

Каждая из перечисленных операций процесса клепки выполняется на специальном рабочем месте — станке, прессе; при автоматической клепке операции I... V осуществляются на одном сверлильно-клепальном автомате.

При раздельном выполнении операций качество работы в значительной степени зависит от состояния оборудования и квалификации исполнителей. При таком методе работы после каждой операции контролируют ее качество.

При автоматической клепке выполнение отдельных операций и переходов контролируется при наладке — настройке автомата. Независимо от того, как производится процесс клепки, на отдельных видах оборудования или в комплексе на одном автомате, соединение контролируют в законченном виде на узле панели или агрегате (см. рис. 13.2, VI).

Технологический процесс клепки конструкций из КМ включает в себя известную последовательность операций: образование отверстий и гнезд, вставку заклепок, образование замыкающих головок, контроль. Однако специфические свойства КМ — гетерогенность структуры, малое относительное удлинение при разрушениях, значительное абразивное воздействие армирующих волокон — существенно изменяют процесс резания и формообразования заклепок при выполнении клепаных соединений. Поэтому для обеспечения требуемого качества клепаных соединений КМ технологический процесс, оборудование, инструмент, заклепки проектируются с учетом особенностей механических свойств КМ.

4.3 Способы образования и обработки отверстий под болты и заклёпки

4.3.1 Сверление отверстий

В зависимости от требований к точности и другим характеристикам для образования и обработки отверстий применяют комбинации сверления, зенкерования, развертывания, протягивания, пробивки, раскатывания, дорнования. Качество подготовки отверстия является решающим фактором ресурса соединения. Трудоемкость подготовки отверстий составляет до 30 % от общей трудоемкости выполнения соединения /6/.

Сверление и зенкерование. Сверление применяется для образования предварительного размера отверстия. С помощью сверления в окончательный размер можно получить отверстия 12...14 квалитетов. Часто сверления совмещают с зенкованием гнезда под потайные головки заклепок и болтов.

Сверление может производиться:

- ³⁵₁₇ на сверлильных станках;
- ³⁵₁₇ на специализированных полуавтоматических установках на базе сверлильно-зенковальных агрегатов (СЗА);
- ³⁵₁₇ на сверлильно-зенковальных установках (СЗУ);
- ³⁵₁₇ на сверлильно-зенковальных встраиваемых в сборочную оснастку устройствах (СЗВУ);
- ³⁵₁₇ ручным механизированным инструментом (сверлильные машины, дрели, разделочные устройства).

Тип оборудования выбирается в зависимости от формы габаритов узлов, агрегатов, диаметра отверстий, требований точности и удобств подхода к месту обработки.

Ориентирование инструмента при подготовке отверстий диаметром до 16 мм производится:

- ³⁵₁₇ с помощью поддерживающих устройств СЗУ;
- ³⁵₁₇ по кондуктору;
- ³⁵₁₇ без кондуктора со стороны каркаса: по направляющим отверстиям; со стороны обводов; с помощью треног, призм, угольников, обеспечивающих перпендикулярность сверления опорной плоскости пакета.

Сверлильно-зенковальные установки, как правило, комплектуются из двух унифицированных агрегатов:

- ³⁵₁₇ сверлильно-зенковального агрегата (СЗА);
- ³⁵₁₇ поддерживающего агрегата (АП).

При необходимости поддерживающий агрегат в СЗУ может быть и специальным.

Агрегаты шифруются следующим образом: СЗА-02М - сверлильно-зенковальный агрегат, второй модели, модифицированный. АП-02-155-СЗУ - агрегат поддерживающий, второй модели, с полным ходом пиноли 155 мм, для сверлильно-зенковальных установок.

СЗА могут работать в ручном и автоматическом режиме, обеспечивая сверление и зенкование отверстий диаметром до 8 мм и производительность до 24...26 отверстий в минуту.

В стационарных сверлильных установках, а также в установках, встроенных в сборочную оснастку, используются машины сверлильные или сверлильно-зенкеро-вальные с автоматической подачей. Они предназначены для образования отверстий диаметром 5...40 мм в алюминиевых, титановых сплавах, высокопрочных сталях, композиционных материалах.

Шифровка машин: МСП-8 - машина сверлильная (МС) с автоматической подачей (П), наибольший диаметр обрабатываемого отверстия 8 мм (8); МСП-12Т — для сверления отверстий в титановых (Т) сплавах; МСП-12К-ДЛЯ сверления отверстий в композици-

онных (К) материалах; МСЗП-35У - машина сверлильно-зенкервальная (МСЗ) с автоматической подачей (П), наибольший диаметр обрабатываемого отверстия 35 мм (35), угловая (У). Буква "А" в шифре указывает на параллельность осей рабочего органа и привода. Характеристики сверлильных машин с автоматической подачей приведены в таблице 4.1 и 4.2.

В условиях ступенчатой сборки на отсеках и агрегатах преимущественно используются ручные сверлильные машины.

По конструктивному исполнению типажом предусмотрено два типа сверлильных машин:

³⁵₁₇ машины сверлильные с рукояткой пистолетного типа;

³⁵₁₇ машины сверлильные угловые.

Таблица 4.1

Машины сверлильные, сверлильно-зенкеральные с автоматической подачей

Модель	Операция	Обрабатываемый материал	Наибольший диаметр отверстия, мм	Мощность ВТ	Частота вращения шпинделя, с ⁻¹	Подача, мм/об	Ход шпинделя, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МСП-8	Сверление	Алюминиевые сплавы	4...8	-	2800	0.08 и 0.12	40	300x80x300	3
МСП-10	«	То же	10	-	11.6	0.01...1.0	40	410x96x228	4.1
МСП-12-1	Сверление, зенкерование	«	12...22	650	21.3	0.01...1.0	40	330x96x228	5.0
МСП-12Т	То же	Титановые сплавы	12...22	200	1.3	0.01...1.0	40	358x97x230	4.8
МСП-12К	«	Полимерные композиционные материалы	12...14	560	18.3	0.01...0.65	40	325x74x220	3.8
МСП-20	Сверление	Алюминиевые сплавы	20	640	4.2	0...0.12	70	440x96x228	5.8
МСП-24У	«	То же	24	1	8.0	0.12	75	294x98x384	5.0
МСЗП-20А	Сверление, зенкерование	Алюминиевые и титановые сплавы	12...20	400	3.8	0.12	60; 100*	305; 385*x73x234	2.7;2.9*
МСЗП-20У	То же	Алюминиевые, титановые сплавы высокопрочные стали	12...20	400	3.3	0.08	60; 100*	295; 375*x50x385	2.5;3.0*
МСЗП-35А	«	Алюминиевые сплавы	16...35	0.5	3	0.10	60; 90; 150*	300; 360; 480*x77x4.3 4.5; 5.0*	-
МСЗП-35У	«	То же	16...35	0.46	2.5	0.12	40; 60; 100; 160*	341;401; 461; 596*x130x437	5.3;5.4; 5.5; 5.8*
МСЗП-40У	«	Алюминиевые, титановые сплавы высокопрочные стали	20...40	1	1.8	0.08; 0.13*	90; 150*	372; 492*x150x435	7.2;7.6

Шифровка сверлильных машин: СМУ21-6-500 - сверлильная машина (СМ), угловая (У), второй группы мощности (2), первой модели (1), максимальный диаметр сверления 6 мм (6), частота вращения шпинделя на холостом ходу 500 об/мин (500).

Таблица 4.2

Машины сверлильные пневматические

Модель	Исполнение	Диаметр отверстия, мм	Мощность, Вт	Частота вращения шпинделя, с ⁻¹	Габаритные размеры, мм	Масса кг
См 11 -3-1 8000	Нормальное	3	184	300	140x150x46	0,8
СМ 12-3- 18000	«	3	220	150	160x135x45	0,7
СМ 11 -6-3600	«	3	184	60	150x146x46	0,8
СМ 12-6-3500	«	6	210	58	180x135x45	0,75
СМ22-6- 12000	«	6	330	100	150x125x45	0,9
СМ2 1-9-2500	«	9	294	41	180x155x55	1,15
СМ22-8-2300	•	8	330	19	180x130x45	0,9
СМ22-8-900	«	8	300	7,5	230x130x45	1,1
СМ21-9-300	4	9	294	5	230x152x55	1,35
СМ22-8-300	«	8	300	2,5	220x130x45	1,1
ИП-1027	«	10	400	23...47	180x178x53	1,1
УСМ 12-6-3000	Для мест с ограниченным подходом	6	184	50	316x46x70	1,0
СМУ 11 -6-3000	То же	6	200	25	300x50x90	0,8
СМУ2 1-6-500	«	6	294	8,4	312x74x55	1,7
СМУ22-6-500	«	6	330	4,3	250x50x70	1,1
УСМ21-20М	«	8	242	37	252x92x55	1,8
СМУ2 1-8-2000	«	8	330	17	300x50x90	1,1
МС-5У	Нормальное	5,5	290	18,4	330x55x75	1,6

Диаметр и длина сверл должны соответствовать ГОСТам. Большое влияние на качество отверстия (чистота поверхности, форма отверстия, наличие заусенцев на входе и выходе сверла), на потребную мощность и усилие при сверлении оказывают величина угла заточки 2ϕ и режимы обработки. Угол заточки сверла зависит от марки и прочности обрабатываемого материала таблица 4.3. Режимы обработки (скорость резания, подача, число оборотов) зависят от марки материала сверла или пластинки из твердого сплава.

Таблица 4.3

Углы заточки сверл при сверлении отверстий в алюминиевых, титановых сплавах и сталях

Исходные данные для сверления	Алюминиевый сплав, σ_B =20...55	Сталь углеродистая, σ_B =50...65	Сталь хромансильевая, σ_B =130...160	Титановый сплав, σ_B =90...120
Угол заточки $2\psi^0$	90...118	118	135 ±2	140
Материал сверла	Быстрорежущая сталь		Быстрорежущая сталь, твердые сплавы	
Тип и форма сверла	Спиральное		Спиральное с пластинками из твердого сплава	

В качестве примера в таблице 4.3 приведены режимы резания при обработке алюминиевых и титановых сплавов.

Режимы резания при обработке алюминиевых и титановых сплавов

Обрабатываемый материал	Инструмент из быстрорежущей стали		Инструмент, оснащенный пластинками из твердого сплава	
	Скорость резания, м/с	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Алюминиевые сплавы	0,16...0,26	0,10...0,20	-	-
Титановые сплавы	0,08...0,16	0,05...0,15	0,16...0,32	0,05...0,15

Сверление отверстий в сталях и титановых сплавах сверлами с пластинками из твердых сплавов позволяет увеличить скорость резания и стойкость сверл в два-три раза по сравнению со сверлами из быстрорежущей стали. На сверле имеется маркировка, где указан диаметр сверла, марка материала, из которого выполнено сверло, и марка материала пластинки твердого сплава (если она напаяна на сверло).

Качество просверленных отверстий контролируют визуально и с помощью калибров-пробок, по которым определяют диаметр просверленного отверстия (проходная, непроходная сторона) и перпендикулярность оси отверстия относительно поверхности детали.

4.3.2 Зенкерование отверстий

Зенкерование применяется для следующих операций /6/:

- ³⁵₁₇ окончательной обработки отверстий с полем допуска 11... 12 квалитетов;
- ³⁵₁₇ повышения точности предварительно просверленных отверстий, под последующее развертывание или протягивание;
- ³⁵₁₇ обработки в один или несколько переходов с целью увеличения диаметра предварительно просверленных отверстий, в том числе и отверстий со ступенькой, образующейся в пакете в процессе установки деталей в сборочное положение.

При зенкеровании используются зенкеры. Зенкеры имеют три-четыре режущие кромки, поэтому процесс резания проходит более устойчиво, чем сверление. Зенкерование применяют для увеличения диаметра предварительно просверленного отверстия, поэтому усилие осевой подачи меньше, а шероховатость примерно вдвое меньше, чем при сверлении.

Зенкерование может быть прямым и обратным. При прямом зенкеровании с целью повышения точности или увеличения диаметра предварительно просверленных отверстий применяются зенкеры с направляющей (рисунок 4.3,а), рекомендуемые размеры которых приведены в таблицах 4.4 и 5.5.

Совместную обработку отверстий после установки деталей в сборочное положение при несовпадении осей отдельно подготовленных предварительных отверстий (рисунок 4.3 б) выполняются специальным зенкером, используя отверстие диаметром D в качестве направляющего (рисунок 4.3,в).

Обратное зенкерование отверстий выполняется специальными насадными зенкерами (рисунок 4.4,а). Базирование зенкера осуществляется по обрабатываемому отверстию посредством сменных направляющих втулок, устанавливаемых на шпиндель машины (рисунок 4.4,б).

В качестве смазочно-охлаждающей жидкости при зенкеровании отверстия применяют смазку МР-4 или индустриальное масло И-40А.

Для зенкерования с автоматической подачей применяются сверлильно-зенкеро-вальные машины типа МСЗП (таблица 4.1).

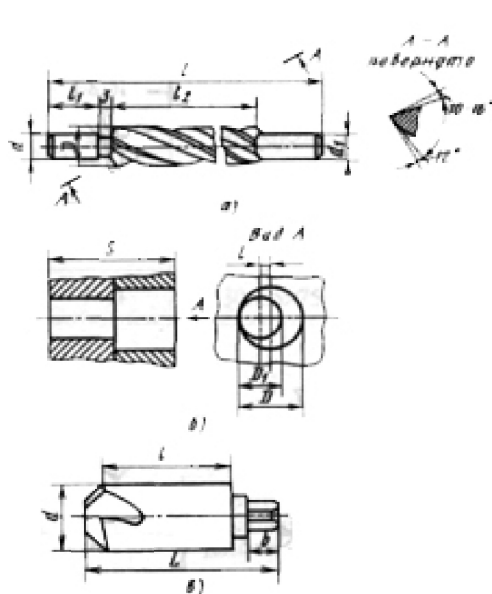


Рисунок 4.3 - Зенкеры для прямого зенкерования:
а - зенкер для обработки отверстий ручными сверлильными машинами;
б - пакет со смещёнными осями предварительно подготовленных отверстий; в - зенкер

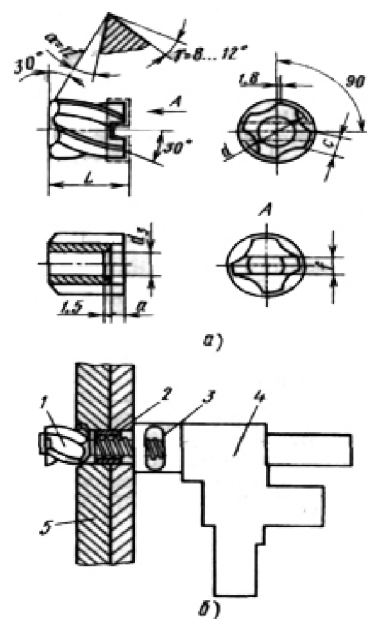


Рисунок 4.4 - Обратное зенкерование:
а - зенкер для обратного зенкерования;
б - схема обратного зенкерования;
1 - зенкер; 2 - направляющая втулка;
3 — опорная втулка;
4 — сверлильно-зенкервальная машина;
5 - обрабатываемый пакет

Таблица 4.4

Рекомендуемые размеры зенкеров с направляющей

Толщина па-	L	Х	Х	Х	Х
8...30	75	20	15	37	4
30...60	115	35	20	55	7
60...90	155	40	25	85	8
90... 120	185	50	30	100	10

Таблица 4.5

Рекомендуемые размеры зенкеров с направляющей

$\begin{smallmatrix} \text{H}0.060 \\ D \text{H}0.025 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} \text{H}0.01 \\ d \text{H}0.04 \end{smallmatrix}$	d_1	Х	Х	Х
5,5	4,5	5,0	85	10	50
7,5	5,5	6,0	90	15	
9,5		9,0	100	20	
11,5	7,5		110	25	55
13,5	9,5		120		65

4.3.3 Развертывание отверстий

Когда требуется получить отверстия точнее 10-го качества, применяется окончательная обработка развертыванием. Ручное развертывание осуществляется, как правило, с малым припуском (0,02...0,2 мм) с небольшими подачами (0,1...0,5 мм/об) для обеспечения спокойных условий резания, хотя подачи по рекомендациям, предусматривающим максимальную стойкость разверток, должны быть большими. Стружка при развертывании

образуется в условиях, очень похожих на прямое резание, так как режущие кромки составляют небольшой угол с образующими отверстия /6/.

Шероховатость поверхности 0,04...5 мкм, точность отверстий может быть получена в пределах 7...8-го квалитетов. Ручное развертывание допускается применять в случаях, когда подходы в конструкции не позволяют использовать механизированное развертывание.

Операция механизированного развертывания применяется для окончательной обработки отверстий с полем допуска 7...9 квалитетов в пакетах, включающих алюминиевые, титановые сплавы и стали.

Механизированным развертыванием обеспечивается обработка отверстий диаметром 4...45 мм в пакетах толщиной 8...225 мм, в том числе отверстий, расположенных в труднодоступных местах конструкции изделия.

Механизированное развертывание отверстий осуществляется развертывающими машинами типа МР (таблица 4.6).

Модель развертывающей машины выбирают в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия, материала пакета и подходов к отверстию.

Механизированным развертыванием обрабатывают предварительные отверстия, подготовленные с допусками по 12-му квалитету со следующим припуском под окончательную обработку:

- ³⁵₁₇ 0,5 мм для отверстий диаметром 4...27 мм;
- ³⁵₁₇ 0,7 мм для отверстий диаметром 30...45 мм.

Механизированное развертывание отверстий осуществляют комплектом разверток, базирующихся по обрабатываемому отверстию без использования дополнительной направляющей оснастки.

При развертывании в условиях агрегатной сборки следует руководствоваться следующими основными рекомендациями:

- ³⁵₁₇ малые отверстия диаметром 4 мм обрабатывают специальными развертками;
- ³⁵₁₇ отверстия диаметром 6... 12 мм глубиной до $5d$ в пакетах из алюминиевых и титановых сплавов обрабатывают развертками по ОСТ 1 52 485-86;
- ³⁵₁₇ большие отверстия диаметром 5...45 мм в пакетах, включающих титановые сплавы и стали средней прочности ($\sigma_b \leq 1100$ МПа), обрабатывать развертками из быстрорежущей стали;
- ³⁵₁₇ отверстия в пакетах, включающих титановые сплавы повышенной прочности и стали типа 14X17Н2, рекомендуется обрабатывать развертками из маловольфрамовой быстрорежущей стали Р12Ф2К5МЗ, Р12Ф2К8МЗ, Р12Ф3К10МВ;
- ³⁵₁₇ отверстия диаметром 14...45 мм в пакетах, включающих высокопрочные стали ($\sigma_b \leq 1100$ МПа), обрабатывать развертками, оснащенными пластинами из твердого сплава;
- ³⁵₁₇ отверстия 7-го квалитета в смешанных пакетах из алюминиевых и титановых сплавов предпочтительно обрабатывать со стороны алюминиевого сплава;
- ³⁵₁₇ при выполнении технологического перехода развертывание осуществлять без промежуточных выводов развертки из отверстия;
- ³⁵₁₇ выводить развертку из отверстия во избежание повреждения обработанной поверхности в направлении рабочей подачи. Допускается при обработке отверстий в местах со стесненными или односторонними подходами плавно выводить развертку из обработанного отверстия в направлении, обратном рабочей подачи, при пониженной частоте вращения шпинделя машины.

Скорость резания при развертывании отверстий в пакетах из однородных материалов (в пределах 0,08...0,16 м/с) обеспечивается частотой вращения шпинделя развертывающих машин. При обработке отверстий 7-го квалитета в смешанных пакетах из алюминиевых, титановых сплавов и высокопрочных сталей скорость резания должна быть снижена до следующих значений:

- ³⁵₁₇ 0,016...0,032 м/с (частота вращения шпинделя 0,8...1,6 с⁻¹) для отверстий диаметром до 12 мм;
- ³⁵₁₇ 0,06...0,084 м/с (частота вращения шпинделя 0,5...0,8 с⁻¹) для отверстий диаметром метром свыше 30 (до 45) мм.

В качестве смазочно-охлаждающей жидкости при развертывании применяют индустриальное масло И-40А или смазку МР-4.

Таблица 4.6

Технические характеристики развертывающих машин типа МР

Модель	Тип	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Частота вращения шпинделя, с ⁻¹	Мощность, Вт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МР-8У	Развертывающая угловая	8	6,6	180	325x52x58	1,6
МР-12	Развертывающая	12	5	280	248x55x152	1,3
МР-12У	Развертывающая угловая	12	5	250	335x55x75	2,1
МР-14У	То же	14	5	250	360x55x77	1,7
МР-24У	«	24	6,7	480	389x62x85,5	3,0
МР-40У	«	40	2	690	468x75x100	4,0

4.3.4 Протягивание отверстий

Операция протягивания применяется для окончательной обработки отверстий с полем допуска по 7...9 квалитетам в однородных пакетах из алюминиевых, титановых сплавов и сталей, а также в смешанных пакетах, включающих алюминиевые сплавы и стали; отверстий с полем допуска по 8...9 квалитетам в смешанных пакетах, включающих алюминиевые и титановые сплавы /6/.

Протягиванием обеспечивается обработка отверстий диаметром 5...24 мм в пакетах толщиной 5...70мм.

Протягивание целесообразно применять в зоне массового расположения отверстий при наличии свободных подходов в направлении продольной оси отверстия.

Технологический процесс получения точных отверстий протягиванием представляет собой снятие режущим инструментом-протяжкой-определённого прикуса металла с заранее подготовленного отверстия путем перемещения инструмента в продольно осевом направлении с вращением или без него.

В зависимости от вида главного движения, осуществляемого режущим инструментом в процессе выполнения операций, и конструкции этого инструмента различают три вида протягивания:

- ³⁵₁₇ осевое протягивание;
- ³⁵₁₇ осевое протягивание с выглаживанием;
- ³⁵₁₇ протягивание с принудительным вращением инструмента.

Протягивание с принудительным вращением инструмента обеспечивает более высокое качество обработки по сравнению с осевым протягиванием, особенно при обработке отверстий в пакетах из разнородных материалов.

Припуски под протягивание точных отверстий назначают таким образом, чтобы полностью и с некоторым запасом компенсировать погрешности (накопленные в процессе

выполнения технологических операций сборки элементов пакета и подготовки отверстий), а также обеспечить минимальную длину протяжного инструмента.

Припуск под протягивание A_0 , распределяемый между режущими зубьями и деформирующе-выглаживающими элементами (рисунок 4.5,а), определяется по формуле

$$A_0 = 2A = D - D_0, \quad (4.1)$$

где A_0 — припуск под протягивание на диаметр; A — припуск на сторону, равный толщине слоя, снимаемого протяжкой; D — диаметр протянутого отверстия; D_0 — диаметр предварительного отверстия.

$$A_0 = 0,005 D + 0,1 \sqrt{L}, \quad (4.2)$$

где L — толщина пакета.

Рекомендуемые величины припусков приведены в таблице 4.7.

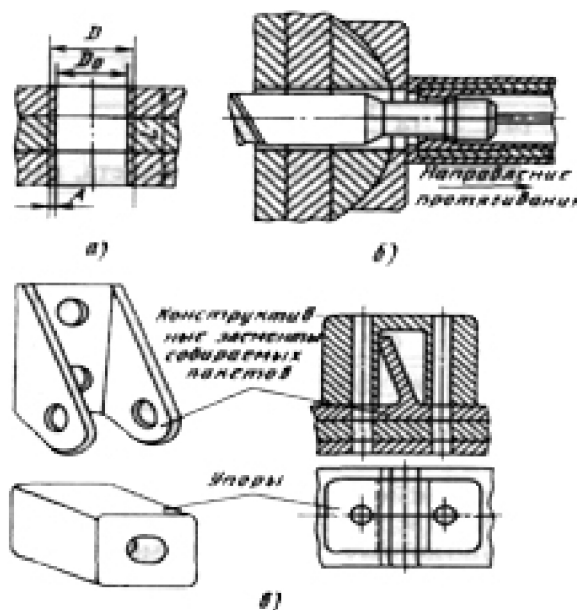


Рисунок 4.5 - Протягивание точных отверстий:

а - схема расчета припуска при протягивании; б - самоустанавливающийся упор; в – конструктивные элементы и соответствующие им типовые упоры, применяемые при протягивании отверстий в местах с ограниченными подходами

Таблица 4.7

Рекомендуемые величины припусков при протягивании

Диаметр отверстия, мм			
8...14	14...25	25...35	Свыше 35
Толщина обрабатываемого пакета, мм			
До 35	35...60	60...80	Свыше 80
Припуск A_0 под протягивание, мм			
0.5	0.5	0.7	0.8
0.6	0.7	0.8	1.0
0.7	0.8...0.9	0.9...1.0	1.0...1.1
1.0...1.2		1.2...1.5	

В зависимости от толщины пакетов, диаметров отверстий и материалов деталей в пакете указанные проходы могут совмещаться благодаря специальным конструкциям протяжек.

При обработке отверстий по 7-му качеству на стальных и смешанных пакетах режущее и деформирующе-выглаживающее протягивание осуществляется отдельно.

В условиях агрегатно-сборочных работ в качестве оборудования для протягивания применяются передвижные пневмогидроусилители с протяжными пистолетами или протяжные машины.

По конструктивному исполнению и технологическим требованиям машины делятся на два типа: для протягивания отверстий методом принудительного вращения протяжки (МПВ) и для протягивания отверстий методом осевого протягивания (МП).

Шифровка машин:

МПВ-6-100 - машина протяжная (МП) с принудительным вращением протяжки (В), наибольший диаметр обрабатываемого отверстия 6 мм (6), наибольший рабочий ход 100 мм (100).

Технические характеристики применяемых протяжных машин приведены в таблице 4.8

Таблица 4.8

Машины протяжные

Модель	Дополнительные движения инструмента	Диаметр отверстия, мм	Усилие протягивания, Н	Рабочий ход, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МП-6-100	-	5; 6	11000	100	328x38x168	1,0
МПВ-6-100	С вращением инструмента	5; 6	5600	100	328x38x168	1,2
МП- 10- 130	-	5...10	23000	130	392x46x195	1,9
МПВ-10-130	С вращением инструмента	5...10	13000	130	392x47x195	2,4
МП-12-150	-	8...12	24000	150	448x52x199	2,2
МПВ-12-150	С вращением инструмента	8...12	17000	150	448x52x199	2,7
МП-24-180	-	14...24	38000	180	529x64x210	3,8
МПВ-24-180	С вращением инструмента	14...24	31000	180	529x64x240	4,0

4.3.5 Упрочнение отверстий методами пластической деформации

В целях увеличения ресурса соединений применяется раскатывание или лорнирование - пластическое деформирование поверхности отверстия. Стружка при этом не образуется и материал не удаляется /6/.

Деформированный поверхностный слой отверстия повышает жесткость соединения и его выносливость - ресурс работы при повторно статических и вибрационных нагрузках.

Раскатывание осуществляется за счет качения роликов между направляющей инструмента и поверхностью (рисунок 4.6,а).

При раскатке обеспечивается высокая точность обрабатываемого отверстия и зеркальная поверхность его стенок в смешанных пакетах из титановых сплавов и алюминиевых сплавов, а также стальных деталей.

Раскатыванию должно предшествовать зенкерование (для отверстий с точностью по 11 -му качеству) или развертывание (для отверстий по 7-му качеству). Припуск под раскатывание определяется в зависимости от диаметра отверстия и материала в пределах до 0,05 мм. Для каждого рабочего диаметра инструмент - раскатник специально настраивают в специализированной мастерской с отметкой в паспорте раскатника.

В условиях агрегатной сборки раскатывание обычно производится с применением ручного механизированного инструмента с частотой вращения не более 350 оборотов в минуту.

Дорнирование отверстий (рисунок 4.6,б) осуществляется путем протягивания через отверстие шариков или инструмента-дорна. Протягивание дорна в условиях агрегатно-сборочного производства обеспечивается ручными прессами, аналогичными используемым при протягивании.

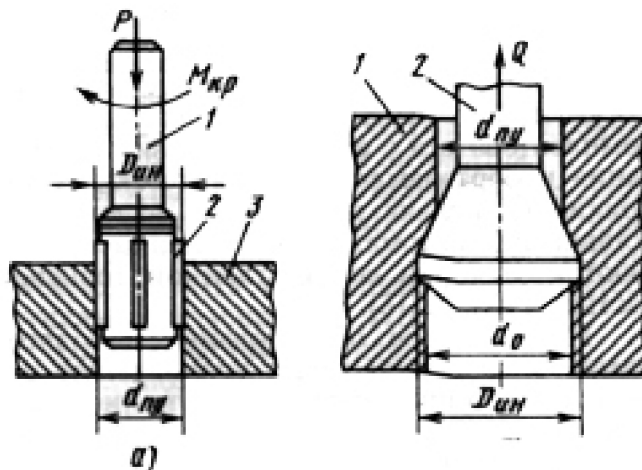


Рисунок 4.5 - Упрочнение отверстий пластической деформацией отверстий:
а - схема раскатывания отверстий; 1 - регулируемая оправка; 2 - конические ролики; 3 - упрочняемая деталь;
б — схема дорнирования отверстия; 1 - обрабатываемая деталь; 2 - инструмент – дорн

4.3.6 Выполнение отверстий в деталях из композиционных материалов

Основными способами образования отверстий в КМ являются сверление, пробивка и формование. Для КМ, обладающих повышенным абразивным воздействием, например, КМ, армированных волокнами бора, целесообразно применять пробивку [1].

В элементах конструкции из КМ, получаемых методом выкладки или намотки, возможно получать отверстия и гнезда формованием на стадии, предшествующей полному отверждению КМ. Некоторое снижение прочности КМ на смятие для формованных отверстий компенсируется отсутствием перерезания волокон КМ.

Сверление отверстий производят сверлами из твердых сплавов марок ВК6М, ВК8, ВКЮМ. Сверла из быстрорежущей стали используются в порядке исключения в труднодоступных местах, когда требуются удлиненные или специальные сверла, так как значительное абразивное воздействие армирующих волокон на инструмент приводит к его интенсивному износу и снижению качества отверстий.

Упругость КМ приводит к возникновению упругого последствия при резании, что увеличивает площадь контакта и силы трения по задней поверхности инструмента, а также приводит к усадке отверстий при сверлении и зенковании. Поэтому режущие части инструмента должны иметь увеличенные задние углы, а диаметр мерных сверл и зенковок должен быть несколько больше диаметра отверстия. Допустимый износ сверл и зенковок не должен превосходить $\hat{s} = 1 \dots 1,5 \cdot 10^{-4}$ м.

В целях повышения качества гнезд и снижения износа инструмента целесообразно использовать шестизубые зенковки.

При сверлении отверстий в деталях из КМ принято назначать несколько меньшие скорости резания V и особенно подачи S , чем при сверлении отверстий в деталях из легких сплавов. Для образования отверстий и гнезд в деталях из КМ можно использовать в основном существующее сверлильно-зенковальное оборудование. Предпочтение следует

отдавать оборудованию с регулируемой подачей инструмента, что имеет большое значение при образовании отверстий в смешанных пакетах.

Сверление на станках с ручной подачей и пневмодрелями однородных и смешанных пакетов, имеющих двухсторонний доступ, рекомендуется производить в два прохода: вначале сверлить со стороны более прочной детали, имеющей большую толщину, затем рассверливать со стороны тонкой детали для однородных и со стороны КМ — для смешанных пакетов. Данное требование вызвано разницей в усилиях резания КМ и металла (особенно сталей и титановых сплавов), в результате чего при сверлении со стороны металла из-за невозможности сохранения равномерной подачи инструмента отверстие в КМ получается типа «проткнутого» с рваными краями и значительной ворсистостью. Сверление на станках с регулируемой подачей однородных пакетов с двухсторонним доступом производится со стороны детали, имеющей большую толщину, а смешанных пакетов — со стороны металлической детали. Для смешанных пакетов, имеющих односторонний доступ, следует предусматривать разборку пакета и удаление заусенцев на кромках отверстий.

4.3.7 Образование отверстий под потайные головки заклёпок

Отверстия для заклёпок в соединяемых деталях сверлят или пробивают. Наиболее распространенным способом является сверление отверстий, так как при этом они получаются более качественными. Прочность заклепочных соединений с пробитыми для заклепок отверстиями меньше, чем таких же соединений со сверленными отверстиями /1/.

Для повышения прочности заклепочных соединений с пробитыми для заклепок отверстиями необходимо пробивать отверстия меньшего по диаметру размера, а затем рассверливать или протягивать их до требуемого размера. При сверлении отверстий для заклепок сверло должно быть по размеру диаметра на 0,1 ... 0,2 мм больше номинального диаметра заклепки. Это позволяет легко вставлять заклепку в отверстие и обеспечивает хорошее заполнение отверстия стержнем заклепки.

Сверление отверстий производится несколькими способами, которые отличаются применяемым инструментом и оборудованием, условиями подхода в зону сверления, методом координации сверла по центру отверстия и т. д.

В зависимости от технологического процесса сборки-клепки и применяемого при этом инструмента и оборудования сверление и зенкерование гнезд можно выполнять:

- ³⁵₁₇ раздельно в каждой соединяемой детали;
- ³⁵₁₇ одновременно во всех деталях, входящих в собранный пакет;
- ³⁵₁₇ одновременно за один ход инструмента сверлят отверстия во всех деталях пакета и зенкуют гнездо в верхней детали при помощи сверла-зенковки.

Наиболее совершенным является сверление и зенкование деталей во всем собранном пакете специальным инструментом — сверлом-зенковкой. При этом способе хорошо совпадают отверстия во всех деталях соединяемого пакета и центр отверстия с центром гнезда под потайную головку заклепки. При применении сверла-зенковки трудоемкость выполнения сверлильно-зенковальных работ меньше, чем при раздельном сверлении и применении двух инструментов — сверла и зенковки.

В зависимости от конструкции изделия и оборудования для сверления и зенкования отверстий используются различные методы и средства для координации — установки сверла по центру отверстия: по шаблонам, кондукторам, направляющим отверстиям (НО) или на станках с программным управлением. В исключительных случаях, при трудном подходе в зону сверления, когда требуется просверлить несколько отверстий, сверлят по разметке.

4.3.8 Механизация подготовки отверстий под заклёпки

В авиационной промышленности наиболее распространены следующие виды сверлильно-зенковального оборудования /1/:

- ³⁵₁₇ универсальные сверлильные станки;
- ³⁵₁₇ специальные сверлильно-зенковальные станки (автоматы) и установки;
- ³⁵₁₇ сверлильно-зенковальные и агрегатные головки.

Область применения того или иного вида оборудования зависит от степени членения самолета, условий подхода в зону сверления, конструкции и габаритных размеров узла, панелей, отсеков, программы выпуска изделий.

В настоящее время 40 ... 50 % отверстий сверлят и зенкуют ручными пневматическими дрелями, а остальные обрабатывают на универсальных сверлильных, агрегатных станках и специальных сверлильно-зенковальных установках. В промышленности систематически ведутся работы по увеличению объема механизации и автоматизации сверлильно-зенковальных операций, совершенствуются конструкции самолетов и вертолетов, разрабатываются и внедряются новые сверлильно-зенковальные станки, автоматы и установки.

При сверлении отверстий для обеспечения перпендикулярности оси сверла к обрабатываемой поверхности изделия в дрели закрепляют специальную центрирующую насадку. В случае одновременного сверления и зенкования гнезда в дрели закрепляют зенковальную насадку, использование такой насадки позволяет получать требуемую глубину гнезда под головку потайной заклепки. Глубина гнезда регулируется путем установки упора на заданный размер гнезда.

Пневматические дрели применяют главным образом на агрегатной и общей сборке, где использование станков и автоматов невозможно.

Универсальные сверлильные станки используют для сверления отверстий в полках лонжеронов и нервюр, стыковых профилях и узлах.

Установки для сверления и зенкования плоских узлов и панелей комплектуются с использованием универсальных станков, нормализованных сверлильных головок (агрегатов), элементов сборочных приспособлений и систем управления работой металло-режущих станков.

На рисунке 4.6 приведены схемы установок для сверления или сверления и зенкования отверстий в узлах типа лонжерона, шпангоута, нервюры и плоской панели.

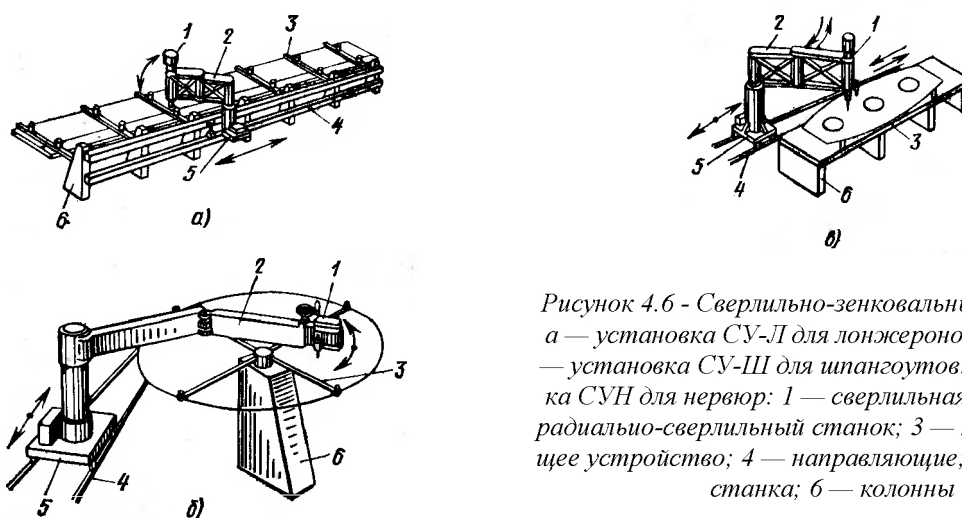


Рисунок 4.6 - Сверлильно-зенковальные установки:
а — установка СУ-Л для лонжеронов и панелей; б — установка СУ-Ш для шпангоутов; в — установка СУН для нервюр: 1 — сверлильная головка; 2 — радиально-сверлильный станок; 3 — поддерживающее устройство; 4 — направляющие; 5 — тележка станка; 6 — колонны

На этих установках можно сверлить (зенковать) отверстия в узлах и панелях с продольным, поперечным и произвольным расположением швов герметичных и негерметичных соединений. Каждая из установок состоит из сверлильной головки 1, радиально-сверлильного станка 2, поддерживающего устройства 3 для закрепления обрабатываемого из-

деля, направляющих 4, по которым перемещается тележка 5 радиально-сверлильного станка, и колонн 6, на которых крепится поддерживающее устройство.

При выполнении сверлильно-зенковальных работ узел или панель устанавливают на поддерживающее устройство (стол) и закрепляют на нем. Отверстия в узлах и панелях при установке заклепок с выступающими (непотайными) головками сверлят по направляющим отверстиям (НО) в стрингерах, по кондуктору или по разметке.

В случае применения потайных заклепок процесс сверления и зенкования может выполняться в двух вариантах. В одном из вариантов панель устанавливают на стол установки обшивкой вниз. В таком положении панели по НО в стрингерах сверлят сквозные отверстия, затем панель поворачивают, т. е. устанавливают на стол стрингерами вниз. По отверстиям в панели зенкуют гнезда под головки потайных заклепок зенковкой с направляющим штифтом. При другом варианте технологического процесса панель устанавливают стрингерами вниз и производят одновременное сверление — зенкование отверстий сверлом-зенковкой по кондуктору или разметке. Установку сверла по центру отверстия, подачу его на глубину сверления и перемещение сверлильно-зенковального станка вдоль направляющих оператор производит вручную. Для сверления и зенкования отверстий в узлах и панелях больших габаритных размеров применяют специальные сверлильные станки и стеллажи portalного типа или в виде специальных сверлильно-зенковальных установок.

На рисунке 4.7 показана сверлильно-зенковальная установка для сверления и зенкования отверстий в панелях одинарной кривизны. На этой установке возможно сверление и зенкование отверстий в стрингерах и шпангоутах. Производительность установки 20 ... 25 отверстий в минуту.

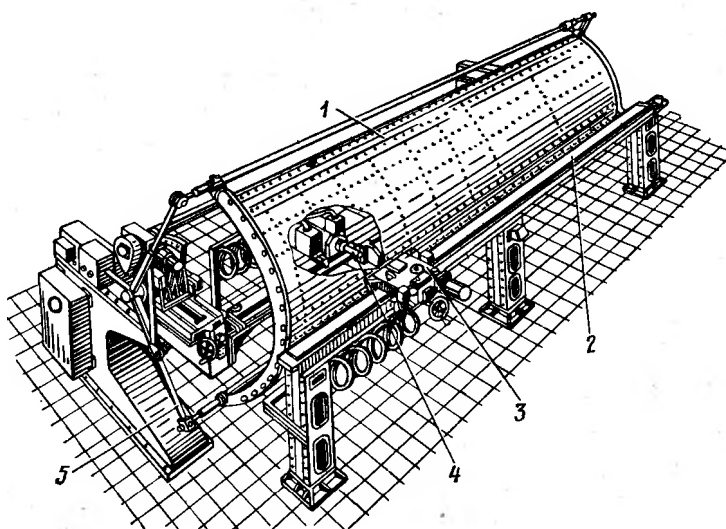


Рисунок 4.7 - Сверлильно-зенковальная установка СЗУ-Ф1:
1 — панель; 2 — копир; 3 — головка СЗА-02; 4 — прижим; 5 — рама для установки

При сверлении отверстий в продольных швах панель фиксируется в неподвижном состоянии, а головка СЗА-02 и прижим перемещаются вдоль шва. Головка и прижим устанавливаются в требуемое положение (центр отверстия) по копиям автоматически. При сверлении отверстий в поперечных швах — шпангоутах — головка и прижим фиксируются в неподвижном состоянии, а панель поворачивается на требуемый угол в зависимости от расстояния между отверстиями.

В ряде случаев сверлильная головка устанавливается на специальной траверсе, крепящейся непосредственно на сборочном приспособлении, что упрощает оснастку. Наиболее рационально устанавливать в стапелях сверлильно-зенковальные агрегаты СЗА-02. В этом случае подача сверла на требуемую глубину, вывод его из отверстия и перемещение головки со сверлом на шаг отверстий в копии происходит автоматически. Для штампов-

ки гнезд под потайные головки заклепок применяются специальные приспособления, в которых геометрия матрицы и пуансона увязана с размерами и формой головки заклепки.

Технологический процесс получения отверстий и гнезд для головок заклепок является частью общего технологического процесса сборки узла, панели или агрегата.

Существуют следующие три схемы технологического процесса сборки:

- ³⁵₁₇ первая схема, в которой сначала в каждой детали отдельно с помощью соответствующих кондукторов и приспособлений сверлят отверстия и зенкуют гнезда для заклепок, после чего детали собирают и соединяют клепкой;
- ³⁵₁₇ вторая схема отличается от первой тем, что сначала детали собирают в приспособлении (стапеле), затем по направляющим отверстиям в одной из деталей сверлят отверстие для заклепок в другой и после этого детали соединяют клепкой. В этой схеме наиболее распространен вариант процесса сборки, в котором по направляющим отверстиям в деталях каркаса сверлятся отверстия в обшивке (со стороны каркаса), а по полученным таким образом отверстиям в обшивке уже зенкуют или штампуют гнезда для головок заклепок;
- ³⁵₁₇ третья схема, в которой сначала детали каркаса и обшивки собирают в приспособлении (стапеле) и сверлят в них отверстия для контрольных заклепок или болтов. После постановки контрольных заклепок или болтов собранные узлы или панели передают на сверлильный станок для сверления всех отверстий и зенкования в них гнезд для головок заклепок и затем на прессы для клепки.

4.4 Клёпка сплошных заклёпок общего назначения

Соединение сплошными заклепками заключается в пластической деформации стержня заклепки с формированием замыкающих (или обеих головок, включая закладную) выступающей части. Этот процесс осуществляется при помощи удара пневмомолотка и поддержки, давлением пресса или раскаткой с помощью специальных машин. Удар молотка может наноситься со стороны замыкающей головки заклепки, и тогда метод клепки называют прямым, или со стороны закладной - обратный метод клепки. Клепка давлением пресса получила соответственно название прессовой клепки /6/.

Прессовая клепка имеет следующие преимущества в сравнении с ударной:

- ³⁵₁₇ значительно улучшаются психофизиологические условия работы клепальщиков вследствие снижения воздействия шума и вибрации;
- ³⁵₁₇ повышаются усталостные характеристики соединения вследствие более плотного и равномерного заполнения отверстия осаживаемым стержнем заклепки по толщине пакета;
- ³⁵₁₇ по указанной выше причине в ряде случаев можно отказаться от герметизации соединения, что обеспечивает снижение массы конструкции;
- ³⁵₁₇ повышается производительность труда в полтора-два раза при сокращении числа рабочих на 50...75 %.

4.4.1 Автоматическая клёпка

Это наиболее прогрессивный с точки зрения повышения производительности, стабильности качества, надежности и ресурса вид прессовой клепки. Он обеспечивает в автоматическом цикле выполнение следующих операций:

- ³⁵₁₇ сжатие пакета;
- ³⁵₁₇ сверление отверстия (сверление и зенкование для потайных заклепок), подачу герметизирующего материала в отверстие;
- ³⁵₁₇ вставку заклепки в отверстие (с автоматической подачей);
- ³⁵₁₇ расклепывание заклепки;
- ³⁵₁₇ зачистку потайных закладных головок;
- ³⁵₁₇ снятие усилия сжатия;
- ³⁵₁₇ перемещение инструмента в следующую позицию (для автоматов с ЧПУ)

Указанные операции выполняются специальными агрегатами - клепальными автоматами, которые в зависимости от габаритов, формы и других конструктивных особенностей обрабатываемых панелей и узлов могут использоваться самостоятельно или комплектоваться с агрегатами позиционирования и образовывать автоматические установки. С целью повышения надежности вставки для автоматической клепки применяются заклепки со скругленной торцевой частью.

Применяемое оборудование для автоматической клепки имеет специальную отличительную шифровку, несущую информацию об основных технических характеристиках. Например:

АК-3,4-0,8 - автомат клепальный (АК) с усилием клепки 34 000 Н (3,4) и вылетом скобы 80 мм (0,8);

УЗО-2АКД-16-2 - установка (У) для клепки панелей длиной до 30 000 мм (30) с двумя автоматами (2) модели АКД-16-2.

Технические характеристики автоматического оборудования для клепки приведены в таблицах 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9

Автоматы клёпальные

Характеристика автомата, обрабатываемого узла	Модель	Диаметр заклепки, мм	Усилие прессования, Н	Усилие сжатия пакета, Н	Частота вращения, с ⁻¹	Число циклов в мин	Вылет скобы, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Малогабаритные панели и каркасные узлы	АК-2,2-0,5	3...4	22 0000	2200	500...5000	20...25	500	1830x1300x1800	1200
То же	АК-3,4-0,8	3...5	34000	2200	500...5000	18...25	800	2610x700x2220	1770
Панели и каркасные узлы	АК-5,5-2,4	3...6	55000	1600	9000	15...20	2400	3600x1350x2600	4300
Панели и каркасные узлы (с зачисткой головок заклепок)	АКЗ-5,5-1,2	3...6	55000	12000	9000	10...15	1200	2600x1350x2750	2500
Панели сложной формы с радиусом кривизны 200...500 мм	АК-2,2-0,6П	3...4	22000	—	500...5000	—	600	1830x130x2100	1200
С автоматической настройкой режимов клепки	АКМП	3...6	55000	2200	500... 10 000	15...20	2400	—	—
С ЧПУ для клепки стержневыми заклепками	АК-16,0-3,0	4...S	160000	12000	500...6000	S...6	—	30000x8810x5230	5000

Таблица 4.10

Установки автоматические для клёпки

Характеристика обрабатываемого узла	Модель	Наибольшие размеры обрабатываемого узла, мм	Углы поворота позиционера, мм		Перемещение инструмента, мм		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
			поперек	вдоль	поперек	вдоль		
Малогабаритные узлы	У2,5-АКЗ,4-0,8	2500x800	+25	+10	-	-	8570x3800x2370	5500
С ЧПУ для длинномерных панелей	У18-2АКД-16-2	18000x3500	+ 10 - 15	±15	2100	920	33500x17 870x7000	307700
То же	УЗО-2АКД-16-2	30 000x2000	+ 10 -25	±15	2100	920	55000x11110x7000	335000
«	У25-2-ЗАКД	25 000x2000	+ 10 -25	+15	2100	920	93000x11650x7000	-
С ЧПУ для длинномерных каркасных узлов	УЗО-2АКД-5,5	30 000x2200x400	-	-	-	-	55000x5700x6200	120000
Для крупногабаритных секций	У15-АКФ-5,5	15 000x5200x2000	-	±10	-	15000	47580x15280x6440	260000
С ЧПУ с автоматической настройкой на режимы	У11АКМП	11 000x2100	±50	±10	-	-	-	-
Для клепки отсеков	УКВА-1	3000x1000x1500	-	-	-	-	11460x4550x2930	16700
Система с ЧПУ для клепки стыковых швов	СКСП-1	15000x180	-	-	-	-	11100x4100x3720	600

Для поддержания и перемещения плоских каркасных и кольцевых узлов с двусторонним расположением элементов каркаса используются поддерживающие устройства, работающие в комплексе со сверлильно-клепальными автоматами (таблица 4.11)

Шифровка устройств:

УПП-АО,5-2,5 - устройство (У) поддерживающее (П) подвесное (П) к автомату (А) с величиной вылета скобы 0,5 м (0,5) и длиной узла 2,5 м (2,5); если в шифровке не указан вылет скобы, то устройство предназначено для всех моделей автоматов.

Для клепки панелей одинарной и двойной кривизны на автомате АК-5,5-2,4 применяются позиционеры с 5-координатной системой с ЧПУ с техническими характеристиками согласно таблице 4.12.

Шифровка позиционеров:

П1 - позиционер (П) первой модификации (1).

Наиболее надежные показатели качества обеспечивает клепка на сверлильно-клепальных автоматах и автоматических установках с ЧПУ. Ресурс получаемых при этом соединений увеличивается вследствие концентрации операций сверления, зенкования и клепки в одной рабочей позиции, при одном установе, с использованием единых баз, повышения качества, герметичности, стабильности усилий сжатия пакета, повышения точностных параметров швов, снижения влияния субъективных факторов на процесс клепки.

Таблица 4.11

Устройства поддерживающие к сверлильно-клёпальным автоматам моделей
АК-5.5-2.4; АК-2.2-0.5; АКЗ-5.5-1.2

Наименование	Модель	Наибольшие размеры обрабатываемого узла		Расположение деталей на обшивке	Масса, кг
		диаметр, длина, мм	ширина, мм		
Устройство поддерживающее подвесное к сверлильно-клёпальным автоматам АК-5,5-2,4; АК-2,2-0,5 для клепки кольцевых узлов	УППКШ-А6	6000	700	Двустороннее	60
Устройство поддерживающее подвесное к сверлильно-клёпальным автоматам АК-5,5-2,4; АК-2,2-0,5 для клепки кольцевых узлов	УППКШ-АД	-	700	«	60
Устройство поддерживающее подвесное к сверлильно-клёпальному автомату АК-2,2-0,5 для клепки плоских каркасных узлов	УПП-АО,5-2,5 (УПП-7)	2500	1000	-	60
Устройство поддерживающее типа рольганг к сверлильно-клёпальному автомату АК-2,2-0,5 для клепки плоских узлов длиной до 4000 мм	УПР-АО,5-4,0 (УПН-3)	4000	1000	-	40
Устройство поддерживающее подвесное поворотное к сверлильно-клёпальному автомату АК-2,2-0,5 для клепки плоских каркасных узлов	УПП-АО,5-1,0 (УПП-8)	1000	500	-	50
Устройство поддерживающее напольное к сверлильно-клёпальному автомату АК-2,2-0,5 для клепки плоских каркасных узлов	УПН-АО,5-2,0 (УПН-2)	2000	800	-	10
Устройство поддерживающее к сверлильно-клёпальному автомату АКЗ-5,5-1,2 для плоских узлов	УП-А1,2-4	4000	1200	Двустороннее	50

Таблица 4.12

Позиционеры с 5-координатной системой с ЧПУ к клёпальному автомату модели АК-5.5-2.4

Наименование	Модель	Наибольшие размеры обрабатываемой панели, мм		Скорость перемещения рабочая, м/с	
		длина	ширина	продольная	поперечная
Позиционер с ЧПУ к автомату АК-5, 5-2,4 для клепки панелей	П1	8000	2200	0,033	0,006
Устройство выравнивающее с ЧПУ к автомату АК-5, 5, 5-2,4 для клепки панелей одинарной кривизны	ВУП-6К	6000	1700	0,033	0,006

Широкому распространению объема автоматической клепки препятствует ряд технологических и конструктивных ограничений, которые можно разбить на три следующие группы:

- ³⁵₁₇ ограничения по форме и размерам собираемых деталей в зоне расположения заклепок;
- ³⁵₁₇ ограничения по форме и размерам панели в целом;
- ³⁵₁₇ ограничения по материалу деталей, входящих в сборку, и типу заклепок.

Для клепки на сверлильно-клепальных автоматах детали и заклепки должны быть изготовлены из алюминиевых сплавов. Заклепки применяются только стержневые, в том числе высокоресурсные, универсальные и высокоресурсные с компенсатором.

Вследствие указанных ограничений, как показывает анализ даже при самых благоприятных организационно-технических условиях использование существующих клепальных автоматов может автоматизировать не более 20% от общего объема клепки.

4.4.2 Прессовая клёпка

. При прессовой клёпке замыкающая головка образуется в результате давления пресса на стержень заклепки, чему обязательно предшествует сжатие пакета. Оба действия: сжатие пакета и деформация стержня заклепки - выполняются непрерывно за один ход плунжера пресса /1/.

Клепальные прессы подразделяются на следующие:

- ³⁵₁₇ стационарные групповой клепки;
- ³⁵₁₇ стационарные одиночной клепки;
- ³⁵₁₇ переносные ручные.

Возможность применения того или иного пресса зависит от подходов к месту клепки, диаметра расклепываемых заклепок, размеров узлов и панелей и других конструктивных и технологических факторов. В промышленности применяют различные прессы для групповой и одиночной клепки: КП-403, КП-405, КП-501А, КП-503, КП-602 (рисунок 4.8).

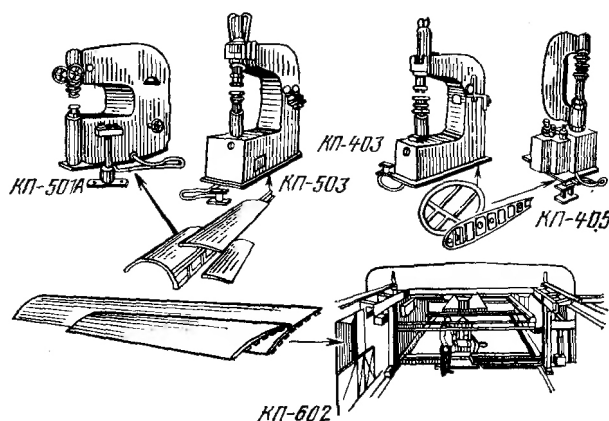


Рисунок 4.8 – пресса для клёпки узлов и панелей

По сравнению с клепальными автоматами число ограничений применения клепальных прессов существенно меньше. На клепальных прессах можно клепать узлы и панели из алюминиевых, титановых сплавов и сталей любыми сплошными стержневыми заклепками. Это позволяет расширить объем безударной клепки, включая автоматическую и заклепками с односторонним подходом, до 60...70% от всего объема заклепочных соединений.

Клепка на стационарных прессах. Для некоторых типов стационарных клепальных прессов часть операций может быть автоматизирована.

Например, на прессе типа КП-602 можно клепать панели размерами 5х2,8 м, а также панели переменной толщины заклепками одного диаметра, не перенастраивая при этом

пресс. Склепываемые узлы и панели поступают на эти прессы с просверленными и зенкованными отверстиями и вставленными в них заклепками.

В процессе клепки на прессе автоматически выполняются следующие переходы: выравнивание поверхности панели перпендикулярно оси клепальных головок; подвод верхнего и нижнего штампов к изделию; образование замыкающих головок заклепок и отвод верхнего и нижнего штампов в исходное положение; перемещение изделия на шаг групповой клепки. После выполнения клепки по одному ряду заклепок оператор, пользуясь пультом управления, перемещает клепальные головки прессы на следующий ряд заклепок, затем ставит панель в исходное положение и включает пресс на автоматический цикл работы.

Прессы типа КП-602 и другие прессы для групповой клепки снабжаются набором сменных инструментов (штампов для сжатия склепываемого пакета и образования замыкающих головок заклепок). Технические характеристики стационарных клепальных прессов даны в таблице 4.13.

Таблица 4.13

Прессы клепальные стационарные

Наименование	Модель	Наибольшее усилие, Н	Наибольшие размеры обрабатываемой панели, мм		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
			длина	ширина		
Пресс с поддерживающим устройством для группового расклепывания заклепок в крупногабаритных плоских конических и цилиндрических панелях	КП-602М	$7 \cdot 10^5$	15000	2800	2850x6700x4100	50000
Пресс с поддерживающим устройством для группового расклепывания заклепок в крупногабаритных, цилиндрических, конических панелях и панелях двойной кривизны	КП-504П-1-8,5	$2,5 \cdot 10^5$	8500	2200	15560x5400x4355	34000
Пресс с поддерживающим устройством для группового расклепывания заклепок в крупногабаритных цилиндрических, конических панелях и панелях двойной кривизны	КП-504П-1-13,5	$2,5 \cdot 10^5$	13500	2200	20560x5400x4355	40000
Пресс для группового расклепывания заклепок в плоских, цилиндрических, конических панелях и панелях двойной кривизны	КП-503М	$2,5 \cdot 10^5$	-	1150	2765x750x2530	5000
Пресс для одиночного расклепывания заклепок в каркасных узлах	КПК-406М	$1 \cdot 10^5$	-	-	19550x900x2300	2200
Пресс для одиночного расклепывания заклепок в средних и мелких узлах	КП-204М	$3,5 \cdot 10^4$	-	1050	1700x800x1800	1250
Пресс с поддерживающим устройством для одиночного расклепывания заклепок в малогабаритных панелях двойной кривизны	КМП-205	$5 \cdot 10^4$	1500	-	2800x4400x5200	3200

Для стационарных клепальных прессов для ориентирования оси заклепки или группы заклепок относительно рабочего инструмента используют выравнивающие, поддерживающие и транспортирующие устройства.

При помощи выравнивающих и транспортирующих устройств автоматически выравнивают изделие и перемещают его в двух взаимно перпендикулярных направлениях; они обеспечивают хороший доступ к клепальному инструменту в зоне клепки и имеют необходимое число точек опоры для предотвращения коробления и изгибов узлов и панелей при клепке.

В зависимости от степени механизации и автоматизации работы и расположения относительно клепальных прессов эти устройства можно разделить на следующие группы:

1. Автоматически действующие, являющиеся составной частью конструкции пресса;
2. Автоматически действующие, конструктивно не связанные с прессом, выполненные в виде отдельных выравнивающих и транспортирующих механизмов. Управление работой таких устройств включается в единую систему управления прессом в процессе клепки или происходит от независимой от пресса системы с пульта управления;
3. С ручным перемещением изделий в виде тележки, передвигающейся в двух взаимно перпендикулярных направлениях, рольганга, подвесных устройств и устройств, монтируемых на станине пресса.

Выравнивающие и поддерживающие устройства первой группы используются в прессах КП-602 и КП-504П, второй - в прессах групповой клепки КП-503М, КП-403М, КП-405М, КП-501А и т. д., третьей - в прессах групповой клепки и стационарных одиночной клепки.

На рисунке 4.9 приведены универсальные выравнивающие устройства к прессам КП-403М, КП-503М и КП-501А для клепки панелей одинарной и двойной кривизны с параллельным расположением продольных и поперечных элементов жесткости. Выравнивающее устройство (рисунок 4.9,а) предназначено для клепки цилиндрических панелей одинарной кривизны длиной 5.. 15 м и шириной 0,5...2,2 м. Панель 1 устанавливается на ложементы 2 и перемещается по ним в поперечном направлении с помощью гидравлического привода (цилиндра). При клепке продольных швов пресс перемещается по направляющим 3. Трос помещен на тележке, которая приводится в движение системой механизмов, связанных с зубчатой рейкой 4 по полу цеха. Система управления подключается к системе пресса и может работать в процессе клепки на автоматическом цикле или при ручном управлении - с пульта управления работой пресса.

Выравнивающее устройство (рисунок 4.9,б) предназначено для клепки панелей одинарной и двойной кривизны длиной до 10 м, шириной 0,3...2 м. Панель 1 устанавливается на ложементы 2, смонтированные на четырех гидроподъемниках 5. Пресс 6 установлен на тележке и имеет возможность перемещаться вдоль панели по направляющим 3 и поперек - по направляющим 7. Привод продольного и поперечного перемещения пресса гидравлический, что обеспечивает плавность хода пресса. Система управления соединена (сблокирована) с системой управления механизмами пресса и может работать в режиме автоматического цикла или при ручном управлении.

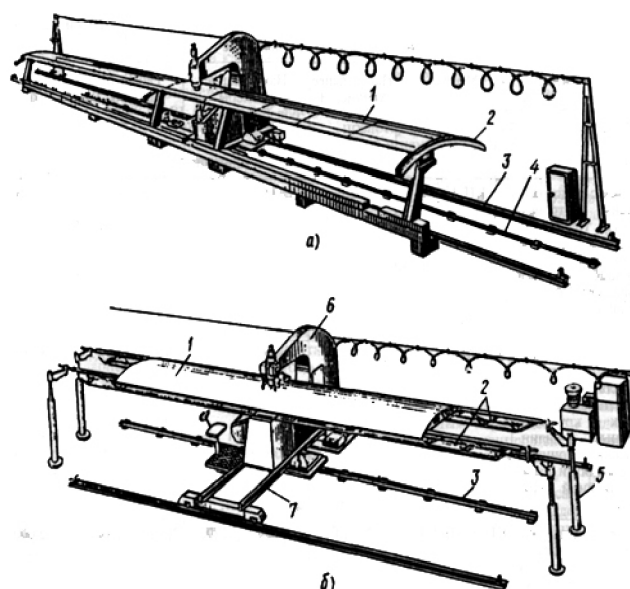


Рисунок 4.9 - Выравнивающие устройства:

а — для клепки цилиндрических панелей одинарной кривизны; б - для клепки панелей одинарной и двойной кривизны; 1 - панель; 2 - ложементы; 3 — направляющие; 4 — зубчатая рейка; 5 — гидropодъемники; 6 — пресс; 7- поперечные направляющие

Технические характеристики поддерживающе-выравнивающих устройств к прессу КП-503М приведены в таблице 4.14.

Поддерживающе-выравнивающие устройства в виде рольгангов или тележек достаточно сложны, металлоемки и занимают большую производственную площадь (не менее площади плановой проекции панели).

Таблица 4.14

Поддерживающие-выравнивающие устройства к прессу КП-503М

Наименование	Модель	Наибольшие размеры обрабатываемой панели, мм		Скорость перемещения прес-са, м/с		Мощность, Вт
		длина	ширина	продольная	поперечная	
Устройство выравнивающее для обработки панелей двойной кривизны	УВП-10 (ВУП-10)	10000	2200	$6,6 \cdot 10^{-3} \dots 116 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} \dots 33 \cdot 10^{-3}$	6800
Устройство поддерживающе-выравнивающее для клепки длинномерных панелей одинарной кривизны	УПВА-2,0 (УВП-3)	20000	1200	$6,6 \cdot 10^{-3} \dots 116 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} \dots 41 \cdot 10^{-3}$	1250
Устройство поддерживающее для клепки плоских каркасных узлов типа неограниченных длин	УП (УП-2П)	Неограниченна	2400	$6,6 \cdot 10^{-3} \dots 116 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} \dots 41 \cdot 10^{-3}$	4850

4.4.3 Клёпка раскаткой

Большое число клепаных агрегатов, имеющих клиновидную форму с углом до 15° , включает тонкие обшивки или обшивки из композиционных материалов, сотовый наполнитель, клей, мягкие вставки. При клепке таких пакетов прессовым или ударным методами из-за воздействия больших статических или динамических нагрузок возможны разрушения клеевой структуры, деформации тонких обшивок, мягких вставок и другие дефекты /5/, /6/.

Применение клепки давлением с раскаткой для таких пакетов позволяет избежать указанных дефектов благодаря возможности управлять деформацией стержня заклепки изменением режимов процесса.

Сущность метода заключается в том, что наклоненный раскатной пуансон касается торца заклепки по небольшой площади, благодаря чему при небольших осевых усилиях в зоне контакта создаются напряжения, превышающие предел текучести материала заклепки. При круговом движении раскатника пятно контакта перемещается по торцу заклепки. Конструкция раскатных головок обеспечивает перемещение раскатчика по заклепке без трения.

Клепка давлением с раскаткой клиновидных пакетов при установке раскатного устройства на пакет должна обеспечивать направление усилия клепки по оси заклепки. Для этого устанавливают поддержку и прижим с углом, равным половине угла клиновидности соединяемого пакета.

Центр раскатного пуансона устанавливают по оси заклепки. Отклонение не должно превышать 0,5 мм. Точность установки обеспечивается регулировкой положения центроискателя раскатного устройства.

При клепке заклепок с выступающей закладной головкой используют сменную поддержку с лункой, по форме и размерам соответствующей головке заклепки.

Расстояние между поддержкой и прижимом устанавливают так, чтобы обеспечить полное заполнение зенкованного гнезда. Регулировку величины зазора осуществляют изменением положения поддержки. Осевое усилие на раскатном пуансоне устанавливается в зависимости от материала и толщины соединяемых обшивок, материалов и диаметра заклепки (таблица 4.15).

Таблица 4.15

Осевые усилия клёпки давлением с раскаткой для различных толщин (S) обшивки, кН

Материал заклепки	Диаметр заклепки, мм	S, мм		
		0.5...0.9	1.0..1.5	свыше 1.5
АМ-5П	2.5	1.5	1.7	2.0
	3.0	1.7	2.0	2.2
	3.5	2.0	2.5	3.0
	4.0	2.5	3.0	3.5
	5.0	4.0	4.5	5.0
Д-18	2.6	2.0	2.5	3.0
	3.0	2.5	3.3	3.5
	3.5	3.0	3.5	4.0
	4.0	3.0	4.5	5.0
	5.0	5.0	5.5	6.0
В65	2.5	3.0	3.3	3.5
	3.0	3.5	3.8	4.0
	3.5	4.0	4.5	5.0
	4.0	4.5	5.0	6.0
	4.0	4.5	5.0	6.0

Требуемые усилия при клепке давлением с раскаткой в 5... 10 раз меньше, чем при прессовой клепке и зависят от конструктивных факторов соединения.

Длина заклепки при раскатке (L) выбирается в зависимости от толщины пакета и диаметра заклепки по формулам:

$L = S + 3$ мм — для диаметра заклепки до 3,0 мм;

$L = S + 4$ мм - для диаметра заклепки 3,5...5,0 мм,

где S - толщина пакета по оси отверстия, мм.

При выступании замыкающей головки сверх допустимых размеров производят ее зачистку.

Клепку раскаткой производят на машинах клепально-раскатных (МКР). Шифровка машин:

МКР-4С - машина клепально-раскатная (МКР), наибольший диаметр раскатываемой заклепки 4 мм (4), для клепки стыковых швов (С);

МКР-5-70 - машина клепально-раскатная (МКР), наибольший диаметр раскатываемой заклепки 5 мм (5), вылет скобы 70 мм (70).

Технические характеристики МКР приведены в таблице 4.16.

Таблица 4.16

Машины клепально-раскатные

Назначение	Модель	Диаметр заклепки, мм	Наибольшее усилие на пуансоне, кН	Усилие сжатия пакета, Н	Толщина пакета, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Для клепки краевых швов плоских и клиновидных пакетов (до 15°), в том числе содержащих композиционные материалы	МКР-5В	2,6...5,0	8	240	6...26	256x70x325	4.0
Для клепки краевых швов плоских пакетов, содержащих композиционные материалы, заклепками из титанового сплава	МКР-4К	3...4	10	490	6...30	280x66x415	5.0
Для клепки стыковых швов	МКР-4С	4	6,5	350	-	310x90x280	4.0
То же	МКР-5С	5	8,5	400	-	323x94x333	5.0
Для клепки краевых швов плоских и клиновидных пакетов	МКР-5-70	5	8	140	17	274x74x340	4.0
То же	МКР-5-110	5	8	140	28	314x74x350	5.5
«	МКР-5-150	5	8	140	37	354x74x360	7.0

4.4.5 Ударная клёпка

Несмотря на очевидные преимущества прессовой клёпки в современном сборочном производстве ударная клёпка занимает до 40...60% от всего объема клепальных работ. Это вызвано в основном тем, что конструктивное оформление узла, обеспечивающее требуемые условия для прессовой клёпки, во многих случаях ведет к увеличению массы и снижению ресурса /3/.

Кроме того, в условиях стапельной сборки для труднодоступных мест соединений преобладает клёпка пневмомолотками. С совершенствованием технологии клепально-сборочных работ и появлением новых видов соединений относительный объем ударной клёпки неуклонно снижается, но в ближайшем будущем будет оставаться достаточно большим.

Ударная клёпка имеет следующие недостатки:

- ³⁵₁₇ большая трудоемкость;
- ³⁵₁₇ влияние субъективных особенностей клепальщика на качество клёпки;
- ³⁵₁₇ быстрая утомляемость рабочих;
- ³⁵₁₇ вредные условия труда, вызывающие профессиональные заболевания у рабочих агрегатно-сборочных цехов, причем не только у самих клепальщиков.

Развитие современных методов и средств ударной клёпки идет по пути устранения указанных недостатков или, по крайней мере, снижения их уровня. Основными недостатками ударной клёпки являются сопровождающие эту операцию шум и вибрация. Снижение указанных вредных факторов обеспечивают следующие направления:

- ³⁵₁₇ разработка новых моделей пневмомолотков с улучшенными виброхарактеристиками;
- ³⁵₁₇ применение поддержек с виброгашением, специальными покрытиями или из сплавов с демпфирующими свойствами;
- ³⁵₁₇ определение точного соответствия массы поддержки материалу, диаметру заклепок, толщине пакета и характеристикам молотка;
- ³⁵₁₇ разработка и применение новых методов ударной клёпки (одноударная, магнитоимпульсная, одноударная импульсная, с электронагревом и т. д.).

К настоящему времени сняты с производства и запрещены к применению пневмомолотки устаревших моделей 2КМП, КМП13, 56КМП-3, 4КМ, 57КМП4, КМП23, 57КМП5, 62КМ-6, КМП-42-13, 8КМ, 62КМ-8.

В соответствии с ОСТ 176624 - 77 "Молотки клепальные пневматические. Типы и основные параметры" предусматривается использование молотков пяти групп мощности (таблица 4.16)

По степени ограниченности подхода к месту клёпки молотки делятся на три типа:

- ³⁵₁₇ КМП - для мест со сборным подходом с рукояткой пистолетного типа;
- ³⁵₁₇ КМ - для мест со свободным подходом с рукояткой замкнутого типа;
- ³⁵₁₇ КМУ - для мест с ограниченным подходом угловые.

Таблица 4.16

Группы мощности пневматических молотков

Основные параметры	Группа мощности				
	0	1	2	3	3А
Энергия единичного удара, Дж	1,8	2,5	5	10	13
Масса молотка без обжимки, кг (не более)		1,4	1,7	2,2	3,5

Шифровка пневматических молотков:

КМП-32М - клепальный молоток (КМ) с рукояткой пистолетного типа (П) третьей группы мощности (3), второй модели (2), модернизированной (М).

Технические характеристики современных клепальных пневматических молотков приведены в таблице 4.17.

Поддержка служит опорой при расклепывании заклепки пневматическим клепальным молотком. Правильно выбранная по конструкции и массе поддержка должна иметь ту же частоту ударов, что и молоток. При несоблюдении этого требования удары молотка не координируются с ударами поддержки, в результате чего клепка получается недоброкачественной, снижается производительность клепки и увеличивается вредное воздействие на клепальщика.

Масса поддержки зависит от диаметра и материала расклепываемой заклепки и способа клепки. При обратном способе клепки, когда удары молотка наносят по закладной головке, массу поддержек принимают минимально возможной, так как их масса, а следовательно, и размеры ограничиваются условиями подхода с поддержкой в зону клепки. В случае клепки прямым методом, когда удары молотка наносятся по замыкающей головке, массу поддержек определяют из условий оптимальной деформации замыкающей головки заклепки и минимальной амплитуды колебания поддержки. При правильно выбранной массе поддержки амплитуда колебания поддержки по величине равна амплитуде колебания пневмомолотка.

Таблица 4.17

Молотки клепальные пневматические

Модель	Группа мощности	Энергия единичного удара, Дж	Расход воздуха, м ³ /с	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
КМП-14М	1	2.5	0.005	145x130x41	1.35
КМП-15	1	2.5	0.04	150x140x42	1.0
КМП-25	2	5.0	0.04	180x146x47	1.5
КМП-32М	3	10.0	0.01	245x146x52	2.7
КМП-33	3	10	0.04	250x148x53	2.1
КМ-33	3	10.0	0.01	310x140x68	2.6
КМ-34	3	12.0	-	320x140x68	2.0
КМ-42	3А	13.0	0.012	360x140x68	3.3
КМ-43	3А	13.5	0,04	350x140x70	3.0
КМУ-13	0	1.8	0.005	90x155x40	1.4
КМУ-14	0	1.96	0.3	-	1.15

При выборе поддержки необходимо руководствоваться рекомендациями по результатам исследований НИАТа:

- ³⁵₁₇ масса поддержки влияет на величину вибрационных параметров с увеличением массы на 1 кг, уровень вибрации на поддержке снижается в среднем по спектру частот на 1...6 дБ;
- ³⁵₁₇ уровень вибрации на поддержке при клепке стальных заклепок на 1...5 дБ выше, чем при клепке алюминиевых заклепок;
- ³⁵₁₇ с увеличением толщины пакета на 1 мм уровень вибрации на жестких поддержках повышается в среднем на 1...3 дБ;
- ³⁵₁₇ с увеличением диаметра заклепки уровень вибрации на поддержке увеличивается.

Наиболее рациональные массы поддержек для клепки заклепок обратным методом из различных материалов приведены в таблице 4.18.

Конфигурация поддержек может быть самой разнообразной. При проектировании и изготовлении поддержки необходимо предусматривать, чтобы основная масса ее была сосредоточена в той части, которая соприкасается с заклепкой.

Для снижения уровня вибрации на подержках используют сплавы с высокими демпфирующими свойствами. Применение сплавов на основе марганец - медь снижает уровень вибрации на 4... 14 дБ, магний — цирконий или МЛ10...МЛ12 - на 3...12 дБ. На рисунке 4.10,а показана конструкция такой подержки.

На 5...8 дБ снижает уровень вибрации использование свинцовых вставок, которые запрессовывают в отверстия или заливают в резьбовые отверстия подержки, как показано на рисунке 4.10,б.

Другим направлением снижения уровня вибрации является покрытие подержек упругодемпфирующими материалами: губкой Р-29, пластмассой "Агат", войлоком, пеноматериалом "Элпен", пеногерметиком.

Таблица 4.18

Определение массы подержки

Материал заклепки	Масса под- держки, кг	Диаметр заклепки, мм								Толщина пакета в долях диа- метра заклепки					
		2,6	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Алюминие- вые сплавы	1	$\frac{35}{17}$								$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
			$\frac{35}{17}$							$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
				$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
					$\frac{35}{17}$					$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$			
	2				$\frac{35}{17}$								$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
						$\frac{35}{17}$				$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$		
	3					$\frac{35}{17}$								$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
							$\frac{35}{17}$			$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
								$\frac{35}{17}$		$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$				
	5						$\frac{35}{17}$								$\frac{35}{17}$
								$\frac{35}{17}$				$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
									$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
Сталь 10, 15	1				$\frac{35}{17}$										$\frac{35}{17}$
		$\frac{35}{17}$								$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
			$\frac{35}{17}$							$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
				$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$		
	2			$\frac{35}{17}$										$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
					$\frac{35}{17}$					$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
						$\frac{35}{17}$				$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$				
	3					$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
							$\frac{35}{17}$			$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$			
	5					$\frac{35}{17}$									$\frac{35}{17}$
							$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
								$\frac{35}{17}$		$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$
Сталь 12Х18Н9Т	1	$\frac{35}{17}$								$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
			$\frac{35}{17}$							$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
				$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$					
	2			$\frac{35}{17}$							$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
					$\frac{35}{17}$					$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$				
	3				$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
						$\frac{35}{17}$				$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$			
	5					$\frac{35}{17}$						$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
							$\frac{35}{17}$			$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	
								$\frac{35}{17}$		$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	$\frac{35}{17}$	

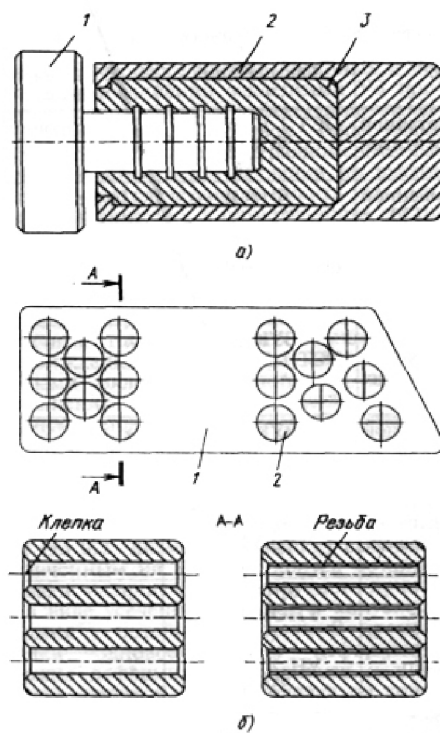


Рисунок 4.10 - Поддержки с пониженным уровнем вибрации:
 а - с применением сплава магний-цирконий; 1 - наковальня; 2 - корпус; 3 - сплав магний-цирконий;
 б - со свинцовыми вставками; 1 - корпус; 2 — вставки свинцовые

4.5 Клёпка высокоресурсными сплошными стержневыми заклепками

Проблема повышения прочности, надежности, ресурса авиационных конструкций всегда была весьма актуальна. Это требует разработки новых и совершенствования существующих типов высокоэффективного заклепочного крепежа - наиболее массового высоконагруженного элемента планера самолетов, а также прогрессивных методов его постановки /6/.

Как показывает статистика эксплуатации, основная доля усталостных разрушений конструкции планера самолетов приходится на заклепочные соединения. Повышение нагруженности заклепочных швов и, практически, отсутствия упрочнения материала в зоне соединения при существующем методе клепки способствуют еще большей концентрации напряжений возле зенкованного отверстия, что является причиной многочисленных усталостных разрушений. Необходимость применения внутришовных герметизирующих материалов в таких соединениях усугубляет картину действия сосредоточенных нагрузок при передаче потока сил между элементами соединения.

При клепке обычными стержневыми заклепками типа ЗУ усилие клепки прессом изменяется по возрастающей, достигая максимального значения в зоне замыкающей головки. Соответственно для этого вида клепки характерен сравнительно небольшой радиальный натяг, локализованный в небольшой зоне пакета со стороны замыкающей головки. Исследования, проводимые для оценки уровня радиального натяга на выносливость клепанных соединений, показывают, что при увеличении радиального натяга наблюдается интенсивный рост выносливости клепанных соединений.

Устранение этого недостатка было достигнуто применением различных заклепок, в частности заклепки с компенсатором типа ЗУК, способа постановки заклепок ЗПЛ с образованием потайной замыкающей головки ПЗГ, универсальной заклепки УЗ и более совершенной, простой по конструкции стержневой заклепки ЗУС.

Отличием способа клепки заклепками с компенсатором от обычной потайной клепки является то, что в процессе образования замыкающей головки происходит внедрение дополнительного материала в тело заклепки, создающего этим более равномерную раздачу материала стержня и обеспечивающего повышенную усталостную прочность и герметичность соединений. Типы заклепок для соединений повышенного ресурса и герметичности приведены в таблице 4.19.

Таблица 4.19

Заклёпки сплошные для соединений повышенного ресурса и герметичности

Тип	Наименование	Обозначение	Условия под- хода
ЗУК × 90°	Заклепки с потайной головкой × 90° с компенсатором	ОСТ 1 12020-75 Ф185Я	Двусторонний подход
ЗУКМ × 120°	Заклепки с уменьшенной потайной головкой × 120° с компенсатором	Ф188Я	То же
ЗУКМ × 90°	Заклепки с уменьшенной потайной головкой × 90° с компенсатором	ОСТ 1 34047-80	«
ЗУКТ-1	Заклепки с уменьшенной потайной головкой × 90° с компенсатором для тонких обшивок	ЗУКТ-1 ОСТ 1 34116-91	«
ЗУКТ-2	Заклепки с уменьшенной потайной головкой × 90° с компенсатором для особо тонких обшивок	ЗУКТ-2	«
ЗВУК	Заклепки с плосковыпуклой уменьшенной головкой с компенсатором	УНО 100-093 ЗВУК	«
ЗПК	Заклепки с плоской головкой с компенсатором	Ф186Я УНО 100 094	«
ЗУКС	Заклепки с компенсатором типа "стержень"	УН-2000.135 ЗУКС	«
ЗУКК × 90°	Заклепки с потайной головкой × 90° с корончатым компенсатором	ОСТ 1 34052 - 85 АНУ-0301	«
ЗВУКК	Заклепки с плосковыпуклой головкой с корончатым компенсатором	ОСТ 1 34040 - 80	«
ЗУГ	Заклепки с уменьшенной потайной × 90° деформируемой головкой для тонких обшивок	ЗУГ	Односто- ронний подход
ЗУГБ	Заклепки с потайной × 90° деформируемой головкой	ЗУГБ	Двусторонний подход
УЗ	Универсальные заклепки	ОСТ 1 34043 - 80	«
СКН	Заклепки-стержни конструкции НИАТа	СКН	«

Дополнительным материалом служит выступ-компенсатор на внешней поверхности потайной головки. Компенсатор может быть выполнен в виде усеченного конуса (ЗУК, ЗУКМ); стержня (ЗУКС); краевого и центрального выступа, образованного одной кольцевой выемкой (ЗУКТ); выступами, образованными несколькими кольцевыми (корончатый компенсатор заклепок ЗУКК, ЗУКК).

Заклепка УЗ выполнена в виде цилиндрического с бочкообразной головкой и предназначена для клепки потайных и непотайных соединений одним типом заклепок. В процессе клепки потайных и непотайных соединений заклепками УЗ происходит одновремен-

ная деформация закладной и замыкающих головок. Такая схема осадки позволяет получить равномерную раздачу отверстия телом заклепки по высоте пакета и, как следствие, повысить усталостные характеристики и герметичности соединений.

Для тонколистовых пакетов предназначаются высокоресурсные заклепки с уменьшенным диаметром потайной головки типов ЗУКМ, ЗУКТ, ЗУГ (таблица 4.19). Отличием технологического процесса потайной клепки тонколистовых обшивок указанными заклепками является то, что при выполнении зенкованного гнезда под закладную головку не происходит прорезание листа, что повышает качество и выносливость соединений.

Заклепка ЗУГ предназначена для клепки тонколистовых пакетов и отличается от потайной нормальной заклепки уменьшенной (до 0,25 диаметра заклепки) высотой и увеличенным на Γ углом конуса потайной головки, наличием деформируемого припуска в виде усеченного конуса и конусности стержня у потайной головки. В процессе клепки одновременно с деформацией стержня деформируются припуск над поайной головкой и сама головка по конусности, что способствует плотному (с натягом) заполнению гнезда материалом головки заклепки и, как следствие, повышению усталостных характеристик и герметичности соединений.

Упомянутые конструкции заклепок в сочетании с обычным методом клепки эффективны для сравнительно тонких пакетов в пределах 1...1,5 диаметра заклепок. Другим, наиболее перспективным методом выполнения соединений, является клепка повышенным давлением.

Этот метод имеет преимущество с точки зрения повышения радиального натяга в соединении, применительно к заклепке ЗУС. Сущность метода заключается в создании конечного давления (усилия) клепки, значительно большего, чем при обычном способе. Повышенное давление необходимо для интенсивного перетекания материала в процессе пластической деформации из зоны образуемой головки заклепки в глубь пакета. Необходимым условием этого процесса является наличие профилированной лунки в рабочей поверхности штампа (обжимки), обеспечивающей формирование головки в стесненных условиях.

В настоящее время разработаны два технологических способа осадки заклепок повышенным давлением: клепка полустесненной осадкой (КПО) и клепка в замкнутом объеме (КЗО). Практически в соединении могут быть достигнуты радиальные натяги, превышающие 10%.

Основное достоинство указанного метода состоит в возможности управлять радиальными натягами, обеспечивая необходимую величину в зависимости от конструктивных параметров соединения. В процессе экспериментальных исследований была определена оптимальная величина радиального натяга (2,5...4%), которая реализуется повышенным давлением в определенных режимах клепки.

4.6 Клёпка специальными и составными заклёпками

Специальные заклепки. Для клепки в пакетах из легкодеформируемых материалов или склонных к выкрашиванию, отслоениям, образованию трещин используются специальные заклепки (таблица 4.20). Чаще всего эти соединения в узлах с деталями из полимерных или композиционных материалов /6/.

Таблица 4.20

Заклёпки специального назначения

Тип	Наименование	Обозначение стандар- та	Условия под- хода
ЗПР	Заклепки трубчатые	3610А-3612А ОСТ 1 34032-77. ОСТ 1 34034-77	Двусто- ронний под- ход
ЗППР × 90°	Заклепки полупустотелые с потайной головкой × 90° под развальцовку	3590А-3595А ОСТ 1 34026-77 ОСТ 1 34031-77	То же
ЗППР	Заклепки полупустотелые с плоской головкой под раз- вальцовку	3570А-3575А ОСТ 1 34014-77. ОСТ 1 34019-77	«
ЗППР	Заклепки полупустотелые с полукруглой головкой под развальцовку	3580А-358А ОСТ 1 34020-77 ОСТ 1 34025-77	«
ЗППР	Заклепки полупустотелые с плосковыпуклой головкой под развальцовку	3600А-3504А	«
ПЗ × 120°	Заклепки пустотелые с по- тайной головкой × 120°	ОСТ 1 10645-72	«
ПЗ	Заклепки пустотелые с плоской головкой	ОСТ 1 10644-72	«
ЗПВСк	Заклепки с плоскоскруглен- ной головкой из титанового сплава для композиционных материалов	ОСТ 1 34008-86	«
ЗУк × 120°	Заклепки с потайной голов- кой × 120° из титанового сплава для композиционных материалов	ОСТ 1 34009-86	«
ЗППк × 120°	Заклепки полупустотелые с потайной головкой × 120° для композиционных матери- алов	ОСТ 1 34006-78. ОСТ 1 34007-78	«
ЗППк × 90°	Заклепки полупустотелые с потайной головкой × 90° для композиционных материа- лов	155Н1374...155Н1376	«
ЗППк	Заклепки полупустотелые с плоской головкой для композиционных материа- лов	155Н1368..155Н1370	«
ВЗ	Заклепки винтовые с полу- круглой головкой	ОСТ 1 11346-73 ОСТ 1 11347-73	Односто- ронний под- ход
ВЗ	Заклепки винтовые с плос-	ОСТ 1 34111-86	То же

	коскругленной головкой	ОСТ 1 34112-86	
--	------------------------	----------------	--

Конструктивные особенности специальных заметок обеспечивают снижение усилия расклепывания. Для этой цели используются следующие конструктивные элементы:

³⁵₁₇ трубчатость;

³⁵₁₇ пустотелость;

³⁵₁₇ полупустотелость в виде углублений со стороны замыкающей головки.

4.6.1 Клёпка пустотелыми заклёпками

Пустотелые заклепки устанавливаются с помощью пневматических прессов с техническими характеристиками (таблица 4.21) /6/.

Для полупустотелых заклепок применяется развальцовка по ОСТ 1 80024-71 или прессовая клепка.

Таблица 4.21

Пневматические прессы для постановки пустотелых заклепок

Модель	Усилие на штоке, Н (кГс)	Наибольший диаметр заклепки, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
2ПП-6	4000 (400)	6	490x230x80	2.4
1ПП-4	2000 (200)	4	490x212x65	2.2

4.6.2 Клёпка составными заклёпками

К ним относятся заклепки с сердечником и высокого сопротивления срезу (таблица 4.22) /6/. Заклепка с сердечником состоит из двух частей: корпуса и сердечника. Корпус выполнен в виде пустотелой заклепки. Внутри корпуса вставлен сердечник, который представляет собой ступенчатый стержень, заканчивающийся захватной частью и замыкающей головкой. Со стороны замыкающей головки стержень имеет утолщение, а со стороны захватной части - кольцевую проточку, шейку, по которой сердечник разрывается в момент окончания клепки.

Таблица 4.22

Заклёпки составные

Тип	Наименование	Обозначение стандарта	Условия подхода
1	2	3	4
ЗВСС	Заклепки высокого сопротивления срезу с шестигранной головкой из коррозионно-стойкой стали	ОСТ 1 10809-72	Односторонний подход
	Заклепки высокого сопротивления срезу с шестигранной головкой из конструкционной стали	ОСТ 1 11200-73	«
	Заклепки высокого сопротивления срезу с шестигранной головкой из титанового сплава	ОСТ 1 11446-74	«
ЗВСС × 90°	Заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой из коррозионно-стойкой стали	ОСТ 1 10813-72	Односторонний подход
	Заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой × 90° из конструкционной стали	ОСТ 1 11204-73	То же

	Заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой $\times 90^\circ$ из титанового спла- ва	ОСТ1 11449-74	«
--	--	---------------	---

Таблица 4.22 Продолжение

1	2	3	4
ЗВВС × 120°	Заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой × 120° из коррозионно-стойкой стали	ОСТ 1 110815-72	«
	Заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой × 120° из конструкционной стали	ОСТ 1 11206-73	«
	Заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой × 120° из титанового сплава	ОСТ 1 11451-74	«
ЗС	Заклепки с плоскоскругленной головкой с сердечником из алюминиевого сплава	ОСТ 1 1129674	«
	Заклепки с плоскоскругленной головкой с сердечником из коррозионно-стойкой стали	ОСТ 1 10637-72	«
ЗС × 90°	Заклепки с потайной головкой × 90° с сердечником из алюминиевого сплава	ОСТ 1 11299-74	«
	Заклепки с потайной головкой × 90° с сердечником из коррозионно-стойкой стали	ОСТ 1 10640-72	«
ЗС × 120°	Заклепки с потайной головкой × 120° с сердечником из алюминиевого сплава	ОСТ 1 11301	«
	Заклепки с потайной головкой × 120° с сердечником из коррозионно-стойкой стали	ОСТ 1 10642-72	«
ЗЗС	Заклепки с потайной головкой × 120° с запирающимся сердечником из алюминиевого сплава	ОСТ 1 30025-78	«
ЗЗС	Заклепки с плоскоскругленной головкой с запирающимся сердечником из алюминиевого сплава	ОСТ 1 30021-77	Односторонний подход
ЗЗСш	Заклепки с потайной головкой × 90° с запирающимся сердечником с корпусом из алюминиевого сплава (замыкающая головка - шаровая)	ОСТ 1 30027-83	То же
ЗЗСш	Заклепки с плоскоскругленной головкой с запирающимся сердечником с корпусом из алюминиевого сплава (замыкающая головка — шаровая)	ОСТ 1 30027-83	«

Отверстия под заклепку выполняются теми же инструментами и оборудованием, что и отверстия под обычные, стержневые заклепки. Заклепки устанавливают при помощи специальных гидравлических переносных прессов (таблица 4.23).

Таблица 4.23

Технические характеристики прессов для клепки заклепок с сердечником

Модель	Усилие на штоке, Н	Наибольший диаметр заклепки, мм		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
		из алюминиевого сплава	из коррозионно-стойкой стали		
2СГ5	16000	5	—	240x175x43	1.25
1СПГ-5	7000	5	4	348x80x235	1.8

К прессам изготавливаются наконечники для заклепок с различной формой закладной головки. Сердечник заклепки устанавливают в наконечник пресса, а затем заклепку вставляют в отверстие в соединяемых деталях. Пресс со вставленной заклепкой плотно

прижимают к поверхности детали в таком положении, чтобы закладная головка заклепки плотно прилегала к детали по всей окружности.

Замыкающая головка заклепки образуется при включении пресса в работу. Под действием системы рычагов захват пресса перемещается и протягивает стержень заклепки через корпус, образуя при этом замыкающую головку, а при дальнейшем увеличении нагрузки происходит обрыв сердечника.

После обрыва сердечника часть его остается внутри пистона, а часть выступает над поверхностью замыкающей головки на 5...10 мм. Выступающую часть сердечника удаляют пневматическими кусачками (таблица 4.24).

Таблица 4.24

Пневмоинструмент для откусывания сердечников

Модель	Усилие на ножках, Н	Наибольший диаметр сердечника, мм		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
		из алюминиевого сплава	из титанового сплава или стали		
ПК-52	500	4	-	175x150x52	1.1
ПК-53	1000	-	4	215x152x58	2.6

После этого сердечник защищают фрезерованием пневматической фрезерной машиной типа ФМ-1 или любой другой в зависимости от обрабатываемого материала (таблица 4.25).

Таблица 4.25

Машины пневматические для зачистки горцев сердечников и головок заклёпок

Модель	Обрабатываемый материал	Мощность, Вт	Частота вращения шпинделя, с ⁻¹	Наибольший диаметр обрабатываемой зоны, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ФМ-1	Из алюминиевого сплава	180	300	13	215x152x58	1.7
ФМ-4	Из алюминиевого, титанового и коррозионно-стойкой стали	360	500	12.5	242x57x152	2.0
ЗМ-1	То же	360	234	18	268x114x209	2.8
ЗМ-2	«	360	500	18	146x239x187	2.2
ОМ-3	Из алюминиевого сплава	194	300	4	158x150x55	1.3
ОМ-4	То же	210	300	4	173x42x134	1.2

Глубина фрезерования регулируется по высоте на контрольных образцах так, чтобы выступание - размер закладной головки заклепки - соответствовал ТУ. На торцы сердечников и головки заклепок после зачистки наносят защитное покрытие.

Контроль качества соединения производится пооперационно в процессе выполнения соединения, контроль размеров и формы головок заклепок - после их установки. Операции образования отверстий и гнезд под заклепки контролируются методами и приборами, применяемыми при клепке обычными заклепками. После образования отверстия под заклепку и его контроля определяют толщину соединяемого пакета. Толщину пакета и длину (номер) заклепки определяют специальным шаблоном. После установки заклепки определяют размер утопания торца сердечника относительно торцов корпуса, определяемый специальным шаблоном.

Хорошее качество установки заклепки с сердечником характеризуется тем, что корпус плотно прилегает к стенкам отверстия и сердечник прочно удерживается в нем. Прочность установки сердечника в корпусе контролируют динамометром. Динамометр имеет пружину, сжатие которой тарировано на усилие P , определенное ТУ для каждого типа и фиксатора заклепок.

Величину усилия P , или диаметр заклепки, для которой установлено это усилие, наносят в виде маркировки на корпусе динамометра. При контроле если при перемещении щупа сердечник не сместился, то соединение выполнено доброкачественно.

4.7 Обеспечение и контроль качества заклёпочного шва

Требуемые размеры и допустимые отклонения параметров, характеризующих заклёпочный шов, устанавливаются в технических условиях, которые учитывают назначение самолета или вертолета /1/.

В процессе изготовления клепаных агрегатов контролируют качество внутренних поверхностей и размеры отверстий, форму и размеры гнезд для заклепок, форму и размеры закладных и замыкающих головок, а также плотность прилегания соединяемых деталей в готовом шве, герметичность соединения.

В зависимости от объекта сборки и месторасположения на нем заклёпочных швов контролировать их качество можно пооперационно (по каждой операции), по готовому шву и на готовом изделии.

На ответственных узлах и панелях качество некоторых заклёпочных швов не подвергается пооперационному контролю, а контролируется при приемке детали или узла в целом.

Наиболее распространенным методом контроля заклёпочного шва являются внешний визуальный осмотр и определение размеров основных параметров шва универсальным и специальным инструментом.

Заклёпочный шов характеризуется следующими показателями качества:

- ³⁵₁₇ геометрическими параметрами замыкающей головки заклепки (диаметр и высота);
- ³⁵₁₇ выступание (западание) потайной головки заклепки относительно поверхности листа;
- ³⁵₁₇ величина зазора между деталями пакета;
- ³⁵₁₇ выступание (западание) поверхности выходящей на аэродинамический контур;
- ³⁵₁₇ волнистость поверхности выходящей на аэродинамический контур.

Геометрические параметры замыкающей головки заклепки контролируют с помощью специальных калибров. Стабилизировать геометрические параметры замыкающей головки заклепки позволит введение в технологию сборки узла или агрегата процессов прессовой или автоматической клёпки.

Выступание Δh потайной головки заклепки относительно поверхности листа зависит от размеров и допусков на головку заклепки и гнездо под эту головку. На высоту головки h в соответствии с нормами и ГОСТами на заклепки дается допуск $\Delta H_{\substack{0,0 \\ 0,1}}^{0,0}$ мм. Величину допуска ΔH контролируют втулкой-калибром и скобой-калибром (рисунок 4.11, а). При зенковании гнезда глубина его контролируется стальной закаленной калибром-заклепкой и индикатором (рисунок 4.11, б, в). Индикатор предварительно регулируется на плоской поверхности (плите), стрелка при этом устанавливается на нуль. При контроле в прозенкованное отверстие вставляют калибр-заклепку, а на листовую деталь устанавливают индикаторное приспособление. По отклонению стрелки индикатора определяют выступание $\Delta_{\text{зн}}$ калибра-заклепки относительно поверхности листа. Согласно принятым допускам на выступание головок заклепок Δh по уравнению размерных цепей определяют допуск на глубину зенкования $\Delta H_{\substack{0,0 \\ 0,05}}^{0,0}$ мм. В пределах этого допуска и настраивают зенковальные насадки при пробном зенковании и контроле по калибр-заклепке /7/.

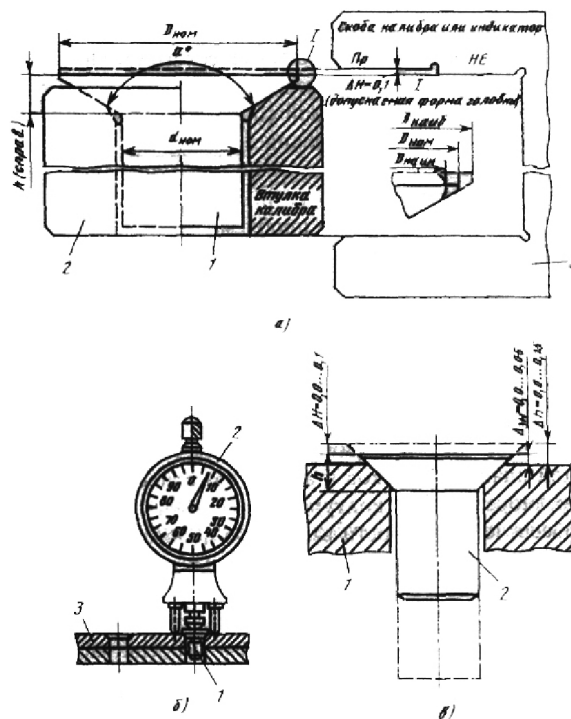


Рисунок 4.11 - Схема обеспечения требований на выступание головок заклепок по принципу полной взаимозаменяемости: а — контроль высоты головки потайной заклепки 1 втулкой-калибром 2 и скобой-калибром 3; б — измерение глубины гнезда калибром-заклепкой 1 и индикатором 2 в деталях 3; в — допуски в деталях на глубину зенкования Δz_i высоту головки ΔH и выступание головки над поверхностью детали Δh (1— деталь; 2 - калибр-заклепка)

Технологический процесс, обеспечивающий выполнение требований на выступание и западание потайных головок заклепок по принципу полной взаимозаменяемости головки заклепки и зенкованного гнезда, достаточно трудоемок и субъективен. Практика показала, что глубина зенкованного гнезда зависит даже от усилия, прилагаемого рабочим к дрели с зенковальной насадкой.

Более эффективен и стабилен технологический процесс клепки потайных заклепок с обеспечением требуемой точности выступания путем доработки замыкающего звена — головки заклепки. При этом гнездо зенкуют с глубиной, обеспечивающей гарантированное выступание головок заклепок после клепки, а затем механически обрабатывают (зачищают) головку заклепок до требуемой по ТУ высоты одним из способов, показанных на рис. 7.20.

Для зачистки головок заклепок используются специальные пневматические машины типа ФМ-1, ФМ-4, ЗМ-1, ЗМ-2. Существуют клепальные автоматы, для которых операция зачистки включена в автоматический цикл выполнения соединения (АКЗ-5,5-1,2; АК-16,0-3,0; НЗО-2АКД-16-2; У18-2АКД-16-2).

Однако при клепке с зачисткой потайных головок заклепок существует опасность недопустимого снижения прочности головки на отрыв в связи с большим выступанием головок заклепок до зачистки. При фрезеровании такой заклепки может быть недопустимо уменьшена высота головки h , причем после фрезерования этот размер невозможно проконтролировать. В таких случаях контроль качества заклепочного соединения рекомендуется новым способом — по диаметру D .

Одним из контролируемых параметров заклепочного шва являются местные выпуклости и западания поверхности проявляются в виде утяжек (провалов) δu в районе расположения заклепки или хлопунгов. В качестве дефекта различают также волнистость - более протяженные и плавные отклонения обводов от теоретического - определяется отношением величины утяжки к длине волны.

Причинами местных отклонений действительного обвода от теоретического являются:

- ³⁵₁₇ несоответствие контура каркаса, наличие зазоров между каркасом и обшивками перед клепкой или установкой болтов;
- ³⁵₁₇ недостаточная масса поддержки при обратном методе клепки; некачественная штамповка гнезд;
- ³⁵₁₇ несогласованность действий клепальщика и подручного; несоблюдение рекомендуемой последовательности сверления отверстий и установки средств временного крепежа.

Для устранения указанных отклонений внедрение прогрессивных технологических процессов в заготовительно-штамповочном производстве (применения оборудования с ЧПУ, внедрение новых методов штамповки, внедрение бесплазовых методов увязки технологического оснащения и т. д.), разработка более эффективных методик проектирования клепально-сборочных процессов, внедрение средств механизации и автоматизации (сведение к минимуму влияния человеческого фактора).

По указанным параметрам заклёпочный шов контролируется с помощью инструментальной линейки или шаблона контроля контура и набора щупов.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству клепаных соединений КМ, и учитывая специфику свойств КМ, необходимо производить контроль на выявление следующих дефектов:

- ³⁵₁₇ выкрашивание связующего и скалывание верхних слоев КМ при образовании отверстий и гнезд;
- ³⁵₁₇ врезание закладных и замыкающих головок в КМ;
- ³⁵₁₇ выпучивание обшивки в зоне замыкающих головок;
- ³⁵₁₇ наличие трещин и расслоений в КМ.

Остальные параметры проверяются в соответствии с требованиями, методами контроля, используемыми для клепаных металлических конструкций.

Обобщая вышесказанное - основными мероприятиями по повышению качества заклёпочных соединений являются дальнейшая механизация и автоматизация процессов клепки, создание и внедрение в производство приспособлений, обеспечивающих заданную геометрию шва, повышение квалификации работающих.

4.8 Болт-заклёпочные соединения

Важным фактором повышения работоспособности точечных соединений является наличие осевого натяга достаточной и стабильной величины /3/.

Возможность обеспечения этого фактора наилучшим образом реализуется в болт-заклёпочном соединении, где независимо от квалификации исполнения достигается усилие сжатия пакета в пределах 60...70 % от разрушающей нагрузки стержня. Осевой натяг в болт-заклёпочном соединении может быть обеспечен в сочетании с радиальным. Существует два основных типа болт-заклёпок: с технологическим хвостовиком и без технологического хвостовика.

Болт-заклёпка с технологическим хвостовиком (рисунок 4.12) состоит из двух деталей: стержня и кольца. Стержень имеет гладкую часть, равную толщине пакета, закладную головку, продольную часть с кольцевыми канавками, шейку и хвостовик, если это болт-заклёпка с технологическим хвостовиком. В настоящее время используются болт-заклёпки с достаточно широким диапазоном типоразмеров, выполненные из разных материалов (таблица 4.26)

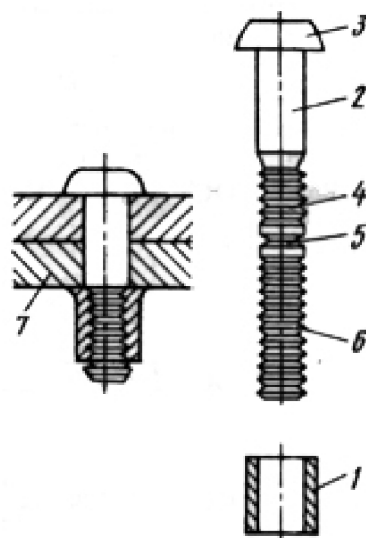


Рисунок 4.12 - Конструкция болт-заклёпки с технологическим хвостовиком:
1 - обжимное кольцо; 2 - гладкая часть; 3 — головка; 4 - профильная часть; 5 - шейка;
6 - технологический хвостовик; 7 - детали пакета

Таблица 4.26

Болт-заклёпка с технологическим хвостовиком

Стержень			Кольцо			
Обозначение стан- дарта	Материал	Форма закладной головки	высадное		точное	
			Обозначение стандарта	Мате- риал	Обозначение стандарта	Материал
1	2	3	4	5	6	7
ОСТ 1 11628-75	Д16П	Полукруглая	ОСТ 1 11637-75	Д18	ОСТ 1 11639-75	Д18
ОСТ 1 11631-75		Потайная ^х 90°	ОСТ 1 11965-74*		ОСТ 1 11964-74*	
ОСТ 1 11634-75		Плоско-вы- пуклая				
ОСТ 1 11627-75 ОСТ 1 11629-75	ЗОХГСА (16ХСН)	Полукруглая	ОСТ 1 11636-75 ОСТ 1 11649-75*	Сталь 15	ОСТ 1 11638-75 ОСТ 1 11652-76*	Сталь 15

Таблица 4.26 продолжение

1	2	3	4	5	6	7
ОСТ 1 11630-75 ОСТ 1 11632-75		Потайная × 90°	То же		То же	
ОСТ 1 11633-75 ОСТ 1 11635-75		Плоско-вы- пуклая	ОСТ 1 30005- 76	В65	ОСТ 1 11640-75	В65
ОСТ 1 12145-77		Плос- ко-скруглен- ная	ОСТ1 11650- 76*		ОСТ1 11654-76*	
ОСТ 1 12142-77		Потайная × 90°				
ОСТ 1 11382-74 ОСТ 1 11384-74	ВТ16	Плос- ко-скруглен- ная	ОСТ 1 30005- 76		ОСТ 1 11390-74	ВТ16
ОСТ 1 11386-74 ОСТ 1 11388-74		Потайная × 90°			ОСТ 1 11640-75 ОСТ 1 11653-76*	В65 ВТ10
ОСТ 1 30047-87		Плос- ко-скруглен- ная	ОСТ 1 30005- 76		ОСТ 1 11640-75	В65
ОСТ 1 30048-87		Потайная × 90°				
ОСТ 1 12337-78		Плос- ко-скруглен- ная				
ОСТ 1 12338-78		Потайная × 90°				
ОСТ 1 30041-82 ОСТ 1 30042-82	ВТ16	Уменьшен- ная плос- ко-скруглен- ная	ОСТ 1 30044-82	В65	ОСТ 1 30043-82	В65
		Уменьшен- ная потайная × 90°				
ОСТ 1 30037-79 ОСТ 1 30043-85		Плос- ко-скруглен- ная потайная × 120°	ОСТ 1 30039-82		ОСТ 1 30039-82	
ОСТ 1 11381-74 ОСТ 1 11383-74	ЗОХН11Н2 2	Плос- ко-скруглен- ная	-	-	ОСТ 1 11389-74	13Х11 Н2В2
ОСТ 1 11385-74 ОСТ 1 11387-74	В2МФ-Ш	Потайная × 90°				
ОСТ 1 11853-76 ОСТ 1 11854-76	ВТ16	Плос- ко-скруглен- ная потайная × 90°	ОСТ 1 30044-82	В65	ОСТ 1 30043-82	В65

Болт-заклепка без технологического хвостовика состоит из стержня и кольца. Стержни изготавливают из стали ЗОХГСА или титанового сплава ВТ16, они имеют плоскостругленную или потайную головку, гладкую и профильную части. Кольца изготавливают из стали 15 и В65 точением или высадкой, из титанового сплава ВТ16 - точением. Типоразмеры болт-заклепок без технологического хвостовика приведены в таблице 4.27.

Замыкающая головка образуется путем обжатия кольца специальной для каждого материала фильерой установки. Основным отличием болт-заклепки без технологического хвостовика является необходимость доступа с двух сторон. В качестве инструмента для

оборудования замыкающих головок применяются ручные и стационарные клепальные прессы, обеспечивающие поддержку закладной головки стержня, обжатия кольца и съем фильеры (в том числе и прессы, применяемые для стержневых заклепок).

Таблица 4.27

**Болт-заклёпки без технологического хвостовика
(с двусторонним подходом для инструмента)**

Наименование стандарта			Диаметр болт-заклепки, мм	Посадка	Материал	Обозначение стандарта
Стержень болт-заклепки	С плоскокруглой головкой		5, 6, 8, 10	Специальная переходная	ЗОХГСА	ОСТ 1 30006-77
			4, 5, 6, 8, 10	10	ВТ16	ОСТ 1 30007-77
	С потайной головкой	x 90°	5, 6, 8, 10	Специальная переходная	ЗОХГСА	ОСТ 1 30010-77
					ВТ16	ОСТ 1 30011-77
		x 120°	4, 5, 6, 8, 10	10	ЗОХГСА	ОСТ 1 30012-77
					ВТ16	ОСТ 1 30013-77
			5,6	Специальная переходная	ЗОХГСА	ОСТ 1 30014-77
					ВТ16	ОСТ 30015-77
			4,5,6	10	ЗОХГСА	ОСТ 30016-77
					ВТ16	ОСТ 30017-77
Кольцо	Точеное		4, 5, 6, 8, 10	-	Сталь 15	ОСТ 11638-75
					В65	ОСТ 11640-75
					ВТ166	ОСТ 11390-74
	Высадное		5,6	-	Сталь 15	ОСТ 11636-75
			4, 5, 6, 8	-	В65	ОСТ 30005-76

Усилия, развиваемые прессами, должны соответствовать данным, приведенным в таблице 4.28.

Таблица 4.28

Требуемые усилия для клепки болт-заклёпок без технологического хвостовика

Материал кольца	Диаметр болт-заклепки, мм									
	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
	Усилия образования замыкающей головки болт-заклепки, $P \cdot 10^{-1} Н$					Усилия снятия фильеры $P_{\phi} \cdot 10^{-1} Н$				

Помимо обычных параметров при выполнении болт-заклепочного соединения специальными шаблонами контролируют диаметр обжатого кольца и цилиндрического пояса у основания замыкающей головки, а также его высоту и положение верхнего торца обжатого кольца относительно профильной части стержня.

Для постановки болт-заклепок предусмотрены инструменты, предназначенные для выполнения следующих операций:

- ³⁵₁₇ втягивания стержней болт-заклепок;
- ³⁵₁₇ образования замыкающей головки болт-заклепочных соединений;
- ³⁵₁₇ удаления дефектных болт-заклепок.

Шифровка инструмента: 1БГ-10 - первая модель (1) для болт-заклепок (Б), привод гидравлический (Г), диаметр 10 мм (10).

Основные технические параметры инструмента для постановки болт-заклепок приведены в таблице 4.29

Таблица 4.29

Инструмент для выполнения болт-заклёпочных соединений

Наименование	Модель	Усилие на штоке, <i>H</i>	Диаметр болт-заклепки, мм	Ход штока, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Пневматический пресс для постановки болт-заклепок в местах с ограниченным подходом	1БП-6У	10500	2.5...6.0	15	337x105x95	1.95
Гидравлический пресс для постановки болт-заклепок с укороченным хвостовиком	1БКГ-6	45000	4...6	20	200x60x200	1.9
Гидравлический пресс для втягивания облегченных болт-заклепок	1БНГ-6	10000	4...6	24	250x200x45	1.5
Гидравлический пресс с прямыми и угловыми обжимными головками для выполнения соединений и головкой для раскусывания колец дефектных болт-заклепок	2БГ-6	27000	3...6		260x210x68	2.0
Гидравлический пресс для постановки болт-заклепок в местах с ограниченным подходом	1БГ-6У	27000	3.5...6.0	20	220x115x68	2.8
Гидравлический пресс с прямыми и угловыми обжимными головками для постановки болт-заклепок	1БГ-8	4500	6...8	18	230x160x75	2.3
Гидравлический пресс с прямыми и угловыми для постановки болт-заклепок с укороченным хвостовиком	1БГ-10	70000	10.0	20	230x200x90	2.4
Гидравлический пресс для раскусывания колец дефектных болт-заклепок	1БРГ-10	20000	5...16	3	375x99x89	1.8
Гидравлический пресс для постановки болт-заклепок с укороченным хвостовиком	1БКГ-8	60000	8.0	20	230x200x90	2.4

4.9 Болтовые соединения

Болтовые соединения, несмотря на высокую трудоемкость исполнения и большую массу по сравнению с болт-заклепочными и другими точечными соединениями, широко используются в конструкции планера. Это обусловлено такими возможностями болтовых соединений, как обеспечение разъемности соединения (при необходимости); создание более высоконагруженных соединений (при использовании болтов с диаметрами свыше 8...10 мм); стягивание больших пакетов (свыше пяти диаметров); установка в труднодоступных местах конструкций; плотное стягивание жестких деталей с погрешностями формы по поверхностям сопряжения (упругая компенсация) /6/.

Существенное влияние на ресурс болтовых соединений оказывают следующие факторы:

- ³⁵₁₇ материал элементов конструкции и крепежа;
- ³⁵₁₇ геометрические параметры швов болтового соединения (расстояние от края листов и между болтами, число болтов в ряду и др.);
- ³⁵₁₇ режимы и способы образования и обработки отверстий под болты (скорость вращения, величина подачи и глубина резания при сверлении, развертывании или протягивании отверстий);
- ³⁵₁₇ характер посадки болтов в отверстия (с зазором, средним по величине или большим радиальным натягом);
- ³⁵₁₇ усилие затяжки болтов;
- ³⁵₁₇ интенсивность и условия эксплуатации, погодные и климатические условия.

Правильный учет всех факторов, выбор их оптимального соотношения позволяют получить высокоресурсные болтовые соединения.

При постановке в отверстия используется один из наиболее эффективных методов повышения ресурса болтовых соединений - метод создания упругопластического диаметра отверстия меньше диаметра болта.

В пакетах из алюминиевых сплавов применяются болты с натягом, не превышающим 0.3...1.2 %.

Ресурс соединений, в которых болты установлены с упругопластическим натягом, в 1.5...3.5 раза выше ресурса соединений с болтами, установленными с зазором.

Болтовые соединения с относительным упругопластическим натягом до 1.2 % применяются для диаметров болтов от 5 до 12 мм; толщины пакета не более пяти диаметров болтов; пакетов из алюминиевых сплавов (за исключением В93Т1, В95Т1); материала болтов ВТ16, ЗОХГСА; герметичных и негерметичных соединений; отверстий с полями допусков Н7 (А)...Н9 (А₃) (СТ СЭВ 144-75) и шероховатостью поверхности не выше $R_a = 1,25$ для Н7 (А) и $R_a = 2.5$ для Н9 (А₃). Натяг в соединении обеспечивается диаметром болта. Конструкция болтов для постановки с натягом имеет ряд следующих особенностей. Острые кромки или наплывы металла в зоне перехода не допускаются. Длина гладкой цилиндрической части болта должна соответствовать толщине собираемого пакета, заходная часть должна полностью выходить из пакета. Болты диаметром 5 мм с длиной гладкой части до 10 мм рекомендуется изготавливать с шестигранной головкой или со шлицем.

Болты, предназначенные для постановки методом затягивания ручными пневматическими или гидравлическими устройствами, должны иметь технологические хвостовики (рисунок 4.13). При этом диаметр d_2 меньше d на 2 мм, а d_3 определяется из условия прочности (усилие отрыва по d_3 должно быть больше усилия запрессовки на 10...15 %).

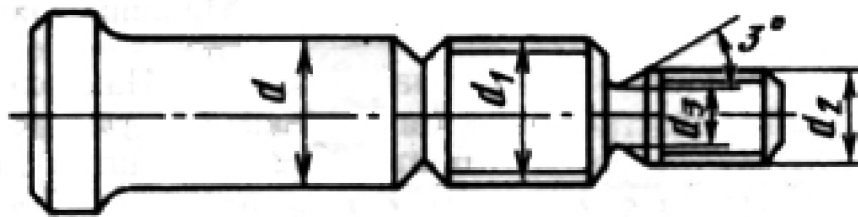


Рисунок 4.13 - Болт с технологическим хвостовиком

Заходная часть болтов, устанавливаемых любым из рекомендуемых методов, должна иметь плавный переход от цилиндрической части к конусной. Для обеспечения беззадирной постановки, уменьшения усилий запрессовки (в 1,5...2 раза) и увеличения выносливости соединений рекомендуется на болты равномерным слоем наносить антифрикционное покрытие ВАП-2. Толщина слоя покрытия после термообработки должна быть не более 5 мкм.

Предпочтительным методом постановки болтов является метод затягивания, обеспечивающий наилучшие условия беззадирной постановки болтов, устойчивое их центрирование в отверстии, сжатие пакета, стабильность и меньшее значение усилий запрессовки. Требуемые для затягивания усилия с натягом 1,2 % приведены в таблице 4.30

Таблица 4.30

Максимальные усилия затягивания болтов с $\Delta_{\text{нат}} = 1.2 \%$
(покрытие ВАП-2, смазка I — петролатум, смазка II - индустриальное масло)

Отношение толщины па- кета к диа- метру болта	Усилия затягивания (Н) при диаметре болта, мм									
	5		6		8		10		12	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	1400	1700	2200	2800	5300	7100	7800	9700	10100	12600
2	2400	3100	3500	4600	6300	8700	10300	13600	15000	18700
3	3500	4500	4900	6600	7200	10300	12700	17400	20100	24500
4	4700	6100	6200	8600	8400	11800	15200	21200	24800	30500
5	5900	7200	7700	10500	9400	13500	17600	25600	29700	36400

Затягивание болтов осуществляется ручными устройствами (таблица 4.31) или любыми устройствами, обеспечивающими качественное затягивание болта в пакет.

Таблица 4.31

Машины для затягивания болтов

Модель	Диаметры затягивания болтов, мм	Наибольшее усилие на штоке, кН	Наибольший ход штока, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МБЗ-1,5	5.6	14.7	34	140x42,5x190	1.5
МБЗ-4	12	39	54	207.5x60x207	2.5
МБЗ-7	18	68.6	90	265x75x227	3.8
МБЗ-2А	12	20.9	18	204x58x103	2.2
МБЗ-4А	14	40.6	35	220x72x129	4.0

В труднодоступных местах конструкции допускается затягивание болтов пневматическими гайковертами или слесарными ключами с применением технологической гайки и технологических шайб. Затягивание болтов с укороченными хвостовиками пневмогидравлическими устройствами рекомендуется производить в последовательности:

- ³⁵₁₇ нанести смазку на поверхности болта и отверстия в зависимости от требований герметичности;
- ³⁵₁₇ установить переходник на технологический хвостовик болта (длина навинчивания не менее диаметра болта);
- ³⁵₁₇ установить болт заходной частью в отверстие;
- ³⁵₁₇ захватить переходник пневмогидравлическим устройством;
- ³⁵₁₇ убедившись в отсутствии перекоса болта, затянуть болт в отверстие пакета (по окончании процесса затягивания болта технологический хвостовик при увеличении усилия затягивания обрывается);
- ³⁵₁₇ удалить технологический хвостовик из переходника;
- ³⁵₁₇ удалить салфеткой (ГОСТ 5355-69) остатки смазки, очистить резьбу под гайку, установить шайбу и гайку в соответствии с чертежом;
- ³⁵₁₇ произвести затяжку гаек в соответствии с чертежом.

В местах с ограниченным доступом затягивание болтов производится с помощью пневмогайковертов или слесарного гаечного ключа и технологической гайки в следующей последовательности:

- ³⁵₁₇ нанести смазку на поверхность болта и отверстия;
- ³⁵₁₇ установить болт заходной частью в отверстие;
- ³⁵₁₇ установить на хвостовик болта две технологические шайбы, нанеся на них смазку петролатум, и навинтить вручную технологическую гайку на хвостовик до упора шайб в пакет;
- ³⁵₁₇ установить на гайку ключ и произвести затягивание болта до выхода рабочей части резьбы из пакета;
- ³⁵₁₇ отвернуть технологическую гайку на расстояние, равное толщине быстросъемной технологической шайбы, и установить шайбу;
- ³⁵₁₇ навернуть технологическую гайку и произвести окончательное затягивание;
- ³⁵₁₇ удалить технологический хвостовик;
- ³⁵₁₇ установить шайбу и гайку и произвести обтяжку гаек в соответствии с чертежом;
- ³⁵₁₇ место обрыва хвостовика покрыть грунтом или герметиком в соответствии с инструкцией на изделие.

В случае неотрыва технологического хвостовика после окончательной постановки болта его удаляют с помощью инструмента. При этом на основную резьбовую часть болта должна быть навинчена гайка.

Затяжка болтов и гаек при выполнении болтовых соединений определяет степень осевого натяга стягивания пакета, и от качества ее выполнения зависит надежность соединения. Все болты из высокопрочных сталей, а также в пакетах деталей из композиционных и неметаллических материалов затягиваются тарированными ключами и устройствами.

4.10 Герметизация соединений

В конструкциях самолетов герметизировано большинство агрегатов и отсеков: воздушные кабины для пассажиров; воздушные кабины для экипажей; приборные отсеки с воздушной средой; специальные отсеки с газообразными рабочими средами; топливные отсеки крыльев и киля; топливные баки; топливные и водяные отсеки фюзеляжей; прочие специальные отсеки с жидкими рабочими средами /3/.

С повышением скоростей, высот и дальности полета самолетов требования к степени их герметичности, надежности и долговечности, или ресурса, сильно возросли. Так, некоторые агрегаты должны сохранять непроницаемость для рабочих сред в течение 30 лет.

В последние годы все чаще встречаются целиком герметизированные конструкции фюзеляжей, крыльев и даже всего планера, т. е. практически все клепаные и болтовые швы должны быть герметичными. Поэтому объем герметизации сильно возрастает и, как правило, сопровождается увеличением расхода герметиков. На отдельных изделиях масса герметиков достигает сотен и тысяч килограммов, а трудоемкость герметизации - несколько сотен и тысяч часов. Поэтому становится актуальной задача резкого снижения массы герметиков при одновременном обеспечении высокого и стабильного качества герметизации агрегатов с наименьшими затратами труда и средств в условиях серийного производства. Эта задача может быть решена путем автоматизации и механизации процессов приготовления, нанесения герметиков и контроля герметичности агрегатов (при этом исключается влияние квалификации исполнителей на результаты работы), а также с помощью применения новых прогрессивных материалов, например анаэробных смол, герметизации и контровки резьбовых соединений.

4.10.1 Методы герметизации соединений

В самолетостроении сейчас существуют разнообразные конструктивные способы и технологические процессы герметизации. Наиболее прогрессивным, позволяющим без увеличения массы обеспечить высокое качество и надежность герметизации с одновременным снижением трудоемкости в 4...6 раз, является способ введения герметика в каналы между окончательно собранными деталями соединений методом нагнетания. Для не проходных, например стрингерных, швов наибольший эффект можно получить за счет использования различных видов герметичного крепежа.

В зависимости от места расположения герметиков в соединениях различают три основных метода герметизации: поверхностный (поверхностная герметизация), внутришовный (внутришовная герметизация) и комбинированный (комбинированная герметизация).

При поверхностном методе герметизирующие материалы находятся на поверхностях соединений, узлов и агрегатов - со стороны воздействия изолируемой среды, с противоположной стороны (обычно в случаях ремонта) и с обеих сторон одновременно. При внутришовном методе герметизирующие материалы наносятся между деталями соединения или узла. Комбинированный метод предусматривает использование двух указанных методов одновременно.

4.10.2 Поверхностный метод герметизации соединений

Поверхностный метод соединений рекомендуется применять в тех случаях, когда избыточное давление или рабочая среда действует только с одной стороны соединения. Чаще всего герметизирующие материалы наносятся на поверхность соединений со стороны действия избыточного давления или рабочей изолируемой среды.

Герметизация соединений, узлов и агрегатов поверхностным методом осуществляется после окончания их сборки и поэтому в большинстве случаев не требует повышенной точности сборки. Герметизирующие материалы на поверхности соединений рекомендуется наносить только в зоне швов. Способ покрытия сплошным слоем всей внутренней поверхности отсека может быть применен только для многодетальных недостаточно жестких клепаных конструкций топливных отсеков из-за отсутствия доступа внутрь.

Существуют следующие основные способы герметизации соединений, узлов и агрегатов поверхностным методом:

- ³⁵₁₇ нанесение на кромки деталей, узлов и агрегатов предварительно приготовленных пастообразных самовулканизирующихся в резиноподобное состояние герметизирующих материалов с помощью шприцев и шпателей в виде валиков различных сечений;
- ³⁵₁₇ нагнетание пастообразных герметиков под съемную технологическую оснастку (например, бандаж) по местам стыков деталей;
- ³⁵₁₇ нанесение на кромки деталей соединений пастообразных однокомпонентных самовулканизирующихся в резиноподобное состояние герметиков из тюбиков;
- ³⁵₁₇ заполнение установленных на гайки и головки болтов колпачков пастообразными самовулканизирующимися герметиками;
- ³⁵₁₇ заполнение жидкими или пастообразными герметизирующими материалами открытых пазов различного профиля у кромок соединений;
- ³⁵₁₇ заполнение узлов, отсеков и целых агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхности детали пленки примененного для герметизации материала;
- ³⁵₁₇ местное заполнение узлов, отсеков и агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхности деталей пленки примененного для герметизации материала;
- ³⁵₁₇ полив (например, с вращением) соединений, узлов, отсеков и агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхностях деталей пленки примененного для герметизации материала;
- ³⁵₁₇ местный полив (например, с вращением) соединений, узлов, отсеков и агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхности деталей пленки примененного для герметизации материала;
- ³⁵₁₇ напайка металлов на поверхности деталей и соединений в местах стыка и нахлестки деталей;
- ³⁵₁₇ приваривание металлических уплотнительных материалов к поверхностям соединенных деталей;
- ³⁵₁₇ нанесение на поверхности деталей, соединений, узлов и агрегатов жидких герметизирующих материалов или растворов с помощью распылителей;
- ³⁵₁₇ нанесение на поверхности соединений волокнистых материалов и смол с помощью специальных пневматических инструментов;
- ³⁵₁₇ частичное или полное окунание герметизируемых деталей, соединений, узлов и агрегатов в ванны с соответствующими герметизирующими материалами;
- ³⁵₁₇ приклеивание тканевых, металлических и прочих лент на поверхности соединений;
- ³⁵₁₇ закрывание поверхностей соединений специальными чехлами;
- ³⁵₁₇ напыление на поверхности соединений пенополиуретанов или других вспенивающихся материалов.

При каждом способе поверхностной герметизации применяемые герметизирующие материалы должны удовлетворять соответствующим зависящим от технологии их нанесения технологическим требованиям.

Нанесение герметизирующих материалов способами окунания, наполнения или полива приводит к наибольшему утяжелению конструкции и увеличению цикла герметизации по сравнению с другими способами.

Конструкция герметизируемых агрегатов при использовании этих способов должна обеспечивать возможность полного слива герметизирующих составов с учетом их максимальной вязкости. Например, диаметр отверстия для слива герметика УТ-32 должен быть не менее 15...20 мм.

4.10.3 Внутришовный метод герметизации соединений

Внутришовный метод герметизации соединений, узлов и агрегатов рекомендуется применять как при одностороннем, так и при двустороннем воздействии рабочих изолируемых сред.

При внутришовной герметизации к точности подгонки и сборки деталей, соединений, отсеков предъявляются повышенные требования. В большинстве случаев максимальные местные зазоры на длине 100...300 мм между соединяемыми деталями не должны превышать 0,2...0,5 мм.

Внутришовный метод герметизации требует предварительной сборки деталей, соединений, узлов и агрегатов, их разборки для подготовки поверхностей деталей, соединений, узлов и агрегатов, удаления заусенцев, нанесения паст или прокладывания пленок и лент с прокалыванием отверстий в них и повторной окончательной сборки.

Во избежание разборки соединений наиболее целесообразно герметизацию внутришовным методом выполнять путем заполнения пазов по кромкам окончательно собранных деталей или прокладыванием между соединяемыми деталями упругих клеевых лент или другого типа герметиков, позволяющих сверлить отверстия под заклепки и болты после окончательной сборки соединений.

Внутришовный метод герметизации нестыковых швов рекомендуется выполнять путем прокладывания уплотнительных резиновых колец под закладные головки болтов. Это снижает трудоемкость герметизации, так как устраняются операции разборки швов, обезжиривания деталей и нанесения на них герметиков. Трудоемкость герметизации нестыковых швов отсеков во многих случаях может быть снижена или устранена путем отказа от герметизации замыкающих головок заклепок при качественном их оформлении в процессе клепки.

В некоторых случаях внутришовная герметизация агрегатов повышает усталостную прочность и общий ресурс работы конструкции. Применение внутришовной герметизации с закладкой пастообразного герметика между деталями соединений в процессе сборочных работ вызывает увеличение трудоемкости сборки не менее чем в два раза.

Возможность проведения внутришовной герметизации отсеков после окончания сборки обеспечивает метод нагнетания, выгодно отличающийся от других методов герметизации (рисунок 4.14).

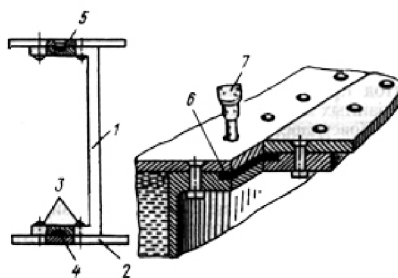


Рисунок 4.14 - Пазовая внутришовная герметизация:

1 - лонжерон; 2 - обшивка; 3 - герметические заклепки;

4, 6 - пазы с герметизирующим материалом; 5-винтовая заглушка;

7-инструмент для введения герметика

Метод внутришовной герметизации нагнетанием основан на таком конструктивном решении, при котором обеспечивается сеть непрерывных каналов (пазов), заполняемых герметизирующим материалом и располагаемых на стыках герметизируемых элементов конструкции. При этом герметик под давлением вводится в канал снаружи отсека через отверстия впрыска. Отверстия впрыска сверлятся в канале герметизации через внешнюю обшивку. После зашприцовки герметика в канал отверстие закрывается винтом с потайной головкой.

В соединениях, герметизируемых нагнетанием герметика в пазы после сборки, зазоры не должны превышать 0,05 мм. Такая точность может быть обеспечена при механической обработке сопрягаемых поверхностей. Если зашприцовку проводить после нанесения поверхностной герметизации, то местные зазоры допускаются до 0,3 мм.

Нагнетание герметика в шов может производиться через отверстия под болты и заклепки, а также через специальные технологические отверстия с диаметром, не превышающим ширину паза. Ширина паза может быть равной 5... 15 мм, глубина - 0,5...1,5 мм. Например, при диаметре болтов, равном 8 мм, канавка, расположенная по линии их установки, может иметь размеры 14x15 мм.

Отверстия для нагнетания герметика следует располагать на равном расстоянии друг от друга с наружной стороны агрегата. Расстояние между этими отверстиями должно составлять 250...500 мм. После нагнетания герметика отверстие должно быть закрыто заглушкой (когда паз располагается не по силовым точкам) либо в него может быть поставлен болт или заклепка.

Преимущества этого метода:

- ³⁵₁₇ обеспечение требуемой толщины и количества герметика в шве, что гарантирует высокую надежность герметизации;
- ³⁵₁₇ возможность герметизации собранных агрегатов;
- ³⁵₁₇ возможность ремонта подшприцовкой новой порции герметика в случае использования невулканизующихся замазок;
- ³⁵₁₇ улучшение условий труда.

Недостатки метода:

- ³⁵₁₇ необходимость обеспечения высокой точности подгонки деталей, соединений конструкции, что значительно повышает трудоемкость сборки;
- ³⁵₁₇ затрудненность ремонта изделия при его разгерметизации в случаях использования вулканизующихся герметиков и отсутствия люков.

Наиболее распространены следующие способы герметизации соединений, узлов и агрегатов внутришовным методом:

- ³⁵₁₇ нагнетание самовулканизующихся герметизирующих составов по зазорам или специальным каналам между соединенными деталями, узлами и агрегатами;
- ³⁵₁₇ прокладывание между соединяемыми конструкционными деталями и узлами упругих клеевых лент и пленок, прокладок и других деталей, а также других материалов перед окончательной сборкой соединений узлов и агрегатов;
- ³⁵₁₇ предварительное нанесение герметизирующих материалов на сопрягаемые поверхности соединяемых деталей, узлов и агрегатов и деталей крепежа;
- ³⁵₁₇ нанесение липких, пастообразных и других материалов на сопрягаемые поверхности деталей, узлов и агрегатов и деталей крепежа перед окончательной сборкой соединений, узлов и агрегатов;
- ³⁵₁₇ склеивание деталей и узлов;
- ³⁵₁₇ пайка деталей и узлов и др.;
- ³⁵₁₇ заполнение канавок и специальных объемов самовспенивающимися композициями;
- ³⁵₁₇ заполнение зазоров в резьбовых соединениях анаэробными смолами;
- ³⁵₁₇ нагнетание по каналам между деталями соединений невулканизующихся замазок и паст;

4.10.4 Комбинированный метод герметизации соединений

Комбинированный метод герметизации соединений, узлов и агрегатов в большинстве случаев обеспечивает наибольшую надежность и стабильное качество герметичных отсеков и агрегатов.

Этот метод применяется в случаях воздействия разных рабочих сред с двух сторон соединения или когда давления рабочих сред или одной среды с двух сторон неодинаковы либо попеременно изменяются. Влияние квалификации исполнителей при этом методе сказывается меньше. Однако по сравнению с предыдущими он более трудоемок и отличается увеличением массы конструкций за счет герметизации /1/.

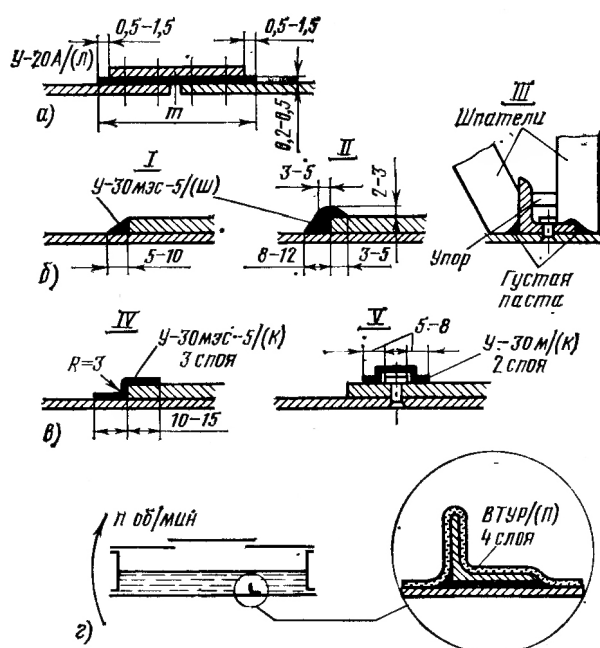


Рисунок 4.15 - Зона герметизации швов и способы нанесения герметика:
а — укладка ленты; б — нанесение пасты шпателем; в — нанесение герметика кистью;
г — нанесение герметика поливом; I — обычный жгут; II — жгут с напылом;
III — форма шпателей для нанесения жгутов; IV — местная герметизация стыка; V — местная герметизация заклепки (болта)

4.10.5 Работоспособность герметичных соединений, контроль герметичности

В каждом герметичном агрегате всегда имеются участки, являющиеся наименее надежными в отношении герметичности. К ним относятся, во-первых, разъемные и подвижные соединения деталей и узлов и, во-вторых, силовые неразъемные соединения деталей и узлов (кроме обычных стрингерных и шпангоутных швов) в отсеках и агрегатах. Работоспособность, а следовательно, и надежность герметичного соединения определяются следующими основными факторами /1/:

- ³⁵₁₇ типом примененного герметизирующего материала, в частности его физико-химическими и механическими (включая адгезионные) свойствами;
- ³⁵₁₇ характером и величиной нагрузок, действующих на соединение;
- ³⁵₁₇ сроком службы изделия;
- ³⁵₁₇ температурным режимом работы соединения (возможными взаимными перемещениями деталей);

³⁵₁₇ рабочей средой (топливо, воздух, инертные газы), в которой должен работать герметик.

В наиболее тяжелых условиях, как правило, работают стыковые заклепочные соединения деталей и ответственные узлы герметичных конструкций, требующие применения более сложных методов и схем герметизации.

Увеличение веса соединений после герметизации, выполняемой поверхностным, внутришовным и комбинированным методами, может составлять от 10 до 250 г/пог. м.

Трудоемкость различных вариантов герметизации соединений поверхностным методом может колебаться в пределах 200 %, а комбинированным и внутришовным – в пределах 500 %. За счет применения технологических герметичных соединений можно в несколько раз сократить трудоемкость процессов герметизации, составляющую от

3 до 25 % трудоемкости их сборки, и исключить привес конструкций за счет их герметизации.

Контроль качества герметизации заклепочных соединений осуществляется следующими методами:

³⁵₁₇ созданием вакуума на испытываемом участке шва;

³⁵₁₇ нагнетанием в контролируемое изделие сжатого воздуха в смеси с другими газами (например, аммиаком, фреоном и т. д.);

³⁵₁₇ нагнетанием сжатого воздуха внутрь изделия;

³⁵₁₇ заливкой топлива (керосина) при испытании на герметичность топливных отсеков.

Степень герметизации отдельных участков заклепочного шва герметической кабины контролируют методом вакуума и избыточным давлением. При создании вакуума под прозрачным колпаком по вздутию мыльных пузырей определяют место утечки воздуха.

Контроль степени герметизации кабины сжатым воздухом заключается в определении времени, в течение которого давление в кабине в результате утечки из нее воздуха падает от p_k начального до $p_{кон}$ конечного.

Допустимый перепад давлений в кабине за определенный промежуток времени при ее испытании $\Delta p = p_k - p_{кон}$ зависит от назначения кабины и условий ее эксплуатации. Так, для герметических кабин самолетов перепад давлений $\Delta p = 0,04 \dots 0,07$ МПа при $p_u = 0,15 \dots 0,18$ МПа и $p_{кон} = 0,11$ МПа, время снижения давления от p_u до $p_{кон}$ равно 1 ч.

Испытание кабины методом давления позволяет определить общую степень ее герметизации, но не дает возможности установить места утечки воздуха. Для определения мест утечки воздуха пользуются методом вакуума или нагнетания сжатого воздуха, смешанного с аммиаком, в количестве 1 % объема кабины. В последнем случае на испытываемые швы накладывают бумагу, пропитанную 50 %-ным раствором азотнокислой ртути, которая в местах утечки из кабины смеси воздуха и аммиака покрывается темными пятнами.

Топливные отсеки чаще всего испытывают на герметичность заливкой в них керосина. Перед испытанием заклепочные швы топливного отсека снаружи покрывают раствором мела в воде и затем его просушивают. В испытываемом топливном отсеке керосин находится под давлением p_k , величина которого обусловлена техническими условиями. При испытании на меловой окраске топливного отсека в местах утечки образуются темные пятна.

Для контроля герметичности применяют различного вида течеискатели. Это позволяет более объективно оценить качество изделий и способствует механизации и автоматизации процесса контроля. На рисунке 4.16 приведена схема контроля герметичности с применением галоидного течеискателя типа ГТИ-2.

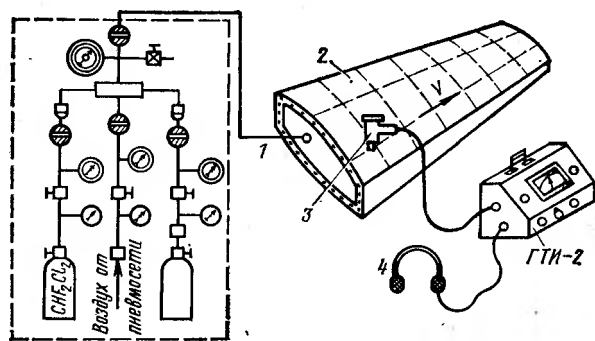


Рисунок 4.16 - Схема контроля герметичности галоидным методом с применением течеискателя ГТИ-2:
 1 — подвод смеси азота с фреоном; 2,— контролируемый отсек крыла; 3 — щуп течеискателя ГТИ-2;
 4 — телефон; v — скорость перемещения щупа течеискателя

Проверяемое на герметичность изделие заполняют смесью фреона с воздухом под избыточным давлением. Клепанные швы проверяют щупом, а по шкале прибора наблюдают за утечкой. Галоидный метод контроля герметичности обладает высокой чувствительностью.

В случае обнаружения утечек производят дополнительную герметизацию, устанавливая заклепки большего диаметра или нанося дополнительный слой герметика.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНТАЖ И УВЯЗКА СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

5.1 Назначение сборочных приспособлений и технические требования к ним

Большинство сборочных единиц конструкции самолета (вертолета) собирается в сборочных приспособлениях /1/.

Сборочное приспособление (рисунок 5.1) — устройство, конструкция которого обеспечивает правильное взаимное расположение, фиксацию и соединение сборочных единиц (деталей, узлов, агрегатов, отсеков) самолета с заданной точностью.

В таких приспособлениях положение собираемых элементов конструкции самолета фиксируется относительно главных базовых осей отсека или агрегата, его аэродинамического обвода (внешнего или внутреннего) или плоскости узла стыка (рисунок 5.2). После фиксации сборочных элементов в приспособлении они собираются в единое целое. Соединения могут быть разъемные, неразъемные, смешанные.

Непрерывное повышение требований к точности и взаимозаменяемости собираемых элементов конструкции самолета, к росту производительности труда обуславливает не только увеличение количества сборочных приспособлений в производстве, но и более высокие технические требования к ним.

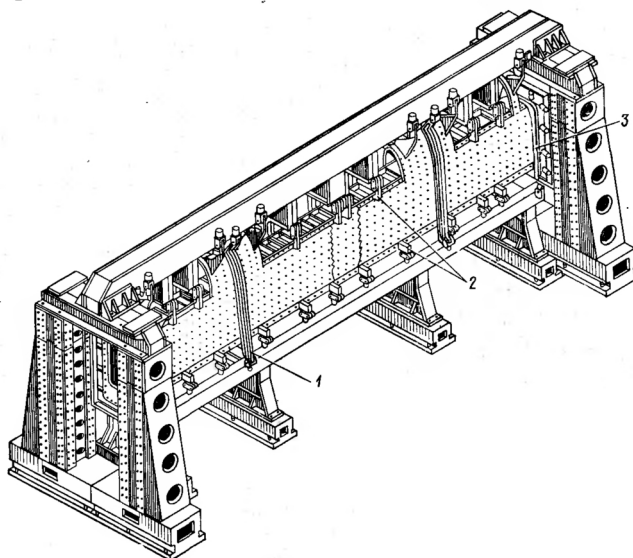


Рисунок 5.1 — приспособление для сборки кессона центроплана:
1 — рубильники, определяющие аэродинамический контур; 2 — фиксаторы, определяющие положение лонжеронов; 3 — ступенчатая плита

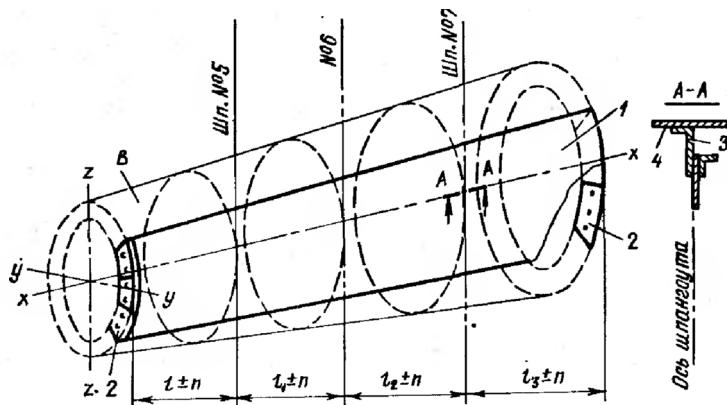


Рисунок 5.2 - Схема расположения собираемой панели отсека фюзеляжа:
X, Y, Z — базовые оси отсека; l_1 — расстояние от плоскости стыка до шпангоута; 1 — собираемая панель; 2 — плоскость узла стыка; 3 — шпангоут; 4 — обшивка панели

Основными из этих требований являются:

- ³⁵₁₇ обеспечение заданной техническими условиями точности сборки узла, панели, отсека или агрегата самолета, которая должна быть увязана со степенью точности сборочного приспособления;
- ³⁵₁₇ сохранение точности сборочного приспособления в течение всего периода эксплуатации между регламентными осмотрами и ремонтами;
- ³⁵₁₇ сохранение стабильного положения базовых точек, узлов и поверхностей, заданных техническими условиями на сборку узла, панели, отсека или агрегата, и надежность фиксации собираемых элементов в течение всего периода эксплуатации приспособления;
- ³⁵₁₇ постоянство заданных размеров независимо от колебаний температуры;
- ³⁵₁₇ использование в конструкции сборочного приспособления возможно большего количества стандартизированных элементов для удешевления приспособлений и сокращения сроков их проектирования и изготовления;
- ³⁵₁₇ рациональные размеры приспособлений в целях лучшего использования производственных площадей;
- ³⁵₁₇ обеспечение для выполнения сборочных работ наиболее свободных подходов к рабочим зонам, хорошего освещения, минимального времени на фиксацию и расфиксацию собираемого изделия, удобства использования инструмента и средств механизации труда, а также съема собранных элементов конструкции самолета;
- ³⁵₁₇ соблюдение правил техники безопасности.

Кроме основных, к сборочным приспособлениям предъявляются частные технологические требования, определяемые особенностями собираемых в них узлов, панелей, агрегатов и отсеков самолета. Такие требования указываются в технических условиях на проектирование отдельных приспособлений.

Потребность серийного производства в большом количестве сборочных приспособлений вызывает необходимость стандартизации их основных элементов и получения приспособлений различных назначений методом агрегатирования. Сложные и больших габаритных размеров сборочные приспособления, применяемые в производстве летательных аппаратов, состоят из большого количества разнообразных деталей и узлов. Анализ относительно применимости различных элементов сборочных приспособлений по трудоемкости их изготовления и металлоемкости показывает, что для изготовления корпусных деталей, т. е. основных несущих и поддерживающих элементов сборочных приспособлений, используется до 70 % металла, идущего на изготовление всей сборочной оснастки.

На основании анализа стандартизируются следующие элементы сборочных приспособлений: колонны, основания, плиты, балки, кронштейны и другие элементы каркасов сборочных приспособлений, стандартизация которых обеспечивает значительное сокращение общих затрат металла на изготовление сборочной оснастки: детали и узлы фиксаторов и зажимов, стандартизация которых значительно сокращает общую трудоемкость изготовления сборочной оснастки.

В результате рассмотрения конструкций сборочных приспособлений и собираемых в них изделий установлены следующие методические положения для стандартизации сборочной оснастки:

- ³⁵₁₇ наиболее целесообразное членение основных изделий и их агрегатов на отдельные технологические узлы, собираемые в приспособлениях; классификация узлов и агрегатов изделий и типизация технологических процессов их сборки;
- ³⁵₁₇ разработка стандартных рядов элементов каркасов приспособлений (блоков, колонн, оснований, плит, кронштейнов и др.), а также различного ряда фиксирующих и зажимных элементов приспособлений;
- ³⁵₁₇ разработка стандартов на все основные элементы сборочной оснастки;

³⁵₁₇ разработка типовых стандартизованных конструкций приспособлений для сборки всех основных узлов и агрегатов изделий в соответствии с разработанной классификацией.

При разработке стандартизованных элементов сборочных приспособлений им придается форма, наиболее удобная для обработки. Вертикальные элементы приспособлений выполняются в виде колонн, собранных из литых чугунных или железобетонных блоков. Продольные элементы каркасов приспособлений длиной до 2 м изготавливаются из чугунных литых балок, а большей длины — из балок, сваренных из стального проката.

В сборочной оснастке стандартизируются и основные элементы фиксации: фиксаторы (рисунок 5.3, а), прижимы (рисунок 5.3, б), установочные вилки и другие детали.

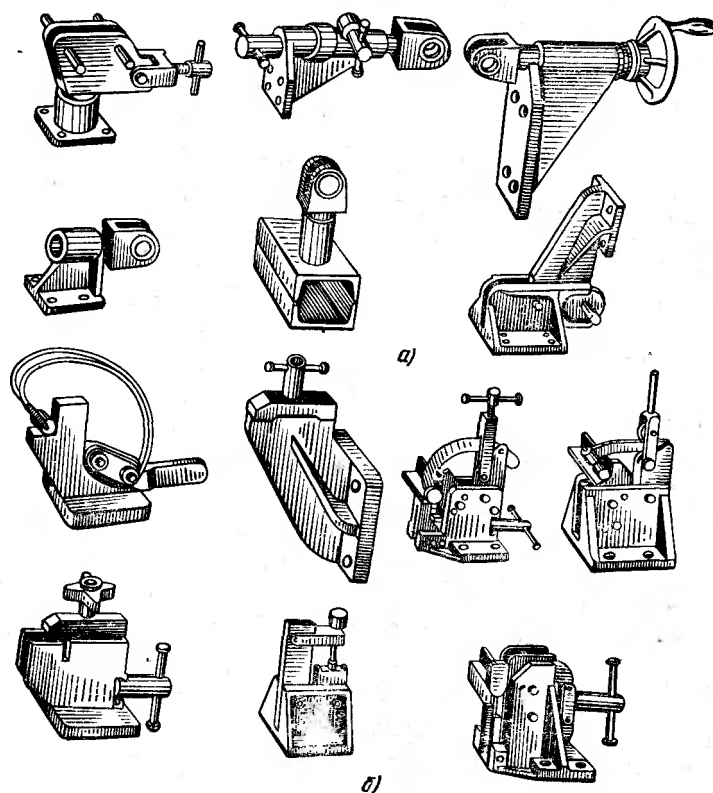


Рисунок 5.3 - Стандартизованные фиксаторы (а) и прижимы (б) сборочных приспособлений

На рисунке 5.4 показаны сборочные приспособления в комплекте и его стандартизованные элементы.

Для сборки крышек люков, небольших баков, а также ферменных конструкций применяются универсально-сборные приспособления (УСП). В качестве оснований этих приспособлений служат монтажные плиты с пазами. Все элементы приспособлений стандартизованы. Пример УСП для сборки ферменных конструкций показан на рисунке 5.5.

Для механизации процессов установки и фиксации деталей и узлов собираемых изделий разрабатываются и стандартизируются также механизированные быстродействующие пневматические и гидравлические прижимы и фиксаторы, применяемые в наиболее крупных приспособлениях-стапелях.

Стандартизация снижает трудоемкость проектирования приспособлений, а также создает условия для централизации и межзаводского кооперирования при их изготовлении. Кроме того, стандартизация открывает возможность заблаговременного изготовления стандартных деталей и узлов приспособлений. Компоновка сборочных приспособлений из стандартизованных узлов позволяет многократно применять одни и те же узлы в различных приспособлениях. При больших экономических преимуществах приспособления из стандартизованных элементов обладают высокой точностью.

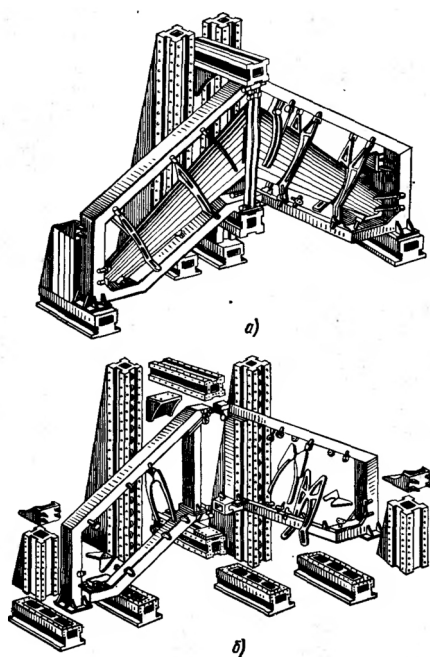


Рисунок 5.4 – приспособление для сборки стабилизатора (а) и его стандартные элементы (б)

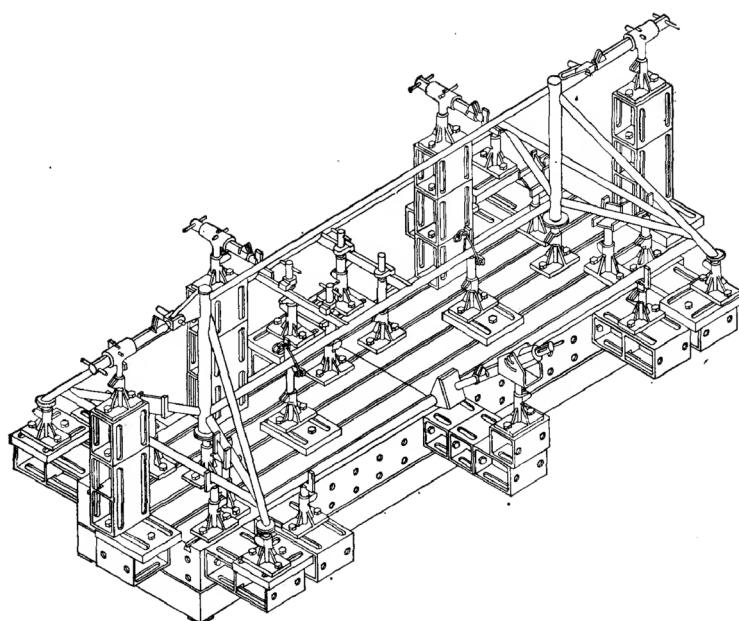


Рисунок 5.5 – универсально-сборное приспособление для сборки ферменных конструкций

5.2 Классификация и конструкция сборочных приспособлений

Сборочные приспособления принято классифицировать по двум основным признакам — *технологическому и конструктивному*.

К технологическим признакам относят вид сборочной единицы (узел, отсек, агрегат) и характер выполняемых операций (сборка, разделение отверстий, фрезерование плоскостей стыков, нивелирование, контроль).

С точки зрения универсальности конструкции все сборочные приспособления можно подразделить на *специальные и специализированные*.

Специальным называется сборочное приспособление для сборки одной какой-либо сборочной единицы, например, отсека фюзеляжа. Эти приспособления по конструкции могут быть неразборными и разборными. При смене в производстве типа самолета элементы разборного приспособления могут использоваться многократно.

Специализированным (групповым) называется сборочное приспособление для сборки каких-либо однотипных по конструктивно-технологическому признаку сборочных единиц, например, шпангоутов фюзеляжа. Эти приспособления обычно бывают полностью стандартизованы. Высокая точность сборки в таких приспособлениях достигается настройкой или наладкой входящих в них базирующих элементов.

Несущие (каркасные), установочные, фиксирующие и зажимные элементы (рисунок 5.6) являются основными, а все остальные — вспомогательными.

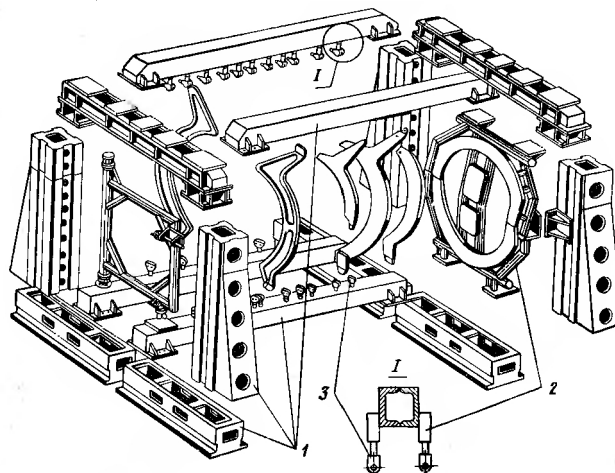


Рисунок 5.6 - Основные элементы конструкции приспособления для сборки отсека фюзеляжа:
1 — несущие (каркасные) элементы; 2 — установочные элементы; 3 — фиксирующие и зажимные элементы

Несущие элементы образуют каркас сборочного приспособления (рисунок 5.7), который связывает все элементы приспособления в единое целое.

От степени жесткости каркаса зависит точность и постоянство положения в нем всех узлов приспособления. Однако элементы каркасов приспособлений не имеют непосредственного контакта с деталями собираемых узлов или агрегатов, что делает их более независимыми по размерам, геометрическим формам, конструктивному исполнению и точности изготовления от конструктивных и технологических характеристик собираемых в приспособлении узлов, панелей и агрегатов самолета.

Каркас сборочного приспособления состоит из вертикальных элементов (колонны, стойки) и горизонтальных (балки, основания, фундаментные плиты и кронштейны).

Колонны являются основными несущими вертикальными элементами каркаса крупных сборочных приспособлений. В зависимости от нагрузки на приспособление и расположения его центра масс (или эксцентриситета) могут применяться различные стандартизованные конструкции колонн: чугунные пирамидальные и призматические, а также железобетонные призматические. Благодаря стандартизации можно получать колонны любой высоты путем соединения их секций по торцевым поверхностям.

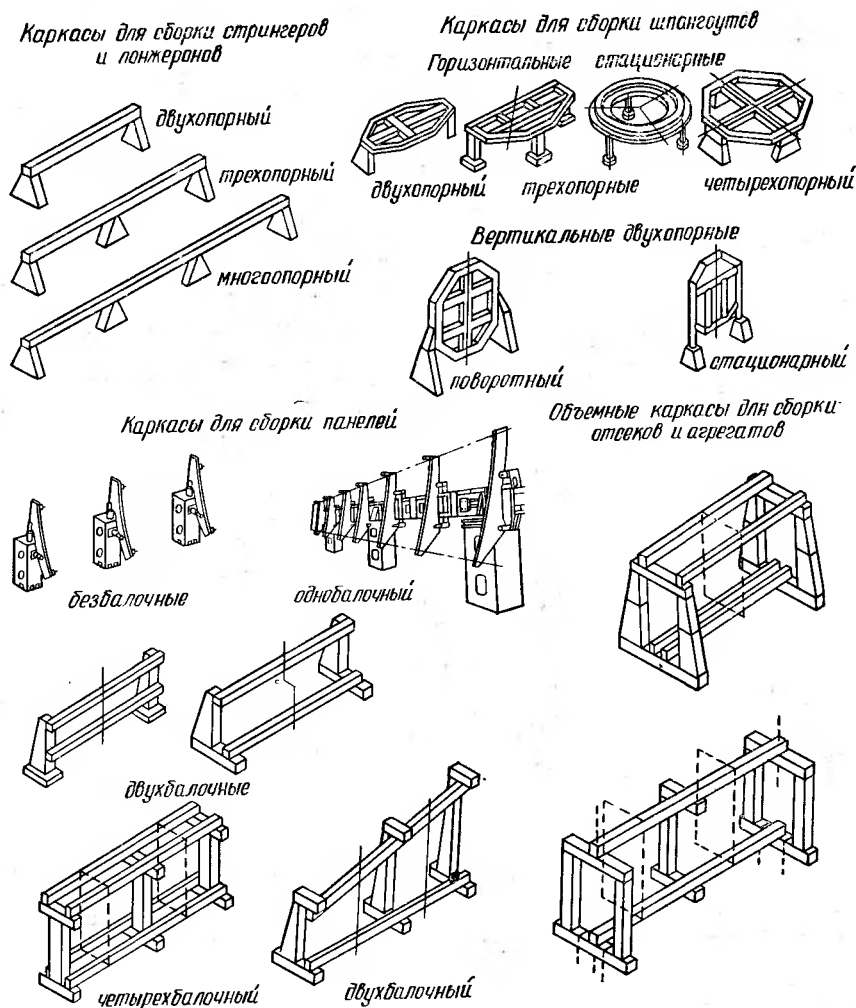


Рисунок 5.7 Типовые конструкции каркаса сборочного приспособления

Стойки — также типовые несущие вертикальные элементы каркасов для мелких сборочных приспособлений, в крупных же приспособлениях они служат опорами для балок. Стойки могут быть чугунными и железобетонными.

Балки в сборочных приспособлениях являются основными типовыми несущими горизонтальными элементами каркаса приспособления, работающими на изгиб и кручение. Размеры и сечения балок зависят от длины пролета, воспринимаемой нагрузки и количества опор и определяются на основании расчетов на жесткость. Балки воспринимают сложные переменные, а иногда и ударные нагрузки, поэтому они изготавливаются из стального проката. На балках монтируются установочные элементы приспособления.

В зависимости от формы и размеров собираемых узлов, панелей и агрегатов сборочные приспособления могут иметь одну или несколько балок, расположенных в приспособлении как горизонтально, так и под любым углом к горизонту.

Основания и фундаментные плиты в приспособлениях служат опорами для колонн каркаса и устанавливаются специальной на бетонную подушку или непосредственно на пол сборочного цеха.

Кронштейны связывают балки с колоннами и служат для установки и крепления на них других элементов сборочного приспособления.

Для сборки небольших узлов и панелей самолета применяются сборочные приспособления рамной конструкции (рисунок 5.6). Рамы приспособлений устанавливают на стойки, смонтированные на фундаментальные плиты. На некоторых приспособлениях рамы вращаются на подшипниках и снабжены стопорными устройствами для фиксации в необходимом положении.

Установочные элементы (рисунок 5.8) в сборочном приспособлении служат базами для установки фиксаторов плоскостей узлов стыка, рубильников и ложементов, определяющих аэродинамические обводы агрегатов, панелей и отсеков самолета. Поэтому посадочные места для этих элементов и монтаж последних в приспособлении относительно выбранных баз должны быть выполнены с определенной точностью.

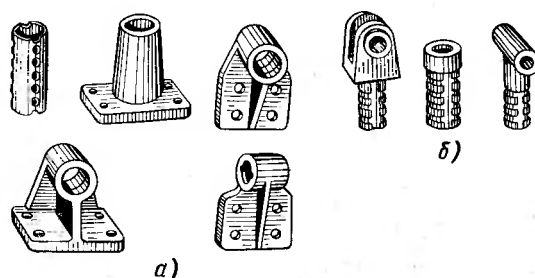


Рисунок 5.8 - Типовые конструкции установочных элементов сборочных приспособлений: а — кронштейны и стаканы для крепления фиксаторов; б — вилки и втулки фиксаторов

Фиксирующие и зажимные элементы (рисунок 5.9) сборочных приспособлений, непосредственно соприкасающиеся с точками, плоскостями и аэродинамическими обводами собираемых в приспособлении элементов узла, панели, отсека и агрегата, определяют и фиксируют их взаимное положение. Степень точности сборки изделий зависит от элементов, поэтому к жесткости и точности их монтажа предъявляются повышенные требования.

Для обеспечения требуемой точности монтажа в приспособлении фиксирующих и зажимных элементов разработаны технологические процессы монтажа с применением эталонов, макетов и специального точного оборудования — инструментальных стенов и плаз-кондукторов. Точность сборки самих сборочных приспособлений контролируется специальными оптическими приборами, позволяющими проверять линейные и угловые параметры, заданные чертежом.

К вспомогательной оснастке сборочных приспособлений относятся элементы обслуживания и хранения — рабочие площадки, помосты, лестницы, стремянки и стеллажи, а также элементы энергоснабжения — электропровода и воздушные трубопроводы, по которым подается энергия для инструментов.

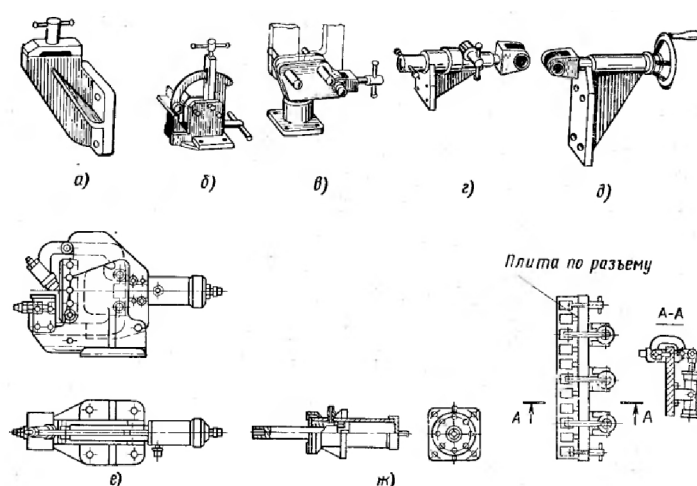


Рисунок 5.9 - Типовые конструкции фиксирующих и зажимных элементов сборочного приспособления: Рычажно-винтовые: а — фиксатор с винтовым зажимом; б — фиксатор с рычажно-винтовым зажимом; в — фиксатор с винтовым поджимом; г — выдвижной фиксатор с тангенциальным зажимом; д — выдвижной фиксатор. Пневмогидравлические: е — фиксатор с гидравлическим поджимом; ж) — выдвижной фиксатор; з) — прижимы для фиксации профилей разреза

Элементы обслуживания и хранения стандартизированы, что позволяет быстро их монтировать и демонтировать. Все элементы обслуживания и хранения должны обеспечивать удобство и безопасность сборочных работ и создавать условия для повышения производительности труда.

При стапельной сборке секций или агрегатов самолета неизбежно возникают поводки и искажения геометрии разъемов. Восстановление требуемой геометрии и обеспечение полной взаимозаменяемости достигается путем введения в конструкцию разъемов технологического компенсационного припуска и последующего его снятия путем механической обработки окончательно собранных секций или агрегатов в специальных агрегатно-разделочных стендах. В этих стендах производится фрезерование сопрягаемых поверхностей и расточка (разделка) стыковых отверстий.

Применение универсальных металлообрабатывающих станков для этих целей в большинстве случаев неприемлемо. Поэтому агрегатно-разделочные стенды, как правило, проектируются и изготавливаются на самолетостроительных заводах. Такие стенды оснащены универсальными сверлильными и фрезерными станками, кондукторами, копирами, измерительными приборами, поддерживающими и регулируемыми устройствами.

На рисунке 5.10 приведена схема агрегатно-разделочного стенда, в котором производится разделка стыковых отверстий и фрезерование плоскостей проушин крыльев самолета. Аналогичный стенд может быть применен для фрезерования фланцевого разъема и расточки отверстий хвостовой части фюзеляжа.

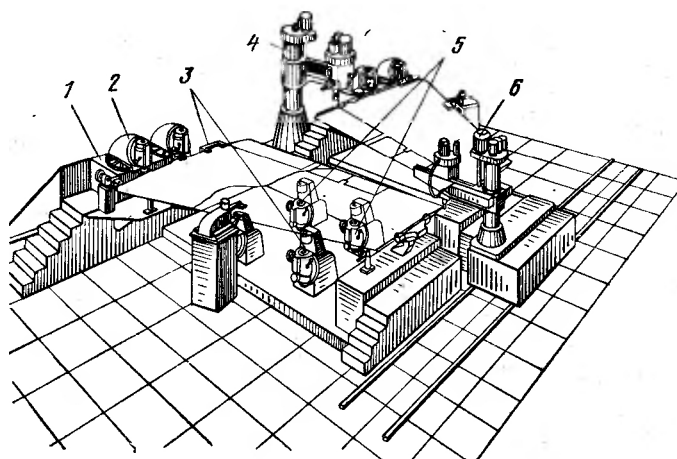


Рисунок 5.10 - Агрегатно-разделочный стенд крыла:

*1 — рама станка; 2 — поворотная головка для фрезерования плоскостей рам 7 и 9;
3 — кондукторы; 4 — радиально-сверлильный станок; 5 — сверлильные головки; 6 — радиально-сверлильный станок для разделки отверстий под балансировочную штангу*

5.3 Проектирование сборочных приспособлений

Факторами, определяющими конструкцию сборочного приспособления, являются основные конструктивные и технологические характеристики собираемого в приспособлении узла, панели, отсека или агрегата самолета.

К конструктивным характеристикам собираемых элементов относятся: геометрическая форма и габаритные размеры изделия, определяющие размеры и форму сборочного приспособления;

³⁵₁₇ вид главной базирующей поверхности изделия, т. е. поверхности, подлежащей фиксации в приспособлении и определяющей количество и форму фиксаторов обвода (рубильников и ложементов);

³⁵₁₇ виды и места плоскостей разъемов и узлов стыков изделий, определяющих количество, конструкцию и габаритные размеры плит и разъемов и рам жесткости;

³⁵₁₇ виды соединений изделий между собой, определяющие необходимый инструмент и оборудование.

К технологическим характеристикам собираемых элементов относятся:

³⁵₁₇ метод и средства достижения взаимозаменяемости заготовительной и сборочной оснастки (плазово-шаблонный или эталонно-шаблонный);

³⁵₁₇ метод и способ сборки (метод указывает, с чего начинается сборка: с обшивки или каркаса, а способ — как ведется сборка: по сборочным или базовым отверстиям);

³⁵₁₇ последовательность выполнения сборочных операций и их содержание.

Исходными материалами для проектирования сборочных приспособлений являются:

1) чертежи собираемого изделия и технические требования к его сборке;

2) карты технологического процесса сборки изделия, определяющие:

³⁵₁₇ номенклатуру и вид поставляемых на сборку элементов собираемого изделия;

³⁵₁₇ последовательность установки и фиксации в приспособлении собираемых элементов;

³⁵₁₇ количество и вид крепежных элементов;

³⁵₁₇ номенклатуру инструмента и оборудования, применяемого при сборке;

³⁵₁₇ средства, используемые для механизации процесса сборки (например, быстродействующие зажимные устройства, сварочные, клепальные и сверлильно-зенковальные головки и др.);

³⁵₁₇ трудоемкость и цикл операций и сборки узла в целом;

3) технические условия на проектирование приспособлений, где должны быть указаны:

³⁵₁₇ основные сборочные базы и фиксируемые элементы собираемого изделия;

³⁵₁₇ сопрягаемые элементы собираемого изделия;

³⁵₁₇ требуемая степень точности сборки, которую необходимо обеспечить в приспособлении;

³⁵₁₇ технические средства монтажа и контроля сборки;

³⁵₁₇ положение собираемого изделия в приспособлении;

³⁵₁₇ методы обеспечения взаимозаменяемости;

³⁵₁₇ чертеж общего вида приспособления с расположением элементов его каркаса;

³⁵₁₇ направление и средства выема готового элемента изделия из приспособления;

³⁵₁₇ номенклатура вспомогательной оснастки;

4) альбомы чертежей стандартных деталей и узлов и типовых компоновок стандартизованных приспособлений.

Проектирование приспособления начинается с детального изучения чертежей и технологического процесса сборки изделия в нем. В случае необходимости могут разрабатываться дополнительные требования к приспособлению. Особое внимание должно уде-

ляться разработке схемы процесса сборки, на основании которой составляются и рассчитываются размерные цепи для определения возможных погрешностей сборки.

Далее разрабатывается конструктивная схема приспособления. Для этого необходимо прежде всего выбрать базовые оси, относительно которых определяется положение основных элементов проектируемой конструкции. При выборе базовых осей целесообразно использовать одни и те же, базовые оси для сборки и увязки между собой положения различных элементов собираемого изделия, как это показано, например, на рисунке 5.11.

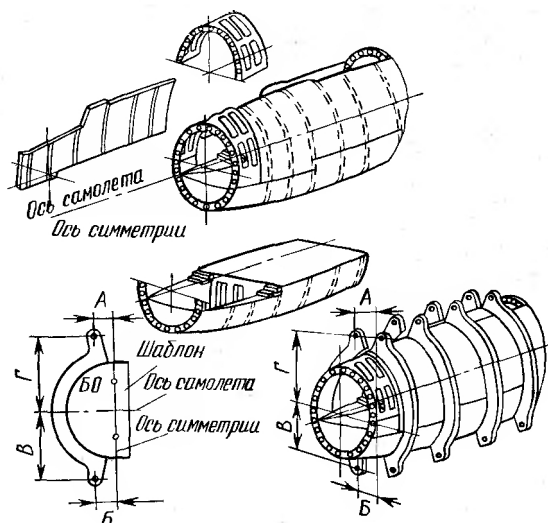


Рисунок 5.11 - Схема построения и увязки фиксирующих элементов сборочного приспособления с обводами переднего отсека фюзеляжа относительно главных базовых осей

При изготовлении сборочных приспособлений в инструментальном стенде и плаз-кондукторе необходимо, чтобы числовые значения размеров B и Γ были кратны 100, т. е. размеру шага расположения отверстий на координатных линейках инструментального стенда, а числовые значения размеров A и B — кратны 50, т. е. размеру шага отверстий на плаз-кондукторе. При выборе основных базовых осей нужно выбирать такие, которые упрощали бы конструктивную схему приспособления. Например, если за базовую ось принята передняя линия носков крыла, размеры, определяющие положение каждого фиксатора относительно оси балки приспособления, будут различными (рисунок 5.12, а). Если же за базовую ось принять ось лонжерона, то размеры, определяющие положение фиксаторов от оси-балки приспособления, будут одинаковыми, что повышает его прочность, упрощает изготовление и контроль за точностью изготовления приспособления (рисунок 5.12, б).

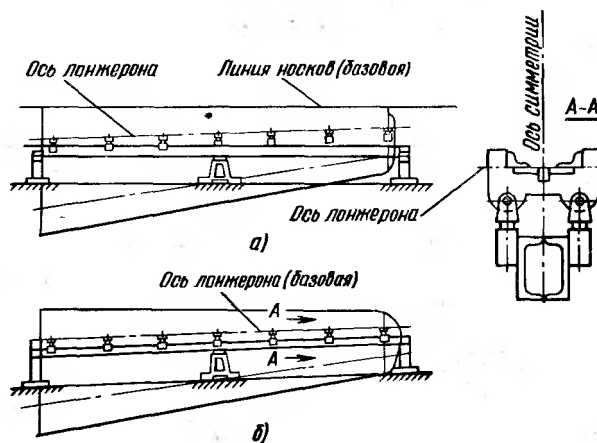


Рисунок 5.12 - Определение базовых осей приспособления для сборки носка крыла:

После выбора осей намечается последовательность установки в приспособлении элементов собираемого в нем изделия, способ изготовления элементов конструкции самого приспособления и их сборки.

Следующим этапом проектирования является выбор масштаба, в котором должно быть вычерчено приспособление, и выполнение самого чертежа. На чертеже условными линиями должны быть показаны контур собираемого изделия, базовые оси или точки фиксации. Затем выбираются типовые несущие, установочные и фиксирующие элементы приспособления и производится расчет на жесткость его несущих (каркасных) элементов. Разрабатываются общий вид сборочного приспособления, схема увязки его конструкции и составляются ведомости стандартизованных элементов приспособления. При необходимости проектируются специальные детали и узлы сборочного приспособления.

Повышение требований к точности воспроизведения при сборке обводов самолета вызывает необходимость применения в сборочных приспособлениях все более жестких несущих элементов. Это требование обязывает выполнять расчеты на жесткость несущих элементов и узлов приспособлений для выбора таких их сечений, при которых деформации и перемещения не будут превышать допустимых.

Методика расчета приспособления на жесткость базируется на общих законах строительной механики с учетом специфических условий работы приспособления. Каркасы сборочных приспособлений обычно рассматриваются как многократно статически неопределимые системы, поэтому при их конструировании следует пользоваться приближенным методом расчета. При расчетах каркас условно расчленяется на отдельные балки и колонны, причем многоопорные балки заменяются двухопорными. Расчетной вертикальной нагрузкой на балки является вес рубильников, фиксаторов и других элементов приспособлений, а также вес собираемого в нем изделия (узла, панели, агрегата). Для приспособлений, балки которых несут рубильники и фиксаторы одного и того же веса, вертикальную нагрузку считают равномерно распределенной по длине балки. Если вес рубильников и фиксаторов изменяется по длине балки, то вертикальную нагрузку принимают изменяющейся по форме трапеции или треугольника. Нагрузки, действующие на балки приспособлений, во многих случаях приложены к ним эксцентрично, и, следовательно, вызывают кручение.

Для сокращения сроков проектирования сборочных приспособлений расчеты на жесткость балок и колонн производят по специально разработанным графикам. Практика проектирования приспособлений свидетельствует, что деформации изгиба и кручения балок являются наибольшими слагающими суммарной деформации каркаса приспособления.

5.3 Прогрессивные конструктивные схемы сборочной оснастки

Специальное оснащение агрегатно-сборочных цехов чрезвычайно дорого, металлоемко и занимает большую площадь. Кроме того, весьма низок коэффициент загрузки приспособлений и стapeлей в условиях современного мелкосерийного производства. Повышение эффективности использования сборочной оснастки обеспечивается двумя основными направлениями /6/:

- ³⁵₁₇ использованием переналаживаемых приспособлений, позволяющих вести сборку двух и более типоразмеров узлов и панелей в одном приспособлении;
 - ³⁵₁₇ заменой раскрывающихся рубильников в стapeлях специальными прижимами или фиксаторами обвода, не изменяющими размеры оснастки в исходном и рабочем положениях.
- ³⁵₁₇ Указанные направления обеспечивают следующие технические решения.

5.3.1 Упрощенное сборно-разборное приспособление для сборки панелей

Приспособление (рисунок 5.13) состоит из блоков колонн 7, на которых установлены продольные балки 2. На балках закреплены стаканы 8 с вилками 7. В вилках установлены по дистанции шпангоутов кронштейны 3.

В кронштейнах и шпангоутах 5 просверлены координатно-фиксирующие отверстия. В процессе сборки шпангоуты устанавливают на кронштейны 3 и закрепляют технологическими болтами 4, вставляемыми в координатно-фиксирующие отверстия. В вырезы шпангоутов устанавливают стрингеры 10 и фиксируют их относительно обшивки 6 фиксаторами, вставленными в сборочные отверстия СО. Стрингеры и обшивку прижимают к обводам шпангоутов прижимной лентой 9. Для установки и натяжения ленты на балках установлены стаканы 13 и кронштейны 12. Натяжение ленты производится накручиванием гаек 11 на стяжные болты.

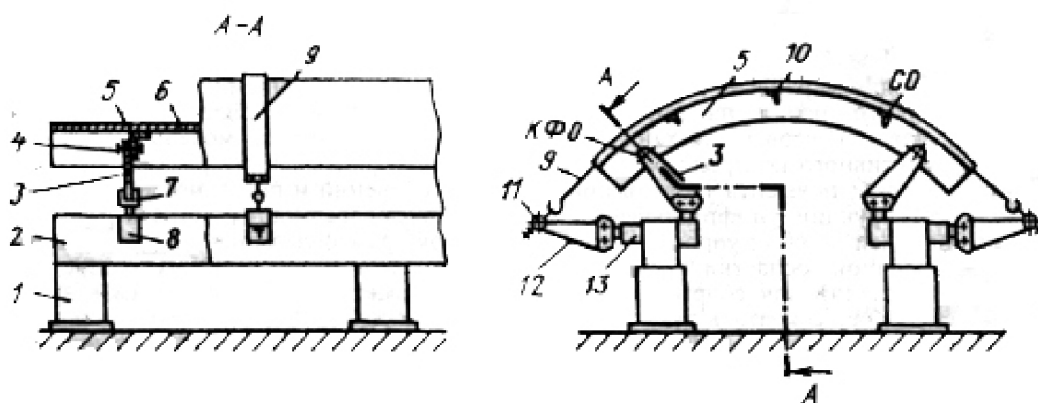


Рисунок 5.13 - Сборно-разборное приспособление для сборки панелей

Кроме повышения коэффициента загрузки за счет возможности сборки нескольких типоразмеров панелей характерным элементом этого приспособления является прижимная лента, заменяющая традиционные металлоемкие рубильники. Однако применение ленты в качестве прижима обшивок к каркасу или ложементу за счет ее натяжения эффективно лишь для контуров большой кривизны. С уменьшением кривизны для поддержания нужного усилия прижима по нормали к поверхности обшивки требуется увеличивать усилие натяжения, которое при определенных условиях становится недопустимым по условиям прочности ленты и жесткости кронштейнов.

5.3.2 Приспособление с упругим прижимом обшивок

Для панелей с малой кривизной контура возможно применение нового устройства для закрепления нежестких деталей типа обшивок (рисунок 5.14) /6/.

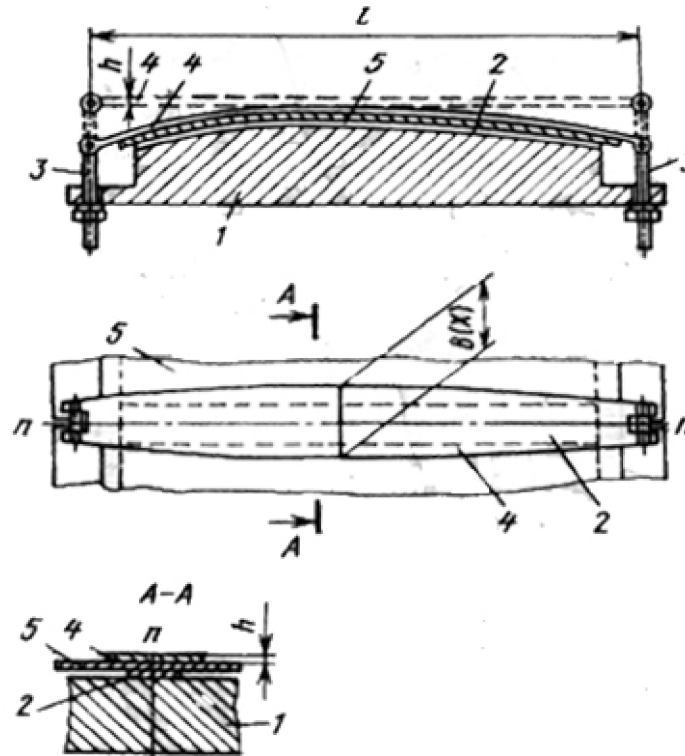


Рисунок 5.14 - Прижим обшивок с криволинейной поверхностью малой кривизны

Устройство содержит основание 1 с ложементом 2. На основании размещены зажимные элементы 3 упругого прижима 4 обшивки 5.

Поверхность ложемента 2 криволинейна и в сечении плоскостью описывается монотонной функцией $y = f(X)$ любого порядка. Прижим 4 выполнен в виде прямой пластины толщиной h с переменной шириной B , изменяющейся по закону

$$B(X) \uparrow \frac{C(XI \dot{} X^2)}{K(X)} \quad (5.1)$$

где C - коэффициент, определяющий удельную нагрузку P прижима детали 5 к опорной поверхности ложемента 2; I -длина прижима для малых прогибов; $K(X) = d^2 y/dx^2 = y''$ — вторая производная функции $y=f(X)$; для больших прогибов $KX = y''/[1 + (y')^2]^{3/2}$ для уравнения кривой $y=f(x)$ сечения опорной поверхности 2 плоскостью n , проходящей по продольной оси прижима 4.

Устройство работает следующим образом.

Нежесткая деталь 5 устанавливается между опорной поверхностью 2 и упругим прижимом 4 (исходная форма прижима 4 показана на рисунке 5.14 пунктиром). При создании усилия зажимными элементами 3 прижим 4, изгибаясь, прижимает деталь 5 к опорной поверхности 2.

5.3.3 Приспособление для групповой сборки узлов

Приспособление для групповой сборки узлов показано на рисунке 5.15 /6/. Приспособление содержит раму 7 с закрепленной на ней инструментальной плитой 2, на которой установлены бобышки 3 и 4, определяющие положение стенки нервюры 5 по высоте и с помощью штырей 6 - в других направлениях относительно инструментальной плиты 2. На плите расположены фиксаторы 7 обводных деталей 8. Фиксаторы выполнены в виде упругого стержня с поперечным сечением в виде круга и связаны с упорами 9. Упоры снабжены лимбовыми механизмами установки фиксаторов в заданном положении, содержащими ходовые винты 10, кронштейны 11 крепления к плите 2, штурвалы с лимбами 12 и нанесенными на лимбах шкалами 13. Кроме того, на фиксаторах 7 нанесены шкалы 14 определения положения деталей. На плите 2 имеются выступы 15 для прижима деталей, выполненного в виде эластичного жгута 16, а также натяжное устройство 17.

Сборка в приспособлении производится следующим образом. С помощью лимбовых механизмов перемещаются и фиксируются упоры 9. При этом используются числовые данные чертежа узла об обводе. Фиксатор 7, изгибаясь, образует базовую линию L_{δ} , приближенно соответствующую теоретической линии обвода в сечении узла. Степень точности приближения зависит от шага и расположения упоров 9. Шаг может быть рассчитан для каждого класса самолетов в зависимости от допустимой погрешности аэродинамических обводов. Затем в соответствии с полученной конфигурацией базовой линии бобышки 3 перемещаются по пазам в плите и с помощью зажимов 18 фиксируются на плите 2. По базовым отверстиям штырями 6 фиксируется стенка нервюры 5 на бобышках 3 и 4. По заданным чертежом криволинейным координатам (или путем пересчета с помощью ЭВМ прямолинейных координат на криволинейные) с помощью шкалы 14 устанавливаются обводные детали 8 и прижимаются к фиксаторам 7 и стенке 5 с помощью эластичного жгута 16. После этого соединяют детали 8 со стенкой 5 и вынимают собранный узел из приспособления. Для сборки узла с другими обводами переводят упоры 9 с фиксатором 7 в новое положение и повторяют весь цикл сборки.

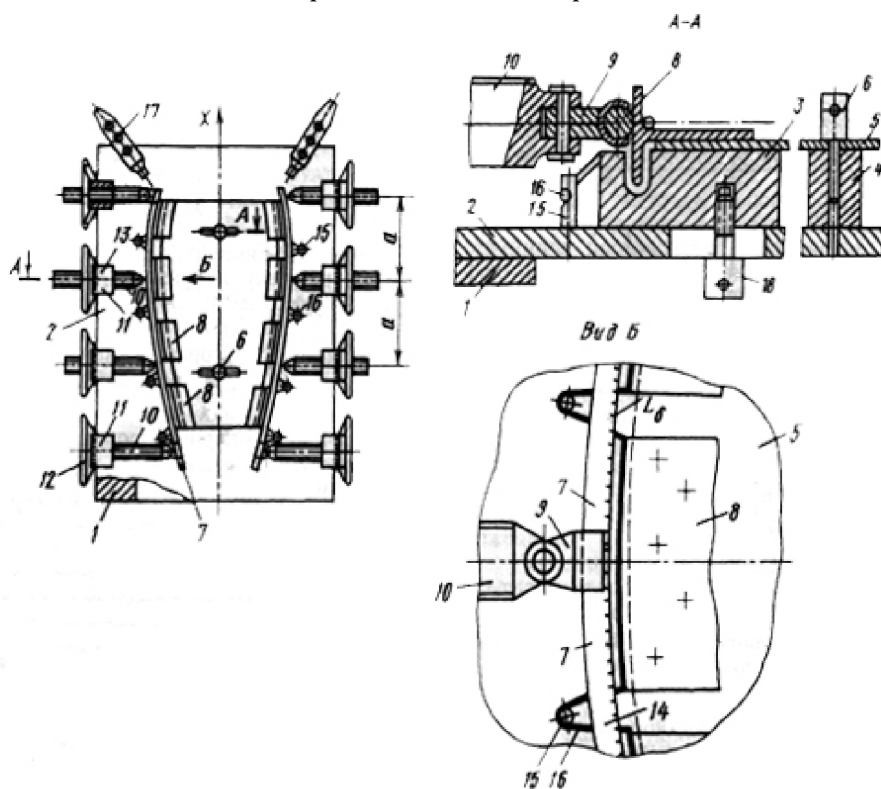


Рисунок 5.15 - Приспособление для групповой сборки узлов

5.3.4 Станция сборки агрегата с рабочими площадками на двух уровнях

Задачу уменьшения занимаемой производственной площадки и выполнения сборки на разных уровнях для агрегатов типа фюзеляж можно решить, используя другую конструкцию сборочного станка, показанную на рисунке 5.16 /6/.

Станок содержит каркас 7, в состав которого входит средняя горизонтальная балка 2, на которой на узлах 3 крепления установлены верхняя 4 и нижняя 5 части рубильника. Другие концы частей 4 и 5 рубильника крепятся узлом 6 к верхней балке 7 и узлом 8 к нижней балке 9. Части 4 и 5 рубильников установлены с возможностью поворота в узлах 3, 6 и 8 относительно общих осей 10 и 11 для обоих концов каждой части. На средней балке 2 на шарнире 12 установлены рабочие площадки 13. В рабочем положении рубильники фиксируются цилиндрическими штырями 14.

Для отведения рубильника из рабочего положения вынимают штыри 14 и относительно осей 10 и 11 поворачивают части рубильника 4 и 5 в положение, определенное на чертеже пунктирными линиями, где фиксируют теми же штырями 14 с противоположной стороны. При выемке агрегата на шарнире 12 откидывается рабочая площадка 13. Благодаря повороту частей 4 и 5 рубильников относительно общих осей 10 и 11 отпадает необходимость ограничения фиксирующих участков контура агрегата для каждой части рубильника по условиям положения узлов крепления, вплоть до совпадения граничных точек A, B, C и D рабочего контура соседних частей рубильника.

Навеска рубильников осуществляется с помощью цапф 15, жестко скрепленных с рубильниками болтами 16. Цапфы 15, узлы 3, 8 и 6 размещаются с общей осью 10, 11 вращения рубильников 4 и 5. Узлы 3, 8 и 6 крепятся к балкам 2, 7, 9 болтами 17. Для компенсации погрешностей при монтаже рубильников с базированием по контуру агрегата 18 между плоскостями узлов 3, 8, 6 и балками может использоваться компенсирующий заполнитель 19 типа ЗП или НИАТ-НЦ. Положение плоскости рубильников относительно осей 10, 11 с помощью соответствующей конфигурации цапф определяют из условия отсутствия врезания кромок рубильников в агрегат при их повороте.

Поворот рубильника может осуществляться вручную или приводом в зависимости от конкретных размеров и массы рубильника.

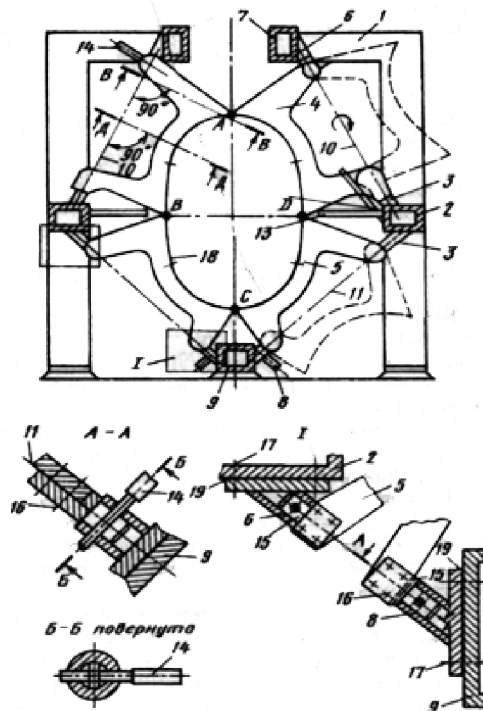


Рисунок 5.16 - Станция сборки агрегата с рабочими площадками на двух уровнях

5.4 Изготовление и монтаж сборочных приспособлений

Все элементы сборочных приспособлений изготавливаются по технологии, принятой в общем машиностроении. Исключение составляют фиксирующие и зажимные элементы (рубильники и ложементы), образующие рабочие поверхности обвода изделия /1/.

В связи с большой трудоемкостью и сложностью изготовления рабочих контуров металлических рубильников и ложементов, обусловленной точностью их окончательной подгонки по контуру собираемого изделия, в производстве широко применяют получение рабочего контура посредством слепка из карбинольно-цементной массы, снимаемого с макета поверхности изделия. Технология получения слепка следующая. На поверхность макета наносится слой технического вазелина, затем на него накладывается лента. Грубо обработанный рубильник выставляют на макете в заданном сечении с эквидистантным отношением к поверхности макета зазором в 8...10 мм. В пространство, образованное зазором, вводится тестообразная карбинольно-цементная масса, которая, затвердевая, прочно соединяется с шероховатой поверхностью рубильника и лентой. Время выдержки карбинольно-цементной массы — около 2 ч. Затвердевшая на поверхности рубильника масса точно воспроизводит контур обвода изделия.

В настоящее время широко применяются специальные технологические процессы монтажа сборочных приспособлений, обеспечивающие высокую точность установки его фиксирующих и зажимных элементов и устраняющие все операции подгонки и доработки деталей.

Сущность этих процессов заключается в том, что фиксирующие и зажимные элементы приспособлений монтируются не непосредственно на жестких элементах каркаса (например, балках), а на промежуточных (установочных) элементах их крепления (станках, втулках), в которых фиксирующие и зажимные элементы закрепляются при помощи специальной цементной массы. В состав цементной массы входят: глиноземистый цемент марки 500, строительный или формовочный гипс, хлористый литий и вода.

Необходимая точность установки фиксирующих и зажимных элементов достигается следующим образом. Сначала с большими допусками (± 2 мм) на балках устанавливаются и привариваются установочные элементы (стаканы), затем в них при помощи специального оборудования точно выставляются фиксирующие и зажимные элементы.

Для устранения погрешностей при монтаже фиксирующих и зажимных элементов между последними и стаканами предусматривается зазор. Заливаемый в зазор заполнитель (рис. 24.18) играет роль компенсатора между недостаточно точно выставляемыми с помощью инструментального стенда фиксирующими и зажимными элементами.

Во время заливки фиксирующие и зажимные элементы поддерживаются в заданном положении при помощи инструментальных стендов и плаз-кондукторов или эталонов и макетов собираемых изделий.

Особенностью цементной массы является то, что при затвердевании она не изменяет своего объема, сохраняя заданное положение фиксирующих и зажимных элементов. Технология заливки предусматривает, чтобы поверхности, соприкасающиеся с заполнителем, обезжиривались до заливки его в стаканы. Время выдержки заполнителя с момента заливки стержней фиксирующих и зажимных элементов до освобождения их от поддерживающих средств — 7...12 мин.

Полное затверждение заполнителя происходит через 2...3 суток. До истечения этого срока стержень фиксирующего или зажимного элемента не должен подвергаться ударам, толчкам или каким-либо нагрузкам. Монтаж в залитых элементах оснастки допускается не ранее чем через 2 суток с момента заливки. Через 3 суток после заливки заполнитель приобретает прочность на разрыв до 2,2 МПа, на сжатие — до 25 МПа.

Если необходимо удалить цементную массу и освободить фиксирующие или зажимные элементы, стакан подогревают газовой горелкой до 200...250 °С и затем простукивают молотком, при этом цементная масса выкрашивается.

Изготовление отдельных элементов и монтаж сборочной оснастки производятся при помощи:

- ³⁵₁₇ инструментального (монтажного) эталона;
- ³⁵₁₇ плаз-кондуктора и инструментального стенда;
- ³⁵₁₇ высокоточных оптических приборов и лазеров.

Изготовление оснастки с помощью инструментального (монтажного) эталона обеспечивает высокую точность оснастки, очень хорошую взаимную увязку оснастки и значительно упрощает периодические проверки и ремонт оснастки. Вместе с тем инструментальные эталоны агрегатов являются весьма сложным и дорогостоящим сооружением и могут быть использованы только на данном конкретном изделии.

Наиболее целесообразно изготавливать инструментальные эталоны агрегатов легких самолетов и наиболее насыщенных частей агрегатов тяжелых самолетов при серийном изготовлении самолетов. В остальных случаях целесообразней для монтажа сборочной оснастки применять плаз-кондукторы и инструментальные стенды. *Инструментальный (монтажный) эталон* является жестким пространственным носителем формы и размеров агрегата и его частей. Инструментальный эталон несет на себе все стыковые узлы и воспроизводит наружные обводы агрегата в местах конструктивных сечений.

Инструментальный эталон в большинстве случаев выполняется члененной конструкции и воспроизводит наиболее сложные детали и сборочные узлы, входящие в конструкцию агрегата.

Конструктивно эталон представляет собой жесткий каркас с реперными опорами для установки его в стапель или на монтажную плиту. На каркасе эталона устанавливают заполнители (ложементы) и монтируются стыковые узлы агрегата и его элементов.

Монтаж сборочной оснастки с применением инструментального эталона выполняют в следующей последовательности: собирают каркас сборочной оснастки из стандартных вертикальных чугунных блоков и продольных сварных балок. На каркасе выполняют реперные площадки, на которые устанавливается эталон. По эталону производится установка рубильников с крепежными элементами к продольным балкам. Затем производят установку фиксаторов стыковых и других узлов, упоры, кондукторы и другие элементы оснастки.

После снятия эталона производится установка прижимов, домкратов, сверлильных и фрезерных головок, гидроподъемников и других элементов механизации оснастки.

Для обеспечения требуемой точности монтажа в приспособлении фиксирующих и зажимных элементов применяются инструментальные стенды и плаз-кондукторы. *Инструментальный стенд* служит для точной установки в приспособлении фиксирующих и зажимных элементов и удержания их в заданном положении во время заливки заполнителя в компенсирующие зазоры между фиксирующими и установочными элементами. Необходимое положение фиксирующих элементов определяется в инструментальном стенде посредством координатных линеек. Пространственные сборочные приспособления могут быть смонтированы в них с точностью до 0,1 мм.

Инструментальные стенды, отличающиеся надежностью в эксплуатации, позволяют решить основные технологические задачи по обеспечению высокой точности монтажа и увязки сборочных приспособлений. Кроме того, применение инструментальных стендов сокращает трудоемкость монтажа приспособлений и общий цикл подготовки производства.

На рисунке 5.17 приведена конструктивная схема инструментального стенда. Основание 1 представляет собой литую чугунную станину с параллельными направляющими. По направляющим перемещается стол 2, на котором устанавливаются каркасы монтируемых приспособлений. По бокам станины установлены две литые чугунные стойки 3, свя-

занные сверху поперечной балкой 7. Стол может перемещаться электродвигателем со скоростью 2,5 м/мин или вручную.

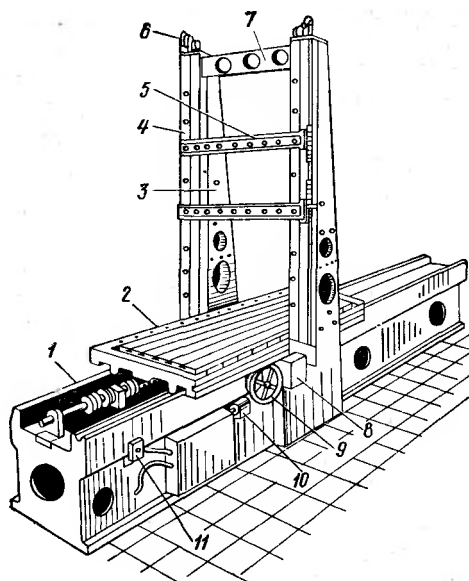


Рисунок 5.17 - Конструктивная схема инструментального стенда:

1 — станина; 2 — передвижной стол с продольной линейкой; 3 — стойка; 4 — вертикальная линейка, закрепленная на стойке; 5 — поперечная линейка; 6 — ролик троса противовеса для установки поперечной линейки; 7 — поперечная балка, связывающая стойки; 8, 10 — щитки управления; 9 — штурвал ручного передвижения стола; 11 — концевой выключатель

Система координатных линеек инструментального стенда состоит из двух продольных линеек, укрепленных на боковых плоскостях стола и передвигающихся вместе с ним, двух вертикальных линеек, смонтированных на стойках стенда и двух поперечных линеек 5, передвигающихся вдоль вертикальных линеек. Поперечные координатные линейки уравниваются противовесами, помещенными во внутренней полости стоек, и закрепляются на требуемой высоте болтами, скользящими в Т-образных пазах вертикальных линеек. Такие же пазы имеются и в других координатных линейках стенда. Вдоль всех координатных линеек с шагом $200 \pm 0,01$ мм расточены и занумерованы калиброванные отверстия, в которые установлены закаленные шлифованные втулки с внутренним диаметром 12 мм. При помощи этих отверстий можно установить линейки на любой размер, численное значение которого должно быть кратным 200.

Размеры между калиброванными отверстиями на координатных линейках в пределах 200 мм определяются при помощи универсальных микрометрических или специальных дистанционных калибров.

Монтаж приспособления на инструментальном стенде производят следующим образом. Собранные каркасы приспособлений или их отдельные элементы (например, балки) устанавливают на столе инструментального стенда так, чтобы их координатные оси были параллельны координатным линейкам стенда, а начало отсчета установочных размеров крепления фиксирующих элементов приспособлений совмещалось с началом отсчетов координатных линеек.

Координаты положения фиксирующих элементов в каркасе приспособления определяются по координатным линейкам, микрометрическим и дистанционным калибрам.

Фиксирующие элементы закрепляются в заданном положении переходными фитингами, которые, в свою очередь, крепятся в пазах координатных линеек.

Для увязки положения осей крепежных отверстий фиксирующих и зажимных элементов с их рабочим контуром применяют плаз-кондукторы (рисунок 5.18).

Плаз-кондуктор представляет собой горизонтальный стол с жестко закрепленными продольными координатными линейками, имеющими отверстия, расстояние между цен-

трами которых равны 50 мм. На столе могут свободно перемещаться также поперечные координатные линейки с отверстиями, размещенными с шагом 50 мм.

Передвигая поперечные линейки вдоль стола, можно совместить центр одного из ее отверстий с любой точкой на плоскости стола, численное значение координат которой кратно 50. Таким образом, плаз-кондуктор представляет собой систему прямоугольных координат. Рядом с плаз-кондуктором располагают один-два сверлильных станка.

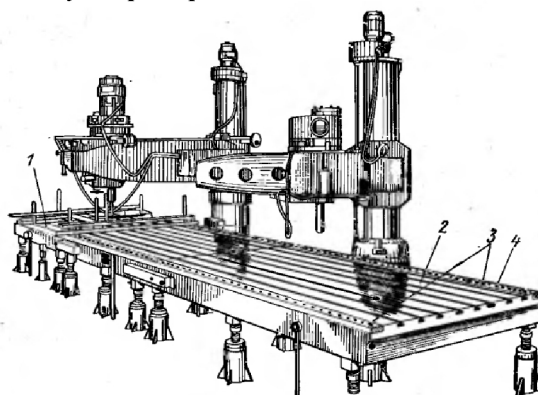


Рисунок 5.18 - Плаз-кондуктор:

1 — передвигаемые поперечные координатные линейки; 2 — стол плаз-кондуктора; 3 — неподвижные продольные координатные линейки; 4 — установочные отверстия

На плаз-кондукторе через переходные втулки поперечной линейки сверлят и развертывают крепежные отверстия в фиксирующих и зажимных элементах приспособлений. В эти отверстия по шаблону или макету устанавливают втулки, фиксируют их при помощи штырей, пропущенных через две поперечные линейки плаз-кондуктора, и закрепляют специальной цементной массой.

Точность сборки приспособлений контролируют специальными оптическими приборами, проверяя горизонтальность, взаимную параллельность и перпендикулярность плит, соосность осей и отверстий узлов фиксации, расположенных под любым углом к горизонту. В комплект выпускаемых отечественной промышленностью оптических приборов, применяемых при контроле приспособлений, входят: прецизионный нивелир, автоколлиматор с отражающим зеркалом, теодолит, квадрант с зеркалом, центропризма, стойка с маркой и пр.

Нивелир представляет собой зрительную трубу, устанавливаемую при помощи точного горизонтального уровня и имеющую возможность вращаться вокруг вертикальной оси, сохраняя строго горизонтальное положение оптической и совмещенной с ней визирной осей трубы. Визирная ось трубы отмечена сеткой нитей, которая хорошо видна через окуляр в поле зрения. Оптическая система нивелира дает перевернутое изображение, что важно учитывать при проведении отсчетов.

Нивелир позволяет определять разность высот любых заданных точек путем измерения высоты каждой из них относительно горизонтальной плоскости, в которой находится визирная ось зрительной трубы нивелира. Высота заданной точки относительно визирной оси трубы измеряется с помощью приставляемой к этой точке вертикально какой-либо масштабной линейки и отсчетом видимого через трубу нивелира деления, совмещенного со средней горизонтальной линией сетки нитей.

Для проверки соосности трех и более отверстий нивелир предварительно устанавливают по общей оси двух крайних отверстий. После этого трубу нивелира закрепляют неподвижно и переставляют целевой знак в промежуточные отверстия, соосность которых проверяют. Если центры этих отверстий не смещены от установленной осевой линии, то видимый в нивелир крест нитей целевого знака, установленного в промежуточное отверстие, совместится с сеткой нитей нивелира. В комбинации с прибором, называемым «квадрантом с зеркалом», нивелир используют для проверки соосности отверстий фиксирующих элементов, когда их общая ось находится под углом к горизонту.

Автоколлиматор представляет собой оптическую трубу, в которой имеется сетка нитей, освещаемая низковольтной лампой (рисунок 5.19). Оптическая система автоколлиматора направляет лучи света лампы из трубы таким образом, что они выходят параллельным пучком.

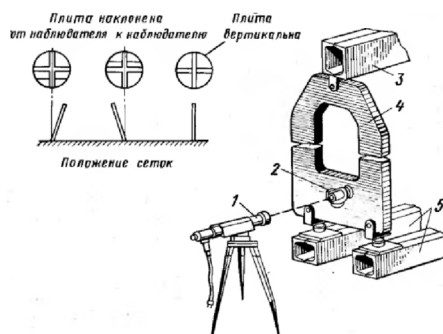


Рисунок 5.19 - Схема проверки автоколлиматором вертикальности плиты сборочного приспособления: 1 — автоколлиматор; 2 — отражающее зеркало; 3 — верхняя балка приспособления; 4 — плита узла разбора собираемого агрегата; 5 — нижние балки приспособления

Если на своем пути лучи встретят зеркало, расположенное под прямым углом к направлению пучка лучей, то, отразившись от зеркала, они вернуться в трубу автоколлиматора, а по тому же направлению. Это свойство автоколлиматора используют для проверки положения плит и других элементов приспособлений. Автоколлиматор устанавливают горизонтально по имеющемуся в нем точному уровню.

Теодолит представляет собой оптический прибор, используемый для угловых измерений. Он состоит из зрительной трубы, установленной на специальной подставке, позволяющей вращать трубу в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Положение трубы в обеих плоскостях определяется точным лимбом. Теодолитом проверяют положение фиксирующих узлов, оси которых должны находиться в одной вертикальной плоскости.

При монтаже и контроле крупногабаритного сборочного приспособления применяют оптико-телевизионную установку (ОТУ) с комплектом целевых знаков. Установка позволяет контролировать с высокой точностью положение горизонтальных и вертикальных плоскостей, а также расположение фиксирующих и зажимных элементов.

Передающая камера установки 1 (рисунок 5.20) и нивелир 2 расположены на одном основании 3, позволяющем поднимать их на необходимую высоту и вращать вокруг общей вертикальной оси. Видеоприемное устройство 4 выполнено быстросъемным, поэтому в процессе работы его можно располагать отдельно от ОТУ в удобном для наблюдения месте.

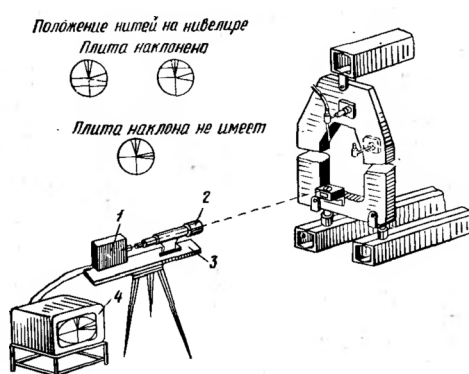


Рисунок 5.20 - Схема контроля установки плиты приспособления при помощи оптико-телевизионной установки: 1 — передающая камера; 2 — нивелир; 3 — основание; 4 — видеоприемное устройство

Описанными примерами далеко не исчерпываются встречающиеся на практике случаи применения точных оптических приборов для контроля сборочных приспособлений. В частности, оптические приборы можно использовать не только для контроля точности уже смонтированных приспособлений, но и для их монтажа.

5.5 Взаимная увязка сборочных приспособлений

Рассмотренные методы и средства монтажа приспособлений обеспечивают высокую точность собранных в них отдельных отсеков и агрегатов самолета. Однако всего этого бывает недостаточно для полной взаимозаменяемости собираемых в них изделий по стыковым узлам, особенно таких, в которых имеются подвижные элементы конструкции, например, каждый изготовленный руль высоты должен без доработок подсоединяться к любому стабилизатору, каждый элерон — к крылу и т. д. /1/, /3/.

Взаимозаменяемость собранных в приспособлениях и в дальнейшем соединяемых друг с другом изделий по стыковым узлам достигается на основе взаимного согласования или взаимной увязки всего комплекта технологической оснастки.

В качестве основных средств увязки приспособлений применяются специально изготавливаемые эталоны изделий, являющиеся жесткими носителями форм и размеров.

Если нет необходимости отразить в эталонах полный контур плоскости стыка отсека или агрегата, то эталон делается упрощенным и охватывает только стыковые узлы или другие важные элементы конструкции, становясь калибром узла разъема. На рисунке 5.21 в качестве примера показаны эталоны узлов крепления агрегатов хвостового оперения. Все эталоны взаимно согласованы по фактическим размерам. Узлы приспособлений для сборки отдельных агрегатов хвостового оперения, установленные по этим эталонам, становятся также согласованными, т. е. увязанными между собой. Благодаря этому достигается взаимозаменяемость готовых отсеков и агрегатов, правильная их стыковка и нормальная работа подвижных элементов изделия.

Для обеспечения взаимозаменяемости по стыкам и разъемам необходимо учитывать методы независимого и зависимого изготовления агрегатов.

При независимом изготовлении агрегатов технологические допуски рассчитываются по методу размерных цепей для всех видов технологической оснастки, в то время как при зависимом рассчитывают на точность только эталонную оснастку (эталонные калибры разъемов и стыков, эталонные мастер-плиты и т. д.).

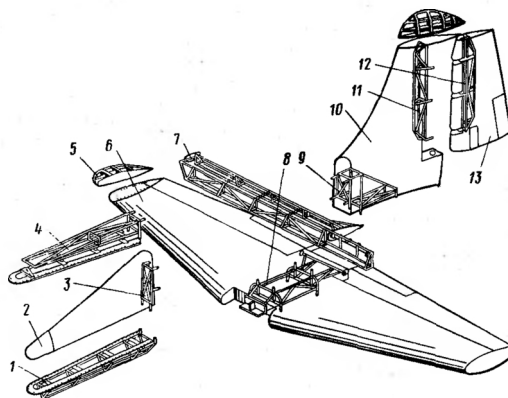


Рисунок 5.21 - Эталонные узлы крепления агрегатов хвостового оперения:

1 — контрэталон форкиля (эталон для фюзеляжа); 2 — форкиль (передняя часть киля); 3 — эталон крепления форкиля с килем; 4 — эталон крепления форкиля с фюзеляжем (указывается с контрэталон 1); 5 — эталон концевой части стабилизатора; 6 — стабилизатор; 7 — эталон руля высоты; 8 — эталон крепления стабилизатора с фюзеляжем; 9 — эталон крепления киля с фюзеляжем (увязывается с эталоном 3); 10 — киль; 11 — эталон крепления киля с рулем направления; 12 — эталон руля направления (увязывается с эталоном 11); 13 — руль направления

Увязка стыковых отверстий отсеков и агрегатов самолета по узлам стыка фланцевого типа осуществляется в сборочных приспособлениях при помощи монтажных эталонов, точно соответствующих аэродинамическим обводам отсеков и агрегатов. Применение монтажных эталонов дает возможность увязать между собой элементы, определяю-

щие аэродинамические обводы отсеков и агрегатов в сборочных приспособлениях и заготовительной оснастке.

Схема увязки технологической оснастки для изготовления деталей, сборки узлов отсеков и агрегатов приведена на рисунке 5.22.

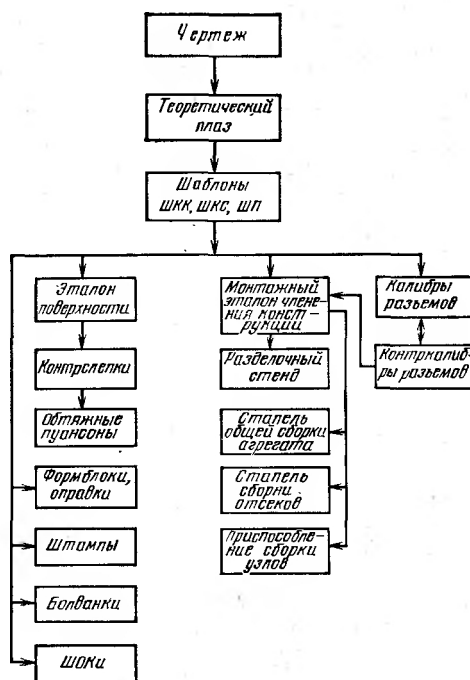


Рисунок 5.22 - Схема увязки технологической оснастки для изготовления деталей, узлов и агрегатов

Наибольшее распространение в самолетостроении получили следующие конструкции разъемов и стыков: вильчатые (гребенчатые), фланцевые, телескопические и ряд других.

Вильчатые разъемы и стыки наиболее широко применяются при соединении с отсеками или агрегатами рулей высоты, элеронов, триммеров, в соединениях подкосов шасси, отсеков и агрегатов между собой.

Фланцевые стыки и разъемы применяются для соединения отсеков и агрегатов планера и крепления к элементам планера приборов и оборудования.

Телескопические стыки и разъемы выполняются болтовыми или резьбовыми; такие стыки применяются для соединения отсеков фюзеляжа, крепления, концевых обтекателей крыльев и оперения, соединения тяг систем управления.

Конструктивно-технологические виды, схемы и методика обеспечения взаимозаменяемости этих разъемов и стыков приведены в имеющейся литературе [22].

Окончательная обработка отверстий стыковых узлов отсеков и агрегатов производится обычно в специальных разделочных стендах, в которых имеются фиксаторы для закрепления обрабатываемых отсеков и агрегатов в заданном положении, кондукторы для направления режущего инструмента и механические головки привода инструментов. При этом размещение фиксаторов стенда и установленных на нем кондукторов должно быть также увязано со всем комплектом сборочной оснастки.

Применение инструментальных стендов, плаз-кондукторов, эталонов и калибров не только наиболее полно обеспечивает все требования к точности сборочных приспособлений, но и дает возможность дублировать оснастку в любом количестве экземпляров. При дублировании приспособления монтируются, собираются и увязываются при помощи тех же средств, что и первые их образцы. Это обеспечивает полную идентичность дублируемой технологической оснастки.

5.6 Основные схемы увязки деталей и оснастки

Конструкцию и процессы изготовления сборочной оснастки во многом определяет выбранный метод увязки геометрических параметров сопрягаемых между собой деталей, узлов, отсеков и агрегатов /3/.

Под увязкой понимается согласование размеров и формы сопрягаемых поверхностей между собой. Методы увязки составных частей планера самолета определяют вид первоисточника увязки (в качестве которого может быть чертеж, плаз, эталон и программа ЭВМ) и вид средства увязки, которым может быть инструментальное средство (станок, стенд, контрольно-измерительная машина), шаблон или макет.

В зависимости от выбранного первоисточника и средства увязки для отдельных агрегатов и планера в целом могут использоваться следующие методы увязки: чертежно-инструментальный, чертежно-шаблонный, чертежно-макетный, плазово-инструментальный, плазово-шаблонный, плазово-макетный, эталонно-инструментальный, эталонно-шаблонный, эталонно-макетный, программно-инструментальный, программно-шаблонный, программно-макетный.

В каждом из них могут иметь место два принципа образования форм и размеров деталей, узлов и оснастки - связанный и независимый (рисунок 5.23).

Схема увязки размеров A и B по связанному принципу образования форм и размеров (рисунок 5.23,а) имеет общие для обоих размеров этапы, число которых p . Каждая из ветвей образования конечного размера A и B имеет соответственно q и r этапов.

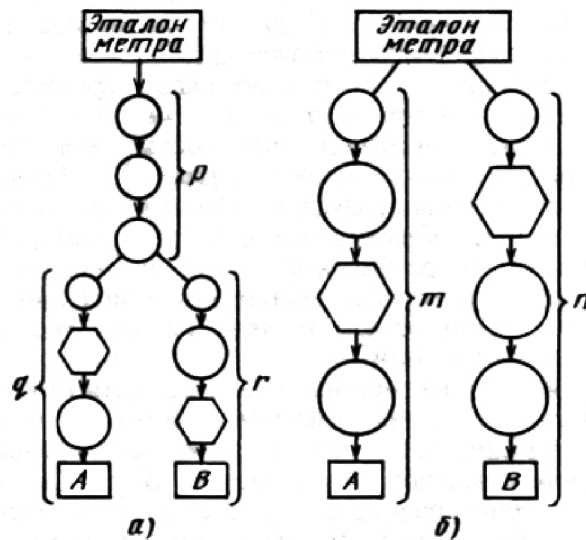


Рисунок 5.23 - Принципы образования размеров и форм:
а - связанный; б - независимый

Поля производственных погрешностей каждого из размеров и увязки двух размеров между собой могут быть описаны следующими уравнениями:

$$\hat{A} \overset{p}{\uparrow} \hat{A}_i \overset{q}{\downarrow} \hat{A}_j; \quad (5.2)$$

$$\hat{B} \overset{p}{\uparrow} \hat{B}_i \overset{r}{\downarrow} \hat{B}_k; \quad (5.3)$$

$$\hat{AB} \overset{q}{\uparrow} \hat{AB}_j \overset{r}{\downarrow} \hat{AB}_k; \quad (5.4)$$

где $\hat{A}$, $\hat{B}$ - поля производственных погрешностей размеров A и B соответственно; $\hat{AB}$ - поле производственной погрешности увязки размеров A и B ; $\hat{i}$, $\hat{j}$, $\hat{k}$ - поля производственных погрешностей общих i индивидуальных j и k этапов.

Таким образом, поля погрешностей каждого размера образуются путем суммирования погрешностей всех общих и индивидуальных для каждого размера этапов. Поля погрешностей общих для обоих размеров этапов не влияют на точность увязки этих размеров между собой.

Из приведенных уравнений находятся условия, при которых точность увязки размеров A и B выше точности каждого из этих размеров:

$$\hat{AB} \leq \hat{A}, \text{ если } \bigwedge_{k=1}^r \hat{A}_k \leq \hat{A} \text{ и } \bigwedge_{i=1}^p \hat{A}_i \leq \hat{A}; \quad (5.5)$$

$$\hat{AB} \leq \hat{B}, \text{ если } \bigwedge_{j=1}^k \hat{B}_j \leq \hat{B} \text{ и } \bigwedge_{i=1}^p \hat{B}_i \leq \hat{B}; \quad (5.6)$$

Таким образом, для того чтобы обеспечить высокую точность увязки размеров, необходимо все этапы, дающие большие погрешности в каждой из индивидуальных ветвей, перенести в общие для обоих размеров этапы. В этом случае погрешность увязки будет меньше погрешности каждого из размеров.

Воспроизведение размеров сопровождается обработкой поверхностей, образующих заданную форму изделия. Операции переноса формы на рисунке 5.23 показаны шестиугольниками, а размеров - кружками.

Основное достоинство рассмотренного принципа состоит в том, что он позволяет обеспечить взаимозаменяемость изделий малой жесткости, сложной формы и больших габаритных размеров. Именно принцип связанного образования форм и размеров является теоретической основой плазово-шаблонного метода увязки заготовительной и сборочной оснастки, применяющегося в самолетостроении.

Увязка на основе независимого принципа образования размеров и форм изделий (рисунок 5.23) не содержит общих этапов переноса каждого из размеров. В этом случае перенос размеров A и B осуществляется независимо друг от друга при разном в общем случае числе индивидуальных этапов m и n . Поле погрешности увязки размеров A и B в этом случае запишется в виде

$$\hat{AB} = \bigwedge_{j=1}^m \hat{A}_j \bigwedge_{k=1}^n \hat{B}_k \quad (5.7)$$

где $\hat{A}_j$, $\hat{B}_k$ - поля погрешностей j -го и k -го этапов переноса размеров A и B .

5.6.1 Метод объемной увязки (МОУ)

Сущность МОУ заключается в проведении с помощью средств увязки в процессе создания объемного макета при технологической подготовке производства новых изделий оценки и согласования геометрических параметров деталей планера, создании на их основе размерных цепей и базовых поверхностей элементов бортовых систем и перенесении взаимоувязанных геометрических параметров в техническую документацию и технологическую оснастку /6/.

Объемный макет - это макетно-технологический образец отсека, агрегата или изделия, собранный из взаимоувязанных деталей, оборудования, комплектующих изделий или их макетов и заэталонированных элементов бортовых систем.

В процессе создания объемного макета выполняется конструктивно-технологическая обработка компоновки оборудования и бортовых систем изделия. Собранный объем-

ный макет становится источником информации о размерах и форме элементов коммуникаций, положении деталей и узлов систем в целом.

Особенностью МОУ является многоэтапная оценка качества согласования геометрических параметров деталей планера в процессе плазовой увязки, контрольно-плазовой сборки и контрольной агрегатной сборки объемного макета. В итоге устраняются причины рассогласования системы деталь каркаса - обшивка - стапель. С первых изделий обеспечивается высокая степень взаимозаменяемости деталей планера, стабильное и идентичное их размещение при сборке по сборочным и базовым отверстиям.

По результатам объемной увязки оборудования и бортовых систем выпускается полный комплект конструкторской документации, уточняются плазовые источники, механозаготовительная и сборочная оснастка, технологическая документация. Сборка узлов и агрегатов объемного макета и первых изделий осуществляется в одних и тех же стапелях.

Важным условием внедрения МОУ является опережение сборки объемного макета и отработки в нем бортовых систем и оборудования по отношению к сборке изделий головной серии. Это необходимо для того, чтобы до поступления первых изделий на общую сборку были изготовлены комплекты серийных трубопроводов, электро-радиожгутов и другие элементы систем.

В период серийного производства объемный макет служит прототипом для всех дальнейших модификаций изделия.

Основные преимущества МОУ по сравнению с другими методами:

- ³⁵₁₇ выполнение всего комплекса работ по созданию объемного макета осуществляется в период подготовки производства до начала серийного выпуска;
- ³⁵₁₇ сборка изделий, начиная с головной серии, осуществляется по отработанным серийной технической документации и оснастке;
- ³⁵₁₇ создание наилучших условий для внедрения прогрессивной технологии сборки, организации и планирования серийного производства.

Увязка эталонно-шаблонной и рабочей оснастки. Метод объемной увязки не накладывает ограничений на способы задания информации и увязку теоретических контуров изделия. Эта информация может быть представлена в виде теоретических чертежей, таблиц или математической модели поверхности.

Конструктивная увязка деталей планера и элементов бортовых систем производится с учетом технологических требований рационального панелирования, возможности объединения деталей различных конструктивных групп (но расположенных в одной зоне агрегата) в отдельные под сборки. Такие под сборки под установку оборудования получили название "пространственная рамка".

На контрольно-контурный шаблон наносят не только контуры сечений элементов агрегата, но и контуры сечений элементов систем блоков оборудования и аппаратуры; производят кинематическую увязку подвижных частей систем управления; уточняют размеры деталей, входящих в пространственные рамки; определяют сборочные отверстия, необходимые для сборки и установки; намечают положение магистральных электропроводных и трубопроводных трасс, разъемов и т. д. При этом решаются вопросы применения деталей типа уголков, книц, профилей в качестве конструктивных компенсаторов производственных погрешностей при установке пространственных рамок на изделие.

Пространственные носители форм и размеров. Особенностью МОУ является использование в период освоения серийного производства нового изделия комбинированного эталона, сочетающего в себе функции эталона поверхности и монтажного эталона. Этот эталон назван базовым и служит для изготовления заготовительной оснастки и монтажа сборочной оснастки нулевой очереди.

Базовый эталон воспроизводит всю поверхность соответствующего отсека агрегата, несет на себе узлы разъемов и стыков и применяется при монтаже технологической оснастки для сборки агрегатов, имеющих сборно-клепаные обшивочные панели. Поверхность базового эталона выполняется по внутреннему контуру обшивок. Если конструкция

агрегата выполнена из монолитных панелей, то применяется обычный монтажный эталон, изготовленный по наружному (теоретическому) контуру изделия.

Базовые эталоны агрегатов больших габаритных размеров имеют членение на отсеки (секции) в соответствии с конструктивно-технологическим членением изделия.

Каркас базового эталона рекомендуется изготавливать сварной конструкции, состоящей из стальной обечайки, подкрепленной ребрами жесткости. На обечайке эталона монтируются съемные репер-стойки, стыковые узлы и лекала по конструктивным элементам каркаса агрегата. На обечайку (стальной лист толщиной 3...4 мм) перед заливкой устанавливают арматуру (стальную проволоку, сетку), увеличивающую прочность скрепления облицовки с каркасом.

Лекала по конструктивным элементам изделия, создающие рабочий контур эталона в основных сечениях, представляют собой угольники из алюминиевых сплавов. Лекала следует монтировать на каркас эталона по шаблонам или любым другим методом. Крепление лекала к каркасу эталона осуществляется винтами или болтами с заливкой цементом НИАТ-МЦ.

Плоскости поперечных разъемов базового эталона конструктивно выполняют в виде плит, отстыкованных по мастер-плитам соответствующих разъемов отсеков (агрегатов) изделия.

Стыковые узлы монтируют на каркас базового эталона по калибрам соответствующих узлов агрегата (отсека) с последующей увязкой по сопрягаемым эталонам.

При снятии слепков с базового эталона его стыковые узлы закрывают металлическими кожухами, ниши под репер-стойки в облицовке заделывают специальными заглушками, обработанными по шаблонам. На поверхность базового эталона наносят следующую информацию: теоретические и конструктивные оси - ось симметрии, строительную горизонталь фюзеляжа, оси шпангоутов, стрингеров, балок; центры базовых отверстий (БО); контуры торцов обшивок, лючков и элементов каркаса, выходящих на обводы.

В соответствии с разметкой устанавливают втулки под БО. Расположение и число базовых отверстий определяют по соответствующим схемам, входящим в директивную документацию.

Во избежание растрескивания и коробления базовых эталонов из-за различных коэффициентов линейного расширения металла и облицовки не допускается резкий перепад температур при транспортировке и хранении. Для отсеков изделия типа кабин, конструкция которых -включает сложные каркасные узлы и подвижные части, вместо базового эталона применяют монтажный эталон и эталон поверхности. Конструкция монтажного эталона в данном случае максимально упрощена и содержит лекала только по базовым элементам каркаса (шпангоутам, балкам).

Увязка оснастки для изготовления деталей планера осуществляется на основе эталонно-шаблонного метода с применением базового эталона (или эталона поверхности) и образцовых деталей.

Образцовая (эталонная) деталь - это деталь с номинальными обрезами со всеми направляющими и сборочными отверстиями и нанесенной информацией: теоретическими и конструктивными осями, необходимыми надписями.

Увязка сборочных отверстий в обшивках и деталях каркаса осуществляется с помощью образцовых деталей.

Заготовки для образцовых деталей каркаса изготавливают с помощью технологической оснастки заготовительных цехов. Для проверки прилегания заготовок по всей поверхности к оснастке в местах подсечек и переходов в них сверлят отверстия диаметром 6...8 мм, позволяющие определить зазор между оснасткой и деталью, а затем устранить его доработкой детали.

Плазово-шаблонный цех обрабатывает заготовки по торцам, бортам, вырезам согласно чертежу и шаблонам, размечает и сверлит направляющие, сборочные и другие отверстия согласно паспорту, наносит оси конструктивных элементов.

Образцовая обшивка служит для обработки номинальных обрезов, окон, вырезов и увязки образцовых деталей каркаса планера, входящих в данный узел. Образцовые обшивки имеют следующую информацию: строительные оси, оси продольных и поперечных конструктивных элементов (шпангоутов, стрингеров), базовые отверстия.

Изготовление образцовой обшивки осуществляют по следующей технологической схеме:

- ³⁵₁₇ изготавливают заготовку формообразованием по обтяжным пуансонам;
- ³⁵₁₇ устанавливают заготовку на базовый эталон с обеспечением плотного прилегания (с зазором не более 0,5 мм);
- ³⁵₁₇ сверлят базовые отверстия в заготовке (перевод отверстий с базового эталона осуществляют с помощью специальных кернеров или устройств) и производят фиксацию обшивок на эталоне;
- ³⁵₁₇ размечают теоретические и контурные оси, контуры обрезов и контуры элементов каркаса, выходящие за обвод. Для удобства разметки и перенесения информации с базового эталона на обшивку прорежают технологические окна, а затем точно пропиливают по местам пересечения переносимых осей. Обшивки обрезают без припуска по всему периметру, в том числе и лючкам;
- ³⁵₁₇ увязывают на базовом эталоне обрезы по стыкам со смежными образцовыми обшивками;
- ³⁵₁₇ производят контроль заготовки образцовой обшивки (допускаемые отклонения обреза образцовой обшивки от разметки на базовом эталоне $\pm 0,15$ мм).

Для увязки деталей каркаса планера и получения на них сборочных отверстий производится сборка панелей из образцовых деталей в пространственных корзинках.

Пространственные корзинки изготавливаются плазово-шаблонным цехом из набора поперечных и продольных контршаблонов контуров сечений, выполненных по наружному контуру обшивок агрегата. Проверка корзинок производится по базовому эталону с установкой прокладок, соответствующих толщине обшивки агрегата. На выставленную по базовому эталону корзинку монтируются кронштейны с втулками под БО.

Сборку образцовой панели осуществляют в следующем порядке:

- ³⁵₁₇ устанавливают образцовую обшивку в пространственную корзинку с фиксацией по базовым отверстиям;
- ³⁵₁₇ устанавливают с базой по осям на образцовой обшивке образцовые детали продольного и поперечного набора, окантовки и крепят к обшивке с помощью струбцин через окна или грузами;
- ³⁵₁₇ сверлят сборочные отверстия в образцовой обшивке по сборочным отверстиям образцовых деталей и производят крепление деталей к обшивке технологическими винтами;
- ³⁵₁₇ осуществляют контроль размеров и расположения всех деталей на собранной образцовой панели по чертежам (зазоров по торцам деталей и в сопряжениях поверхностей обшивки и каркаса, перемычек по направляющим отверстиям и др.).

Увязанные между собой в процессе сборки панели, образцовые детали каркаса и обшивки служат источником для изготовления шаблонов обрезки контура.

Увязка сборочной оснастки. Увязку сборочной оснастки осуществляют с применением монтажного или базового эталона.

Одновременно с изготовлением и увязкой деталей планера осуществляют изготовление и монтаж сборочной оснастки технологического комплекта (нулевой очереди), перечень и очередность изготовления которой устанавливаются графиком на оснащение.

Сборочная оснастка нулевой очереди полностью соответствует по схемам базирования серийной оснастке. В целях сокращения сроков проведения объемной увязки допускается изготовление оснастки без средств механизации.

Для сборки панелей, детали которых увязаны при сборке образцовой панели, применяют приспособления упрощенной конструкции, выполняющие роль поддерживающих устройств.

Монтаж таких приспособлений ведется по образцовым обшивкам, подкрепленным набором продольных и поперечных шаблонов.

Стапели для сборки отсеков имеют минимальное число рубильников и фиксаторов. Это обеспечивается поставкой на сборку стабильных по геометрическим параметрам и достаточно жестких панелей - обшивок, собранных по сборочным отверстиям с продольно-поперечным набором.

Агрегатная сборка объемного макета. В целях обеспечения высокой степени взаимозаменяемости деталей планера производится агрегатная сборка объемного макета, состоящая из контрольно-плазовой сборки узлов и панелей, а также контрольной сборки панелей, секций и агрегатов в сборочной оснастке нулевой очереди.

В этот период осуществляется многоэтапная оценка качества увязки деталей планера, выявляются и устраняются рассогласования их размеров, уточняется технологический процесс сборки.

Для опережения сборки объемного макета по сравнению со сборкой первого изделия головной серии проводится комплекс следующих организационно-технических мероприятий:

- ³⁵₁₇ изготовление деталей для объемной увязки из легкообрабатываемых и хорошо освоенных материалов (взамен труднообрабатываемых и дефицитных, предусмотренных чертежами изделия);
- ³⁵₁₇ использование макетных или некондиционных по физико-механическим свойствам деталей при условии соответствия их размеров серийным чертежам;
- ³⁵₁₇ сокращение объема сборочных работ за счет уменьшения количества крепежных точек, изъятия операций, связанных с герметизацией, покраской, технологическими выдержками и испытаниями и т. д.;
- ³⁵₁₇ сокращение объема контрольно-сдаточных операций, связанных с выполнением соединений, герметизацией и т. д.
- ³⁵₁₇ применение вместо сборочных приспособлений пространственных корзинок из шаблонов для увязки сборочных отверстий и сборки панелей первых серийных изделий;
- ³⁵₁₇ максимальное расчленение работ в соответствии со специализацией цехов и участков по агрегатам, отсекам и зонам изделия.

Метод объемной увязки, лежащий в основе всей системы технологической подготовки изделия, обладает высокой эффективностью, способствует совершенствованию технологии и организации основного и вспомогательного производств. Он позволяет повысить степень взаимозаменяемости деталей и довести объем установки деталей и узлов без подгонки до 90...95% от общего объема; широко внедрять прогрессивные методы сборки и механизацию сборочных работ с доведением уровня сборки по сборочным, базовым и контрольно-фиксирующим отверстиям до 60...70% и уровня безударной клепки до 65...70%; довести объем монтажа бортовых систем и оборудования без применения сверлильно-клепальных, подгоночных работ пайки на потоке до 99,0...99,8%; довести уровень механизированного и объективного контроля бортовых систем до 85...90%; повысить уровень применения в конструкции унифицированных деталей и нормалей до 60%; упростить конструкцию сборочной оснастки; сократить число приспособлений для сборки узлов и панелей на 40...50%; сократить число приспособлений для установки крепежа и по разъемам коммуникаций до 40%; сократить объем доработок технологической оснастки в 5...7 раз.

5.6.2 Программно-инструментальный метод увязки

Основой автоматизации производства, сокращения сроков подготовки выпуска новых изделий и повышения эффективности технической подготовки производства (ТПП) в отрасли стал переход от плазово-шаблонного метода к независимому. Наиболее существенным признаком независимого метода является наличие 3D моделей формы изделия и его частей, необходимых и достаточных для воспроизведения и контроля, деталей, узлов и агрегатов /6/.

При плазово-шаблонном методе размеры, определяющие форму детали, указываются не только в чертеже, но и в технологических документах, поэтому определение полной размерной информации не заканчивается на этапе конструкторской подготовки производства, а продолжается в течение всего периода ТПП. При этом источниками этой информации служат чертежи изделия, разрабатываемые в отделе главного конструктора; номограммы сечений сложных контуров расчетно-конструкторского бюро плазового цеха; конструктивный плаз, определяющий недостающие в чертеже линейные размеры внутреннего набора конструкции, а также шаблоны, макеты и эталоны, изготавливаемые цехами подготовки производства. Таким образом, сбором необходимой размерной информации последовательно занимаются разные службы, что увеличивает цикл и снижает эффективность ТПП.

На КНААПО действует новая организационно-техническая форма подготовки производства, обеспечивающая независимый метод увязки. Сущностью новой формы явилась концентрация всей необходимой для производства деталей и узлов размерной информации в одном документе (чертеже) и в процессе одного этапа (конструкторской подготовки производства).

По производственному опыту КНААПО, ТПП на основе увязки геометрических параметров деталей и сборочной оснастки независимым методом, используемую в качестве стандарта предприятия, можно разбить на шесть этапов.

1.этап. На основе теоретического чертежа с использованием современной программной системы Unigraphics разрабатывается математическая модель поверхности планера, производятся расчеты эквидистантных сечений и поверхностей для основных обводообразующих деталей каркаса и обшивок, рассчитывается пространственная координатная схема базовых отверстий и разрабатываются рабочие чертежи деталей каркаса и оснастки с привязкой положения обводной части относительно соответствующей группы БО.

2.этап. В программной системе Unigraphics рассчитываются программы обработки контуров на станках с ЧПУ для базовых внутренних обводообразующих элементов (ВОЭ), к которым относятся ложементы сборочной оснастки для базирования по внутреннему контуру обшивок, эталоны и макеты силовых деталей каркаса планера; базовых наружных обводообразующих элементов (НОЭ) оснастки, к которым относятся рубильники и другие элементы оснастки для базирования по наружному контуру, а также данные для перемещения и фиксации в пространстве исполнительного органа координатно-монтажного станда с ЧПУ модели МС-636Ф-2-11.

3.этап. Выполняется обработка базовых ВОЭ и НОЭ на координатно-расточных и фрезерных станках с ЧПУ по программам с базой на соответствующие БО. Производится монтаж жесткого носителя координатной системы БО с помощью координатно-монтажного станда МС-636Ф-2-11.

4.этап. Базовые ВОЭ фиксируются на соответствующие БО носителя координатной системы БО и производится объемная увязка контуров как по плоскостям сечений в местах стыков, так и от сечения к сечению. При этом выявляются и устраняются несоответствия контуров ВОЭ, вызванные субъективными и техническими причинами.

5.этап. На носитель координатной системы БО устанавливают НОЭ и координируют их относительно базовых ВОЭ.

6.этап. В результате 4 и 5 этапов носитель координатной системы БО вместе с отстыкованными ВОЭ, НОЭ превращается в технологический стенд для контроля элементов рабочей оснастки, отдельных деталей планера и сборочной оснастки. По носителю ведется монтаж сборочного стапеля агрегата, контуры ВОЭ и НОЭ и положение БО переносятся на рабочую оснастку деталей. Возможна запись программ с базовых ВОЭ с помощью контрольно-измерительного комплекса для обработки деталей каркаса планера на станках с ЧПУ.

Внедрение организационно-технической формы по описанной схеме сократило общий цикл ТПП в 1,5 раза.

5.6.3 Бесплазовые методы увязки

В 80-е годы внедрение в авиационной промышленности систем геометрического моделирования позволило модифицировать этот метод и автоматизировать ряд трудоемких процедур /9/:

- ³⁵₁₇ геометрическая модель поверхности (ГМП) стала использоваться для построения контуров сечений при разбивке плазов и разработки программ изготовления обводообразующей оснастки на оборудовании с ЧПУ;
- ³⁵₁₇ для увязки и отрисовки конструктивных элементов по отдельным сечениям стали использоваться возможности 2D-моделирования и средства чертежных пакетов;
- ³⁵₁₇ для разработки управляющих программ при изготовлении деталей на оборудовании с ЧПУ стали разрабатываться поверхностные геометрические модели.

Эта методология до сих пор остается основой подготовки производства и подкрепляется отраслевой нормативно-технической документацией. Именно поэтому на многих авиационных предприятиях, несмотря на приобретение импортных CAD/CAM-систем, успешно эксплуатируется система АСК/ТПП «Кредо», имеющая мощные модули поверхностного моделирования и ЧПУ (рисунок 5.24).

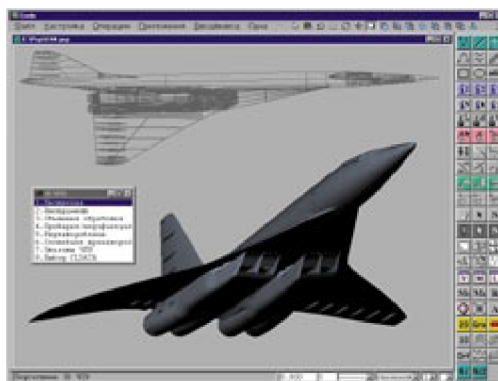


Рисунок 5.24 - Геометрическая модель поверхности самолета

Появление тяжелых CAD/CAM-систем, позволяющих моделировать не только детали, но и сборочные единицы, создает предпосылки для перехода на бесплазовое производство. В основе метода бесплазовой увязки лежит возможность создания электронного макета изделия, при этом процедуры увязки деталей по отдельным сечениям на плазах заменяются процедурами пространственной увязки на электронных макетах. Эта прогрессивная на первый взгляд методология, несмотря на многолетний опыт освоения тяжелых CAD/CAM-систем, не находит промышленного внедрения в силу ряда обстоятельств, характерных для большинства предприятий (рисунок 5.25).

Во-первых, разработка чертежей при выпуске конструкторской документации осуществляется по традиционной бумажной технологии. Методология 3D-конструирования осваивается с большим трудом в силу как объективных, так и субъективных причин. Ис-

пользование чертежных пакетов для оформления и представления чертежей в электронном виде никак не затрагивает процессов геометрической увязки.

Во-вторых, созданные на основе неувязанных чертежей электронные макеты содержат много ошибок и не могут служить источником информации для решения задач подготовки производства. Разработка ЭМ осуществляется, как правило, не конструкторами, а системщиками, освоившими определенную CAD-систему, но не участвующими в реальном конструировании.

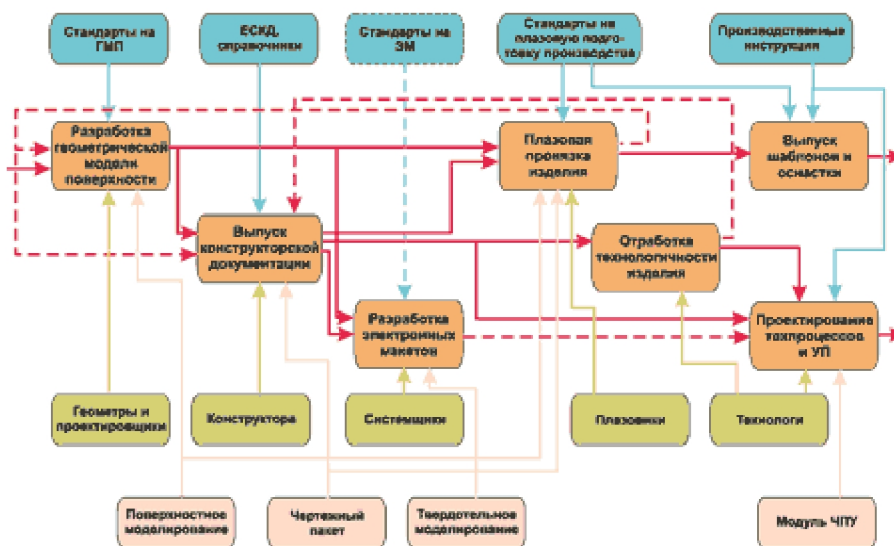


Рисунок 5.25 - Схема информационных потоков при плазменной подготовке производства

В-третьих, изменения, вносимые в КД в результате плазменных провязок и отработки технологичности, в принципе могут быть внесены в электронные макеты, однако следует подчеркнуть, что ЭМ при таком подходе остается средством, дублирующим хранение (эталонирование) геометрической информации, а не средством пространственной увязки.

В-четвертых, поскольку отсутствует НТД, определяющая информативность и статус электронных макетов в КД, а технологические подразделения по-прежнему работают с чертежами, плазмами и шаблонами, то ЭМ практически не участвуют в процессах подготовки производства. Даже при разработке управляющих программ для механообрабатываемых деталей их геометрия выверяется на основе плазменной информации.

Попытаемся сформулировать основные принципы системы бесплазменной подготовки производства (рисунок 5.26).

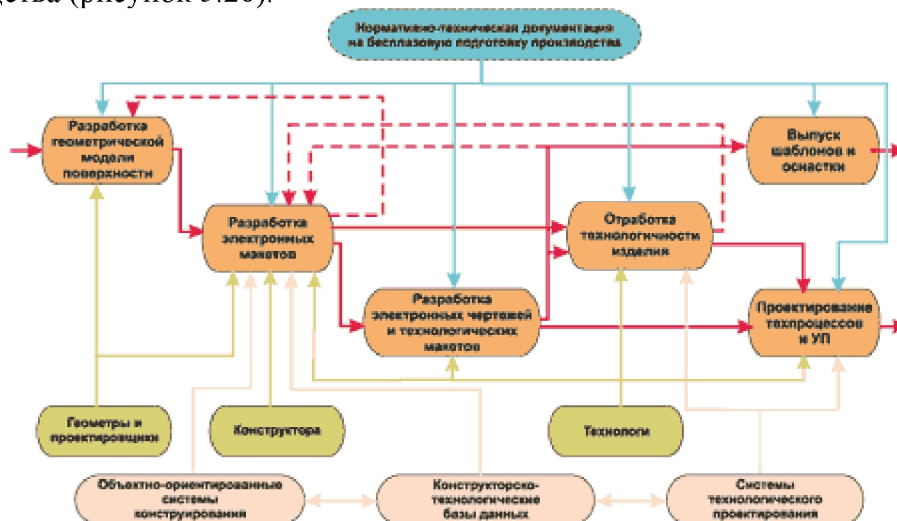


Рисунок 5.26 - Схема информационных потоков при бесплазменной подготовке производства

1. ЭМ становится эталоном хранения геометрической информации об изделии и используется как средство пространственной увязки сопрягаемых элементов конструкции. Формирование электронных макетов деталей и сборочных единиц осуществляется конструкторами с использованием объектно-ориентированных систем и баз данных типовых и стандартизованных элементов конструкции (подсечки, рифты, отверстия, вырезы, крепежные элементы и т.д.). В создании ЭМ участвуют технологи, которые в режиме группового использования данных проводят обработку технологичности изделия и дают рекомендации по изменению его конструкции.

2. ЭМ используется как первоисточник информации для получения моделей и электронных документов системы бесплазовой подготовки производства:

а) электронных чертежей (ЭЧ — сборочных и детализовочных), номенклатура, количество и состав информации которых должны быть пересмотрены и заново регламентированы. Очерки конструктивных элементов на ЭЧ формируются путем проецирования или построения сечений ЭМ. Чертеж превращается, по существу, в плаз-чертеж, поскольку он эталонирует реальную геометрию изделия;

б) технологических электронных макетов (ТЭМ), содержащих часть геометрической информации, необходимой для решения конкретной технологической задачи. Геометрия ТЭМ может отличаться от исходного конструкторского электронного макета, как, например, геометрия детали до сборки отличается от ее геометрии после выполнения ряда сборочных операций (подгонки, снятия припусков, сверления отверстий и т.д.).

3. Значительную часть шаблонов все равно придется делать (бесплазовое — не значит бесшаблонное), поскольку изготовление и контроль элементов конструкции будет на первых порах осуществляться по традиционной технологии. Отказ от шаблонов возможен только после переоснащения всех этапов производства (включая сборку) новым поколением программно-управляемого оборудования.

4. Проектирование технологических процессов будет осуществляться с использованием прикладных систем, причем исходная информация об изделии будет передаваться в виде технологических электронных макетов и чертежей и поддерживаться интегрированной информационной средой подготовки производства.

6 СБОРКА ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ САМОЛЁТА

6.1 Сборка отсеков и агрегатов непанелированной конструкции

Сборка отсека или агрегата непанелированной конструкции производится в одном сборочном приспособлении и в определенной технологической последовательности. На сборку таких изделий поступают в основном отдельные детали и некоторые узлы /1/.

Рассмотрим в качестве примера сборку и клепку тормозного щитка с базированием по ПК при образовании аэродинамических обводов (рисунок 6.1). Аналогичную конструкцию имеют большое количество агрегатов самолёта, таких как рулевые поверхности, триммеры, элементы механизации крыла и т.д.

1. Конструктивно-технологические особенности и схема базирования. Тормозной щиток состоит из следующих деталей и узлов: носка 1, лонжерона 2 с узлами навески и стойками 4, нервюр 5, нижней 6 и верхней 7 обшивок и законцовки профиля 8.

Детали и узлы щитка выполнены из материала Д16Т. Носок 1 и нижняя обшивка соединены с лонжероном и нервюрами заклепками ЗУ, верхняя обшивка заклепками с сердечником при одностороннем подходе в зону клепки. Профиль 8 соединен с обшивками заклепками ЗУ при двухсторонней потайной клепке. Точность по обводу со стороны нижней обшивки $\pm 0,5$ мм, а верхней $\pm 1,5$ мм на сторону.

В качестве баз приняты:

- ³⁵₁₇ наружная поверхность обшивки НП и поверхность лонжеронов 9 (ЛЖ) при установке носка 1. В продольном направлении носок базируют на базовую плиту 10 (БП);
- ³⁵₁₇ ОСБ и поверхность фиксаторов 11 (ФП) при установке и закреплении лонжерона 2.
- ³⁵₁₇ поверхность опор 16 (ОП), стоек 4 лонжерона 2 и рубильники 12 (РБ) при установке и закреплении нервюр 5;
- ³⁵₁₇ поверхность каркаса ПК при установке обшивок 6, 7.

Носок, обшивки, профиль прижимают к базовой плите 10 (БП) прижимной плитой 14 (ПР).

2. Условия поставки деталей на сборку. Носок 1 подают на сборку с обрезанными кромками с НО по стыку с лонжероном. Лонжерон 2 поступает на сборку собранным с обрезанными торцами и установленными на нем узлами поворота щитка 3 и стойками 4 крепления нервюр. В стойках имеют НО. В узлах поворота имеются ОСБ. Нервюры 5 поступают отформованными с отверстиями облегчения. Обшивки 6, 7 и профиль 8 подают на сборку полностью обработанными. В обшивке 6 имеют НО для постановки всех заклепок кроме заклепок по профилю 8.

3. Схема сборки. Сборку щитка производят в специализированном переналаживаемом приспособлении типа ССП.

Сборку производят в следующей последовательности (см. схему сборки):

- 1) устанавливают носок 1 на ложементы 9 (ЛЖ) и упирают в плиту 10 (БП);
- 2) устанавливают лонжерон 2 по ОСБ в узлах поворота щитка и фиксаторах приспособления 11 (ФП);
- 3) подводят прижимную плиту 14 (ПР). По НО в обшивке носка сверлят и зенкуют отверстия по стыку носка с лонжероном. Соединяют носок с лонжероном заклепками ЗУ;
- 4) закрывают рубильники 12, 13 (РБ), устанавливают нервюры 5 и прижимают их к опорам 15, 16 (ОП) прижимами 17 (ПР);
- 5) по НО в стойках 4 лонжерона 2 сверлят отверстия в нервюрах 4. Соединяют лонжерон с нервюрами. Сверление и клепку выполняют пневмодрелями и переносными прессами;
- 6) открывают рубильники 12 (РБ) и отводят 14 (ПР). Устанавливают обшивку 6. Закрывают рубильники 12 (РБ) и подводят 14 (ПР). По НО в обшивке рассверливают и зенкуют отверстия в лонжероне и нервюрах. Соединяют обшивку с лонжероном и нервюрами;
- 7) открывают рубильники 13 (РБ) и отводят 14 (ПР). Устанавливают обшивку 7 и профиль 8. Закрывают рубильники 13 (РБ). По НО в обшивке рассверливают и зенкуют отверстия в

нервюрах и лонжероне. По НО в обшивке 6 сверлят отверстия в профиле 8 и в обшивке 7. Открывают рубильники и отводят 14 (ПР). Снимают обшивку 6 и профиль 8. Очищают отсек от стружки;

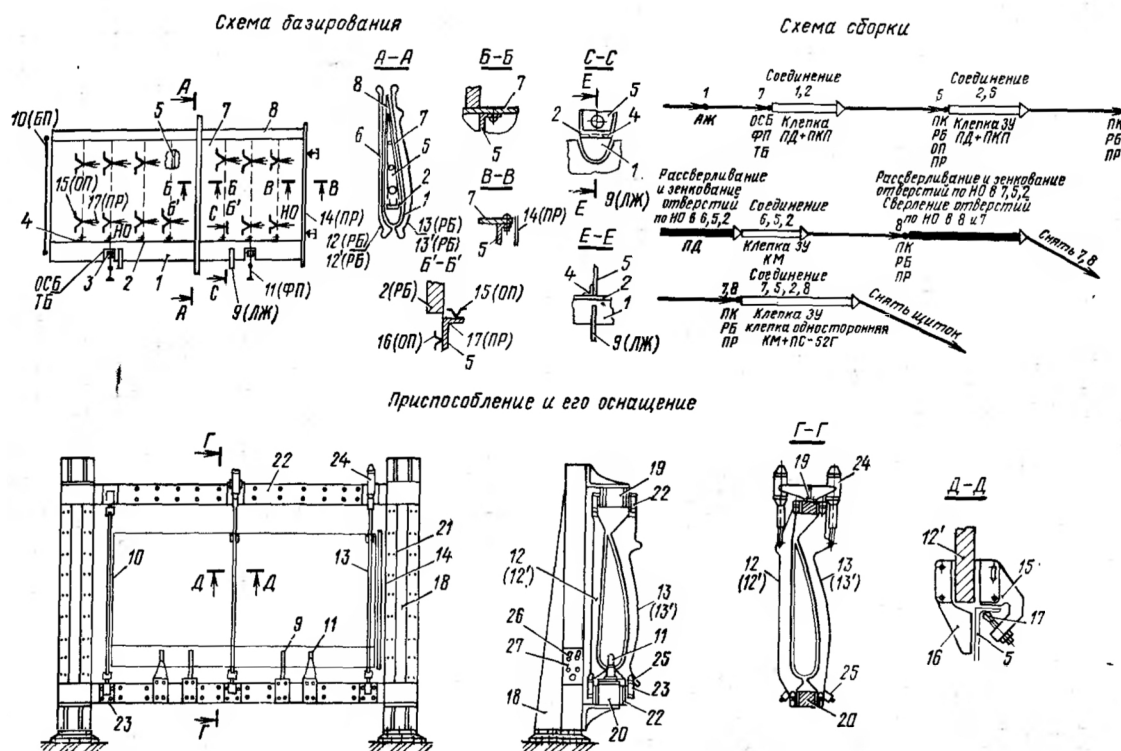


Рисунок 6.1 - Схема базирования, схема сборки и сборочное приспособление для сборки тормозного щитка

8) вновь устанавливают обшивку 7 и профиль 8. Закрывают рубильники и подводят 14 (ПР). Соединяют обшивку 7 с каркасом заклепками с сердечником с помощью гидравлического и пневматического переносного пресса;

9) зенкуют отверстия в обшивках и профиле. Соединяют профиль с обшивками заклепками при двухсторонней потайной клепке;

10) открывают рубильники. Отводят прижимную плиту 14 (ПР). Снимают ТБ и отводят фиксаторы 11 (ФП). Снимают щиток с приспособления.

4. Приспособление и его оснащение. Приспособление переналаживаемого типа (ССП) состоит из колонн 18, балок 19, 20. На колоннах установлены базовые плиты колонн 21, на балках — базовые плиты 22. На базовых плитах 22 закреплены кронштейны 23, в которых фиксируют рубильники 12, 13, 12', 13'. Рубильники открывают и закрывают при помощи гидроподъемника 24 и фиксируются бесштыревыми зажимами 25. Управление подъемом рубильников и их фиксацией осуществляется кранами 26. На балках установлены ложементы 9, фиксаторы И. На колонне установлена прижимная плита 14, перемещение которой осуществляется от пульта 27.

Описанный процесс сборки непанелированной конструкции отражает всю специфику такой сборки. Сборка подобных изделий характеризуется большим количеством операций, длительностью цикла, применением малопроизводительных ручных инструментов (при клепаной конструкции — пневматических дрелей и молотков, а при сварной — ручных сварочных клещей). В связи с этим качество соединений получается невысоким, а трудоемкость сборочных работ большой. Этот метод сборки применяют при изготовлении в серийном производстве отдельных небольших отсеков самолета и при сборке изделий в опытном производстве.

6.2 Сборка отсеков и агрегатов панелированной конструкции

Технологический процесс сборки отсека или агрегата панелированной конструкции по характеру и объему работ резко отличается от процесса сборки непанелированной конструкции. Сборка при панелированной конструкции состоит из установки узлов и панелей в сборочное положение и соединении их между собой в местах стыков /1/.

В схеме технологического процесса сборки показана последовательность поступления деталей и сборочных единиц по этапам.

На рисунке 6.2 показана конструкция носового отсека фюзеляжа. На сборку отсека, поступают отдельные детали и собранные узлы и панели. Поступающие на сборку узлы и панели, полученные в процессе узловой сборки или выполненные в виде монолитных элементов, должны соответствовать техническим условиям на их поставку на рассматриваемый этап сборки. Панели и узлы должны быть полностью собраны (клепкой, сваркой или склеиванием), обработаны по периметрам (контурам) стыков, иметь, где это предусмотрено, направляющие отверстия и припуски по длине.

Сборку отсека как заключительный этап сборки производят в следующем порядке:

- ³⁵₁₇ в приспособление по базовым поверхностям устанавливают и закрепляют шпангоуты 8 и 9 (рис. 17.6, б), затем устанавливают усиленные стрингеры 10, соединяя их со шпангоутами. Этой операцией заканчивается сборка каркаса;
- ³⁵₁₇ на каркас как на сборочную базу устанавливают панели. На рис. 17.6, б показана установка правой боковой панели. Сверлят отверстия по направляющим отверстиям в шпангоутах и усиленных стрингерах или при помощи специальных сверлильно-зенковальных головок, установленных на сборочном приспособлении. Затем отверстия зенкуют под заклепки или болты по стыкам шва;
- ³⁵₁₇ ставят заклепки (болты) по стыковым швам, расположенным на силовых стрингерах и шпангоутах. При сборке панелированных изделий объем клепальных работ в общесборочном приспособлении уменьшается, и снижается общая трудоемкость сборки отсека или агрегата за счет снижения затрат на узлы и панели, которые в этом случае собираются на механизированном оборудовании или на клепальных (сварочных) автоматах.

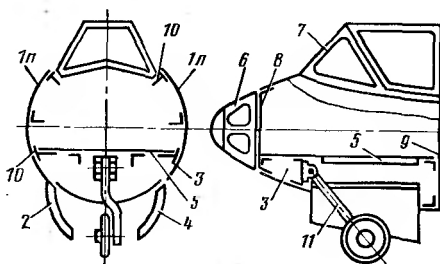


Рисунок 6.2 - Носовой отсек фюзеляжа:

1п и 1л — правая и левая панели отсека; 2, 4 — створки передней опоры; 3, 10 — усиленный стрингер; 5 — пол; 6 — каркас фонаря штурмана; 7 — каркас фонаря пилота; 8 — шпангоут № 6; 9 — стыковой шпангоут № 11, 11 — передняя стойка шасси

Преимущество панелированной конструкции очевидно. Так например, сборка отсека непанелированной клепаной конструкции длиной 2 м и диаметром 0,8 м длится 12 рабочих смен, в то время как сборка этого же отсека при панелированном варианте длится всего 6 смен. Такое сокращение цикла достигнуто путем параллельной сборки панелей и узлов в специальных приспособлениях и применения механизированной клепки.

Преимущества панелированной конструкции перед непанелированной во многом зависит от годовой программы выпуска изделий и общего объема производства.

Организационные формы сборки предусматривают выполнение всего комплекса работ по сборке отсека или агрегата и монтажу оборудования, приборов и систем. При сборке отсеков и агрегатов различают два этапа: сборку в стапеле и сборку-монтаж вне стапеля (внестапельная сборка).

Внестапельная сборка предусматривает установку по чертежам жестких узлов, съемных панелей и деталей, которые для сохранения своей формы и положения не требуют сборочного приспособления. На внестапельной сборке, кроме того, производится доработка соединений, т. е. постановка заклепок и болтов, к которым затруднены подходы, монтаж и установка механизмов, приборов, оборудования и коммуникаций, электрических, гидравлических и пневматических систем.

Внестапельная сборка также ведется по заранее разработанному технологическому процессу, в котором указываются оборудование, оснастка, инструмент и нормы времени на выполнение отдельных видов работ.

Стапельные и внестапельные работы при сборке отсеков и агрегатов могут быть организованы по поточному методу и без применения потока.

Поточный метод сборки предусматривает строгое распределение работ между отдельными участками, подачу скомплектованных узлов, панелей и деталей и установление ритма сборки. Этот метод позволяет значительно сократить общий цикл сборки и трудоемкость работ в сравнении с методом сборки без применения потока.

Для обеспечения взаимозаменяемости отсеков и агрегатов после их сборки производят обработку разъемов и стыков в специальных разделочных стандах (рисунок 6.3).

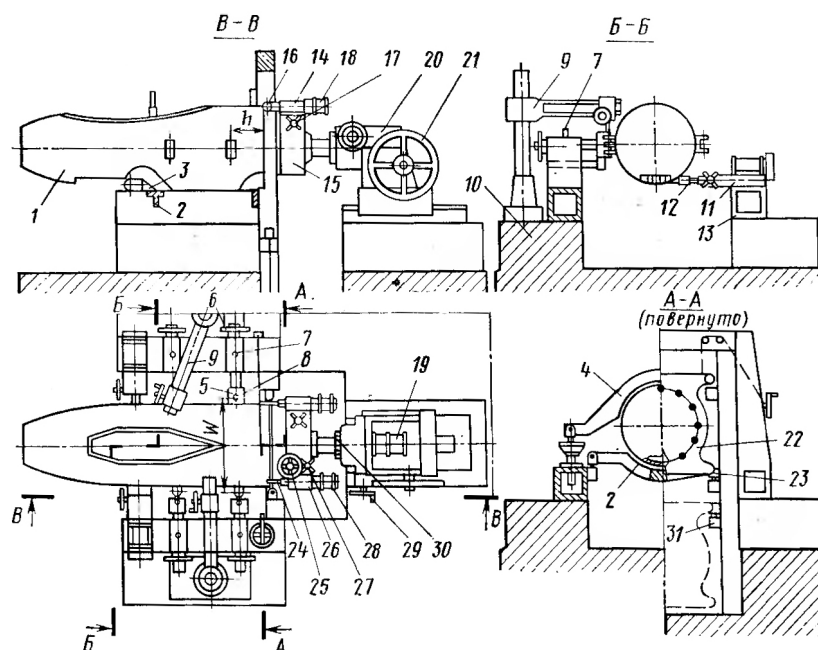


Рисунок 6.3 - Разделочный стенд для обработки узлов разъема и стыка носового отсека фюзеляжа: 1 — носок фюзеляжа; 2 — ложемент; 8, 7 — фиксатор; 4 — прижим; 5 — кондукторная головка; 6 — маховичок; 8 — кондукторная втулка; 9 — радиально-сверлильный станок; 10 — фундамент; 11, 14, 26 — агрегатные головки; 12, 24 — инструмент (зенкер, развертка); 13 — балка; 15 — траверса; 16 — фреза; 17, 21, 25, 27, 29 — рукоятки и штурвалы управления; 18, 19, 20 — электродвигатели; 20 — тумба; 22 — плита разделочного стенда; 23 — вилка; 30 — лимб; 31 — кронштейн

Разделочный стенд в общем виде представляет собой пространственную конструкцию, которая состоит из базирующих элементов для установки и закрепления изделия, кондукторов (плит разделочных стендов — ПРС) и металлообрабатывающих станков.

В самолето- и вертолетостроении применяют специальные и универсальные разделочные стенды, специальный стенд предназначен для обработки одного конкретного типоразмера отсека или агрегата; универсальный стенд — для обработки однотипных групп

отсеков и агрегатов. При переходе с обработки одного типоразмера отсека на другой производят не полный демонтаж стенда, а только его переналадку. В специальном разделочном стенде, показанном на рисунке 6.3, можно обрабатывать отверстия под стыковые болты в узле крепления стойки передней опоры, в узлах стыка фюзеляжа с крылом и в стыковом шпангоуте, а также и привалочную плоскость стыкового шпангоута носового отсека фюзеляжа. Собранный отсек устанавливается на ложементы разделочного стенда, выравнивается и фиксируется штифтами и прижимными рубильниками. После установки и закрепления отсека в разделочном стенде устанавливаются в рабочее положение плита стыка, кондукторные и агрегатные головки. Например, кондукторные головки 5 устанавливаются маховичком 6 в такое положение, чтобы был выдержан заданный размер W . Отверстия ОСБ в узлах отсека зенкеруются и развертываются через отверстия в кондукторной втулке при помощи универсальных радиально-сверлильных станков 9. Оба стыковых узла полукрыльев, расположенных по обе стороны фюзеляжа, обрабатываются одновременно. Зенкерование и развертывание отверстия в узле крепления передней опоры производится сменными инструментами 12 при помощи агрегатной головки И.

Торец стыкового шпангоута обрабатывается при помощи фрезерной агрегатной головки 14, фреза которой 16 устанавливается на размер h рукояткой 17. Вращение фрезы осуществляется от электродвигателя 18, а перемещение головки по окружности — вращением траверсы от электродвигателя 19.

По окончании обработки головка с траверсой и тумбой 20 отводится от отсека штурвалом 21.

Отверстия ОСБ в шпангоуте обрабатываются зенкером и разверткой через плиту разделочного стенда 22. При обработке инструмент центрируется относительно отверстия в плите при помощи штурвала 25 в радиальном направлении и рукояткой 27 вдоль оси головки. Вращением рукоятки 29 траверса 15 вместе со сверлильной головкой 26 поворачивается вокруг своей оси. Угол поворота траверсы определяют по лимбу 30.

При обработке отверстия тумба и траверса закрепляются, инструмент вращается от электродвигателя 28. После обработки всех отверстий по окружности стыка тумба с головками отводится в исходное положение, а плита разделочного стенда опускается вниз и закрепляется на кронштейнах 31. Освободив фиксаторы, отводят в исходное положение кондукторные головки 5, далее, освободив прижимные рубильники, краном вынимают отсек из разделочного стенда.

Обработка отверстий и пазов в разъемах и стыках производится за несколько переходов, число которых зависит от марки материала, из которых изготовлен узел стыка, и требуемой точности при образовании отверстий и пазов.

Практика применения разделочных стендов показала, что отсеки и агрегаты, обработанные в стендах, являются взаимозаменяемыми и стыковка таких агрегатов сводится только к операциям, связанным с установкой стыковых болтов, соединением коммуникационных систем и регулированием тяг управления, проходящих в зоне стыка или разъема.

7 СОБОРКА АГРЕГАТОВ И ОТСЕКОВ САМОЛЁТА ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

7.1 Изготовление агрегатов и отсеков из композиционных материалов

Одним из показателей усложнения конструкций летательных аппаратов служит повышение объема применения полимерных композиционных материалов (ПКМ), что во многом определяет технический уровень авиационной техники /1/, /5/.

Достижимый эффект (повышение служебных свойств, снижение массы) в значительной степени зависит от:

- ³⁵₁₇ объема применения ПКМ, который, согласно мировой тенденции, постоянно растет;
- ³⁵₁₇ создания конструкций с заранее заданными характеристиками;
- ³⁵₁₇ резкого сокращения количества деталей и нормалей;
- ³⁵₁₇ уникальных свойств ПКМ, в т.ч. от высоких удельных характеристик прочности и жесткости;
- ³⁵₁₇ высоких показателей сопротивления усталости, стойкости к вибро- и акустическим нагрузкам;
- ³⁵₁₇ возможности управления в широких пределах анизотропией свойств;
- ³⁵₁₇ совместимости ПКМ с другими материалами;
- ³⁵₁₇ повышенной коррозионной стойкости;
- ³⁵₁₇ эксплуатационной надежности и др.

В настоящее время внедрение композиционных материалов и конструкции осуществляется по трем основным направлениям:

- ³⁵₁₇ замена традиционных материалов без изменения конфигурации деталей; примеры такой замены приведены на рисунках 7.1 и 7.2;
- ³⁵₁₇ локальное упрочнение, при котором элементы из композиционных материалов в виде накладок или вставок подкрепляют детали из традиционных материалов; на рисунке 7.3 приведены примеры подобного упрочнения, а на рисунке 7.4 показано местное упрочнение в конструкции отдельных узлов горизонтального стабилизатора самолета DC-8;
- ³⁵₁₇ оптимальное проектирование с учетом особенностей применяемых композиционных материалов.

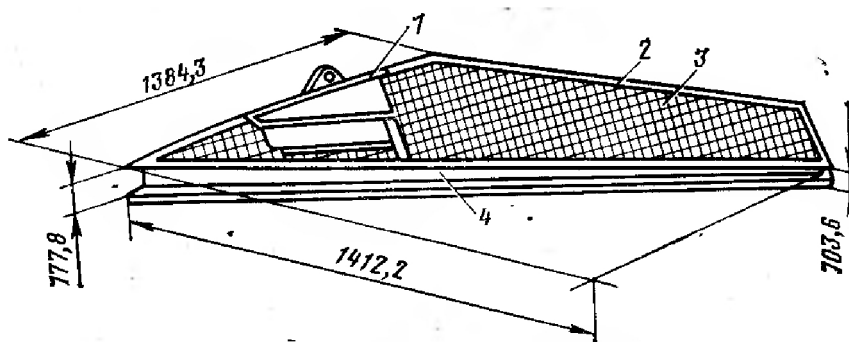


Рисунок 7.1 - Узел горизонтального стабилизатора самолета F-111:

1 - концевой фитинг из титана; 2 — соты из стеклопластика; 3 — обшивка из борэпоксидного композиционного материала; 4 — лонжерон из стеклопластика

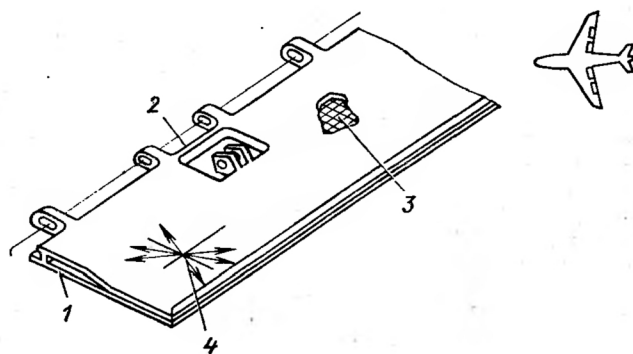


Рисунок 7.2 - Интерцептор самолета «Боинг-737»:

1 — нервюра из стеклопластика; 2 — фитинги и лонжерон из алюминиевого сплава; 3 — алюминиевый сотовый наполнитель; 4 — верхняя и нижняя обшивка из перекрестного армированного эпоксидного углепластика

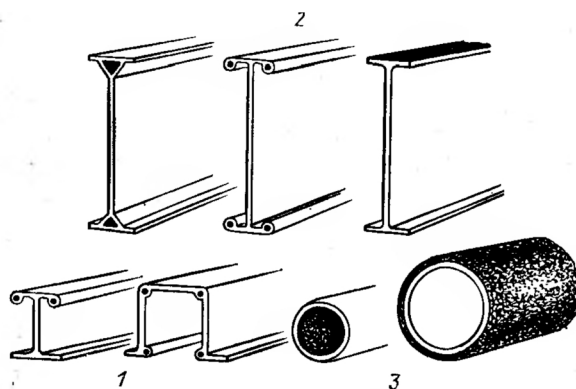


Рисунок 7.3 - Упрочнение эпоксидным угле- и боропластиком элементов конструкции из традиционных материалов: 1 — элементы (ребра) жесткости; 2 — балки; 3 — стержни, трубы

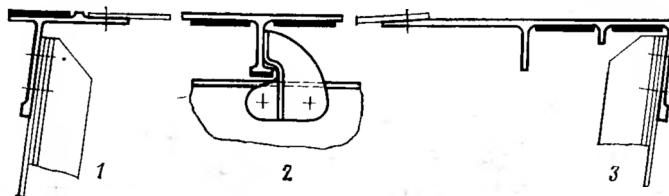


Рисунок 7.4 - Местное упрочнение в конструкции горизонтального стабилизатора самолета DC-8 эпоксидным боропластиком:

1 — передний лонжерон; 2 — типовой стрингер; 3 — задний лонжерон

Свойства армированных пластиков в значительной степени зависят от соотношения между связующим и армирующим материалом и параметрами технологического процесса изготовления.

При увеличении объемного содержания армирующего материала в композиционном материале повышаются механические характеристики (предел прочности при растяжении, изгибе и модуль упругости), однако лишь до некоторого предела, определяемого физико-химическим и механическим взаимодействием арматуры и полимерного.

Ориентация армирующего материала имеет решающее значение для прочностных характеристик конструкции. Направление армирования или укладки материала в конструкции должны отвечать наибольшей прочности композиционного материала, поскольку этот тип материала обладает ярко выраженной анизотропией механических свойств.

От способа изготовления зависят однородность композиции и качество изделия. Как правило, формование в закрытых формах и под избыточным давлением способствует получению регулярной и бездефектной структуры.

Таким образом, создание эффективной крупногабаритной конструкции из волокнистых композиционных материалов является почти в каждом случае серьезной инженерной задачей, требующей для успешного решения совместного труда конструкторов, технологов и расчетчиков конструкции на прочность.

Композиционные материалы с углеродной матрицей и углеродным волокном применяются для тепловой защиты, изготовления дисков авиационных тормозов, химически стойких емкостей и аппаратуры.

Композиционные материалы (КМ) на металлической матрице несколько отстают в своем развитии от полимерных. Вместе с тем ряд свойств КМ на металлической матрице (достаточно высокие механические и упругие характеристики в поперечном направлении, при сжатии и кручении, возможность повышения рабочих температур, высокие тепло- и электропроводимость) позволяют рассматривать эти материалы как перспективные для использования в различных авиационных конструкциях. Наибольшие успехи достигнуты к настоящему времени в разработке и испытании конструкции из бороалюминия.

За высокими показателями служебных свойств изделий из ПКМ стоят более сложная структура и трудоемкая технология изготовления конструкций из полимерных композиционных материалов, принципиально отличающаяся от производства металлических полуфабрикатов (рис. 17.1).

Композиционные материалы - это широкий класс материалов, состоящих из армирующего наполнителя на основе углеродных, борных, стеклянных и других волокон и полимерной матрицы. Применение высокопрочных и высокомодульных ПКМ (угле-, боро-, органе-, стеклопластиков и т. п.) в конструкциях летательных аппаратов позволяет снизить их массу и повысить ресурс.

Свойства полимерно-композиционных материалов могут изменяться в зависимости от состава и технологии изготовления в широком диапазоне. Усредненные физико-механические характеристики ПКМ в сравнении с применяемыми металлами приведены в таблице 7.1. В состав полимерных композиционных материалов входят высокопрочные и высокомодульные волокна и полимерные связующие. Характеристики применяемых наполнителей приведены в таблице 7.2.

Разработка конструкции деталей из ПКМ имеет ряд особенностей:

- 1) композиционные материалы анизотропны; ориентация волокон и конструкция изделия задается конструктором в соответствии с действующими нагрузками;
- 2) изготовление материала и формообразование детали происходит одновременно, поэтому разброс физико-механических характеристик материала детали больше, чем для металлических сплавов.

Таблица 7.1

Сравнительная характеристика свойств ПКМ и металлов

Материал	Плотность γ , кг/м ³	Прочность при растяжении, σ , Па	Модуль упругости при растяжении E, ГПа
Углепластик	1500	1700	155
Боропластик	2000	1300	200
Органопластик	1300	2000	95
Стеклопластик	2000	2500	70
Алюминиевые сплавы	2700	600	70
Титан	4500	1100	110
Сталь	7800	2100	200

Таблица 7.2

Характеристики применяемых наполнителей

Тип наполнителя	Наименование, марка наполнителя	Радиус* перегиба, мм	Толщина * монослоя, мм
Углеродные	Жгут ВМН-4 24 сложения	5	0,35... 0,42
	Ровница ВМН-РК	5	0,25... 0,3
	ЛУ-3 ЛУ-П	5	-
	ЭЛУР-П	5	0,1
	Волокно	50	0,15
Борные	Комплексная нить КБСН	50	0,3
Стекланные	Нити крученые ТС-68х1х2 ВМС-6-7,2х 1х2-80 ВМПС-6-7,2х1х2х270 Жгуты РВМПН-10-400-80 РВМН- 10-400-80	2	0,11... 0,14
Органические	Нити крученые СВМ № 1 7,34	2	0,2... 0,25

* Радиус перегиба приводится для предварительно пропитанных полуфабрикатов.

** Толщина монослоя дана для композиционного материала, отформованного в автоклаве.

Для стабилизации режимов технологического процесса и физико-механических характеристик материалов рекомендуется шире применять предварительно пропитанные материалы, позволяющие механизировать и автоматизировать технологические процессы намотки и выкладки, с последующим автоклавным и прессовым формованием, а также вести пооперационный контроль технологических процессов.

Для изготовления деталей и агрегатов из ПКМ применяют следующее специализированное оборудование:

³⁵₁₇ для изготовления полуфабрикатов;

³⁵₁₇ для изготовления деталей методом выкладки;

³⁵₁₇ для изготовления деталей методом намотки;

³⁵₁₇ для формования деталей.

Технологические характеристики применяемых ПКМ, а также оборудование для изготовления деталей представлены в таблице 7.3 и 7.4.

Таблица 7.3

Технологические характеристики ПКМ

Марка связующего	Марка материала	Условия отверждения			Хранение препрегов, сут, при температуре не выше 25 С
		максимальная температура, °С	давление, МПа	цикл, ч	
ЭТФ	КМУ-1Л КМУ-1у КМУ-1в	200	1,2	9	1
Э-341А (5-2 11 Б)	КМУ-3	125	1,0	6	3
	КМУ-3Л	125	1,0	6	10
ЭНФБ	КМУ-4Л	165	0,6	6	180
	КМУ-4Э	175	0,6	6	180
СП-95	КМБ-2М	235	1,0	6	30
УП-2130	КМБ-3М	140	0 !	6	30
ЭНФБ	КМБ-4М	160	0,6	6	180
ЭДТ-10П	ЭДТ-10ВОВ (ВПС-9)	180	0,1... 0,5	3	10
Э-341А (5-2 ПБМ)	7Н	160	0,5	8	20... 30

Оборудование для изготовления деталей из ПКМ

Оборудование	Размеры изготавливаемых деталей и препрега, мм	Основные технические характеристики оборудования
Установка УЛС-3 для изготовления лент-	Ширина лент: стеклянной - до 50; углеродной - до 50; тканых -до 100	Условная производительность, кг/ч: - для стеклоленты при ширине 50 мм и скорости протягивания 20 м/мин - 24; - для углеродной ленты при ширине 50 мм и скорости протягивания 7 м/мин - 15; - для тканой стеклоленты при ширине 100 мм и скорости протягивания 5 м/мин - 4,5
Установка УПСТ-300 для пропитки углеродных лент	Ширина ленты до 300	Условная производительность при скорости движения углеродной ткани 2 м/мин и ширине 300 мм - 14 кг/ч
Установка УПСТ-1000М для пропитки тканей	Ширина ткани до 1000	Условная производительность при скорости движения стеклоткани 1 м/мин и ширине 1000 мм - 30 кг/ч
Установка УПСТ-1600М для пропитки тканей	Ширина ткани до 1600	Условная производительность при скорости движения стеклоткани 1 м/мин и ширине 1600 мм - 50 кг/ч
Станок НЛ-ЗПУ для намотки лонжеронов из стеклопластиков и КМ	Диаметр до 550 Длина до 9000	Угол намотки- 0...90 град Производительность - 7 кг/ч
Намоточные станки для изготовления деталей из стекло-, угле- и боропластиков: НК-9ПУ НК-10ПУ НК-11ПУ	Диаметр 50... 500 Длина 200... 2000 Диаметр 500... 1600 Длина 500... 4000 Диаметр 500... 2500 Длина 3000... 10000	Угол намотки- 10... 90 град Производительность - 1 8 кг/ч Угол намотки- 5 ... 90 град Производительность - 1 8 кг/ч Угол намотки - 5 ... 90 град Производительность - 1 8 кг/ч
Станки для изготовления деталей методом выкладки ВКЛ-1-2,5; ВКЛ-2-8; ВКЛ-1-16	Ширина от 0 до 2000 Длина от 0 до 16000	Угол выкладки - 0. . . 90 град
Автоклавы: АЭ 1,2-4; АЭ 1,8-6; АЭ 2,5-10; АЭ 3,1 5-16; АЭ 4,5-26	Диаметр от 1200 до 4500 Длина от 4000 до 26000	Рабочее давление- 16-МПа Рабочая температура - 380" С
"Шольц" А- 25.576; А- 25.578; А-25.580; А- 25.582; А-25.584,	Диаметр от 800 до 450 Длина от 1000 до 26000	Рабочее давление -3МПа Рабочая температура -380... 450" С

Однонаправленную углеродную ленту получают на установках типа УЛК-2, УЛС-2М и УЛС-3 производства Савеловского машиностроительного АО «СМЗ» методом формирования пряжи из жгутов с последующей пропиткой, сушкой и намоткой ленты на катушку приемного устройства. Управление установкой производится с пульта управления. На установках УЛК-2 и УЛС-3 можно получать ленту на бумажной подложке. Бумажная подложка необходима для обеспечения точности выкладки лент из композиционных материалов. Она является транспортером, с помощью которого лента из композиционного материала поставляется в зону выкладки.

Пропитка тканых лент и тканей из углеродных и борных волокон осуществляется на установках типа УПСГ-1000 и УПСТ-300 с последующей сушкой и намоткой на катушку узла приема ткани. Управление установками производится с пульта управления.

Станки для выкладки типа ВКЛ-1х2,5 ПУ, ВКЛ-2х8ПУ, ВКЛ-2х12ПУ, ВКЛ-4х12-ПУ предназначены для изготовления деталей одинарной кривизны и плоских панелей. Станки для выкладки оснащены устройством программного управления НЗЗ-2М и вакуумным столом для крепления деталей. На станках для выкладки применен принцип машинной выкладки, который заключается в том, что ленту из композиционного материала, находящуюся на бумажной перфорированной подложке, укладывают на изделие и прикапывают движением раскладочной головки по требуемой траектории относительно изделия, а бумажную подложку сматывают на специальную катушку.

Намоточные станки типа НК-9ПУ, НК-10ПУ, НК-1ШУ, НК-11В служат для изготовления из композиционных материалов изделий типа корпусов, лопастей, емкостей с укладкой ленты под углом 5...90° к оси оправки. Станки — пятикоординатные, оснащены программным управлением. Намоточные станки представляют собой двухшпиндельные станки с горизонтальным расположением осей шпинделей. Передняя и задняя бабки имеют по два шпинделя для намотки деталей малого и большого диаметра на вращающейся оправке.

Автоклавы типа АЭ-1,2х4, АЭ-1,8х6, АЭ-2,5х10, АЭ-3,15х16, АЭ-4,5х26 предназначены для формования и отверждения деталей из композиционных материалов, склеивания отформованных деталей и сотовых конструкций. Автоклав представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд, установленный на опорах, с приваренным эллипсоидальным днищем и поворотной крышкой. Внутри автоклава на опорной тележке установлены трубчатый холодильник и электрический нагреватель, в котором в качестве нагревательного элемента применена нихромовая лента. Нагреватель обеспечивает необходимую мощность теплового потока. Охлаждение установки — водяное. Вакуумирование формируемой детали осуществляется вакуум-насосом.

7.2 Изготовление полуфабрикатов

Качество деталей из ПКМ связано с технологическим процессом получения полуфабриката (препрега) и формированием из него изделия. Наиболее распространенным является метод изготовления деталей из однонаправленных и тканых лент, предварительно пропитанных связующим /5/.

Изготовление однонаправленных лент производится на установках типа УЛК. При приготовлении связующего руководствуются технологическими рекомендациями ВИАМ. Приготовленное связующее должно удовлетворять требованиям, приведенным в таблице 7.5.

Схема установки типа УЛК приведена на рисунке 7.5. Типовой технологический процесс включает в себя следующие операции:

- ³⁵₁₇ установка необходимого числа шпуль в шпулярник;
- ³⁵₁₇ установка требуемого натяжения жгутов и температурного режима сушильной камеры;
- ³⁵₁₇ заливка связующего в пропиточную ванну;
- ³⁵₁₇ протяжка ленты в соответствии с режимами, приведенными в таблице 7.6;
- ³⁵₁₇ намотка пропитанной ленты на приемную катушку.

Таблица 7.5

Основные требования к связующему

Марка связующего	Концентрация, %	Плотность при 20° С, кг/м ³	Вязкость при 20° С по ВЗ-1 (сопло диаметром 5,4 мм), с
Э-341А	45 ±2	946	-
ЭТФ	50±2	975	6,5
ЭНФБ	50+2	977	-
ЭП-1	80±2	1100	4,4
ЭП-2	70 ±2	1070	3,2
УП-2130	50±2	-	2,7 (при 25° С)
СП-97	43 ±2	-	5,2
СП-95	25 ±2	-	5

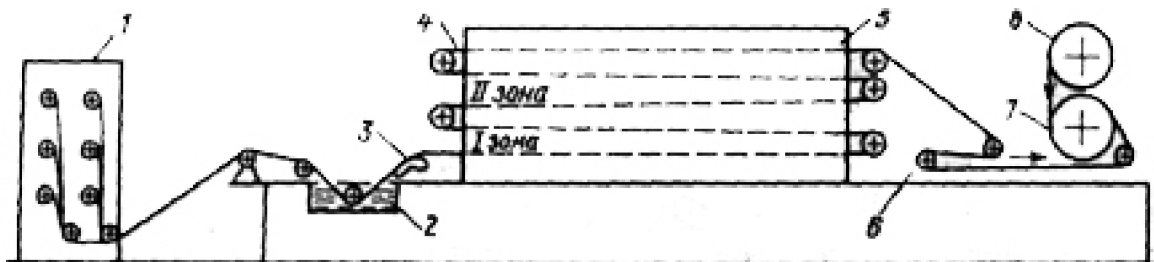


Рисунок 7.5 - Схема установки типа УЛК:

1 — шпулярник; 2 — пропиточная ванна; 3 — отжимное устройство; 4 — углеводная лента; 5 — сушильная камера; 6 — механизм протяжки; 7 — механизм намотки; 8 — фторопластовая подложка

Таблица 7.6

Режимы протяжки ленты

Марка связующего	Температура сушки по зонам, °С		Скорость, м/мин
	I	II	
Э-341А	90 + 5	90±5	5,5 + 0,5
ЭТФ	85 ±5	80 ±5	5 ±0,5
ЭНФБ	70 ±5	50±5	5 ±0,5

В процессе изготовления лент контролируются следующие параметры:

- ³⁵₁₇ обрыв волокон (визуально);
- ³⁵₁₇ температура сушки (по потенциометру);
- ³⁵₁₇ уровень связующего (по уровнемеру);
- ³⁵₁₇ зазор в отжимном устройстве (с помощью щупа);
- ³⁵₁₇ скорость процесса протяжки (по микроамперметру);
- ³⁵₁₇ метраж ленты (по счетчику метража).

Ширина и толщина ленты измеряется с помощью стандартного измерительного инструмента. Контроль содержания связующего в ленте осуществляется на образцах, отрезанных в начале и конце формируемого препрега.

Процесс пропитки тканых лент типа ЛУ-2, ЛУ-3 и ЛУ-П аналогичен процессу изготовления однонаправленных лент и выполняется на машинах типа УПСТ с автоматическим регулированием скорости и температуры по зонам сушильной камеры.

7.3 Изготовление деталей и узлов методом намотки

Методом намотки создают наиболее прочные конструкции при минимальной массе, что достигается ориентацией армирующего наполнителя в направлении действия главных нагрузок. Методом намотки изготавливают детали и узлы, представляющие собой тела вращения (типа секций трансмиссионного вала, баллонов высокого давления, корпусов двигателей, воздухопроводов) (рисунок 7.6, а и б) и детали сложной геометрической формы (типа лопастей, закрылков) (рисунок 7.6, е и г) [5].

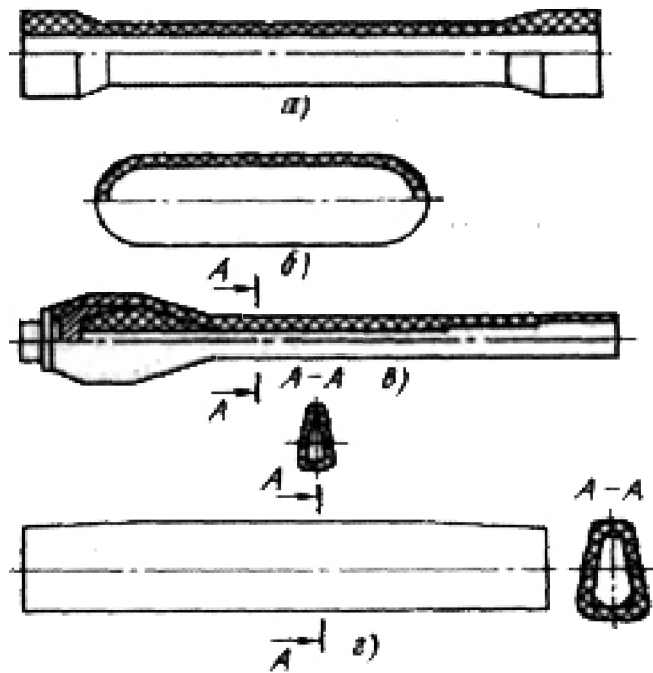


Рисунок 7.6 – Детали и узлы, изготавливаемые методом намотки на станках с программным управлением:

а — секция трансмиссионного вала; б — баллон высокого давления; в, г — лонжероны

На рисунке 7.7 приведена одна из возможных схем намоточного станка, так называемого токарного типа [1]. Станок состоит из привода, вращающего оправку 7 и перемещающего укладчик 6. Укладчик, несущий кольцо, совершает возвратно-поступательное движение по направляющей 9. Сквозь кольцо укладчика проходит нить со шпули 1, пропитанная связующим в ванночке 3 и нагретая до необходимой температуры в камере 5. Армирующий материал укладывается на оправку 7 под регулируемым натяжением с помощью направляющих 2 и отжимных 4 валиков.

Скорость намотки зависит от скорости вращения оправки. В свою очередь, вращение оправки и перемещение укладчика синхронизируются. В зависимости от длины изделия 8, расчетного угла намотки устанавливаются соответствующие числа оборотов оправки и продольных ходов укладчика. Наиболее рациональным является программирование связи между движением раскладчика и вращением оправки.

Обычно для получения материала удовлетворительного качества достаточно давления, вызываемого натяжением ленты или нити. В некоторых случаях для получения более плотного материала рекомендуется дополнительная опрессовка при термической обработке связующего под давлением 0,2...0,5 МПа.

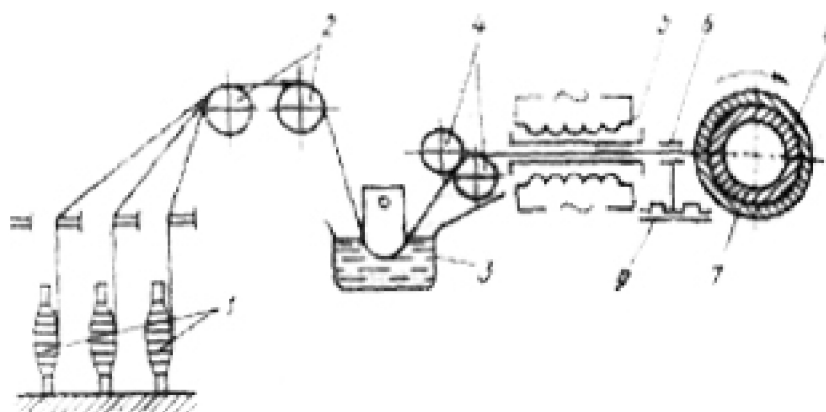


Рисунок 7.7 - Схема намоточного станка

В настоящее время получили распространение следующие разновидности метода намотки.

Тканевая намотка, при которой на цилиндрическую или коническую оправку в определенной последовательности наматываются слои предварительно пропитанной ткани. Процесс характеризуется высокой производительностью и хорошей герметичностью полученного изделия, сохраняемой вплоть до его разрушения при испытании внутренним давлением.

Продольно-поперечная намотка характеризуется ориентацией пропитанных лент, жгутов по образующим (продольная укладка) и в окружном направлении под углом 90° к оси оправки (поперечная укладка). Прочность конструкции повышается по сравнению с тканевой намоткой и составляет 700...800 МПа и выше.

Спиральная, или геодезическая, намотка осуществляется путем укладки армирующего материала, пропитанного связующим, по траекториям геодезических линий. Геодезическая намотка используется для изготовления конических отсеков, сосудов высокого давления сферической, а также цилиндрической формы с закрытыми торцами или полярными отверстиями. В последнем случае для получения равнопрочной конструкции производится дополнительная намотка в кольцевом направлении.

Наиболее перспективна *механизированная намотка на станках с программным управлением*. В качестве полуфабриката используют пропитанные термореактивным связующим ленты, жгуты, нити, ткани. Намотка деталей, представляющих собой тела вращения, и деталей некруглого профиля осуществляется на станках с программным управлением типа НК-9ПУ, НК-10ПУ, НК-11ПУ, НК-ЗПУ.

Основные правила, которые следует выполнять при проектировании деталей, изготавливаемых намоткой:

- 1) необходимо избегать острых кромок и острых углов, резких переходов от одной части детали к другой;
- 2) наличие поднутрений и выступов на внутренней поверхности деталей усложняет проектирование и изготовление оснастки, так как при этом требуется использовать разборные оправки, которые в изготовлении сложнее неразборных;
- 3) наличие отверстий в деталях значительно ослабляет конструкцию. При оформлении отверстий, если это возможно по конструкции, предпочтительна их ромбическая форма (геометрия ромба определяется углом намотки);
- 4) при оформлении круглых отверстий необходимо усиливать края отверстий окантовкой из пропитанной стеклоткани, закладкой предварительно отформованной заготовки и др.;
- 5) в ряде случаев в зонах соединений допускается применение фольги из коррозионностойкой стали или титана для увеличения прочности при срезе.

Подготовительный процесс включает в себя составление программы для станка с ЧПУ с учетом длины оправки, диаметра полярных отверстий и формы технологических днищ на основании требований технического задания, в котором указываются следующие

параметры: угол укладки армирующего наполнителя на оправку, ширина используемой ленты, заходность рисунка намотки, допустимая величина зазора между лентами наполнителя, допустимое отклонение от угла армирования.

Программа должна обеспечивать укладку полуфабриката без нахлестов, с зазором до 1 мм и скоростью не более 10 м/мин. Для деталей с толщиной стенки более 3 мм программа рассчитывается с учетом изменения диаметра (периметра) при намотке через каждые 3 мм.

Для изготовления деталей, представляющих собой тела вращения, применяют оправки со сферическими законцовками, а для деталей сложной геометрии — оправки, для которых форма технологических законцовок определяется экспериментально. Это обеспечивает намотку на поверхности оправки по линиям, близким к геодезическим. Для изготовления деталей методом намотки применяют оправки следующих типов:

- 1) металлические неразборные и разборные многоразового применения с конусностью наружной поверхности 0,25 мм на длину оправки 1000 мм;
- 2) многоразового применения, неразборные без конусности изготовленные из материалов с коэффициентом линейного термического расширения $\alpha \leq 13 \cdot 10^{-6}$ 1/град для переработки КМ с относительным удлинением при разрыве $\varepsilon \leq 1$ (рисунок 7.6);
- 3) одноразового применения (надувные, вымываемые, выплавляемые, разрушаемые и оставляемые в изделии).

Поверхности металлических оправок изготавливают с шероховатостью не более $Ra = 2,5$ мкм, при этом точность на два класса выше точности изготовления детали.

Для оформления наружных поверхностей намотанных заготовок, формуемых под давлением в автоклавах, применяют цулаги со стыками, расположенными вдоль образующей детали.

Для деталей, представляющих собой тела вращения диаметром не более 60 мм, применяют цулаги, состоящие из трех секций; если диаметр более 60 мм, применяют цулаги, состоящие не менее чем из пяти секций. Нахлест кромок каждой секции цулаг на следующие производят навстречу вращения оправки при выклейке.

Для деталей с переменным ступенчатым сечением цулаги изготавливают отдельно для каждого сечения. Располагают их по схеме, указанной.

Для съема заготовок с оправок применяют кабестаны и съемники. При проектировании кабестанов и съемников исходят из условия, что усилие съема для углепластиков по стальной поверхности, обработанной антиадгезионной смазкой К-21, не менее 10 МПа.

7.4 Изготовление узлов и деталей методом выкладки

Метод выкладки применяется для изготовления деталей из ПКМ плоской формы, одинарной и двойной кривизны. Выкладка производится из предварительно пропитанного полуфабриката («сухой» метод) /8/.

Типичными представителями деталей для выкладки являются обшивки, панели, равно- и разнотолщинные накладки с различной ориентацией армирующего наполнителя, задаваемой в зависимости от характера, величины и направления действующих на грузок. В зависимости от геометрии деталей и возможностей производства выкладка по способу выполнения разделяется на ручную, автоматизированную и механизированную.

Ручная выкладка применяется для малогабаритных деталей и включается в послойном наборе пакета из заранее раскроенных заготовок в соответствии со схемой выкладки. Раскрой заготовок производится по шаблонам с использованием средств малой механизации из предварительно пропитанных лент и тканей после выдержки их при температуре цеха 2...2,5 ч (в случае хранения материалов в холодильнике). Заготовки при выкладке выкладываются вручную на форму или лист с обработанной поверхностью или проложенной разделительной пленкой встык. Для сложных по конфигурации деталей допускаются нахлесты или зазоры 1,5...2 мм, при этом в схеме выкладки предусматривается смещение нахлестов в слоях.

После выкладки каждого слоя производится уплотнение пакета обогреваемым роликком через разделительную пленку для удаления воздушных включений и усиления сцепления слоя.

Автоматизированная выкладка применяется для изготовления деталей плоской формы и одинарной кривизны с углом наклона до 5° на станках с числовым программным управлением. Она заключается в наборе по программе из пропитанных лент пакета на обработанную форму. Режимы выкладки (скорость протяжки, температура и давление прикатки) зависят от марки, характеристик применяемого препрега и детали и изменяются в следующих диапазонах: скорость протяжки — от 1 до 10 м/мин, температура — от 20 до 120° С, давление — от 5 до 15 Н на 1 мм ширины.

Механизированная выкладка применяется для изготовления деталей двойной, а также одинарной кривизны с углом наклона более 5°. Она заключается в автоматизированном изготовлении отдельных заготовок (слоев), переносе, выкладке и прикатке на форму вручную.

В зонах соединения деталей, изготавливаемых методом выкладки, зачастую производится усиление стеклотканью по схеме, указанной в чертеже на деталь. В ряде случаев в зоне соединений допускается применение фольги для увеличения прочности при срезе.

Перечень оснастки для выкладки приведен в таблице 7.7. Размеры и геометрия форм оснастки берутся с плаза или с 3D модели.

Таблица 7.7

Основные виды оснастки для выкладки

Наименование	Назначение	Примечание
Форма	Выкладка и авто- клавное формование	Выкладка ручная, механизированная
Приспособление (инструмент для резки препрега)	Раскрой препрега на заготовки	Выкладка ручная
Ролик прикаточный с обогревом	Послойная прикатка при выкладке	Выкладка ручная, механизированная
Приспособление-съемник	Съем выложенного слоя и перенос на форму	Выкладка ручная, механизированная
Шаблоны для раскроя	Раскрой препрега на заготовки	Выкладка ручная
Стеллажи	Хранение оснастки	Выкладка ручная, механизированная

Базовой поверхностью форм для деталей с аэродинамическим контуром служит наружная поверхность, для всех остальных — внутренняя или наружная, в зависимости от требований чертежа. Формы для выкладки изготавливаются из материалов, длительно работающих при температуре 250 °С и давлении 1 МПа — из титана, дюралюминия, стали. Оформляющие поверхности металлических форм изготавливаются с шероховатостью Rz от 0,53 до 0,32 мкм в зависимости от требований к деталям.

При проектировании форм, кроме припуска на обрезку, предусматриваются технологические припуски для изготовления образцов-свидетелей из однонаправленного материала для контроля на соответствие паспорту. Шаблоны для раскроя изготавливаются из металлических и неметаллических материалов (текстолит, стеклотекстолит) толщиной от 1,5 до 2 мм. Их число должно соответствовать числу заготовок, отличающихся по конфигурации, указанных в схеме выкладки или в технических требованиях чертежа.

Прикаточный обогреваемый ролик изготавливается из металла с шероховатостью поверхности Rz = 0,32 мкм. Он имеет следующие габаритные размеры: диаметр 75...150 мм, длина 50...270 мм, масса 205 кг. Температура ролика поддерживается в пределах 40...120 °С с точностью ± 5 °С. Приспособление-съемник представляет собой поворотные захваты из дюралюминия.

Перед началом работы формы обезжиривают и покрывают смазкой, которую затем термообработывают при соответствующей температуре. Для К-21, например, термообработка ведется при 200...220 °С в течение 2 ч. Основные материалы, поступающие для выкладки, подвергаются обязательному входному контролю на соответствие ОСТ и ТР. Пропитанные полуфабрикаты контролируются на содержание связующего, летучих и растворимых веществ, ширину и толщину для каждой партии материала. При несоответствии результатов анализа предъявляемым требованиям проводится повторный анализ. При повторном отрицательном результате партия полуфабрикатов бракуется. Контроль автоматизированного процесса выкладки предусматривается производить в каждом слое по показателям, приведены в таблице 7.8. Контроль ручного процесса выкладки производится послойно по показателям, приведенным в таблице 7.9

Таблица 7.8

Основные показатели контроля автоматизированного процесса выкладки

Показатель	Прибор, инструмент	Требуемая точность контроля	Примечание
Скорость выкладки	Приборы на пульте машин Н-55 или Н-33	± 0, 1 м/мин	
Давление прикатки	То же	±5Н	
Температура прикатки	То же	±5° С	
Усилие натяжения	То же	10Н	
Угол ориентации	Шаблон или угломер с нониусом	0,5 град	ГОСТ 5378-66
Величина и число зазоров	Штангенциркуль, шаблон	1 мм	ГОСТ 1666-73

Контроль выложенного пакета по толщине производится по шаблонам после окончания выкладки. При конструировании деталей, изготавливаемых методом выкладки, необходимо учитывать особенности, связанные с различными способами выкладки. Требования технологичности при ручном процессе выкладки:

³⁵₁₇ радиусы закруглений $R \geq 5$ мм;

³⁵₁₇ допуск на величину угла ориентации 1 град.

Требования технологичности при автоматическом процессе выкладки:

³⁵₁₇ радиусы закруглений определяются требованиями механической обработки отвержденного углепластика ($R > 5$ мм);

³⁵₁₇ допуск на величину угла ориентации 1 град;

³⁵₁₇ ориентация армирующего наполнителя задается послойно.

Изменение угла ориентации в одном слое не допускается.

Показатели контроля ручного процесса выкладки

Показатель	Прибор, инструмент	Требуемая точность контроля	Примечание
Температура оснастки или прикаточного ролика	Термометры термoeлектрические (термопары); потенциометры переменного тока полуавтоматические	$\pm 5^\circ \text{C}$	ТУ 66 16-74 ГОСТ 5.15.32-72
Угол ориентации	Шаблон или угломер	0,5 град	ГОСТ 5378-66
Величина и число зазоров	Штангенциркуль	1 мм	ГОСТ 1666-73

Хранение выложенного пакета до передачи на формование допускается на стеллажах при температуре цеха 18...25° С и относительной влажности до 75%. Пакет хранится завернутым в полиэтиленовую пленку, под которую закладывается бирка с указанием номера чертежа, даты выкладки, номера партии полуфабриката, фамилии и подписи оператора. Срок и метод хранения пакета из предварительно пропитанной ленты определяется в соответствии с техническими требованиями для данной марки материала. Перерыв в работе в процессе выкладки допускается не более 8 ч. Пакет во время перерыва и хранения после выкладки должен быть покрыт полиэтиленовой пленкой. Для крупногабаритных деталей полиэтиленовую пленку необходимо закрепить по периметру изоляционной лентой.

Для увеличения прочности в зонах соединения ПКМ применяется фольга из коррозионностойкой стали или титана (например, при передаче усилия небольшим числом силовых точек). Фол-гирование используется также для деталей, работающих или хранящихся при постоянной температуре не выше 80 °С и относительной влажности менее 75%. Толщина фольги обычно составляет 0,02...0,5 мм.

Для деталей, длительно работающих или хранящихся за пределами диапазона температур $\pm 25^\circ \text{C}$, применение фольги не допускается, если нет системы лакокрасочных защитных покрытий. Типовой технологический процесс применения фольги заключается в следующем:

- ³⁵₁₇ фольгу размечают измерительным инструментом и разрезают по размерам, указанным в чертеже, с нарезанных заготовок снимаются заусенцы;
- ³⁵₁₇ с поверхности фольги отжигается масло при температуре 500...550 °С в течение 20...25 мин;
- ³⁵₁₇ фольга обезжиривается и травится под нанесение клея;
- ³⁵₁₇ на фольгу с двух сторон наносится подслои клея;
- ³⁵₁₇ в шкафу осуществляется термообработка клея в соответствии с инструкцией ВИАМ;
- ³⁵₁₇ после термообработки фольга упаковывается в полиэтиленовый мешок, мешок завязывается.

Для зоны соединения деталей шириной более 100... 120 мм производится надрезание фольги через каждые 50...100 мм под углом 60...90° к краю листа. Слои фольги укладываются между слоями препрега ПКМ с чередованием направления ориентации надрезов в каждом слое. При надрезе под углом 90° слои фольги смещаются один относительно другого на 10... 15 мм. На поверхность фольги перед выкладкой в пакет заготовок наносится слой связующего основного материала.

Основными материалами для фольгирования являются фольга типа ВТ-1 — ОСТ 1.90027-71, ОСТ 1.90145-74, клей. В качестве клея используются: ВК-3; ВК-13; ВК-32-200. Применяемые материалы подлежат входному контролю на соответствие ТУ и ГОСТ. Визуально контролируется качество нанесения клея на поверхность фольги. Размер заготовок фольги контролируется на соответствие чертежу мерительным инструментом.

7.5 Технология выполнения комбинированных клееклёпанных соединений

Соединения, выполненные на комбинации клеев, незначительно уступают в прочности при сдвиге и приближаются по прочности при неравномерном отрыве к клеевым соединениям на клее ВК-3 и превосходят клеевые соединения на клее ВС-1 ОТ. Такие соединения обладают хорошей водостойкостью. Воздействие воды в течение 30 суток практически не влияет на прочность и эластичность клеевых соединений /5/.

Технология получения комбинированных клеевых соединений заключается в следующем: на обе склеиваемые поверхности наносят жидкий подслоу эластичного клея (ВК-3 или ВК-32-200), который просушивают в течение времени 1800 с при комнатной температуре и затем в течение 5400 с при температуре 65 °С, после этого на обе поверхности наносят по одному слою клея ВС-ЮТ, который просушивают в течение 5400 с при комнатной температуре, после чего поверхности соединяют и осуществляют отверждение клеевого соединения в течение 6000 с при температуре 180...185 °С и давлении 0,08 МПа.

В качестве эластичного подслоя в комбинированных соединениях высокой теплоустойчивости и термостабильности можно использовать клей ВК-32-200,

Существует ряд прогрессивных способов выполнения сшивных и игольчатых соединений. Сшивные соединения стеклопластика на основе ткани ТСУ-8/3-ВМ-78 выполняют нитками из органоволокон от одного до пяти рядов. После сшивки проводят отверждение связующего ЭДТ-10.

Игольчатые соединения осуществляют двумя способами: запрессовкой игл в стыковой шпангоут и механической обработкой предварительно выдавленных ребер на многошпиндельном полуавтомате. Последующее соединение выполняют в процессе намотки оболочки и одновременной замотки стыковых и игольчатых элементов.

Сравнительная характеристика прочности сшивных соединений представлена на рисунке 7.8. Анализируя результаты испытаний соединений на прочность, выяснили, что с уменьшением диаметра отверстий под КЭ увеличивается не только прочность шва, но и долговечность.

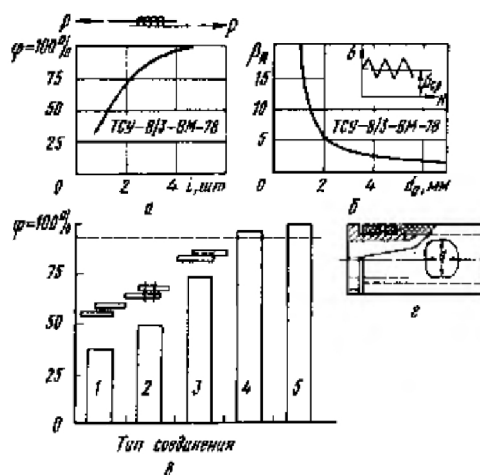


Рисунок 7.8 - Сравнительная характеристика прочности сшивных и игольчатых соединений:
а — коэффициент увеличений прочности; б — коэффициент увеличения долговечности; в — сравнительная характеристика соединений; 1 — клееные; 2 — клепаные; 3 — резьбовые; 4 — игольчатые (запрессовка); 5 — игольчатые (механическая обработка); з — тип образца

Поэтому дальнейшая отработка технологии изготовления сшивных и игольчатых соединений и создание специализированного полуавтоматического оборудования для их выполнения являются насущной задачей, решение которой позволит резко расширить объём применения КМ в силовых конструкциях.

Вышесказанное иллюстрируется следующими примерами.

Соединения обшивок с элементами каркасов. Самыми многочисленными и ответственными в конструкциях летательных аппаратов являются соединения обшивки с элементами каркаса (стрингерами, шпангоутами, лонжеронами и нервюрами), нагруженные в

большинстве случаев касательными напряжениями. Конструкторско-технологические решения для соединения обшивки из композита (углепластика) с металлическим и композитным лонжеронами представлены на рисунке 7.9.

Наибольшей несущей способностью и жесткостью обладает КТР, в котором металлическая полка лонжерона снабжена крепежными элементами и приформована к обшивке (рисунок 7.9, а). Для соединения композитных конструкций элементов крыла наиболее оптимальными являются КТР, представленные на рисунке 7.9 б, в).

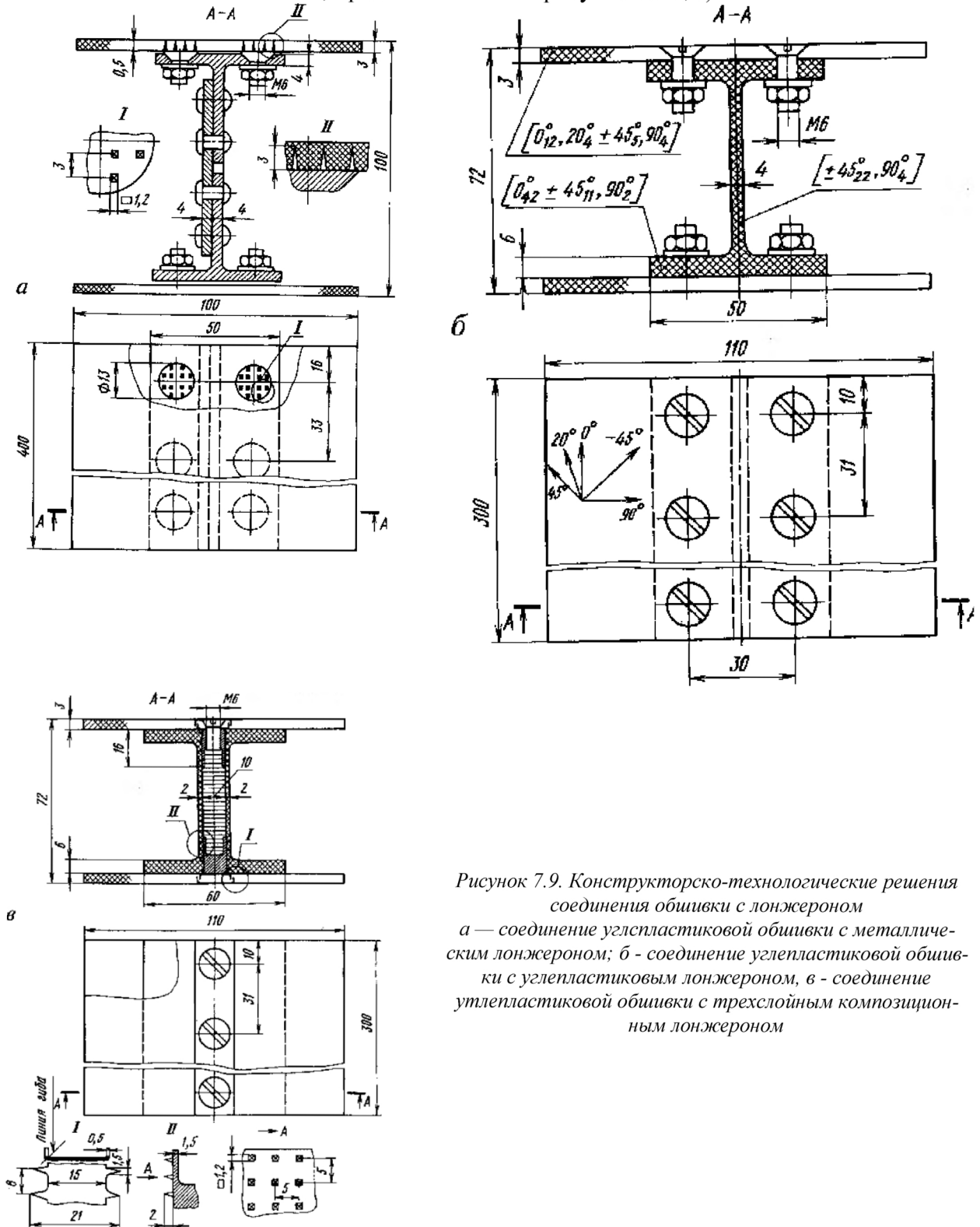


Рисунок 7.9. Конструкторско-технологические решения соединения обшивки с лонжероном
а — соединение углепластиковой обшивки с металлическим лонжероном; б - соединение углепластиковой обшивки с углепластиковым лонжероном, в - соединение углепластиковой обшивки с трехслойным композиционным лонжероном

Конструкция нервюры элевона крыла из углепластика марки КМУ приведена на рис. 4.16. Нижний узел нервюры является осью вращения элевона, а к верхнему присоединяется управляющий (отклоняющий) силовозбудитель. Нервюра представляет собой два пояса двутаврового поперечного сечения, формируемые за одну технологическую операцию совместно с трехслойной общей стенкой с наполнителем типа ПСП (сотопласт). Стыковые вилки узлов образованы внутренними фитингами (4 шт.), имеющими приваренные крепежные элементы диаметром 1.5 мм и приформованными к полкам поясов при изготовлении нервюры. После извлечения конструкции из оснастки и подготовки поверхности устанавливаются на клею ВК-36 внешние охватывающие фитинги и дополнительно соединяются с внутренней композитной (или металлической) стойкой при помощи болтов диаметром 4...5 мм.

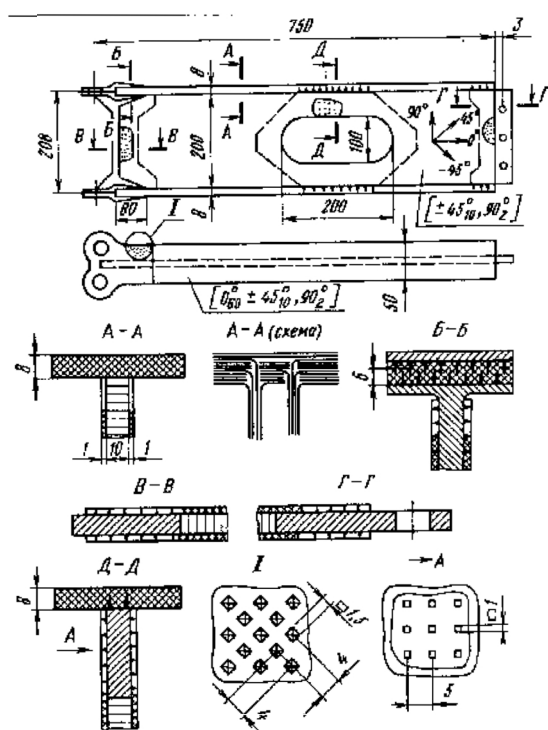


Рисунок 7.10 - Конструкторские решения соединений композитного лонжерона и силовых нервюр

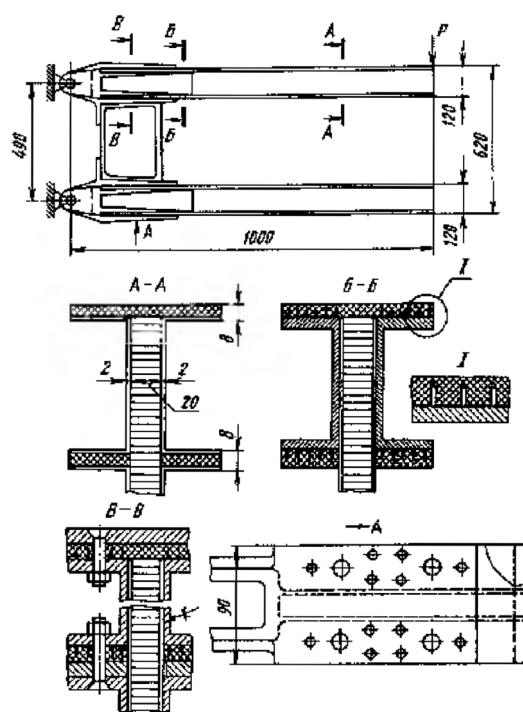


Рисунок 7.11 - Конструкторские решения композитной силовой нервюры элерона крыла из КМ

8 ОБЩАЯ СБОРКА, КОНТРОЛЬ И НЕВИЛИРОВКА САМОЛЁТА

8.1 Общая сборка планера самолёта

Агрегаты на отсеки разделяются по конструктивно-эксплуатационным и технологическим стыкам. Технологические стыки выполняются при помощи клепки или сварки (неразъемные соединения), а конструктивно-эксплуатационные стыки — при помощи болтов.

Метод соединения отсеков при сборке их в агрегат влияет на технологический процесс сборочных работ и на конструкцию сборочных приспособлений и стыковочных стендов. Конструкция стыковочного стенда должна обеспечивать установку стыкуемых отсеков и точное совмещение базовых поверхностей стыков /1/.

На рисунке 8.1 показан принцип работы стыковочного стенда. Стыкуемые отсеки *V* и *G* располагают вдоль оси симметрии и строительной горизонтали самолета. Отсек *V* закрепляют на стенде неподвижно, а отсек *G* имеет возможность перемещаться относительно отсека *V*.

Установку отсеков в стенд можно выполнять в нескольких вариантах, т. е. путем установки отсеков по обводам на ложементы стенда и координацию их по УБО или закреплению отсеков за стыковочные узлы (стабилизатора, киля, шасси), которые в данной операции стыковки не участвуют.

В процессе стыковки отсек *G* подводят к отсеку *V* в направлении стрелки *z*. Поворачивают отсек в направлении стрелок добиваясь такого положения, при котором нивелировочные точки *1, 2 и 3* будут находиться на линии строительной горизонтали, а нивелировочные точки *4, 5 и 6* — на оси симметрии самолета (см. рис. 17.10), совмещают базовые поверхности отсеков (торцы, пазы, проточки, ОСБ), вставляют болты в отверстия стыковых болтов (ОСБ) и наворачивают гайки.

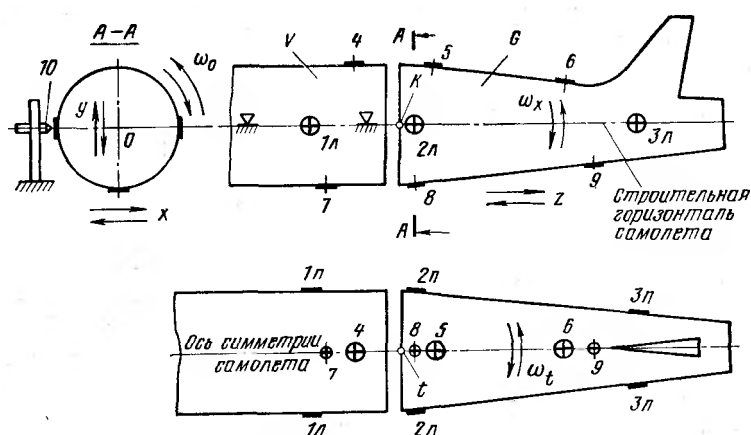


Рисунок 8.1 - Принцип работы стыковочного стенда:

1...6 — нивелировочные точки; 7, 8, 9 — установочные базовые отверстия (УБО); 10 — пиноль для контроля положения нивелировочной точки

На рисунке 8.2 приведена конструкция универсального стыковочного стенда для стыковки центроплана (*V*) с отъемной частью крыла (*G*). Соединение крыла и центроплана можно выполнять в виде фланцевого, телескопического или вильчатого стыка. Телескопический стык может быть конструктивным или технологическим.

На стыковку поступают: центроплан, соединенный с фюзеляжем, фюзеляж на собственных шасси (при стыковке средних и тяжелых самолетов) или на конвейерной тележке с последующей установкой в стенд с помощью подъемного крана.

В центроплане и фюзеляже обработаны опорные узлы 1, 5, 27 и нанесены нивелировочные точки I, II, III с правой и левой сторон.

Узел стыка центроплана обработан в разделочном стенде и подготовлен для стыковки.

Фюзеляж вводят в стыковочный стенд, устанавливают на гидropодъемник и опоры 5 и 27 и шаровую прокладку 3. Включают с пульта 26 в работу насосную станцию и гидropодъемники под опорными узлами фюзеляжа, поднимают фюзеляж с центропланом и устанавливают их в линию полета. Положение линии полета определяют по показаниям на пульте 26 датчиков от пинолей, установленных под нивелировочными точками I, II, III с правой и левой сторон.

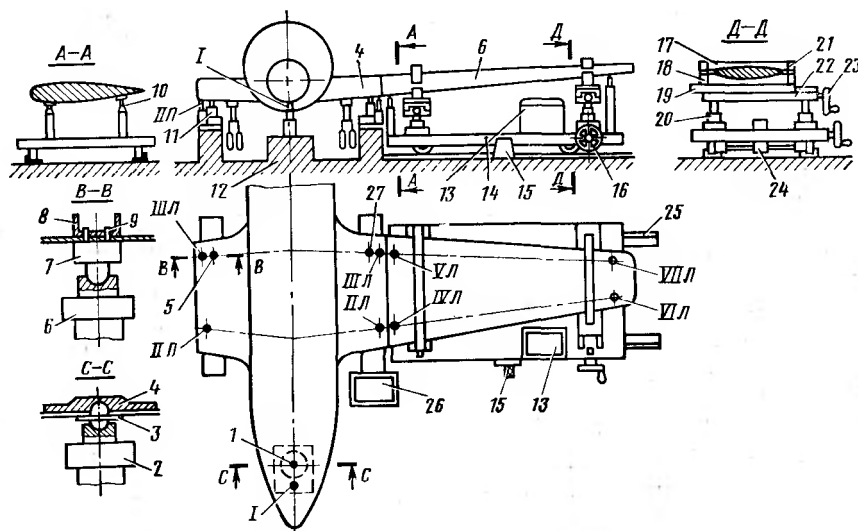


Рисунок 8.2 - Стенд для стыковки отъемной части крыла (G) с центропланом (V):

I, II, III, IV, VII — нивелировочные точки правые (П) и левые (Л); Л 5, 27 — опорные узлы фюзеляжей и центроплана; 2, 6 — шток гидropодъемника; 3 — шаровая подкладка; 4 — силовой шланг; 7 — опора; А — задний лонжерон центроплана; 9 — штырь; 10 — пиноль; 11, 20 — гидropодъемник; 12 — фундамент; 13 — насосная станция и пульт управления работой гидropодъемников, установленных на тележке; 14 — тележка; 15 — фиксатор; 16 — штурвал ручного перемещения тележки в продольном направлении; 17 — прижим; 18 — ложемент; 19 — суппорт; 21 — крепление прижима; 22 — каретка суппорта; 23 — рукоятка для перемещения крыла в поперечном направлении; 24 — привод для перемещения каретки в продольном направлении (от электромотора); 25 — рельсовый путь; 26 — насосная станция и пульт управления работой гидropодъемников при установке центроплана в линию полета

После установки фюзеляжа и центроплана в линию полета подводят под фюзеляж хвостовую опору (на рисунке 8.2 не показана), а подъемники фиксируют штырями. Отъемная часть крыла поступает на стыковку с обработанным стыком и нанесенными нивелировочными точками. Крыло устанавливают на ложементы 18, так чтобы пиноли находились под нивелировочными точками, и закрепляют прижимами 17. Устанавливают крыло в линию полета по показаниям на пульте 13 датчиков от пинолей, установленных под нивелировочными точками IV, V, VI, VII левой стороны. Подводят крыло вместе с тележкой в зону стыковки и регулируют вручную рукоятками 23 и штурвалом 16 положение крыла до совмещения базовых поверхностей стыка.

При совмещении базовых поверхностей вставляют в ОСБ стыковые болты и соединяют крыло с центропланом.

В случае технологического стыка производят клепку или сварку. После соединения крыла с центропланом освобождают прижимы 17, опускают ложементы вниз и отводят тележку из зоны стыка.

В таком же порядке производят стыковку правого крыла. Выполнив стыковочные работы, фюзеляж опускают на шасси и выводят из стыковочного стенда.

8.2 Контроль аэродинамических обводов планера самолёта

Конструктивно-технологическая характеристика аэродинамических обводов. Для характеристики аэродинамической формы ЛА используются два основных понятия - обвод и контур поверхности /1/, /3/.

Под аэродинамическим обводом понимается поверхность планера ЛА, обтекаемая воздушным потоком в полете. Теоретический обвод - это обвод, заданный чертежом или математической моделью поверхности, а действительный обвод - это обвод, полученный в результате сборки узлов, секций, отсеков и агрегатов планера ЛА.

Контур - это линия пересечения обвода с секущей плоскостью. Причем теоретический контур задан чертежом или математической моделью, а действительный контур - это контур, полученный в результате сборки узлов, секций, отсеков и агрегатов планера ЛА.

Классификация аэродинамических обводов. Обводы ЛА классифицируются по четырем основным признакам:

- ³⁵₁₇ по агрегатам - крыло, оперение (киль, стабилизатор), фюзеляж, гондола двигателя, воздухозаборник, обтекатель;
- ³⁵₁₇ по зонам - передние части крыла и его агрегатов, оперения и его агрегатов, фюзеляжа, гондолы двигателя, воздухозаборника и обтекателя (I зона); средние части крыла, оперения, фюзеляжа, двигателя, воздухозаборника и обтекателя (II зона); задние части крыла, оперения, фюзеляжа, гондолы двигателя, воздухозаборника и обтекателя (III зона);
- ³⁵₁₇ по составу - сборные (состоящие из нескольких элементов конструкции), монолитные;
- ³⁵₁₇ по расположению - внешние и внутренние, представляющие соответствующие поверхности планера ЛА.

Характерным примером внутренних обводов является поверхность воздухозаборника.

Качество обводов планера ЛА характеризуют следующие виды отклонений:

- ³⁵₁₇ шероховатость - совокупность микроотклонений поверхности;
- ³⁵₁₇ уступы и зазоры - ступенчатые отклонения и неплотности прилегания поверхностей торцевых частей деталей по стыкам и разъемам сборных частей планера ЛА;
- ³⁵₁₇ выступание, западание потайных головок заклепок и болтов;
- ³⁵₁₇ местные выступания, западания поверхности вследствие утяжки при клепке, образования хлопнунов и др.;
- ³⁵₁₇ отклонение сечения - отклонение действительного положения сечения от теоретического (линейное или угловое);
- ³⁵₁₇ волнистость - волнообразное отклонение поверхности, характеризующееся отношением базовой длины l к высоте отклонения h в пределах $4C \leq l/h \leq 1000$;
- ³⁵₁₇ отклонение обвода агрегата планера от теоретического.

Средства обеспечения качества аэродинамических обводов планера.

Шероховатость зависит от качества поверхности обшивок и других деталей, выходящих на обвод ЛА, и определяется в основном технологическими процессами металлургического, заготовительного штамповочного производства и механообрабатывающего производства. Для защиты качества поверхности изготовленных деталей от случайных механических повреждений (царапин, вмятин), обусловленных транспортировкой, перемещениями и воздействиями в процессе сборки, поверхности обшивок протестируют полимерными материалами или оклеивают плотными сортами бумаги. После окончательной сборки планера с целью защиты от коррозии и улучшения качества производят окраску внешней поверхности планера специальными лаками.

Уступы и зазоры в стыках обшивок и других обводообразующих деталей планера дифференцируются на продольные и поперечные, а для поперечных уступов - по потоку и против потока. Требования к качеству обводов для конкретного самолета обычно опреде-

ляются главным конструктором и основываются на обобщенном анализе и систематизации для различных отечественных КБ. Допустимые зазоры и уступы в стыках обводообразующих деталей планера для разных классов самолетов приведены в таблицах 8.1 и 8.2.

Таблица 8.1

Зазоры в стыках обводообразующих деталей планера в зависимости от зоны, мм

Класс самолета	Вид зазора	Крыло			Оперение			Фюзеляж			Гондола двигателя		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Легкий	Поперечный	0.2...1.0	0.4...1.0	0.65	0.4	0.8	-	0.4...1.0	0.6...1.0	0.8...1.0	0.2...1.0	0.6...1.0	-
	Продольный	0.4	0.8	0.9	0.8	1.0	-	0.4	0.8	0.8	0.4	0.8	-
Средний	Поперечный	0.5	0.8	-	0.5	-	0.5	0.8...3.0	0.8...3.0	3.0	0.5...2.0	0.8...2.0	-
	Продольный	0.8...2.0	1.0	-	0.5	-	0.5	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	-
Тяжелый	Поперечный	0.2...1.0	0.4...1.0	0.8...1.0	0.2...1.0	0.4...1.0	-	0.2...2.0	0.6...2.0	0.8...1.0	0.2...1.5	0.4...1.5	-
	Продольный	0.4...2.0	0.8...1.0	1.0	0.4...0.8	0.8...1.0	-	0.4...0.8	0.8...1.0	1.0...1.2	0.2...0.8	0.8...1.0	-

Таблица 8.2

Допустимые уступы в стыках обводообразующих деталей планера в зависимости от зоны, мм

Класс самолета	Вид зазора	Крыло			Оперение			Фюзеляж			Гондола двигателя		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Легкий	Поперечный	0...0.5	0.2...0.5	0.30...0.65	0.2...0.5	0.4...0.5	-	0.2...0.5	0.3...0.8	0.4...0.8	0.1...0.5	0.25...0.50	-
	Продольный	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	-	0.3	0.6	0.8	0.2	0.4	-
Средний	Поперечный	0.3	0.3	0.3	0.3...0.5	0.3...0.5	-	0.3	0.3	0.3	0.3...0.6	0.3...0.5	-
	Продольный	0.5	0.5	-	0.5	0.5	-	0.3...0.5	0.3...0.5	-	0.2...0.8	0.8	-
Тяжелый	Поперечный	0.05...0.50	0.1...0.3	-	0.05...0.30	0.1...0.3	-	0.1...0.3	0.2...0.5	0.2...0.3	0.1...0.4	0.2...0.6	-
	Продольный	0.2...0.5	0.3...0.8	-	0.2...0.6	0.3...0.8	-	0.2...0.6	0.2...0.6	0.2...0.5	0.3...0.5	0.5...0.8	-

С целью снижения отрицательного влияния уступов и зазоров в стыках на аэродинамические характеристики самолета используют различные технологические приемы, такие как снятие фасок в местах уступов, копирование обреза одной из стыкуемых обшивок, имеющей припуск, относительно другой, окончательно обрезанной, тщательная подгонка стыкуемых деталей.

Вписываемость съемных обводообразующих деталей и узлов (типа крышек люков, створок) с одновременным устранением зазоров и уступов эффективно обеспечивает метод облойного гермотиснения. В этом случае слой герметика между съемным элементом конструкции и каркасом является компенсатором погрешностей исполнительных размеров деталей и сборки.

Одновременно гермотиснение обеспечивает пыле- и влагонепроницаемость во внутренние полости планера. Облойное гермотиснение выполняется на герметиках У-ЗОМЭС-5НТ, ВИКСИНТ, У-2-28НТ, ВИТЭФ-1НТ.

Выступление и западание потайных головок, заклепок и болтов. Выступление ДА потайной головки заклепки относительно поверхности листа зависит от размеров и допусков на головку заклепки и гнездо под эту головку. На высоту головки h в соответствии с нормами и ГОСТами на заклепки дается допуск $\Delta=0\ldots 0,1$ мм. Величину допуска контролируют втулкой-калибром и скобой-калибром. При зенковании гнезда глубина его контролируется стальной закаленной калибр-заклепкой и индикатором. Индикатор предварительно регулируется на плоской поверхности (плите), стрелка при этом устанавливается на нуль. При контроле в прозенкованное отверстие вставляют калибр-заклепку, а на лист-деталь устанавливают индикаторное приспособление. По отклонению стрелки индикатора определяют выступание калибра-заклепки относительно поверхности листа. Согласно принятым допускам на выступание головок заклепок АЛ по уравнению размерных цепей определяют допуск на глубину зенкования $\Delta h=0\ldots 0,05$ мм. В пределах этого допуска и настраивают зенковальные насадки при пробном зенковании и контроле по калибр-заклепке.

Технологический процесс, обеспечивающий выполнение требований на выступание и западание потайных головок заклепок по принципу полной взаимозаменяемости головки заклепки и зенкованного гнезда, достаточно трудоемок и субъективен. Практически глубина зенкованного гнезда зависит даже от усилия, прилагаемого рабочим к дрели с зенковальной насадкой.

Более эффективным и стабильным является технологический процесс клепки потайных заклепок с обеспечением требуемой точности выступания путем доработки замыкающего звена - головки заклепки. При этом гнездо зенкуют с глубиной, обеспечивающей гарантированное выступание головок заклепок после клепки, а затем механически обрабатывают (зачищают) головку заклепок до требуемой по ТУ высоты одним из способов, показанных на рисунке 8.3 [7].

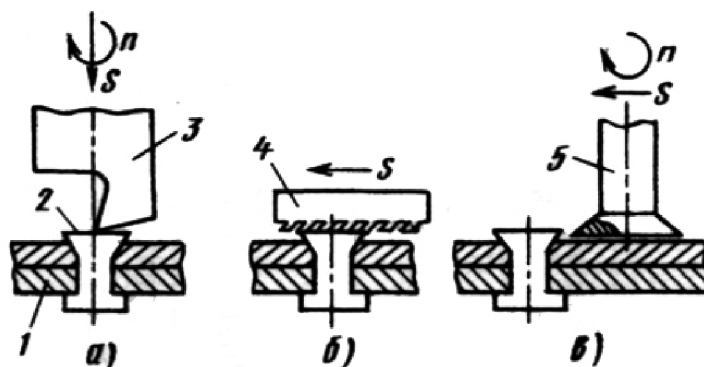


Рисунок 8.3 - Обеспечение требований на выступание головок заклепок по принципу доработки замыкающего звена (головки заклепки):

а - фрезерование с осевой подачей; б - протягивание плоской протяжкой; в - фрезерование вращающимся диском; 1-пакет; 2-заклепка; 3-фреза; 4 - протяжка; 5 - диск; n - направление вращения; S-направление подачи

Для зачистки головок заклепок используются специальные пневматические машины типа ФМ-1, ФМ-4, ЗМ-1, ЗМ-2, характеристики которых приведены в главе 4. Существуют клепальные автоматы, для которых операция зачистки включена в автоматический цикл выполнения соединения (АК3-5,5-1,2; АК-16,0-3,0; УЗО-2АКД-16-2; У18-2АКД-16-2).

Местные выступания и западания поверхности проявляются в виде утяжек (провалов) в районе положения заклепки или хлопунгов. *Волнистость* - более протяженные и плавные отклонения обводов от теоретического; определяется как отношение h/l .

Возможны следующие причины местных отклонений действительного обвода от теоретического:

- ³⁵₁₇ несоответствие контура каркаса, наличие зазоров между каркасом и обшивками перед клепкой или установкой болтов;
- ³⁵₁₇ недостаточная масса поддержки при обратном методе клепки;
- ³⁵₁₇ некачественная штамповка гнезд;
- ³⁵₁₇ несогласованность действий клепальщика и подручного;
- ³⁵₁₇ несоблюдение рекомендуемой последовательности сверления отверстий и установки средств временного крепежа.

Требования к местным выступаниям и западаниям поверхности и волнистости для различных классов самолетов приведены в таблицах 8.3 и 8.4.

Таблица 8.3

Местное выступание, западание поверхности на агрегатах в зависимости от зоны, мм

Класс самолета	Крыло			Оперение			Фюзеляж			Гондола двигателя		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Легкий	Не допускается											
Средний	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	-	-	-
Тяжелый	0.1...1.0	0.1...1.0	-	0.2...1.0	0.2...1.0	0.2...1.0	0.2...1.0	0.2...1.0	0.2...1.0	0.1...1.0	-	-

Таблица 8.4

Волнистость поверхности агрегатов в зависимости от зоны

Класс самолета	Вид зазора	Крыло			Оперение			Фюзеляж			Гондола двигателя		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Легкий	Поперечный	0.002	0.004	0.006	0.002	0.004	-	0.002	0.004	0.006	0.002	0.004	-
Средний	То же	0.005	0.006	-	-	-	-	0.005	-	-	-	-	-
Тяжелый	«	0.002	0.002... 0.008	-	0.001... 0.005	0.002... 0.005	-	0.001... 0.010	0.002... 0.010	0.005	0.001... 0.004	0.002... 0.004	0.003... 0.005
	Продольный	0.005... 0.100	0.028	-	0.002	0.003	0.005	0.001... 0.008	0.002... 0.008	0.005	0.005	0.005	-

Отклонения действительного контура фактического сечения от теоретического контура могут быть следующих видов:

- ³⁵₁₇ линейное Δp вдоль продольной оси самолетов (рисунок 8.4, а)
- ³⁵₁₇ параллельное $\Delta'c$ вдоль поперечной оси самолета (рисунок 8.4, б)
- ³⁵₁₇ угловое $\Delta''c$ (закрутка) (рисунок 8.4, в) /3/.

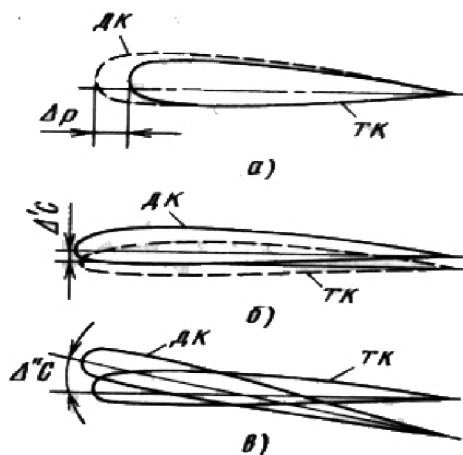


Рисунок 8.4 - Виды отклонений действительного контура сечений от теоретического

Отклонения действительного контура от теоретического определяют путем замеров от обводов рубильников сборочного приспособления (рисунок 8.5, а), от эквидистантных контршаблонов (рисунок 8.5, б) и в контрольно-измерительных приспособлениях (рисунок 8.5 в)

Наиболее распространено определение отклонения контура сечения агрегата от контура рубильника при помощи конического щупа причем рубильник в этом случае является одновременно и фиксатором обвода при сборке, и средством контроля окончательно собранного агрегата перед выемкой его из стапеля сборки (рисунок 8.5, а). Для замера в каком-либо месте отклонения контура необходимо в этом месте между рубильником 3 и агрегатом 2 ввести щуп 4 и определить размер отклонения Δ . Контроль обвода таким образом прост и не требует специальной оснастки, но дает малую точность, так как замеры проводятся на агрегате зажатым рубильником, а не в свободном его состоянии. Обычно обводы агрегата после освобождения его из сборочного приспособления и снятия давления рубильников несколько изменяются, и этим объясняются неточности при измерении отклонений обводов в сборочном приспособлении. Такой метод применяют при контроле обводов агрегатов вертолетов, для которых получаемая точность измерений не превышает установленных допусков. При изготовлении высокоскоростных самолетов этим методом можно пользоваться только для определения местных отклонений в виде вмятин, углублений обшивки, в местах постановки заклепок и т. п.

Более точен метод контроля по эквидистантным рубильникам (рисунок 8.5, б), которые устанавливают после сборки вместо рабочих рубильников 1, 3 (фиксаторов обвода) агрегата. Эквидистантные рубильники выполняют с одинаковым по всей их поверхности зазором относительно измеряемого обвода агрегата 2. При малых значениях зазора отклонения измеряемого обвода от обвода шаблона измеряются коническим щупом, а при больших - специальным прибором 6 и индикаторной головкой 5. Перед измерением этот прибор устанавливают на нуль с учетом зазора h . В процессе контроля прибор показывает абсолютное значение отклонений обвода агрегата от обвода контр-шаблона.

Более совершенным методом контроля обводов агрегата является измерение отклонений обводов при помощи контрольно-измерительных приспособлений. В таком приспособлении контролируемый агрегат устанавливается так, как он устанавливается и закрепляется на самолете.

Контрольно-измерительное приспособление (рисунок 8.5, в) /1/, состоит из каркаса 1, эквивалентных шаблонов 2, напоминающих рубильники, и тележки 3. На раме тележки имеются отверстия 4 (по два с каждой стороны) для фиксации ее в приспособлении. Контролируемый агрегат 5, например киль, устанавливается и закрепляется на тележке 3 узлами 6, которые имитируют соответствующие стыковые узлы фюзеляжа самолета. Тележка 3 вместе с килем вводится по рельсам 7 в каркас приспособления и фиксируется в нем в требуемом положении штырями 8, вводимыми в отверстия 4.

После установки кия в контрольно-измерительном приспособлении определяют отклонения обводов кия от обводов эквидистантных шаблонов. Контроль обводов кия осуществляется измерениями отклонений его обводов от обводов эквидистантных шаблонов прибором, приведенным на рисунке 8.5, б.

Контрольно-измерительное приспособление позволяет измерять отклонения обводов с точностью до 0,1 мм и определять направление и числовое значение общей закрутки агрегата (кия, лопасти несущего винта).

Два последних метода имеют существенные недостатки. Во-первых, требуется дополнительное оснащение - второй комплект рубильников или контрольно-измерительное приспособление. Во-вторых, переналадка рубильников в стапеле или перенос агрегата в контрольно-измерительное приспособление увеличивает трудоемкость сборочных работ. И, в-третьих, указанные методы не позволяют контролировать качество обводов в процессе сборки. Сборка агрегата ведется в зафиксированном состоянии по многим узлам карка-

са и обводам рабочими рубильниками, а недопустимые отношения можно определить только после сборки агрегата, когда устранить этот дефект практически невозможно.

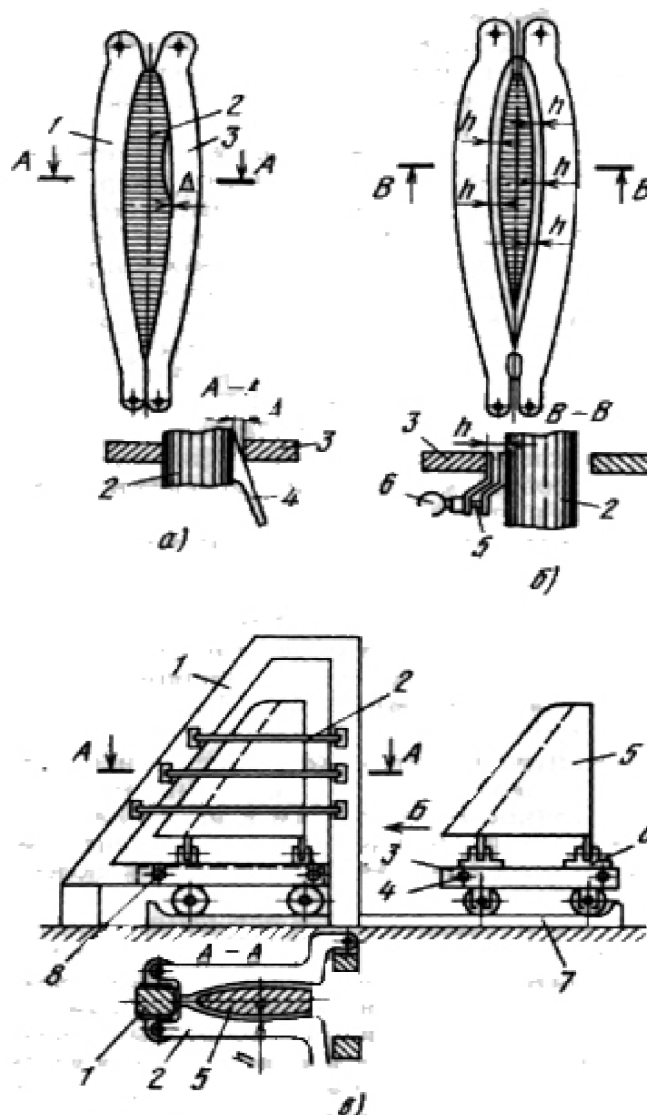


Рисунок 8.5 - Методы контроля отклонения контура

Отклонения обвода планера самолета. После сборки и контроля обводов каждого агрегата в отдельности производится общая сборка планера, в результате которой возможны отклонения от теоретического обвода планера, вызванные погрешностями стыковки агрегатов между собой. Отклонения обводов планера выявляются следующими способами:

контролем отдельных сечений агрегатов в стыковочных стапелях относительно рубильников;

контролем положения нивелировочных точек в соответствии с нивелировочной схемой (нивелировка).

Нивелировка является заключительным этапом контроля сборки самолета.

8.3 Нивелировка самолёта

Цель нивелировки - контроль геометрических параметров планера и регулировка органов управления полетом. Результаты нивелировки заносят в нивелировочный паспорт. На нивелировочной схеме геометрические параметры выражают через координаты положения специальных реперных точек /1/.

Нивелировочная схема содержит таблицы, в которых указаны относительные координаты всех реперных точек. Координаты реперных точек определяют на основании геометрических расчетов, проецируя точки на горизонтальную и вертикальную плоскости, их уточняют и с учетом массы и жесткости конструкции агрегатов самолета реперные точки наносят на поверхность агрегата по фиксаторам реперных точек в стапелях при агрегатной сборке. Реперные точки выполняют в виде кернов или отверстий с резьбой и маркируют красными кругами диаметром 30 мм.

Положение точек при нивелировке может быть определено с помощью оптических средств или лазерных источников излучения.

При использовании оптических средств (нивелира и теодолита) определяют отклонение реперных точек от оптической оси зрительной трубы.

В настоящее время разработан ряд систем, в частности лазерная центрирующая измерительная система, позволяющих производить нивелировку самолета по опорным лазерным лучам.

В контрольно-монтажных работах, выполняемых при изготовлении самолета, важное место занимают технологические процессы монтажа блоков оборудования систем навигации и вооружения самолета. Важность указанных выше технологических процессов объясняется функциональным назначением этого оборудования. Основные блоки систем навигации и вооружения должны иметь точную угловую ориентацию относительно осей самолета. Следовательно, посадочные места под эти блоки в узлах, устанавливаемых на самолет, также должны иметь соответствующую угловую ориентацию относительно его осей.

Посадочные места (поверхности) для крепления блоков оборудования отличаются друг от друга размерами и формой, а также ориентацией относительно осей самолета. Это не позволяет непосредственно применять универсальные средства для контроля их положения. Поэтому для каждого контролируемого посадочного места используют технологическое приспособление. Это приспособление является связующим звеном между контролируемым посадочным местом и универсальными средствами контроля (рисунок 8.6, а) / 3/.

Угловое положение контролируемых объектов (посадочных мест под блоки оборудования) можно контролировать двумя методами: методом визирования и методом авторефлексии [18]. Сущность определения углового смещения объектов методом визирования заключается в следующем (рисунок 8.6, б). На контролируемый объект 1 закрепляют излучатель 2. На расстоянии L от контролируемого объекта против луча излучателя устанавливают мишень 3. При угловом смещении контролируемого объекта 1 совместно с излучателем 2 на угол α луч на мишени 3 сместится на величину a . Из треугольника AOB получим, что $a/L = \operatorname{tg} \alpha$. При малых углах α , когда $\alpha < \frac{\pi}{6}$, имеем $a/L = \alpha$ или $a = La$. Если расстояние L задано и не меняет своего значения, то смещение a луча на мишени пропорционально угловому смещению α контролируемого объекта. Следовательно, шкала на мишени может быть выражена в угловых величинах.

Сущность контроля углового положения объектов методом авторефлексии (рисунок 8.6, в) заключается в том, что лазерный луч от излучателя 1 направляют на зеркало 3 зеркального датчика, закрепленного на контролируемом объекте 4. Отраженный от зеркала луч возвращают на мишень 2, закрепленную на излучателе. Если зеркало перпендикулярно оси луча, идущего от излучателя, то отраженный от зеркала луч будет направлен по

линии OA . При повороте объекта 4 с зеркалом 3 на угол α отраженный от зеркала луч будет направлен по линии AB . Направление отраженного луча AB будет отличаться от первоначального направления на угол 2α . Если отрезок OB на мишени 2 равен a , а расстояние AO от плоскости мишени до плоскости зеркала равно L , то из треугольника AOB имеем, что $a/L = \operatorname{tg} 2\alpha$. При малых углах поворота объекта с зеркалом, когда $a \ll L$ с достаточной степенью точности можно записать $a/L = 2\alpha$, или $a = 2La$. Если расстояние L задано и не меняет своего значения, то смещение a луча на мишени пропорционально углу поворота зеркала. Следовательно, как и в первом случае, шкалу на мишени можно выразить в угловых величинах.

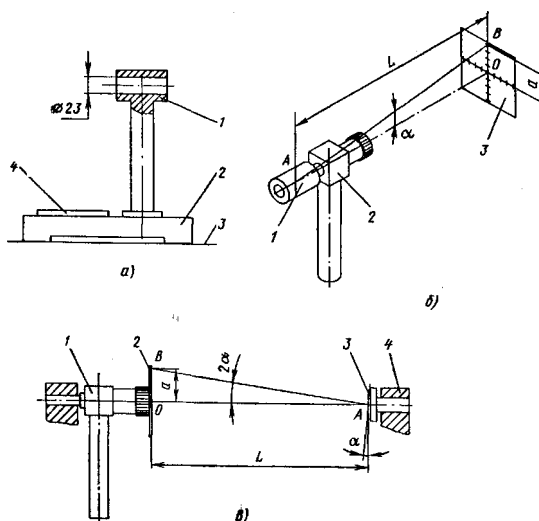


Рисунок 8.6 - Измерения с помощью лазерного излучателя ИЛХП-23:

а — технологическое приспособление: 1 — держатель; 2 — корпус; 3 — привалочная поверхность; 4 — площадка под квадрант; б — схема измерений методом визирования: 1 — контролируемый объект; 2 — лазерный излучатель; 3 — мишень; в — схема измерений методом авторефлексии: 1 — лазерный излучатель; 2 — мишень; 3 — зеркальный датчик; 4 — контролируемый объект

Второй метод контроля углового положения объектов по сравнению с первым имеет два следующих преимущества.

³⁵₁₇ при равных расстояниях L чувствительность метода авторефлексии в два раза выше, чем у метода визирования;

³⁵₁₇ исключается влияние возможных линейных смещений объекта при измерении его углового положения.

Монтаж и контроль посадочных мест под блоки оборудования самолета выполняют в стенде (рисунок 8.7). Стенд содержит регулируемые ложементы 3, шаровую опору 8, координатный щит 6, закрепленный в передней части стенда перпендикулярно его продольной оси. К щиту на заданных координатах закреплены мишени 12, 14 и узлы установки излучателя ИЛХП-23 (на рисунке не показаны). В задней части стенда на стойках расположены узлы 1 под ВЦЗ. Узлы установки излучателя на щите и соответствующие узлы крепления ВЦЗ увязаны между собой и осями стенда. Стенд содержит также съемные элементы: технологические приспособления 4, 9, 10 для каждого контролируемого объекта, ВЦЗ 2, зеркальный датчик 11, излучатель 5, блок управления лучом 7, мишень 13. Монтаж и контроль посадочных мест под блоки оборудования выполняют следующим образом. Самолет устанавливают на ложементы и шаровую опору стенда. Используя регулировки ложементов и шаровой опоры, оси самолета увязывают с осями стенда. На контролируемый объект закрепляют технологическое приспособление 10. Устанавливают в отверстие узла на щите 6 излучатель 5, а в отверстие узла 1 на задней стойке — ВЦЗ 2. При номинальном положении контролируемого объекта ось отверстия технологического приспособления должна совпадать с опорным лучом, идущим от излучателя 5 в центр целево-

го знака 2. Для контроля линейного отклонения объекта в отверстие технологического приспособления 10 устанавливают ВЦЗ. Для контроля углового отклонения вместо ВЦЗ в отверстие технологического приспособления устанавливают зеркальный датчик 11, а отсчет угловых отклонений объекта выполняют по положению на мишени 13 отраженного от зеркального датчика луча. Для контроля углов крена объекта на площадку технологического приспособления устанавливают квадрант.

Линейные координаты посадочных мест под блоки оборудования, как правило, определяются еще на ранних стадиях сборки самолета. У таких объектов в стенде контролируют только их угловое положение относительно осей самолета. Для этого в технологическое приспособление 9 устанавливают излучатель ИЛХП-23, а по положению луча на мишени 12 определяют угловое положение контролируемого объекта.

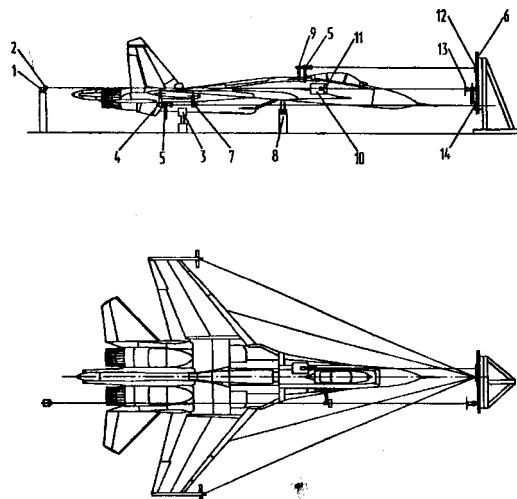


Рисунок 8.7 - Лазерная измерительная система для контроля посадочных мест оборудования самолета: 1 - узел под визуальный целевой знак; 2 - визуальный целевой знак; 3 - регулируемый ложемент; 4, 9, 10 — технологические приспособления; 5 — лазерный излучатель; 6 — координатный щит; 7 - блок управления лучом; 8 - регулируемая шаровая опора; 11 — зеркальный датчик; 12, 13, 14 - мишени

Некоторые контролируемые объекты, например узлы навески вооружения, могут располагаться на самолете по размаху крыла. Для контроля таких удаленных от плоскости симметрии самолета объектов применяют специальное оптико-механическое приспособление — блок управления лучом. Блок управления лучом (рисунок 8.8, а) содержит корпус 1 с установочными поверхностями 10, качалку 2, закрепленную к корпусу через шарнир 5, микрометрический винт 3 для поворота и измерения величины поворота качалки относительно корпуса, оптические призмы 6, 7, 8, 9, установленные в отверстия качалки, уровни 4, закрепленные к качалке. На рисунке 8.8, б показан ход лучей через оптические призмы.

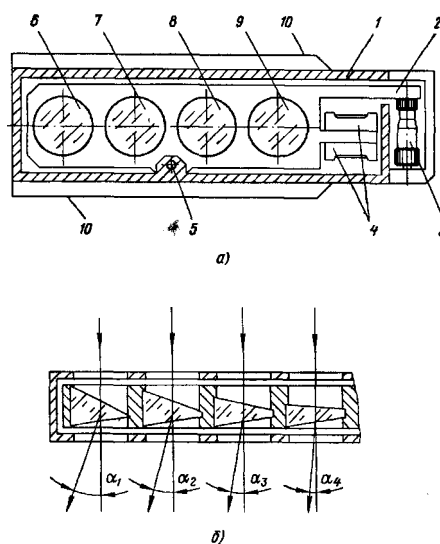


Рисунок 8.8 - Устройство блока управления лучом:

а - общий вид: 1 - корпус; 2 - качалка; 3 - микрометрический винт; 4 - уровень; 5 - шарнир; 6, 7, 8, 9- оптические призмы; 10 - установочные поверхности; б - ход лучей через оптические призмы

Использование блока управления лучом для контроля объектов, разнесенных по размаху крыла, позволяет:

- ³⁵₁₇ существенно уменьшить габаритные размеры координатного щита и упростить его конструкцию;
- ³⁵₁₇ более рационально использовать производственные площади стенда между самолетом и координатным щитом.

С увеличением скоростей ЛА возрастают требования к точности выполнения теоретических обводов планера и взаимному расположению его агрегатов. Конструктор задает необходимое число нивелировочных точек, которые обеспечивают в процессе стыковки самолета требуемое взаимное расположение агрегатов. В то же время от точности выполнения геометрических параметров каждого агрегата зависит правильность расположения нивелировочных точек относительно его строительных осей. Поэтому для обеспечения допусков на стыковку самолета необходимо в первую очередь иметь наиболее достоверную информацию о положении нивелировочных точек на теоретических поверхностях агрегатов, отсеков по трем координатам. Это можно достичь с наименьшей погрешностью при помощи лазерных измерительных систем, как на стадии агрегатной сборки, так и при стыковке планера /3/.

Технологический процесс стыковки агрегатов изделия и конструкция стыковочного стенда зависят в основном от принятого технологического членения изделия и процесса сборки. Для заданного технологического процесса стыковки агрегатов изделия оптимальная конструкция стыковочного стенда может быть получена только при параллельном проектировании, как самого стенда, так и лазерной измерительной системы (ЛИС) для этого стенда. Опыт эксплуатации подобных ЛИС выявил ряд следующих требований, которым должны удовлетворять ЛИС, встраиваемые в стыковочные, нивелировочные стенды.

1. ЛИС должна обеспечивать контроль всех геометрических параметров стыкуемых агрегатов, которые определены данным технологическим процессом.
2. В целях обеспечения единства инструментальных и сборочных баз лучи лазерной измерительной системы должны располагаться так, чтобы они являлись одновременно базами для монтажа стапеля (стенда) и сборки агрегатов.
3. Для исключения влияния вибраций при разделке стыковых узлов и устранения влияния деформаций элементов стапеля в процессе стыковки агрегатов необходимо излучатель и другие элементы ЛИС, влияющие на положение лучей в пространстве; отделять от конструкции стапеля или выносить из зоны стапеля.

4. Для периодического контроля положения лучей ЛИС в стапеле должны быть заложены реперные точки, положение которых гарантированно не менялось бы в течение межремонтного периода эксплуатации данного стапеля.

Элементы ЛИС должны быть или защищены от возможных случайных смещений, повреждений, или вынесены из рабочей зоны стапеля.

На рисунке 8.9 представлена ЛИС стапеля разделки стыковых узлов и стыковки агрегатов хвостовой части самолета. ЛИС в стапеле выполняет следующие функции:

³⁵₁₇ контроль нивелировочных точек агрегатов хвостовой части самолета до стыковки, в процессе стыковки и после стыковки;

³⁵₁₇ контроль углового положения узлов навески специальных подвесок относительно осей изделия.

Элементы ЛИС для контроля стыковки хвостовой части самолета вынесены из рабочей зоны стапеля и размещены на стойках 3 вдоль задней границы и на стойках 8, 11 вдоль передней границы стапеля.

На стойках 3, установленных по оси перпендикулярной плоскости симметрии стапеля, последовательно закреплены лазерный самоустанавливающийся нивелир (ЛНС-1) 7, подставки 2 для установки сканирующего узла. Подставки 2 снабжены одним съемным сканирующим узлом 5. На две крайние стойки закреплены мишени 4.

На стойках 11, установленных по оси перпендикулярной плоскости симметрии стапеля, последовательно закреплены нивелир 7, подставки 2 для установки сканирующего узла, а на стойках 8 закреплены координаторы 10 с посадочными отверстиями под визуальные целевые знаку! 9. Подставки 2, закрепленные на передних стойках 11, снабжены одним съемным сканирующим узлом 5. Лазерная измерительная система также снабжена измерительной линейкой с нониусом 13, нивелирной линейкой с нониусом 12, зеркальным датчиком 6, технологическим приспособлением 7 для контроля углового положения узлов специальных подвесок.

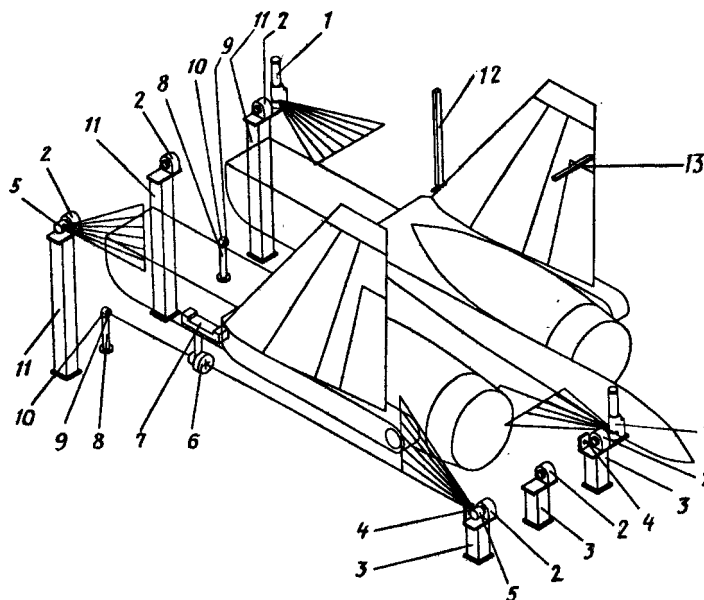


Рисунок 8.9 - Лазерная измерительная система для стыковки хвостовой части самолета:

1 - лазерный нивелир; 2 - подставка; 3, 8, 11 - стойки; 4 - мишень; 5 - сканирующий узел; 6 - зеркальный датчик; 7 - технологическое приспособление; 9 - визуальный целевой знак; 10 — координатор; 12 — нивелирная линейка; 13 — измерительная линейка

ЛИС работает следующим образом. В посадочное отверстие подставки 2, расположенной по левому килю, устанавливают со стороны нивелира 1 целевой знак (на рисунке не показан). Поворотом сканирующего узла нивелира 1 вокруг своей оси лазерный луч

направляют через сквозные отверстия в подставках на центр целевого знака. С обратной от целевого знака стороны в подставку устанавливают сканирующий узел 5. На подвижные ложементы стенда (на рисунке не показаны) закрепляют левый киль самолета. На одну из базовых точек киля устанавливают измерительную линейку с нониусом 13. Поворотом сканирующего узла 5 вокруг своей оси лазерный луч направляют на линейку и измеряют расстояние от базовой точки киля до плоскости сканирования луча, которая параллельна плоскости сил метрии стенда (самолета) и расположена на заданном расстоянии от этой плоскости. Последовательно устанавливая линейку на остальные базовые точки, киль устанавливают в полетное положение относительно плоскости симметрии стенда (самолета). Для контроля положения киля относительно строительной горизонтали на базовые точки устанавливают нивелирную линейку 12. Поворачивая сканирующий узел нивелира 1 во круг своей оси, направляют луч на шкалу линейки, измеряют расстояние от базовой точки до плоскости сканирующего луча нивелира, увязанной со строительной горизонталью стенда и выставляют киль относительно этой строительной горизонтали. Но это еще не гарантирует правильного расположения агрегат при стыковке. Для более точной установки агрегата в полетное положение необходимо выполнить контроль всех нивелировочных точек описанным выше способом. При получении недопустимых отклонений размеров каких-либо точек от данных чертежа изделия необходимо агрегат вновь выставить в полетное положение с учетом данных контроля. В этом положении выполняют разделку узлов. Затем на подвижные ложементы стенда закрепляют правый киль и выполняют операции контроля, вы ставки в полетное положение, разделки стыковых узлов в той же последовательности, что и для левого киля.

После разделки стыковых узлов киля в стенд заводят хвостовой отсек. Для установки этого отсека в стапельное (полетное) положение в стенде предусмотрены регулируемые ложементы, установленные на подвижной тележке, перемещающейся по рельсам пола (на рисунке не показаны). При установке строительной горизонтали отсека в плоскость строительной горизонтали стенда на базовые точки отсека последовательно устанавливают нивелирную линейку 12. Поворотом сканирующего узла нивелира 1 вокруг своей оси лазерный луч направляют на нивелирную линейку и измеряют расстояние от базовой точки отсека до плоскости сканирования луча нивелира, которая увязана со строительной горизонталью стенда. Регулируя высотное положение ложементов стенда, базовые точки отсека устанавливают на заданные размеры от плоскости сканирования луча нивелира. Для установки отсека в плоскость симметрии стенда в посадочное отверстие подставки 2, закрепленной на стойке 3 по гондоле левого двигателя, со стороны нивелира 1 устанавливают ВЦЗ (на рисунке не показан). Поворотом сканирующего узла нивелира 7 вокруг своей оси лазерный луч направляют на центр ВЦЗ через сквозные отверстия в подставках. В подставку 2, расположенную по оси симметрии стенда, устанавливают сканирующий узел 5. На базовые точки, расположенные в плоскости симметрии отсека, последовательно устанавливают измерительную линейку 13. Поворотом сканирующего узла лазерный луч направляют на шкалу линейки. Контролируя расстояние от базовой точки до плоскости луча подвижками ложементов, плоскость симметрии отсека совмещают с плоскостью симметрии стенда.

Для более точной установки отсека в полетное положение необходимо выполнить контроль всех его нивелировочных точек. Высотное положение этих точек относительно строительной горизонтали стенда контролируют по линейке 12, путем измерения расстояния от нивелировочной точки до плоскости сканирования луча нивелиров 1. Контроль нивелировочных точек относительно плоскости симметрии стенда выполняют следующим образом. В подставку 2 по гондоле правого двигателя устанавливают сканирующий узел 5, на нивелировочные точки, расположенные по этой же гондоле, последовательно устанавливают измерительную линейку 13. Поворотом сканирующего узла 5 направляют лазерный луч на шкалу линейки и измеряют расстояние от нивелировочной точки до плоскости сканирования луча, которая увязана с плоскостью симметрии стенда. Затем скани-

рующий узел устанавливают в подставку 2 по плоскости симметрии стенда, оси гондолы левого двигателя и так же, как и в предыдущем случае, контролируют все нивелировочные точки плоскости симметрии отсека и по гондole левого двигателя. Аналогично выполняют контроль точек, расположенных по верхней аэродинамической поверхности отсека, но для контроля используют второй сканирующий узел 5, последовательно устанавливаемый на подставки 2, закрепленные в передней части стенда. При получении недопустимых отклонений размеров каких-либо точек от данных чертежа изделия отсек необходимо вновь выставить в полетное положение с учетом данных контроля. В этом положении выполняют разделку стыковых узлов с киями и стабилизаторами. После навески килей и стабилизаторов выполняют выходной контроль всех нивелировочных точек хвостовой части самолета в целом, а также контроль углового положения узлов навески специальных подвесок.

Контроль узлов навески специальных подвесок выполняют следующим образом. Сканирующий узел 5 устанавливают в подставку 2 по гондole левого двигателя. Поворотом сканирующего узла лазерный луч направляют на центр перекрытия ВЦЗ 9 координатора 10, что соответствует параллельности оси луча относительно продольной оси стенда. На узлах навески специальных подвесок закрепляют технологическое приспособление 7. В посадочное отверстие технологического приспособления устанавливают зеркальный датчик 6. Отраженный от зеркального датчика луч проецируется на мишень 4. Проекция луча на мишени показывает угловое положение узлов навески специальных подвесок.

Аналогично выполняют контроль узлов по гондole правого двигателя.

В результате создания в пространстве опорной координатной системы из видимых лазерных лучей по-новому решается вопрос базирования агрегатов, отсеков при стыковке, снижается до минимума влияние на точность сборки жесткости каркасов оснастки, погрешность изготовления оснастки, температурные деформации конструкций оснастки и агрегатов. В процессе стыковки агрегатов по опорным лазерным лучам производится непрерывный активный контроль расположения стыкуемых агрегатов и при необходимости подстройка сборочного процесса, что снижает процент брака.

Итак, лазерные измерительные системы - это большой комплекс приборов и устройств, которые позволяют производить бесконтактный контроль геометрических параметров изделий на всех стадиях изготовления самолета.

Изложенные рекомендации позволяют инженерно-техническим работникам учесть при создании новых образцов авиационной техники возможности повышения качества изделий путем широкого применения лазерных измерительных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология самолётостроения: Учебник для авиационных вузов / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др.. Под ред. А. Л. Абибова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1982. — 551 с.
2. Рекомендации по технологичности самолётных конструкций / Колл. авторов; под ред. С. М. Лещенко. М.: НИАТ, 1972. — 683 с.
3. Технология сборки самолётов: Учебник для студентов авиационных специальностей вузов / В. И. Ершов, В. В. Павлов, М. Ф. Каширин, В. С. Кухорев. — М.: Машиностроение, 1986. — 456 с.
4. Современные технологические процессы сборки планера самолёта / Колл. авторов; Под ред. Ю. Л. Иванова. — М.: Машиностроение, 1999. — 304 с.
5. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с.
6. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; Под ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. — М.: Машиностроение, 1999. — 832 с.
7. Приоритеты авиационных технологий: В 2-х кн. / Науч. ред. А. Г. Братухин. — М.: Изд-во МАИ, 2004. Кн. 1: Гл. 1-12. 696 с.
8. Приоритеты авиационных технологий: В 2-х кн. / Науч. ред. А. Г. Братухин. — М.: Изд-во МАИ, 2004. Кн. 2: 640 с.
9. Злыгарев В. А., Самсонов О. С. Бесплазовое производство авиационной техники: проблемы и перспективы. // САПР и графика 2000 - № 9.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Самолёт как объект сборочного производства. Технологические характеристики современного самолёта
2. Методы сборки.
 3. Способы базирования, их применение для сборки различных узлов и агрегатов.
 4. Сборка по базовой детали
 5. Сборка по разметке
 6. Сборка по сборочным отверстиям
 7. Сборка по базовым поверхностям
 8. Сборка с базированием от поверхности каркаса
 9. Сборка с базированием от наружной поверхности обшивки
 10. Сборка с базированием от внутренней поверхности обшивки
 11. Сборка по базовым отверстиям
 12. Сборка с базированием по КФО
 13. Базирование по отверстиям под стыковые болты
14. Конструкция заклёпочного шва, виды заклепок.
15. Технологический процесс образования заклёпочного соединения.
16. Выполнение отверстий под заклёпочные соединения.
17. Подготовка отверстий под заклёпки с потайными головками.
18. Ручной механизированный сверлильный инструмент (пневмодрель).
19. Процесс ударной клепки, ручной механизированный клёпальный инструмент для ударной клепки (пневмомолоток).
20. Процесс прессовой клёпки, переносные клёпальные прессы.
21. Стационарное клёпально-прессовое оборудование.
22. Поддерживающие и направляющие устройства прессового оборудования.
23. Автоматическое клёпально-прессовое оборудование.
24. Контроль качества заклёпочного соединения.
25. Методы герметизации заклёпочного шва.
26. Методика проектирования технологических процессов сборки.
27. Сборка отсеков и агрегатов непанелированной конструкции
28. Сборка отсеков и агрегатов панелированной конструкции
29. Назначение сборочных приспособлений и технические требования к ним
30. Классификация и конструкция сборочных приспособлений
31. Проектирование сборочных приспособлений.
32. Основные схемы увязки деталей и сборочного приспособления.
33. Процесс монтажа сборочных приспособлений.
34. Изготовление агрегатов и отсеков из композиционных материалов.
35. Общая сборка планера самолёта.
36. Контроль аэродинамических обводов планера самолёта
37. Нивелировка самолёта