

***Национальный
аэрокосмический
университет
имени Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»***

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
(СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ)**

Учебное пособие по лабораторному практикуму

Харьков «ХАИ» 2013

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

National Aerospace University

“Kharkov Aviation Institute”

**TECHNOLOGIES OF AIRCRAFT MANUFACTURING
(ASSEMBLING AND MOUNTING WORK)**

Laboratory work manual

Kharkov «KhAI» 2013

Наведено зміст складально-монтажних робіт і методику їх розроблення. Описано конструкції складального оснащення, методи його виготовлення, а також устаткування й інструмент, що застосовується під час складально-монтажних робіт.

Подано цикл лабораторних робіт, виконання яких дає можливість більш глибоко вивчити теоретичні матеріали, а також набути практичних навичок раціонального вирішення окремих технологічних завдань у складальному виробництві.

Для студентів спеціальностей «Технології виробництва ЛА», «Літаки та вертольоти» та ін.

Коллектив авторов: В. С. Кривцов, Ю. А. Воробьев, Д. А. Брега, Ю. В. Дьяченко, А. К. Горлов, А. Н. Мещеряков, С. Ю. Миронова, О. В. Шипуль, В. В. Воронько

Collective of authors: V. S. Kryvtsov, Yu. A. Vorobyov, D. A. Brega, Yu. V. Dyachenko, A. K. Gorlov, A. N. Meshcheryakov, S. Yu. Mironova, O. V. Shypul, V. V. Voronko

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. И. А. Гриценко;
канд. техн. наук, доц. Н. Ф. Савченко

Reviewers: cand. of techn. science, assistant professor I. A. Gritsenko;
cand. of techn. science, assistant professor N. F. Savchenko

Технология производства летательных аппаратов (сборочно-монтажные работы) : учеб. пособ. по лаб. практикуму / В. С. Кривцов, Ю. А. Воробьев, Д. А. Брега и др. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 168 с.

Приведены содержание сборочно-монтажных работ и методика их разработки. Описаны конструкции сборочного оснащения, методы его изготовления, а также оборудование и инструмент, который применяется при сборочно-монтажных работах.

Представлен цикл лабораторных работ, выполнение которых дает возможность более глубоко изучить теоретические материалы, а также приобрести практические навыки рационального решения отдельных технологических задач в сборочном производстве.

Для студентов специальностей «Технологии производства ЛА», «Самолеты и вертолеты» и др. Ил. 28. Табл. 8. Библиогр.: 16 назв.

The content of the assembling and mounting works and technique of its development are given. The examples of assembly jigs design are defined and its mounting procedure and the necessary equipment are considered.

The studying of laboratory works enables to learn the theoretical materials in full and to get practical skills of rational solving of particular technological problems in aircraft assembly production.

For students of specialities «Technologies of Aircraft Manufacturing» and «Airplanes and Helicopters». Ill. 28. Tabl. 8. Bibliogr.: 16 sources

УДК 629.735.33.002.72 (076.8)

© Коллектив авторов, 2013

© Collective of authors, 2013

© Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», 2013

© National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», 2013

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

БО	– базовое отверстие
Д	– деталь
ДТМ	– директивные технологические материалы
ЕСКД	– Единая система конструкторской документации
ИБ	– измерительная база
ИС	– инструментальный стенд
КБ	– конструкторская база
КМП	– клепальный молоток пневматический
КП	– конструктивный плаз
КРС	– каркас рабочих сечений
КТП	– карта технологического процесса
КФО	– координатно-фиксирующее отверстие
КЧ	– конструкторский чертеж
КЧО	– конструкторский чертеж оснастки
КШМ	– координатно-шаблонный метод
КЭ	– контрэтalon
ЛА	– летательный аппарат
ЛЦИС	– лазерная центрирующая измерительная система
ММП	– математическая модель поверхности
МО	– монтажное отверстие
МЭ	– монтажный этalon
НО	– направляющее отверстие
ОК	– отпечаток контрольный
ОМС	– оптико-механическая система
ОСБ	– отверстие стыкового болта
ПИ	– производственная инструкция
ПК	– плаз-кондуктор
Пр	– программа
ПрИМ	– программно-инструментальный метод увязки
ПСК	– пескослепок
ПШМ	– плазово-шаблонный метод
СЕ	– сборочная единица
СМ	– сверлильная машина
СМР	– сборочно-монтажные работы
СО	– сборочное отверстие
СП	– сборочное приспособление
СтЧПУ	– станок с числовым программным управлением

ТБ	– технологическая база
ТК	– теоретический контур
ТКП	– технологическая координатная плита
ТП	– теоретический плаз
ТПП	– технологическая подготовка производства
ТТП	– типовой технологический процесс
ТУ	– технические условия
УФО	– установочно-фиксирующее отверстие
ЧПУ	– числовое программное управление
ШВК	– шаблон внутреннего контура
ШГ	– шаблон гибки
ШГР	– шаблон группового раскроя
ШК	– шаблон контура
ШКК	– шаблон контрольно-контурный
ШОК	– шаблон обрезки контура и кондуктор для сверления отверстий
ШП	– шаблон приспособления
ШРД	– шаблон развертки детали
ШСД	– шаблон сверления детали
ШФ	– шаблон фрезерования
ШХФ	– шаблон химического фрезерования
ЭМИ	– электронная модель изделия
ЭП	– эталон поверхности
ЭШМ	– эталонно-шаблонный метод

ВВЕДЕНИЕ

Многообразие конструкций современных летательных аппаратов обусловлено различным их назначением и областью применения. При этом каждый современный ЛА как объект производства имеет несколько характерных для любого ЛА особенностей, которые создают специфику авиационного производства. Например, многодетальность планера и широкая номенклатура используемых материалов приводит к наличию большого объема сборочно-монтажных работ, трудоемкость которых составляет до 70 % от общей трудоемкости изготовления самолета (вертолета). Наличие нежестких и при этом крупногабаритных деталей требует использования специальных приспособлений при сборке, а из-за высоких требований к точности геометрии ЛА применяются специфические методы увязки. Это, в свою очередь, приводит к необходимости сложной и длительной подготовки сборочно-монтажного производства ЛА, целью которой является обеспечение возможности производить летательный аппарат с заданным качеством, в необходимом количестве и в установленные сроки.

В цикле лабораторных работ, представленных в этом учебном пособии, рассматриваются все аспекты сборочно-монтажного производства, в первую очередь, технология сборки узлов и агрегатов ЛА: существующие методы сборки, методика их выбора, порядок разработки сборочных технологических процессов и необходимой документации. В отдельный раздел выделена подготовка оснащения для сборочного производства – монтаж приспособлений при различных методах увязки. Особо выделены современные бесконтактные методы сборки конструкций и монтажа приспособлений. Заключительная часть – образование соединений. Рассмотрены методы и средства образования наиболее широко распространенных в авиации соединений – заклепочных.

Выполнение лабораторных работ направлено на формирование у будущих инженеров практических навыков по разработке технологических процессов сборки и оформлению необходимой документации, по выбору средств технологического оснащения для осуществления сборочных работ.

Материалы пособия даны на русском и английском языках. Английский текст предназначен, в первую очередь, для иностранных студентов, но может быть полезен и русскоязычным студентам для изучения терминологии.

Авторы пособия выражают глубокую признательность старшему преподавателю кафедры технологии производства ЛА Павленко Алексею Анатольевичу за постоянную помощь и информационную поддержку при подготовке английского текста настоящего пособия.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ СБОРОЧНЫХ РАБОТ

Базирование при сборке и методы сборки

Термины и определения основных понятий базирования и баз изложены в ГОСТ 21495–76 и ДСТУ 2232–93.

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

База – поверхность, ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования.

Проектная база – база, выбранная в процессе проектирования изделия, технологического процесса изготовления или ремонта данного изделия.

Согласно теоретической механике нужного положения твердого тела относительно выбранной системы координат можно добиться наложением геометрических связей.

Тело, ограниченное реальными поверхностями, может контактировать с телами, которые определяют его положение, в общем случае лишь отдельными элементарными площадками, которые условно считаются точками контакта.

Шесть связей, лишаящих тело перемещений в шести направлениях, могут быть созданы контактом тел в шести точках. В случае идеальной формы поверхностей считают, что необходимые связи наложены путем контакта тел поверхностями, а наличие реальных связей символизируется опорными точками, которые имеют теоретический характер.

Опорная точка – точка, которая символизирует одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат.

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах. Количество проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

Наложения двусторонних геометрических связей можно добиться соприкосновением поверхностей тела с поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением сил или пар сил для обеспечения контакта между ними.

Закрепление – приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения устойчивости положения, которое они приобрели в процессе базирования.

Установка – базирование и закрепление заготовки или изделия.

В основу классификации баз положены следующие соображения.

Всё разнообразие поверхностей деталей изделий машиностроения можно свести к четырем видам:

- исполнительные поверхности – поверхности, с помощью которых деталь выполняет свое служебное назначение;

- основные базы – поверхности, с помощью которых определяется положение данной детали в изделии;

- вспомогательные базы – поверхности, с помощью которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной детали;

- свободные поверхности – поверхности, которые не соприкасаются с поверхностями других деталей.

Базирование необходимо для всех стадий создания изделий – конструирования, изготовления, измерения, а также при рассмотрении изделия в целом. Отсюда следует классификация баз *по назначению*: конструкторские, технологические и измерительные (рис. 1.1).

По назначению

Конструкторские

основные

вспомогательные

Технологические

Измерительные

По ограничению степеней свободы

Установочные

Направляющие

Опорные

Двойные направляющие

Двойные опорные

По характеру проявления

Явные

Скрытые

Рис. 1.1. Классификация баз

Конструкторская база (уст. сборочная база) – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Основная база – конструкторская база данной детали или сборочной единицы, используемая для определения ее положения в изделии.

Вспомогательная база – конструкторская база данной детали или сборочной единицы, используемая для определения положения изделия, присоединяемого к ним.

Конструкторские базы подразделяют на основные и вспомогательные, что применяется как при разработке чертежа изделия,

так и во время его изготовления. Необходимость такой классификации следует из неодинаковости ролей основных и вспомогательных баз и важности учета этого как при проектировании изделия (выборе конструктивных форм поверхностей деталей, задании их относительного положения, простановке размеров, разработке норм точности и т.п.), так и при разработке и осуществлении технологических процессов.

Технологическая база (уст. *установочная база*) – база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

Измерительная база (уст. *контрольная база*) – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Законы базирования являются общими для всех стадий создания изделия, поэтому, независимо от назначения, базы могут различаться только количеством степеней свободы, которых они лишают заготовку, деталь или сборочную единицу, и характером проявления. Существует дополнительная классификация баз: по ограничению степеней свободы и по характеру проявления (см. рис. 1.1).

Детали ЛА имеют, как правило, сложную геометрическую форму. На деталях, однако, можно выделить характерные геометрические поверхности – плоские, цилиндрические наружные и внутренние и т.д.

Комплект баз призматической детали составляют установочная, направляющая и опорная базы.

Установочная база – база, используемая для наложения на заготовки или изделия связей, лишаящих их трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Направляющая база – база, используемая для наложения на заготовки или изделия связей, лишаящих их двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Опорная база – база, используемая для наложения на заготовки или изделия связей, лишаящих их одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Для базирования деталей по отверстиям применяют двойные направляющие и двойные опорные базы.

Двойная направляющая база – база, используемая для наложения на заготовки или изделия связей, лишаящих их четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойная опорная база – база, используемая для наложения на заготовки или изделия связей, лишаящих их двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей.

Скрытая база – база в виде мысленной плоскости, оси или точки.

Явная база – база в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисков.

На первых стадиях проектирования технологических процессов сборки рассматривают возможные варианты комплектов баз, затем оформляют схему базирования в виде эскиза изделия с нанесенной совокупностью (комплексом) выбранных технологических баз (применяют знак \surd).

Приемы и средства реализации схемы базирования, т. е. установки деталей в заданное положение, называют *методом сборки*. По признаку базирования можно выделить два класса методов сборки (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Классификация методов сборки по признаку базирования

Сборочные процессы многовариантны, потому что обычно изделие можно собрать в соответствии с чертежом и ТУ, пользуясь разными методами сборки или их комбинациями. Выбирая конкретный вариант, исходят из условия обеспечения необходимого качества изделий с наименьшими затратами на подготовку и ведение производства.

Сборка – это установка (т.е. базирование и фиксация) и соединение составных частей, а также вспомогательные операции. Таким образом,

$$P_{сб} = P_{уст} + P_{соед} + P_{др},$$

где $P_{сб}$ – погрешность сборки изделия по заданному параметру; $P_{уст}$, $P_{соед}$ – погрешности установки и соединения; $P_{др}$ – погрешности вспомогательных операций, а также погрешности, обусловленные установкой и соединением (например, от внутренних напряжений), которые проявляются со временем.

Принципы базирования при сборке

1. *Принцип единства* баз заключается в необходимости совмещать проектные базы с технологическими. Поскольку проектные базы вводятся в рассмотрение раньше, чем технологические, то это означает, что в качестве технологических баз следует брать базы проектные.

Несоблюдение этого принципа приводит к появлению размера между проектной и технологической базами, так называемого базисного размера, с неизбежной его погрешностью.

2. *Принцип совмещения* баз требует совмещения технологических баз с конструкторскими. Поскольку конструкторские базы вводятся в рассмотрение раньше, чем технологические, то в качестве технологических баз следует брать конструкторские базы.

Несоблюдение этого принципа приводит к появлению размера между технологической и конструкторской базами (на данном этапе сборки). Этот размер также является базисным.

3. *Принцип постоянства* баз заключается в необходимости совмещать технологические базы на данном этапе сборки с технологическими базами на последующих и предыдущих этапах сборки и обработки. Поскольку проектирование ведется "от целого к частному", т.е. сначала вводятся в рассмотрение технологические базы для сборки изделия в целом (планера самолета), а затем агрегатов и сборочных единиц более низких уровней вхождения в изделие, то это означает, что в качестве технологических баз подборок и деталей следует брать технологические базы составных частей более высоких уровней вхождения в изделие. Или так: один раз выбранные технологические базы необходимо сохранять на всех этапах обработки и сборки.

Несоблюдение этого принципа также приводит к появлению базисного размера и его погрешности.

Разработка технологического процесса сборки

Исходную информацию для разработки технологических процессов подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация – это сведения об изделии (из конструкторской документации), программе и объеме выпуска.

Руководящая информация дана в стандартах, технических условиях, технологических и производственных инструкциях, директивных технологических документах (материалах), нормативах расходов (например, времени, материалов), нормах охраны труда, конструкторских и технологических классификаторах, типовых технологических процессах и т.д.

Справочную информацию содержат технологическая документация опытного производства и действующие техпроцессы-аналоги, описания опыта технических решений, методики, каталоги, справочники, альбомы средств оснащения и т.д.

В директивных технологических материалах указаны принципы ведения работ по сборке. Их состав не регламентирован, но первыми обычно выполняются *схема членения* (расчленение изделия на составные части) и *схема сборки* (последовательность установки составных частей при сборке с указанием дополнительной информации о средствах оснащения и приемах ведения сборки).

На схеме членения в произвольной аксонометрии изображают изделие и его составные части (сборочные единицы и детали) с указанием их взаимного расположения.

Схему сборки оформляют в виде блок-схемы последовательности сборки, где блоками являются детали, сборочные единицы, готовое изделие и сборочные приспособления.

Различают три вида схем сборки:

- последовательная (замкнутая);
- параллельная (дифференцированная);
- параллельно-последовательная (комбинированная).

Разработка серийного технологического процесса сборки включает в себя комплекс взаимосвязанных работ:

1) анализ исходных данных и необходимости дополнительной информации, определение классификационного типа изделия;

2) поиск типового, группового или единичного технологического процесса-аналога;

3) уточнение (доработка) типового или выбор нового технологического маршрута сборки (т.е. схемы сборки) в нескольких вариантах;

4) выбор баз, т.е. метода сборки, и оценка точности сборки;

5) определение предварительных ТУ на поставку подборок и деталей (заготовок);

6) проектирование технологических операций с использованием типовых переходов, выбор средств технологического оснащения (оборудования, оснастки, инструмента);

7) расчет (выбор) режимов и нормирование операций, определение разряда работ и профессий исполнителей;

8) определение требований техники безопасности;

9) обоснование технической, экономической и социальной эффективности вариантов технологических процессов, выбор оптимального варианта;

10) оформление технологических документов.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные.

Основные документы полностью и однозначно определяют технологический процесс и содержат сводную информацию, необходимую для решения инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач.

В зависимости от вида и типа производства и применяемых технологических методов изготовления основные документы подразделяют на документы общего (титульный лист, карта эскизов, технологическая инструкция) и специального (маршрутная карта, карта технологического процесса, операционная карта, карта комплектования, карта наладки, ведомость обработки изделия и т.п.) назначения.

Вспомогательные документы (производные) разрабатываются на базе основных и имеют организационно-технический характер (карта заказа и технические условия на проектирование технологической оснастки, акт внедрения технологического процесса, технологический паспорт, цикловой график сборки, технические условия на поставку деталей и т.д.).

Текст технологического процесса серийного производства дают в операционном описании, т.е. он имеет такую структуру по содержанию операций:

1) ключевое слово – описание действия (операции, перехода) по обработке или сборке, записанное глаголом в неопределенной форме ("установить", "закрепить", "разметить", "сверлить", "клепать" и т.д.);

2) информация о количестве и виде обрабатываемых элементов поверхностей (например, "сверлить 3 отверстия") или составных частей изделия (например, "клепать 3 заклепки");

3) информация о размерах обрабатываемых элементов поверхности ("отверстия $\varnothing 4,5$ ") или типоразмеры составных частей изделия ("заклепки 4-10 ОСТ 1.34043–85");

4) дополнительная информация, например: "по разметке", "по НО", "по СО", "по КФО", "по шаблону", "по упорам", "согласно эскизу, чертежу", "по месту", "обеспечивая прилегание".

Допускаются полная и сокращенная формы записи операции и перехода (по усмотрению разработчика документа). Например, полной записи "Сверлить 21 отверстие $\varnothing 4,05$, соблюдая размеры 1 и 2" отвечает сокращенная запись "Сверлить отверстия согласно чертежу".

В записях можно применять сокращения слов и словосочетаний в соответствии со стандартами. Например, существуют такие полные и сокращенные наименования предметов производства и их конструктивных элементов: деталь – дет., изделие – изд., заготовка – загот., отверстие – отв., контур – к-р.

В технологической документации употребляют сокращения согласно ЕСКД, например: лонжерон – л-н, стрингер – стр., шпангоут – шп-т, нервюра – н-ра, а также отраслевые, например: технологический болт – т/б, сборочное, направляющее, координатно-фиксирующее отверстия – СО, НО, КФО соответственно.

Если операция, переход или их часть полностью соответствуют типовому технологическому процессу (ТТП) или производственной

инструкции (ПИ), то запись дают в сокращенной форме с указанием номеров этих документов.

Согласно стандартам в определенных строках и графах операционной карты или карты технологического процесса (КТП) приводят следующие сведения: требования к безопасности труда (номер инструкции), средства технологического оснащения (оборудование, оснастка, инструмент и их типы, шифры, стандарты), разряд работ, профессии исполнителей, нормы времени.

Наряду с картами технологических процессов сборки технолог-разработчик оформляет производную технологическую документацию:

а) технические условия (сведения, карты) на поставку деталей и подборок, подаваемых на сборку (табл. 1.1);

б) карту заказа на проектирование сборочного оснащения для осуществления данного техпроцесса с техническими условиями (пример приведен в табл. 1.2).

Таблица 1.1

Технические условия на поставку деталей и подборок для сборки шпангоута № 42

Наименование детали, подборки	Номер чертежа	Количество	Наличие припуска	Наличие отверстий: НО, СО, КФО	Примечание
Низинка	0312.10СБ	1	2 мм по стыку	3 СО, 3 КФО Ø5Н9	Собрана согласно схеме сборки
Боковина левая	0372...	1	2 мм по стыку	2 КФО Ø5Н9	-
Пояс	0342...	1	-	48 НО	-
Фитинг	0342...	1	2 мм по ОСБ	12 НО	-
Жесткость	0342...	1	-	14 НО, 2 СО	-

Примечание. Отверстия НО и СО имеют Ø2,6Н12 (или Ø2,7Н12), а КФО – Ø8Н9 (или Ø 5Н9, Ø6Н9) с учетом размеров изделия.

В этих документах указывают свойства (признаки, элементы, параметры), которые имеют предметы (детали и подборки, входящие в сборочный комплект) и средства (сборочное приспособление и другие средства технологического оснащения) труда, необходимые для осуществления операций технологического процесса. Например, операция "Установить низинку в приспособление по КФО" требует наличия увязанных координатно-фиксирующих отверстий (КФО) в низинке и фиксаторах приспособления, операция "Установить жесткость на низинку по СО" требует, чтобы жесткость и низинка имели увязанные сборочные отверстия (СО).

Таблица 1.2

**Технические условия на проектирование приспособления
для сборки шпангоута № 42**

1	Назначение устройства	Для предварительной сборки шпангоута № 42 (с последующей герметизацией и прессовой клепкой)
2	Очередность	Оснащение первой очереди, разрабатывается впервые
3	Перечень деталей и подборок	Низинка, боковины (левая, правая), пояса, фитинги, жесткости, окантовки, стойки,...
4	Состояние поставки на сборку	С припусками и технологическими отверстиями согласно техническим условиям на поставку
5	Последовательность сборки	Установка низинки, боковин, фиксация т/б,...
6	Схема базирования или перечень баз	Низинка и боковины – по КФО, пояса – по обводу, фитинги – по отверстиям под стыковые болты (ОСБ),...
7	Средства ведения сборочных работ	Ручной механизированный пневмоинструмент
8	Средства извлечения изделия	Вручную
9	Технические требования к конструкции приспособления	а) положение изделия – вертикальное, как во время полета; б) механизация устройства – не нужна; в) средства монтажа (увязки) – эталон шпангоута № 42; г) другие требования: предусмотреть съемный кондуктор, помост на высоте 1200 мм от пола

2. УЗЛОВАЯ СБОРКА В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

Узлы – это наименьшие составные части изделия (самолета, вертолета), которые конструктивно и технологически закончены (на каждый узел, как правило, выпускают отдельный сборочный чертеж):

- плоские каркасные узлы, выходящие либо не выходящие на теоретические обводы агрегатов (лонжероны, нервюры, шпангоуты, балки);

- пространственные каркасные узлы планера ("пауки" крыла, каркасы оборудования, фонари кабин пилота, штурмана);

- панели планера – детали каркаса, соединенные с обшивкой, т.е. обшивки, подкрепленные силовым набором;

- конструкции (сборочные единицы) типа дверей, крышек люков, щитков, обтекателей, каналов;

- узлы и панели бортовых систем и бортового оборудования (пульты, коллекторы, кресла, механизмы); их сборку обычно называют механосборкой.

В конструкциях узлов можно выделять составные части (под сборки, сборочные группы), которые собирают отдельно с последующим соединением их в узел. Такие части называются подузлами, и на них не выпускают отдельных сборочных чертежей.

Таким образом, объектами узловой сборки являются узлы (в том числе панели) и подузлы планера и бортовых систем самолета.

Лабораторная работа № 1

СБОРКА И КОНТРОЛЬ ПЛОСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УЗЛОВ (СБОРКА ПО СО И В ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОМ ПРИСПОСОБЛЕНИИ)

Цель работы – ознакомиться с сутью методов сборки по СО и в приспособлении, монтажом переналаживаемых приспособлений для сборки и контроля плоских технологических узлов, порядком разработки технологии сборки и контроля, методами определения точности контуров узлов, собранных в приспособлении и по СО.

Основные сведения

В серийном производстве технологические узлы являются самой многочисленной группой среди всех сборочных единиц конструкции планера самолета. Особенно это характерно для сборки современных широкофюзеляжных самолетов, когда количество таких сборочных единиц, как секции и отсеки, уменьшилось, а в главный стапель сборки всего агрегата (крыла, фюзеляжа) поступают отдельные узлы, панели, детали.

Большинство технологических узлов (сборные нервюры, шпангоуты, лонжероны, балки) из-за небольшой толщины имеют "плоскую" конструкцию. Основные методы их сборки – по СО и в приспособлениях (рис. 2.1).

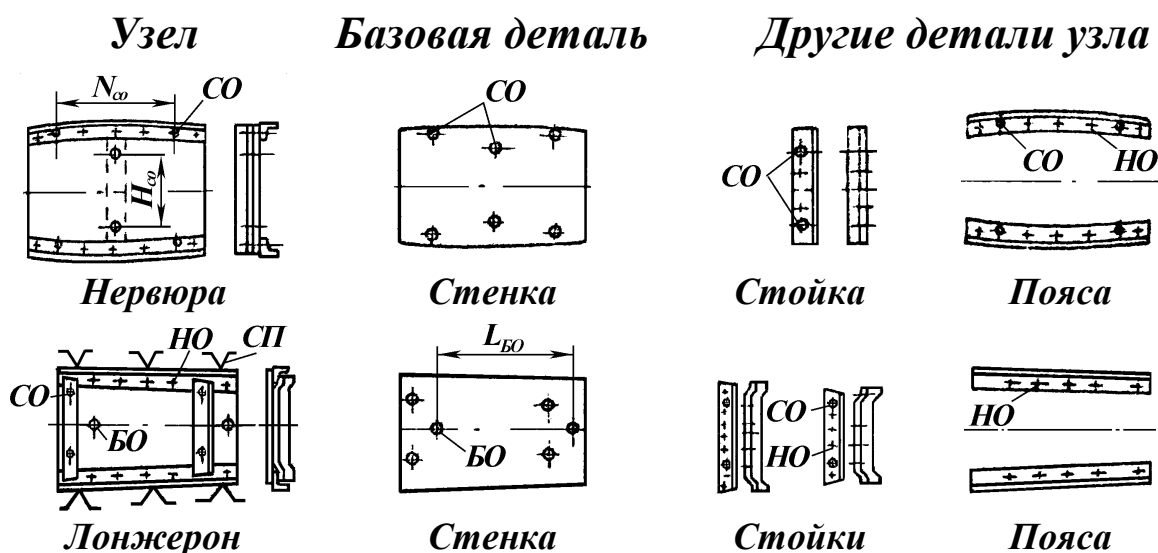


Рис. 2.1. Базирование и состояние поставки деталей при сборке узла по СО и в приспособлении

При сборке узла по СО детали узла устанавливают путем совмещения СО и временно скрепляют технологическими штыревыми фиксаторами, в том числе болтами. Вследствие этого погрешность сборки в плоскости соединения (рис. 2.2) определяется погрешностями:

- размещения СО на базовой детали $\Pi_{баз}(СО)$;
- размещения СО на других деталях узла относительно их контуров $\Pi_{вх(конт-СО)}$;
- фиксации деталей по СО $\Pi_{ф}(СО)$;
- соединения (силовые и температурные воздействия) $\Pi_{соед}$;
- другими погрешностями, связанными с кривизной и жесткостью деталей, количеством СО и их расположением, $\Pi_{др}$.

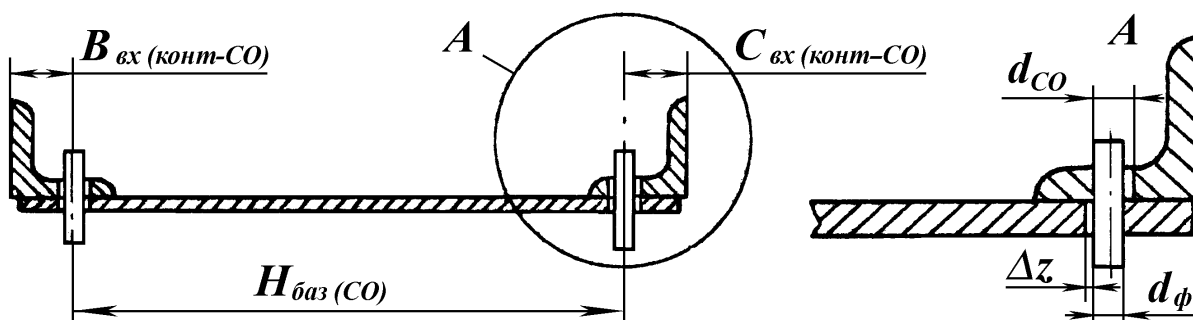


Рис. 2.2. Схема возникновения погрешностей при сборке по СО

Таким образом, можно записать

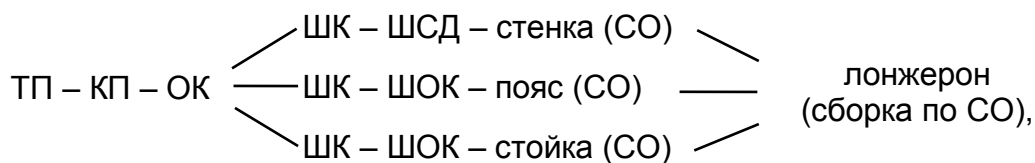
$$\Pi_{сб}(СО) = \Pi_{баз}(СО) + \Pi_{вх(конт-СО)} + \Pi_{ф}(СО) + \Pi_{соед} + \Pi_{др}.$$

Проанализируем причины возникновения погрешностей и способы их определения.

1. Для повышения точности увязки СО базовой и входящей деталей узла выделяют самостоятельные системы СО, участвующие в решении отдельных функциональных задач. Так, для нервюры (см. рис. 2.1), состоящей из стенки, поясов и стоек, базовая деталь (стенка) несет две системы СО – для поясов и для стоек (по их количеству).

СО назначают в местах установки заклепок или болтов, т.е. там, где нужны конструктивные отверстия. Для паяных, клеевых и сварных соединений СО назначают особо. СО сверлят в деталях с использованием или шаблонов (ШК, ШРД, ШСД, ШОК), или кондукторов (специальных или универсальных). Иногда СО пробивают с помощью штампов.

Увязку СО сначала осуществляют на конструктивных плазах, а затем с помощью плоских и объемных носителей (шаблонов, оснастки). Возможный вариант переноса и согласования размеров представим в виде структурной схемы



где ТП – теоретический плаз; КП – конструктивный плаз; ОК – отпечаток контрольный.

При программно-инструментальном методе увязки вместо плазов используют математическую модель поверхности (ММП) и электронную модель изделия (ЭМИ), а шаблоны изготавливают на станках с ЧПУ (СтЧПУ).

2. Погрешности размещения СО деталей узла (поясов) относительно их контуров (наружных поверхностей полок) возникают при установке и сверлении деталей по кондукторам или шаблонам (ШОК, ШСД). Таким образом, $\Pi_{\text{вх}} (\text{конт-СО})$ также можно рассчитать по схеме переноса размеров.

3. Погрешность фиксации деталей по СО является результатом несоответствия диаметров СО и фиксаторов. В целях унификации элементов оснастки (шаблонов, кондукторов) диаметр СО необходимо выбирать из рекомендуемого размерного ряда [14]: 2,6 мм – для мелких подборок, 8 мм – для больших. Применение других диаметров (обычно 4, 5 или 6 мм) должно быть обоснованным, так как, во-первых, диаметр СО не должен превышать тот, который нужен для крепёжной детали, т.е. заклепки, болта: $d_{\text{СО}} \leq d_{\text{отв. закл (болт)}}$. Например, обычные заклепки можно вставить в СО сразу после снятия технологических фиксаторов с таким же диаметром, а для болтов отверстия требуют дополнительной размерной обработки со снятием припуска. Во-вторых, диаметр сборочных отверстий должен быть достаточно большим, чтобы установленный в них технологический фиксатор обеспечивал совмещение сопрягаемых поверхностей силовым замыканием. Поэтому диаметр 2,6 мм не следует применять для СО в толстых пакетах. Диаметр СО обычно имеет положительный допуск +0,1 мм, а диаметр гладкой части фиксатора СО может иметь незначительное отрицательное отклонение от номинального значения диаметра СО. Этот гарантированный зазор между фиксаторами и СО позволяет компенсировать погрешность расстояния между осями СО, но создаёт погрешность $\Pi_{\text{ф (СО)}} = 4\Delta z$ (см. рис. 2.2).

4. Технологические усилия в процессе образования соединения вызывают внутренние напряжения, которые являются причиной некоторой деформации $\Pi_{\text{соед}}$, особенно в пакетах с маложёсткими деталями при

большом шаге СО. Эта деформация мала в плоскости соединения и может быть значительной в перпендикулярных плоскостях.

5. Количество СО, их шаг и удаление от края детали зависят от конструктивных параметров деталей и сборочной единицы, вида применяемого соединения и заданного в технических условиях ограничения на величину зазора в пакете. При большом шаге СО требуется дополнительное сжатие пакета между СО в зоне сверления и клепки; возможно также набегание материала между СО от деформаций тонкой детали в процессе клепки. Минимальное количество СО: один – для круга (в его центре); два – для других случаев. Увеличение количества СО затрудняет их увязку.

Если взять два СО, то из-за существующих зазоров при фиксации может произойти взаимный поворот деталей – угловое смещение. В этом случае точность сборки деталей в плоскости их совмещения будет зависеть от расстояния между СО и точками, определяющими размер, который нужно выдерживать.

Сборку по СО применяют для простых сборочных единиц (узлов, панелей) с невысокими требованиями к точности – $\pm(0,5...1,5)$ мм.

Преимущество сборки по СО заключается в том, что она не требует специального сборочного оснащения, сборка ведется на универсальных рабочих местах – столах, станках или с помощью простейших поддерживающих устройств. Это обуславливает минимальные затраты на сборочное оснащение и небольшие затраты труда, времени и средств на сборку. Но существует и недостаток – увеличение трудоёмкости изготовления деталей (из-за сверления СО) и подготовки заготовительно-штамповочного производства (из-за потребности в увязанных шаблонах или кондукторах). Себестоимость сборки зависит от объема выпуска изделий.

Сборка в приспособлении обеспечивает более высокую (в сравнении со сборкой по СО) точность изделия благодаря компенсации погрешностей размеров деталей при совмещении их баз с фиксаторами приспособления, которые и определяют необходимые конечные формы и размеры узла. Сборочное приспособление позволяет устанавливать детали согласно чертежу, придавать им жёсткость и удерживать во время соединения.

Погрешность сборки в приспособлении $P_{сб (np)}$ определяется накоплением таких погрешностей: носителя размеров, т.е. приспособления, P_{np} ; базирования деталей $P_{баз}$; соединения $P_{соед}$; других погрешностей $P_{др}$.

Погрешность P_{np} зависит от приемов и средств изготовления приспособления. Для рассматриваемого типа узлов схема переноса размера может быть следующей:

ТП – КП – ОК – ШП – фиксаторы СП

или

ММП – ЭМИ – Пр – СтЧПУ – ШП – фиксаторы СП,

где Пр – программа обработки на СтЧПУ, ШП – шаблон приспособления.

Пояснения по технологии монтажа приспособления будут даны ниже в этой лабораторной работе.

Для погрешности базирования можно записать

$$P_{баз} = P_{ув.дет-пр} K_{\phi}$$

где $0 \leq K_{\phi} \leq 1$; $P_{ув.дет-пр}$ – погрешность увязки пояса (т.е. базируемой детали) и приспособления, например, по такой схеме:

ТП – КП – ОК $\begin{cases} \text{ШП – фиксаторы СП} \\ \text{ШК – ШОК – пояс} \end{cases}$

или

ММП – ЭМИ $\begin{cases} \text{Пр – СтЧПУ – ШП – фиксаторы} \\ \text{Пр – СтЧПУ – шаблоны – пояс.} \end{cases}$

Таким образом,

$$P_{сб(np)} = P_{np} + P_{ув.дет-пр} K_{\phi} + P_{соед} + P_{др}$$

Основное преимущество метода сборки в приспособлении – обеспечение идентичности и взаимозаменяемости подборок.

Недостаток метода сборки в приспособлении – высокая стоимость сборочного оснащения. Значительные затраты на оснащение объясняются тем, что каждый из технологических узлов индивидуален, и его сборку с необходимой точностью можно осуществить только в специальном приспособлении. Специальные приспособления в период серийного выпуска самолетов имеют средний по значению коэффициент использования по времени (коэффициент загрузки) – 0,3...0,5, а когда они изнашиваются или изменяется конструкция самолета (что имеет место каждые 3–5 лет), их списывают.

Применение переналаживаемых сборочных приспособлений – один из путей снижения издержек. В каждом таком приспособлении можно изготовить группу однотипных узлов. Конструктивно оно содержит универсальную основу, на которой по плоскому шаблону приспособления

(ШП) установлены фиксаторы. После сборки партии узлов с одним наименованием фиксаторы переустанавливают (переналаживают) по другим ШП для сборки другого узла группы. Все элементы конструкции переналаживаемого приспособления универсальны и могут быть стандартизированы. Использование переналаживаемых приспособлений целесообразно не только для сборки, но и для контроля, например, узлов, собранных по СО.

Технология монтажа таких приспособлений достаточно проста. Сначала на основе-плите предварительно устанавливают реперные стойки со штырями по базовым отверстиям (БО), на которые крепят ШП (по БО шаблона), и выставляют стойки окончательно. Затем подводят фиксаторы так, чтобы совместились определенные места на фиксаторе и ШП. В этом положении фиксаторы крепят к плите-основе болтами. После этого снимают ШП – и приспособление готово к работе.

Сборку в переналаживаемом приспособлении ведут в обычном порядке. Детали устанавливают в сборочное положение по упорам и фиксаторам приспособления, затем временно соединяют пакет собираемых деталей технологическим крепежом (прижимами) приспособления. Следующие операции подготовки к соединению и самого соединения деталей согласно чертежу выполняют в приспособлении.

Для упрощения конструкции приспособления можно использовать реперные стойки с БО (или со штырями по БО) как технологические базы для стенки собираемого узла (лонжерона).

Если узел несет на себе детали стыков, то в приспособлении должны быть соответствующие фиксаторы, увязанные между собой и с фиксаторами обводов. В этом случае приспособление монтируют по единому жесткому носителю обводов и стыков – эталону (макету) технологического узла, который представляет собой ШП с закреплёнными на нем эталонными деталями стыков (калибрами стыков).

В любом варианте на монтаж подают полностью законченные фиксаторы обводов и стыков, упоры, а средство монтажа (шаблон или эталон) выставляют на реперных стойках. Контрольные приспособления обычно имеют индикаторные измерительные устройства, настроенные по тем же средствам монтажа. Погрешность узла находят как разность показаний индикаторов для ШП и узла. Из изложенного очевидно, что для монтажа переналаживаемого приспособления не требуется его чертеж, достаточно иметь схему базирования собираемого или контролируемого узла (карту наладки из комплекта документов на технологический процесс) с указанием шифра соответствующих стандартных элементов приспособления.

Комплектация лабораторной работы

1. Чертежи лонжерона.
2. Комплекты деталей лонжерона для сборки по СО и в приспособлении.
3. Комплект деталей и узлов переналаживаемого приспособления для сборки и контроля плоских узлов.
4. Шаблоны приспособления (ШП).
5. Технологический крепёж (струбцины, технологические болты).
6. Набор щупов пластинчатых или щуп клиновой.

Последовательность выполнения работы

1. Ответить на контрольные вопросы.
2. Ознакомиться с чертежом лонжерона.
3. Нарисовать эскиз лонжерона и возможные варианты базирования деталей лонжерона при сборке.
4. Разработать технологический процесс сборки лонжерона по СО.
5. Разработать технологический процесс сборки лонжерона в приспособлении.
6. Разработать технические условия на поставку деталей для сборки лонжерона по СО и в приспособлении.
7. Смонтировать по ШП:
 - а) сборочное приспособление (по верхнему поясу);
 - б) контрольное приспособление (по нижнему поясу).
8. Выставить в приспособлении измерительные приборы (индикаторы) по ШП и занести показания индикаторов в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений

Номер контрольной точки	Показания индикатора для ШП	Отклонение от ШП			
		Сборка в приспособлении			Сборка по СО
		с четырьмя прижимами	с тремя прижимами	с двумя прижимами	
1					
2					
3					
4					
Среднее отклонение (среднее арифметическое)					

9. Собрать верхний пояс лонжерона со стенкой по СО.
10. Собрать нижний пояс лонжерона со стенкой в приспособлении, базируя стенку по БО.
11. Определить по индикаторам отклонение контура лонжерона (нижний пояс) от контура ШП, данные занести в табл. 2.1.

12. Уменьшить количество прижимов приспособления для контура (согласно данным таблицы), значения отклонений контура лонжерона занести в табл. 2.1.

13. Определить по индикаторам отклонения контура лонжерона, собранного по СО (по верхнему поясу), от контура шаблона, данные занести в табл. 2.1.

14. Сформулировать выводы относительно точности сборки по СО и в приспособлении и о влиянии количества фиксаторов приспособления на точность сборки.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на точность сборки по СО?
2. Какие факторы влияют на точность сборки в приспособлении?
3. Назовите преимущества и недостатки сборки по СО, в специальных и групповых (переналаживаемых) приспособлениях.
4. Укажите технологические, конструкторские и измерительные базы лонжерона.

Лабораторная работа № 2

НАВЕСКА СТЫКОВЫХ УЗЛОВ НА ЛОЖЕРОН В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Цель работы – ознакомиться с особенностями технологии навески стыковых узлов, методикой выбора технологических баз и типовых операций установки классных болтов.

Основные сведения

Зоны соединения отдельных законченных частей самолета называются стыками. По конструктивному оформлению различают стыки плоские (фланцевые), вилочные, телескопические, ленточные и др.

Детали, образующие вилочный стык, называются стыковыми узлами, или узлами стыка. Они всегда имеют отверстия под стыковые болты (ОСБ). Эти узлы являются деталями, и их не следует путать с технологическими узлами, т.е. законченными сборочными единицами – лонжеронами, шпангоутами и др. Стыковые узлы – очень важные элементы конструкции сборочной единицы, поскольку в значительной мере определяют функциональное качество всего самолета – прочность и ресурс, аэродинамические формы, кинематику рулевых и взлётно-посадочных органов. Поэтому на этапе сборки к стыкам предъявляются высокие требования по их геометрической взаимозаменяемости и увязке (согласованию) между собой и с обводами агрегатов самолёта.

В целях решения этой задачи установку (навеску) стыковых узлов выделяют как особую часть сборочного процесса и осуществляют в жестких и точных приспособлениях, имеющих увязанные между собой фиксаторы обводов и стыков.

Обычно стыковые узлы навешивают на этапе сборки технологических узлов (панелей), а затем их используют как технологические базы при сборке отсеков и агрегатов. На заключительном этапе сборки – этапе стыковки агрегатов – их используют как конструкторские базы.

В этой лабораторной работе представлен лонжерон центроплана, имеющий три группы стыковых узлов: для соединения с консолями крыла; для соединения с фюзеляжем; для навески шасси. Детали стыковых узлов крепят к лонжерону болтами с определенными посадками, что требует специальной подготовки (разделки) отверстий, которая обеспечит необходимую точность и шероховатость поверхности.

Особенности навески стыковых узлов

Схема крепления узла стыка с фюзеляжем к поясу лонжерона показана на рис. 2.3, где конструкторские базы лонжерона и стыкового узла обозначены как KB_1 и KB_2 , технологические базы лонжерона, стыкового узла и приспособления – $TБ_1$, $TБ_2$, $TБ_{np}$. Видно, что плоскость сопряжения детали (узла) стыка и лонжерона образует угол $\sim 90^\circ$ со стенкой лонжерона, в плоскости которой задан сборочный размер H (координата ОСБ стыкового узла относительно основной проектной базы – плоскости хорд). Из рисунка видно, что размер H должен быть равен сумме размеров лонжерона H_1 , стыкового узла H_2 и размера H_{np} . Расстояние H_{np} между соединяемыми плоскостями обычно задается равным нулю, фактически же оно может иметь отклонения от номинала.

Погрешность $\Pi_{H_{np}}$ размера H_{np} – это погрешность $\Pi_{KB_1-KB_2}$ взаимного расположения конструкторских баз лонжерона KB_1 и

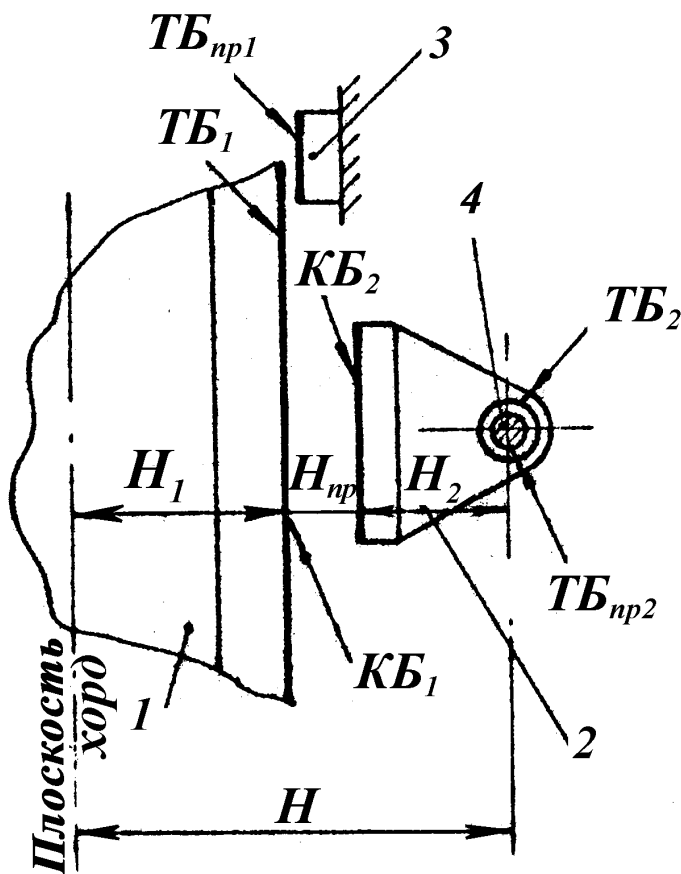


Рис. 2.3. Схема для выбора толщины компенсирующей прокладки: 1 – лонжерон; 2 – узел стыка; 3 – фиксатор обвода; 4 – фиксатор стыка

узла стыка KB_2 , которая появляется вследствие накопления погрешностей взаимного расположения (см. рис. 2.3):

- баз лонжерона $TБ_1$ ($TБ_1 = KB_1$) и приспособления $TБ_{np1}$ (при установке и фиксации лонжерона в приспособлении для навески узлов стыка): $П_{KB_1-TБ_{np1}} = П_1$;

- баз приспособления $TБ_{np1}$ и $TБ_{np2}$ (при монтаже фиксаторов приспособления для навески узлов): $П_{TБ_{np1}-TБ_{np2}} = П_2$;

- баз приспособления $TБ_{np2}$ и узла стыка $TБ_2$ (при фиксации узла стыка в приспособлении): $П_{TБ_{np2}-TБ_2} = П_3$;

- баз узла стыка $TБ_2$ и KB_2 (при изготовлении узла стыка): $П_{TБ_2-KB_2} = П_4$.

Таким образом, можно записать

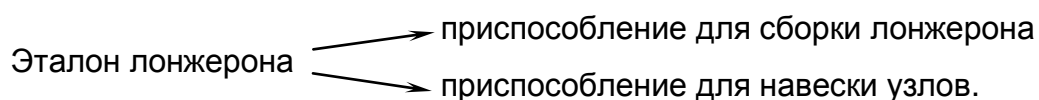
$$П_{KB_1-KB_2} = П_{KB_1-TБ_{np1}} + П_{TБ_{np1}-TБ_{np2}} + П_{TБ_{np2}-TБ_2} + П_{TБ_2-KB_2},$$

или кратко $П_{H np} = П_1 + П_2 + П_3 + П_4$.

Проанализируем составляющие этого уравнения:

1. $П_1 = П_{KB_1-TБ_{np1}}$ – погрешность базирования (установки и фиксации) лонжерона в приспособлении навески узлов стыка, которую можно записать в виде соотношения $П_1 = П_{ув} K_{\phi}$, где $П_{ув}$ – погрешность увязки технологических баз лонжерона и приспособления навески узлов стыка, $0 \leq K_{\phi} \leq 1$ – коэффициент фиксации.

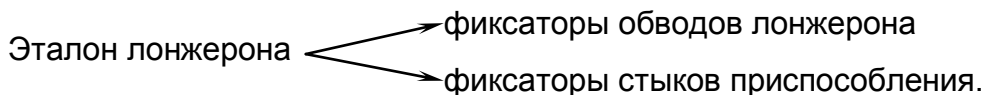
Можно принять, что $П_{ув}$ является погрешностью увязки технологических баз двух приспособлений (для сборки лонжерона и навески узлов стыка) согласно схеме



Коэффициент K_{ϕ} учитывает возможные смещения обвода лонжерона при фиксации прижимами приспособления для навески стыковых узлов и зависит от жесткости фиксируемой подсборки, шага фиксаторов, усилия прижатия. При этом $K_{\phi} = 0$, если прижимы полностью устраняют несогласованность баз $TБ_1$ и $TБ_{np1}$, т.е. совмещают их, и $K_{\phi} = 1$, если прижимы фиксируют лонжерон без изменения взаимного расположения баз $TБ_1$ и $TБ_{np1}$. Значение K_{ϕ} для конкретных случаев определяют опытным путем. В этом примере можно воспользоваться

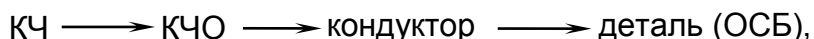
такими данными [3]: при количестве фиксаторов 2, 3, 4, 5, 7, 8 коэффициент k_f соответственно равен 0,85; 0,60; 0,50; 0,25; 0,20; 0,10.

2. $\Pi_2 = \Pi_{ТБ_{np1}-ТБ_{np2}}$ – погрешность взаимной установки фиксаторов обводов и стыков при монтаже приспособления, например, по такой схеме:



3. $\Pi_3 = \Pi_{ТБ_{np2}-ТБ_2}$ – погрешность фиксации узла стыка в приспособлении по ОСБ. Обычно ОСБ выполняют по 7–9-му качеству точности и фиксируют их в стапеле штырями с посадками, для которых значение Π_3 можно взять из таблиц, приведенных в [15].

4. $\Pi_4 = \Pi_{ТБ_2-КБ_2}$ – погрешность изготовления детали "узел стыка". Обычно сначала обрабатывают плоскость подошвы (база $КБ_2$), а затем с помощью кондуктора сверлят ОСБ (база $ТБ_2$), т.е. Π_4 – это погрешность размещения ОСБ после операции сверления по отверстиям кондуктора, что соответствует такой схеме переноса размера:



где КЧ – конструкторский чертеж детали, КЧО – конструкторский чертеж оснастки (кондуктора). На этих чертежах указан одинаковый размер H_2 , т.е. передача информации от КЧ к КЧО не связана с погрешностями. Следует отметить, что ОСБ после сверления обрабатывают (развертыванием, протягиванием), но при этом положение центра ОСБ не изменяется, т.е. эта операция не связана с погрешностями, и поэтому её не отражают на схеме.

Все эти погрешности могут иметь как положительные, так и отрицательные значения, т.е. в результате при сборке может образоваться либо натяг, либо зазор.

В случае натяга узел стыка можно установить и зафиксировать только после припиливания подошвы, а это сложная и трудоемкая операция. Поэтому следует принять меры по обеспечению гарантированного зазора: уменьшить номинальное значение расстояния H_2 от подошвы узла стыка до ОСБ на величину, превышающую наиболее

вероятный натяг. Тогда размерную компенсацию при сборке можно реализовать путём подбора прокладок определенной толщины.

Таким образом, для нормальной навески стыковых узлов в конструкции лонжерона необходимо предусмотреть гарантированный зазор и дополнительно подать на сборку набор прокладок. Предварительно необходимо решить следующие задачи:

а) определить наиболее вероятный натяг как положительное отклонение погрешности совмещения баз $\Pi_{H_{np}}$;

б) принять значение гарантированного зазора равным номинальному значению толщины прокладки H_{np} и учесть его на чертеже узла стыка в размере H_2 ;

в) найти вероятные пределы изменения величины зазора (или толщины прокладки) H_{np} как границы изменения погрешности совмещения баз $\Pi_{H_{np}}$.

Для суммирования полей рассеяния более трех независимых случайных погрешностей рекомендуется применять вероятностный метод (см. прил. 2).

При этом предполагается, что поля рассеяния погрешностей Π_i подчиняются нормальному закону распределения. Такое соотношение описывает наиболее вероятные границы погрешности $\Pi_{H_{np}}$.

Вероятность неблагоприятного сочетания входящих погрешностей Π_i (по максимуму или минимуму) мала, поэтому метод максимума-минимума (см. прил. 2) не используют.

При навеске на лонжерон центроплана узлов стыка с консолями крыла погрешности взаимной установки также неизбежны. Их компенсирует простой взаимный сдвиг, поскольку соблюдается размер, лежащий в плоскости соединения. Но при этом классные отверстия под болты надо обрабатывать совместно в деталях стыка и лонжероне уже после установки и фиксации пакета технологическими болтами.

Сверление отверстий с предварительным диаметром под технологические болты можно осуществлять по-разному:

1. Отдельно в деталях стыка и лонжероне до подачи их на сборку. Диаметр d таких отверстий должен быть меньше номинального d_H на величину, равную сумме минимального припуска на обработку P и удвоенной погрешности базирования (совмещения) a . Одновременно он должен быть больше выбранного диаметра технологического болта $d_{T/6}$ на величину возможного смещения a . Таким образом,

$$d_{T/6} + a \leq d \leq d_H - 2a - P.$$

Минимальный припуск (на диаметр) P на обработку отверстия определяется видом инструмента (зенкер-развертка, протяжка), его величину выбирают по типовым рекомендациям. Погрешность базирования a определяется точностью увязки приспособлений для сборки лонжерона и навески стыковых узлов по приведенной выше структурной схеме.

2. По направляющим отверстиям (НО) узла стыка после установки лонжерона, не имеющего отверстий, в приспособление.

3. С помощью съемного кондуктора, который фиксируется в приспособлении штырями по ОСБ. При этом сверлят отверстия в лонжероне, а детали стыка, подаваемые на сборку, уже имеют отверстия с таким же диаметром, что и отверстия кондуктора.

Комплектация лабораторной работы

1. Чертежи лонжерона центроплана.
2. Собранный лонжерон центроплана и детали стыковых узлов.
3. Приспособление для навески стыковых узлов.
4. Измерительный инструмент (щуп).
5. Сборник типовых операций узловой сборки.

Последовательность выполнения работы

1. Ответить на контрольные вопросы.
2. Ознакомиться с чертежами и оснащением работы.
3. Привести схему-эскиз навешивания стыковых узлов на лонжерон с указанием конструкторских и технологических баз.
4. Рассчитать погрешности совмещения стыковых узлов с лонжероном и необходимые толщины прокладок и значения припусков.
5. Разработать и оформить технологический процесс навески стыковых узлов на лонжерон.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте принцип совмещения баз. Приведите примеры его реализации.
2. Почему нежелателен натяг при навеске узлов стыка?
3. Как обеспечить гарантированный зазор между лонжероном и узлом стыка?
4. Зачем предусматривают припуск на диаметр отверстий?

3. СБОРКА АГРЕГАТОВ, ОТСЕКОВ И СЕКЦИЙ

Агрегатами называют наибольшие части самолета, законченные в конструктивном и технологическом отношении и способные выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно, – фюзеляж, крыло, стабилизатор и т.д. [13].

Секции и отсеки – это наиболее крупные части агрегатов, которые выделяют как самостоятельные сборочные единицы (СЕ), полученные пересечением агрегата одной или несколькими плоскостями исходя из конструктивных, технологических или эксплуатационных соображений. Эти части могут иметь замкнутый контур сечения (например, *отсек* фюзеляжа), и тогда их сборка будет мало отличаться от агрегатной, или незамкнутый контур сечения (например, *боковая секция* фюзеляжа), и тогда их сборка будет мало отличаться от панельной.

Технологии агрегатной сборки присуща многовариантность, поскольку любой агрегат может быть представлен как разные совокупности тех или других сборочных единиц и деталей, последовательность сборки которых неоднозначна. Вопрос о степени членения и порядке (этапах) сборки решают при проектировании самолета, что и отображают на чертежах и в директивных технологических материалах (в виде схемы конструктивно-технологического членения и схемы сборки агрегата).

На схеме конструктивно-технологического членения в произвольной аксонометрии изображают агрегат и его под сборки, детали, образующие *сборочный комплект*.

В зависимости от характера и степени членения различают:

- агрегаты непанелированной конструкции, состоящие из деталей и небольшого количества узлов;
- агрегаты панелированной конструкции, состоящие из отсеков или секций, панелей и узлов, а также незначительного количества отдельных деталей.

Выделение в структурном составе конструкции агрегата подборок, особенно панелей, обеспечивает ряд преимуществ:

а) расширение фронта работ и, таким образом, сокращение цикла (продолжительности) сборки;

б) улучшение подходов к зоне сборки и, как следствие, возможность применения средств механизации работ и объективного контроля сборочного процесса, особенно при образовании соединений, что, в свою очередь, способствует повышению производительности труда, уменьшению трудоёмкости, сокращению цикла сборки, повышению качества изделия;

в) уменьшение количества и упрощение конструкции ступеней общей сборки;

г) улучшение условий для проведения монтажных работ.

В то же время характер и степень членения агрегата должны быть оптимальными для конкретных условий производства, прежде всего для данного объема выпуска изделий и годовой программы. Выделение самостоятельными подборок связано с необходимостью изготовления соответствующих сборочных приспособлений, которые должны быть увязаны между собой и со стапелем сборки агрегата. Немаловажным является и тот фактор, что приспособления для подборок требуют дополнительных производственных площадей.

Сборка непанелированных агрегатов при минимальном количестве сборочного оснащения характерна для опытного и единичного производства. С увеличением объема выпуска изделий степень членения агрегатов увеличивается.

Схема сборки агрегата является следующим этапом разработки директивных технологических материалов и показывает не только структурный состав агрегата по видам подборок агрегата, но и последовательность ведения всего процесса сборки – от деталей к агрегату, а также является наглядным отражением **потребностей** в сборочном оснащении.

Различают следующие виды схем сборки (рис. 3.1): последовательная (замкнутая) – на сборку подают детали и не более одной сборочной единицы; параллельно-последовательная (дифференцированная) – на сборку подают детали и сборочные единицы; параллельная – на сборку подают сборочные единицы и соединительные детали.

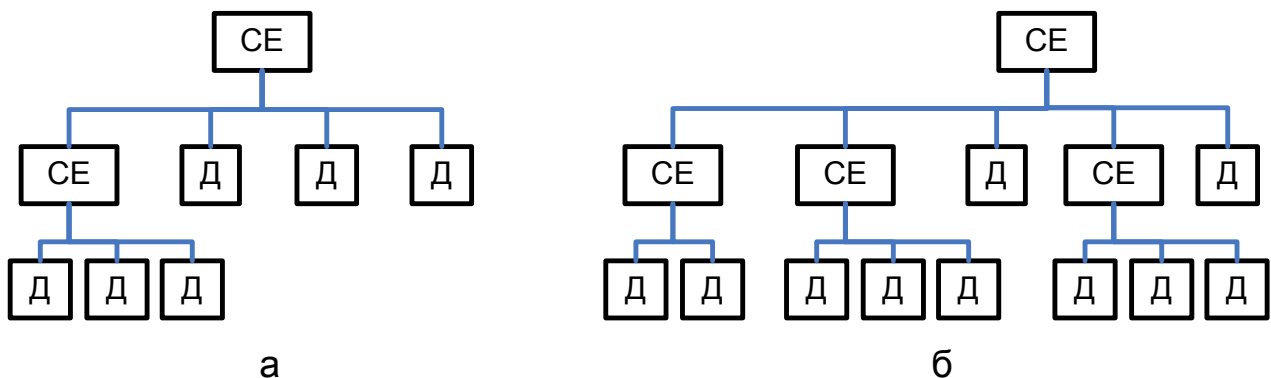


Рис. 3.1. Схемы сборки: а – последовательная; б – параллельно-последовательная

Схему сборки используют как информационную основу, когда разрабатывают рабочие (временные и серийные) технологические процессы сборки. Временные технологические процессы действуют только в период выпуска головных серий самолетов.

Методика разработки серийных техпроцессов сборки практически не зависит от типа сборочной единицы. При агрегатной сборке, в отличие от узловой, реализуются присущие ей схемы базирования и методы сборки: сборка в приспособлении "от обшивки", "от внутренней поверхности обшивки", "от каркаса", сборка по лазерным лучам, а также сочетание различных методов сборки.

Лабораторная работа № 3

СБОРКА БОКОВОЙ СЕКЦИИ ФЮЗЕЛЯЖА В ПРИСПОСОБЛЕНИИ С БАЗИРОВАНИЕМ ПО КООРДИНАТНО-ФИКСИРУЮЩИМ ОТВЕРСТИЯМ

Цель работы – ознакомиться с сутью метода сборки по КФО, содержанием процесса сборки типовой конструкции, особенностями конструкции сборочного оснащения; выявить факторы, влияющие на точность сборки секции фюзеляжа.

Основные сведения

Для конструкций, связанных с теоретическим обводом, при сборке в приспособлении возможны две принципиально разные схемы базирования: по обводам; по другим (произвольным) поверхностям. В обоих случаях приспособление выполняет роль жёсткого носителя исходных баз, с которыми в процессе сборки совмещаются технологические базы деталей собираемого изделия.

При базировании по обводам сборочное приспособление должно иметь обводообразующие элементы, к которым прижимают собираемые детали. Такое решение приемлемо, если возможна компенсация погрешностей изготовления деталей путем их упругой деформации при установке в сборочное положение. Если жёсткость деталей высока, то такая компенсация невозможна и базирование деталей по обводам нецелесообразно. Жёсткие детали можно базировать в приспособлении

более простым способом, например, по специальным отверстиям в деталях. Фиксаторы отверстий конструктивно проще, чем фиксаторы обводов, и могут быть стандартизованы. Конструкция всего сборочного приспособления при этом значительно упрощается, что улучшает подходы к зонам сборки (рис. 3.2).

Сборка в приспособлении с базированием по таким отверстиям называется "сборка по технологическим установочно-фиксирующим отверстиям (УФО)". Если эти отверстия выполнены в плоскостях основных сечений и заданы в системе основных

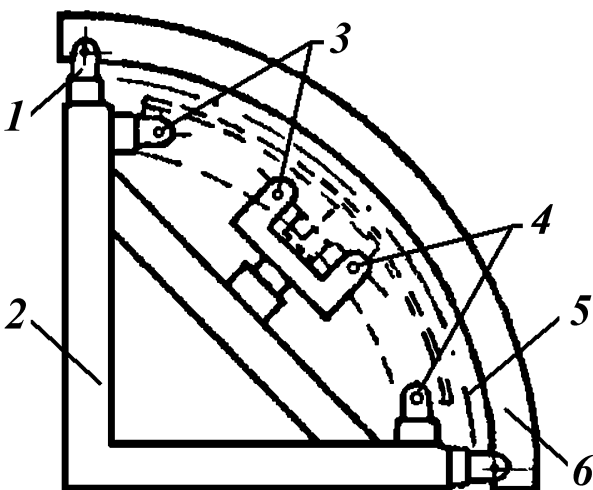


Рис. 3.2. Базирование по КФО при сборке секции: 1 – вилка; 2 – каркас; 3 – КФО для верхней панели; 4 – КФО для нижней панели; 5 – теоретический контур; 6 – шаблон эквидистантный

проектных баз самолета (ось симметрии, строительная горизонталь, строительная плоскость) на расстояниях, кратных шагу универсального координатного станда (плаз-кондуктора), т.е. 50×50 мм, то их называют координатно-фиксирующими (КФО).

Технологическими базами при использовании этого метода сборки являются оси КФО и плоскости фиксаторов КФО. С ними должны быть совмещены КФО и плоскости деталей каркаса. При этом неизбежно возникнет базисный размер между осью КФО и проектной базой изделия.

Погрешность сборки боковой секции фюзеляжа (см. рис. 3.2) из панелей, базирующихся по КФО, с учетом общего уравнения погрешностей сборки можно представить в таком виде:

$$P_{сб}^{секц} = P_{пр}^{КФО} + P_{обв-КФО} + P_{фикс} + P_{соед}^{пан-пан}.$$

Фиксаторы КФО (в виде ушек) монтируют в каркасе приспособления с помощью инструментального станда, погрешность $P_{КФО}$ составляет ±0,1 мм. В стапелях сборки агрегатов часть фиксаторов КФО выставляют по КФО первых подборок, например лонжеронов крыла.

Погрешность $P_{обв-КФО}$ состоит из допуска на толщину обшивки (+0,1 мм) и погрешности обвода шпангоута относительно КФО по сравнению с первичными носителями их взаимного размещения – конструктивным плазом (КП) и отпечатком контрольным (ОК). Обводную деталь шпангоута – обод – штампуют резиной на формблочке (при изготовлении обод базируют по КФО).

Структурная схема переноса размеров при использовании координатно-шаблонного метода увязки имеет вид

КП – ОК – ШК – ШВК – формблок – обод шпангоута.

Поскольку деталь имеет z-образное сечение, то для неё изготавливают единый шаблон ШК-ШВК. Погрешности этапов переноса размеров приведены в прил. 3.

Совмещение КФО осуществляют классными технологическими болтами (по h6 или h7), а сами отверстия обычно имеют диаметры 5H9, 6H9 или 8H9. Таким образом, погрешность $P_{фикс}$ зависит от посадки классных болтов.

Наконец, погрешность $P_{соед}^{пан-пан}$ зависит от вида соединения и конструктивных параметров подборки. Для сборочных единиц наподобие рассматриваемой конструкции при соединении клёпкой в зоне соединения обычно берут $P_{соед}^{пан-пан} = (0,2...0,4)P_{сб}$.

Проведенный анализ погрешностей позволяет сделать вывод: при сборке по КФО в отношении обводов нарушаются принципы единства проектной и технологической баз (линии ТК и оси КФО) и совпадения технологических и конструкторских баз: технологическими базами являются КФО, конструкторскими – поверхности соединяемых панелей и стыковочной ленты. При таком "косвенном" базировании подборок в приспособлении (по сравнению с "прямым" – непосредственно по обводам) на точность обводов влияет ряд дополнительных факторов, что, в свою очередь, существенно влияет на точность изготовления деталей. Если базирование ведется по обводам, то точность деталей может быть ниже точности сборочной единицы. Во время же базирования по КФО точность деталей должна быть выше необходимой точности сборочной единицы.

Для контроля точности обводов конструкции, собранной по КФО, в сборочное приспособление встраивают контрольные эквидистантные шаблоны, рабочий контур которых равноудалён от теоретического контура агрегата. Увязку монтажных отверстий шаблонов с их контуром и соответствующими вилками сборочного устройства осуществляют с помощью плаз-кондуктора и инструментального стенда.

При сборке боковой секции фюзеляжа базирование по КФО приемлемо только для панелей. Для установки соединительных деталей, например стыковочной ленты и накладок, более рациональным (вследствие невысоких требований к точности) является другой метод сборки – по разметке, т. е. в приспособлении не нужны фиксаторы для этих деталей, что позволяет упростить конструкцию приспособления еще больше.

На содержание техпроцесса сборки влияет тип стыка панелей между собой (по обшивкам, шпангоутам, стрингерам). Наиболее технологичным является соединение с компенсацией – внахлест. Соединение встык "на ноль" или с очень малым зазором обязательно требует подгонки путём снятия припуска по кромке обшивки одной из панелей в процессе её установки.

Комплектация лабораторной работы

1. Чертежи боковой секции фюзеляжа.
2. Чертежи приспособления для сборки по КФО.
3. Комплект деталей и подборок боковой секции.
4. Приспособление с эквидистантными шаблонами для сборки секции.
5. Шаблон ШК-ШВК обода шпангоута.

6. Измерительные приборы: стрелочный индикатор для измерения погрешности обвода шпангоута относительно КФО; штангенциркуль для измерения погрешности внешнего обвода секции относительно эквидистантного шаблона.

7. Поддерживающее приспособление для сборки панели по сборочными отверстиями (СО).

8. Сборник "Типовые операции сборочных процессов".

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежом собираемой секции, чертежом сборочного приспособления и оснащением лабораторной работы.

2. Ответить на контрольные вопросы.

3. Разработать технологический процесс сборки боковой секции фюзеляжа с базированием по КФО.

4. Разработать технические условия на поставку деталей по форме (см. табл. 1.1).

5. Разработать технические условия на проектирование сборочного приспособления (см. табл. 1.2).

6. Выполнить эскиз-схему базирования панелей и деталей при сборке боковой секции с указанием технологических, конструкторских и измерительных баз.

7. Выполнить сборку секции в приспособлении.

8. Установить эквидистантные шаблоны на вилках устройства (номинальное расстояние от теоретического контура равно 13 мм).

9. Измерить фактический зазор между обводом и шаблоном в трех точках, результаты занести в табл. 3.1. Найти $P_{сб}^{секц}$ как разность номинальной и измеренной величин зазора.

10. Нарисовать эскиз-схему этих измерений.

Таблица 3.1

Результаты измерения

Номер сечения	Номер точки измерения	Зазор по обводу	Погрешность сборки секции по обводу $P_{сб}^{секц}$	Погрешность изготовления шпангоута $P_{обв-КФО}$	Расчетная погрешность базирования $P_{баз}$
1	1				
	2				
	3				
2	1				
	2				
	3				

11. Используя шаблон ШК-ШВК, специальное приспособление и индикаторное устройство, измерить в трех точках погрешность обвода

шпангоута относительно КФО, т.е. $P_{обв-КФО}$. Для этого зафиксировать деталь и ШК-ШВК совместно по КФО и измерить отклонение обвода детали относительно обвода шаблона. Результаты занести в табл. 3.1.

12. Используя приведенную в работе формулу, вычислить суммарную погрешность базирования панели

$$P_{баз} = P_{пр}^{КФО} + P_{фикс} = P_{сб}^{секц} - P_{обв-КФО} - P_{соед}^{пан-пан}.$$

Следует учесть, что результирующее отклонение может иметь любой знак.

13. Сделать выводы относительно точности метода сборки.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры соблюдения и нарушения принципов базирования при сборке секции по КФО.

2. Как осуществляется увязка КФО деталей и сборочного приспособления?

3. В чем преимущества и недостатки метода сборки по КФО?

4. Зачем применяют эквидистантные шаблоны?

5. Какие методы сборки применяются при изготовлении секции?

6. Каковы требования к стыкам обшивок собираемых панелей?

7. Как соотносятся точность сборочной единицы и точность обводообразующих деталей, подаваемых на сборку, если сборку ведут в приспособлении по таким методам базирования: по обводными поверхностями; по КФО?

8. Как влияет на точность сборки базирование по КФО?

9. Назовите конструкторские, технологические и измерительные базы, используемые в процессе сборки и контроля секции.

Лабораторная работа № 4

СБОРКА КАРКАСА СТАБИЛИЗАТОРА В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

Цель работы – ознакомиться с особенностями сборки каркаса непанелированного агрегата; приобрести навыки разработки технологической документации по сборке; изучить примеры реализации принципов базирования при сборке.

Основные сведения

Агрегаты хвостового оперения – стабилизатор, киль – характеризуются небольшой толщиной обшивки и невысокими требованиями к точности изготовления. Обычно их изготавливают следующим образом: сначала из отдельных деталей и некоторых узлов

составляют каркас, а затем на него "навешивают" обшивку сразу после сборки каркаса в том же самом приспособлении, только заменяют фиксаторы обводов (рубильники) с учетом толщины обшивки, следовательно, используется минимальный комплект сборочного оснащения. При этом реализуется метод сборки в приспособлении с базированием по обводным поверхностям каркаса («от каркаса»).

Недостатком метода сборки «от каркаса» является волнистость внешней аэродинамической поверхности агрегата, т. к. тонкая обшивка повторяет погрешности каркаса, а также приобретает дополнительные поводки (утяжины) вследствие соединения заклепками.

Техпроцесс сборки каркаса стабилизатора, как и любой сборочный процесс, включает в себя следующие операции:

- комплектация деталей и подборок, необходимых для сборки, входной контроль, подготовка сборочного приспособления к работе (может потребоваться, т. е. выполняться, один раз за цикл сборки изделия);
- установка и временная фиксация деталей и подборок в нужном положении;
- подготовка к соединению;
- соединение согласно чертежу;
- снятие временных (технологических) прижимов;
- заключительные операции;
- контроль качества сборки.

Комплектация лабораторной работы

1. Чертежи стабилизатора и каркаса стабилизатора.
2. Схема сборки стабилизатора (вариант).
3. Комплект деталей и подборок каркаса стабилизатора.
4. Приспособление для сборки стабилизатора.
5. Технологический крепёж (струбцины, технологические болты).
6. Сборник «Типовые операции агрегатной сборки».

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с оснащением лабораторной работы.
2. Проанализировать предложенную и возможные схемы сборки стабилизатора, нарисовать выбранный вариант схемы.
3. Разработать техпроцесс сборки каркаса стабилизатора с использованием типовых операций.
4. Разработать технические условия на поставку деталей и подборок (см. табл. 1.1).
5. Разработать технические условия на проектирование сборочного приспособления (см. табл. 1.2).

6. Представить эскиз базирования деталей и подборок каркаса.
7. Ознакомиться с конструкцией сборочного приспособления.
8. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каков порядок разработки серийной технологии сборки?
2. Укажите исходную документацию для проектирования серийной технологии.
3. Назовите факторы, определяющие характер и степень членения агрегата.
4. Дайте сравнительную характеристику схем сборки панелированных и непанелированных агрегатов.
5. Назовите методы сборки непанелированных конструкций, их недостатки.
6. Назовите технологические и конструкторские базы, используемые при сборке каркаса стабилизатора.
7. Приведите пример соблюдения принципов базирования при сборке каркаса стабилизатора.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Одна из особенностей производства самолетов – потребность в большом количестве сборочных приспособлений (СП). Это обусловлено спецификой самолета как объекта сборки (малой жесткостью деталей, сложностью форм, высокой необходимой точностью изделий). Отсюда следует основное назначение СП: базирование деталей и подборок в положении, заданном сборочным чертежом, с необходимой точностью; придание им жёсткости; фиксация на период соединения с другими деталями.

Конструкция СП должна быть рациональной, что вместе с её простотой, возможностью стандартизации, технологичностью в изготовлении, обслуживании и ремонте означает реализацию дополнительного назначения сборочного приспособления: повышение производительности труда; обеспечение удобства и безопасности при сборке; направление инструмента относительно изделия.

Конструкции СП разнообразны и зависят от габаритов и вида сборочной единицы, ее конструктивных особенностей, вида преобладающего соединения, выбранной схемы базирования и вида подборок, программы и объема выпуска изделий и других факторов. Следует отметить, что сборочные приспособления условно можно подразделить (по степени гибкости) на такие межотраслевые системы технологической оснастки: неразборные специальные, сборно-разборные, специализированные переналаживаемые, универсально-переналаживаемые, универсально-сборные.

Точность сборочного приспособления при достаточной жёсткости его каркаса определяется точностью изготовления отдельных фиксаторов и точностью их взаимной установки (позиционирования) при монтаже стапеля (*монтаж* – это сборка изделия на месте его применения).

В зависимости от требований к точности изделий по обводам и стыкам, а также от габаритов и форм сборочной единицы, программы, объема выпуска рациональными могут быть те или иные методы, средства, приемы изготовления сборочных приспособлений.

По двум существенным признакам (наличию специальных средств – макетов, т.е. жестких носителей форм и размеров изделия; наличию контакта между средствами и объектами монтажа) все приемы монтажа можно разделить на четыре группы: макетные контактные; безмакетные контактные; безмакетные бесконтактные; макетные бесконтактные.

Методы изготовления сборочных приспособлений различаются количеством, видом и стоимостью средств, определяющих точность установки фиксаторов стапеля. Эти средства, называемые *оснасткой второго порядка*, по сути являются оснасткой для изготовления сборочной оснастки. Они могут быть специальными (макетными) – это шаблоны ШП, калибры стыков, монтажные эталоны, и универсальными – координатные стенды, оптические приборы. Изготовление специальной оснастки второго порядка увеличивает затраты всех ресурсов (труда, материалов, денег, времени, энергии) на подготовку производства нового самолета.

Выбор конкретного метода изготовления сборочного приспособления следует обосновывать, рассчитывая точность сборки. В случае нескольких приемлемых по точности методов монтажа необходимо провести их сравнительный экономический анализ.

Лабораторная работа № 5

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ ЭТАЛОННО-ШАБЛОННОМ МЕТОДЕ УВЯЗКИ ОСНАСТКИ

Цель работы – ознакомиться с сутью эталонно-шаблонного метода увязки оснастки и изучить особенности монтажа сборочных приспособлений по монтажному эталону.

Основные сведения

Серийное производство требует большого количества сборочного оснащения, причем почти все оно должно быть дублированным для расширения фронта работ. Для самолетов легкого класса целесообразно изготавливать рабочую оснастку не непосредственным построением, а методом копирования форм и размеров изделия со специальных твёрдых носителей – объемных эталонов (макетов, калибров). Требования к эталонам для изготовления заготовительно-штамповочной и сборочной

оснастки, исходя из их назначения, различны. В первом случае эталоны должны иметь сплошную поверхность, во втором – им достаточно нести обводы лишь в тех сечениях, где нужно выставить рубильники, кроме того, они должны иметь базовые точки на стыках для установки (монтажа) соответствующих фиксаторов сборочного приспособления. Этим объясняются названия "*эталон (макет) поверхности агрегата*" и "*монтажный эталон (макет) агрегата*". Эти эталоны должны иметь идентичные обводы базовых сечений, что обеспечивается специальной оснасткой, которая по сути является промежуточной обратной копией и называется "*контрэталон агрегата*".

Совокупность этих объемных эталонов составляет основу самостоятельного метода обеспечения взаимозаменяемости и увязки оснастки – эталонно-шаблонного метода (ЭШМ).

Эталон поверхности (ЭП) изготавливают, например, по такой схеме. По осям силового набора (в основных сечениях) инструментальным способом выставляют обводные шаблоны, затем их скрепляют каркасом. К каркасу прикрепляют облицовки из древесины и обрабатывают на плавность между шаблонами. Затем на поверхность наносят лакокрасочное покрытие и размечают оси силовых элементов (лонжеронов, нервюр, шпангоутов, стрингеров), контуры люков, линии стыка обшивок и т.д. Эталон поверхности стыковых узлов на себе не несёт (они только размечены).

Вспомогательными элементами эталона поверхности являются такелажные узлы (для транспортировки) и реперные площадки (для базирования при установке в каркасе контрэталона).

Контрэталон (КЭ) является устройством для изготовления и периодической проверки монтажного эталона агрегата и его частей – эталонов узлов (нервюр, шпангоутов, лонжеронов).

Конструктивно контрэталон мало отличается от сборочного стапеля, только имеет более высокую точность. Для его изготовления в каркасе устанавливают и фиксируют по реперным точкам эталон поверхности. На базовых сечениях выставляют корпуса рубильников контрэталона с зазором около 10 мм. В этом положении их фиксируют на каркасе контрэталона с помощью вилок, хвостовики которых заводят в стаканы каркаса, и зазор заполняют быстротвердеющей цементной массой НИАТ-МЦ, имеющей хорошую адгезию к металлам. Эта операция называется "заливка вилок". Свойства цемента НИАТ-МЦ описаны в прил. 1.

Затем изготавливают рабочую поверхность рубильников – заливают карбинольным цементом или эпоксидно-цементной массой (см. прил. 1) зазор между корпусом рубильника и эталоном поверхности. После некоторой выдержки (около суток) эталон поверхности демонтируют, предварительно расфиксировав. Погрешность копирования обводов методом слепка составляет 0,1 мм.

Монтажный эталон (МЭ) может иметь сборный или цельный (сварной, литой) каркас, но в любом случае его обводные поверхности образуют слепком с рубильников контрэталона после установки МЭ с базированием по реперным площадкам (зазор между рубильником контрэталона и соответствующим лекалом монтажного эталона около 10 мм заполняют карбинольным цементом). Затем монтажный эталон вынимают из контрэталона и на нём инструментальным способом согласно чертежу с точностью $\pm(0,3..0,5)$ мм или с помощью калибров стыков выставляют эталонные детали стыков. Важно отметить, что монтажные эталоны стыкуемых агрегатов и отсеков, хотя и выполняются по обводами в отдельных контрэталонах, в местах стыка должны пройти совместную обработку – *отстыковку*. Составные части сборного монтажного эталона называются *эталонами узлов* и являются оснасткой для монтажа сборочных приспособлений узлов (рис. 4.1).

В связи с тем, что рабочие размеры монтажного эталона могут быть нарушены в процессе эксплуатации, его периодически контролируют в контрэталоне, для чего по изготовленному (и прошедшему отстыковку) монтажному эталону сразу же выставляют фиксаторы стыка в контрэталоне (базирование – по реперным площадкам).

Иногда применяют другую последовательность согласования стыков. Вначале в контрэталоне обычным инструментальным методом или с помощью калибров стыков выставляют фиксаторы стыков, затем по реперным точкам фиксируют каркас монтажного эталона и создают на нём обводы и стыки. Для соединяемых отсеков агрегата стыки выставляют в процессе непосредственной отстыковки монтажных эталонов.

Приспособление для сборки частей агрегата (отсеков, панелей, узлов) удобнее монтировать по отъёмным частям монтажного эталона – эталонам отсеков и узлов. Чаще монтажный эталон имеет цельную конструкцию, тогда эталоны узлов и отсеков являются самостоятельной оснасткой, изготовленной в том же контрэталоне. В этом случае работу по изготовлению комплекта сборочной оснастки можно вести параллельно.

Изготовление сборочного приспособления – это комплекс разнообразных работ. Из них самой важной и определяющей является изготовление и установка (монтаж) фиксирующих элементов приспособления. Для этого монтажный эталон агрегата с помощью простейших вспомогательных средств и универсальных измерительных устройств выставляют в каркасе сборочного приспособления.

Предварительно зафиксировав монтажный эталон в заданном на чертеже стапеля положении, к его реперным площадкам (вилкам) крепят реперные площадки (вилки) стапеля, зазор между ними и каркасом стапеля (обычно около 10 мм) заполняют цементом НИАТ-МЦ. После схватывания цемента вспомогательную фиксацию монтажного эталона снимают, и теперь он полностью и однозначно базируется по реперным площадкам.

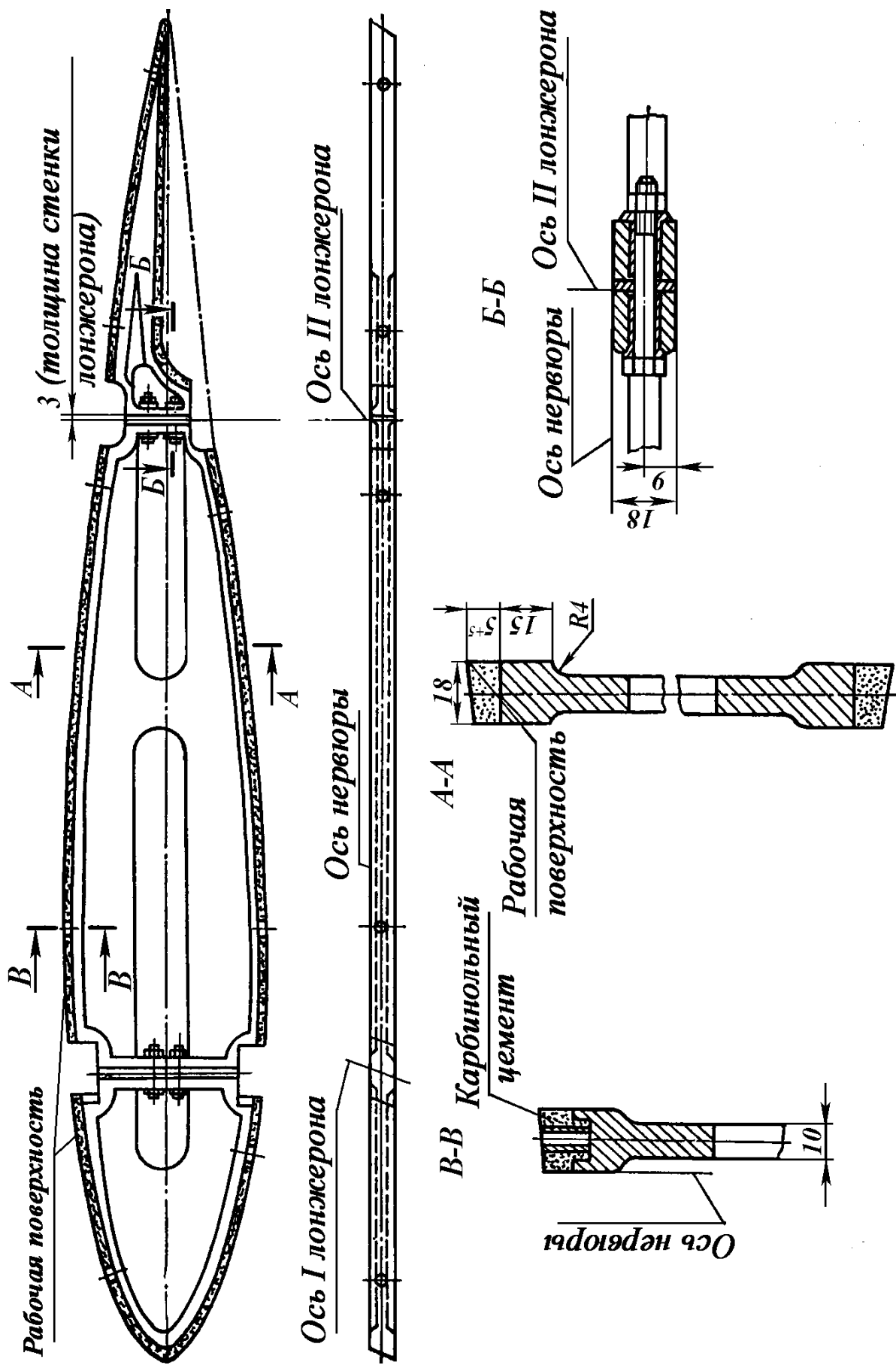


Рис. 4.1. Эталон узла (нервюры)

Далее возможны две схемы техпроцессов изготовления стапеля, различающиеся порядком создания обводов рубильников (рис. 4.2).

По первой схеме рубильники 6, не имеющие обводов, выставляют с зазором 10...15 мм относительно монтажного эталона и временно прикрепляют к лекалам монтажного эталона 1 вспомогательными средствами типа струбцин. Хвостовики вилок 7 заводят в стаканы балок или рамы 8 стапеля, штырями 10 по монтажным отверстиям в законцовках рубильников вилки фиксируют и заливают их хвостовики цементом 11 марки НИАТ-МЦ. После его схватывания рубильники будут удерживаться вилками, и струбцины снимают. Остаётся заполнить зазор между рубильником и обводом монтажного эталона карбинольным цементом 12. Для ограничения зоны заливки пользуются технологическими пластинами 13, прижатыми к торцам рубильников, цемент в зазор вводят шприцем.

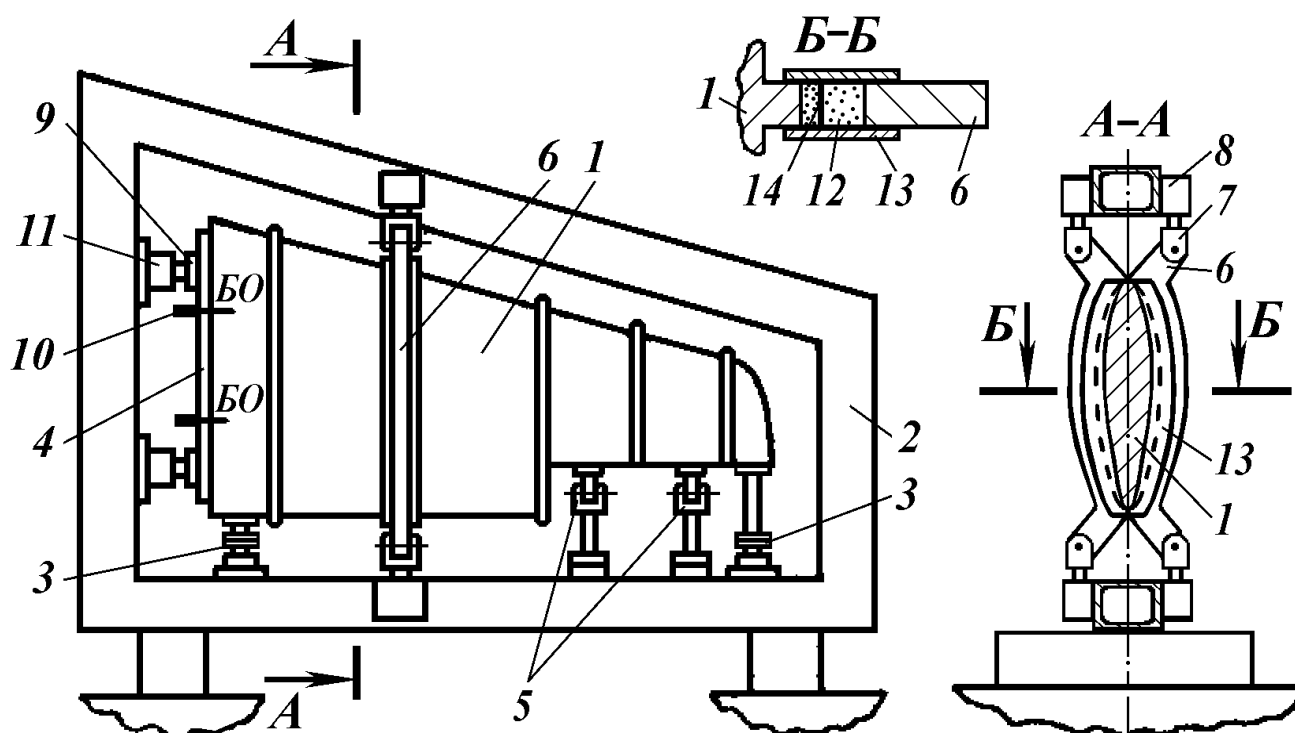


Рис. 4.2. Изготовление стапеля по монтажному эталону: 1 – монтажный эталон; 2 – каркас стапеля; 3 – реперные площадки; 4 – фиксатор плоского стыка (стапельная плита); 5 – фиксатор вилочного стыка; 6 – фиксатор обвода (рубильник); 7 – вилка; 8 – стакан; 9 – кронштейн; 10 – штырь; 11 – стакан с цементом НИАТ-МЦ; 12 – карбинольный цемент; 13 – технологические пластины; 14 – распределительный материал

По второй схеме на монтаж стапеля поступают рубильники с готовым рабочим контуром. Его предварительно получили слепком с монтажного эталона или эталона узла (реже – с эталона поверхности). Приемы копирования обводов такие же, как и описанные выше. Сразу

после заливки обводов на торцах рубильника наносят риски по осям силовых элементов агрегата согласно разметке монтажного эталона. В процессе монтажа стапеля рубильники соединяют с монтажным эталоном по имеющимся обводам и рискам (иногда для более точной увязки рубильников стапеля с монтажным эталоном или эталоном поверхности в их обвод вводят втулки с базовыми отверстиями). Временно зафиксировав рубильники на лекалах монтажного эталона, их прикрепляют к каркасу стапеля с помощью штырей, вилок и цемента марки НИАТ-МЦ.

После установки фиксаторов обводов (рубильников) переходят к монтажу фиксаторов стыков. Если стык – плоский (фланцевый), то таким фиксатором является стапельная плита. Её выставляют по базовым отверстиям на специальных площадках монтажного эталона (иногда на монтажном эталоне выполняют отверстия под стыковые болты, тогда стапельную плиту фиксируют по ним). Затем стапельную плиту крепят к каркасу так же, как и рубильники: навешивают вилки (или кронштейны) и заливают их в стаканах балок цементом НИАТ-МЦ.

Фиксаторы стыков типа "ухо – вилка" навешивают на соответствующие эталонные детали стыков монтажного эталона, затем крепят к каркасу стапеля, зазоры заливают цементом, который служит и размерным компенсатором, и крепёжным материалом.

Очевидно, что для обеспечения требований к точности сборочной единицы стапель должен иметь более высокую точность базовых поверхностей по сравнению с точностью сборочной единицы (обычно на 1–3 квалитета). Это является определяющим при выборе методов и средств для изготовления сборочных приспособлений. Необходимо оценить ожидаемую погрешность стапеля и сравнить её с допустимой.

Проектировочный расчёт точности ведут по стандартным методикам с использованием статистических данных о погрешности этапов переноса размеров (см. прил. 3).

Таким образом, для расчёта ожидаемой погрешности стапеля необходимо знать количество этапов переноса размера и параметры поля рассеяния погрешности на каждом этапе. При этом важно определить первичный носитель размерной информации, который является начальным звеном переноса размера, относительно которого и оценивают погрешность стапеля.

Для обводов таким первоисточником информации является теоретический плаз, на котором контуры базовых сечений размечены с высокой точностью в натуральную величину.

Основная последовательность расчета точности:

- по структурной схеме эталонно-шаблонного метода увязки оснастки [3] выявить те этапы переноса размера, которыми определяется точность стапеля по обводам, стыкам или иным заданным параметрам;

- из справочных таблиц (см. прил. 3) взять значения погрешностей для этих этапов;

- по расчетным соотношениям (см. прил. 2) найти ожидаемую погрешность, сравнить её с заданной допустимой погрешностью стапеля или агрегата и сделать соответствующие выводы.

Комплектация лабораторной работы

1. Макеты:

- эталона поверхности крыла;
- контрэталона крыла;
- монтажного эталона крыла;
- каркаса стапеля крыла, рубильников и фиксаторов стыков, вилок, штырей, реперных площадок.

2. Вспомогательное оборудование (прижимы, струбцины), измерительная линейка, гаечные ключи, болты, гайки.

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с оснащением лабораторной работы.

2. Выполнить монтаж СП по монтажному эталону.

3. Рассчитать погрешность СП (см. прил. 2).

4. Оформить отчет о выполнении работы, в котором представить:

- эскиз-схему сборочного приспособления с установленным в нём МЭ, указав их основные элементы и базы;

- структурную схему переноса размеров от теоретического плаза к стапелю и значения погрешностей на этапах;

- расчетные формулы и результаты расчета погрешности монтажа сборочного приспособления;

- техпроцесс монтажа сборочного приспособления по МЭ.

5. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назовите причины, приводящие к необходимости объемного эталонирования агрегатов.

2. Опишите особенности двух схем изготовления СП по МЭ.

3. Каково назначение реперных площадок?

4. Чем определяется выбор методов и средств монтажа стапеля?

5. В чем преимущества и недостатки ЭШМ?

6. Каким образом обеспечивается увязка оснастки по стыкам?

7. Перечислите основные элементы конструкции СП.

8. Назовите технологические свойства быстротвердеющих композиций, применяемых в конструкциях эталонов и СП.

9. Какое назначение имеет контрэталон?

10. В чем преимущества сборной конструкции монтажного эталона?

Лабораторная работа № 6

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ПРИ КООРДИНАТНО-ШАБЛОННОМ МЕТОДЕ УВЯЗКИ ОСНАСТКИ

Цель работы – ознакомиться с сутью координатно-шаблонного метода увязки оснастки; приобрести практические навыки работы с плаз-кондуктором, инструментальным стендом и оптическими средствами монтажа сборочной оснастки.

Основные сведения

Координатно-шаблонный метод (КШМ) увязки оснастки является дальнейшим усовершенствованием плазово-шаблонного метода. КШМ был внедрен в производство с появлением самолётов большого тоннажа. Применение других методов обеспечения взаимозаменяемости сборочных единиц для производства таких самолетов оказалось неэффективным.

Особенность КШМ состоит в том, что в его основу положено использование координатных средств (плаз-кондуктора и инструментального стенда), позволяющих обеспечить увязку крупногабаритной сборочной оснастки по обводам и стыкам.

На двух примерах поясним идею КШМ. Пусть сборочное приспособление (СП) имеет каркас в виде рамы. Если относительно рамы точно выставить (закоординировать) вилки с монтажными отверстиями (МО) для рубильников и стапельных плит, а в рубильниках и стапельных плитах точно выполнить (закоординировать) соответствующие МО, то монтаж стапеля сведётся к простой установке (навеске) рубильников и стапельных плит с фиксацией их на каркасе штырями по согласованным МО.

Реализация этой схемы монтажа требует наличия плоского координатного стенда (плаз-кондуктора) для увязки обводов рубильников и отверстий под стыковые болты (ОСБ) стапельных плит с их МО и пространственного координатного стенда (инструментального стенда) для установки на раме стапеля вилок с МО для рубильников, калибров стыков и стапельных плит.

Если же каркас состоит из колонн и балок, то схема монтажа усложняется (рис. 4.3). Изготовленные на пространственном координатном стенде верхнюю и нижнюю балки необходимо прежде взаимно правильно выставить, т. е. обеспечить правильную координацию их вилок с МО в базовых сечениях, где размещены рубильники и стапельные плиты. Это позволяет сделать специальная оснастка – монтажные плиты, которые жёстко согласовывают МО балок стапеля в конкретном сечении. Для правильной установки балок монтажные плиты должны иметь вполне определенное положение в пространстве – обычно

вертикальное. Контроль выполняют с помощью оптических приборов (это средства построения, а не измерения).

Для установки фиксатора плоского стыка (стапельной плиты) на монтажной плите необходимо предусмотреть базовые отверстия (БО), по которым и будет выставлена стапельная плита. Понятно, что БО монтажной плиты необходимо увязывать с её МО, а БО стапельной плиты – с её ОСБ.

Наконец, для установки группы фиксаторов вилочного стыка на различных элементах каркаса – балках, колоннах – будет нужен единый калибр стыка, который

представляет собой ферму с эталонными деталями стыка, ОСБ которых выставлены с высокой точностью относительно МО так называемых реперных вилок стапеля. Соответствующие реперные вилки необходимо выставить на одной из балок с помощью инструментального стенда (ИС).

В приведенных примерах рассмотрены принципы монтажа сборочных приспособлений средствами КШМ. Суть метода заключается в том, что применение пространственных и плоских координатных стендов позволяет построить размерные цепи для отдельных основных элементов стапеля. Построение полной цепи базовых размеров стапеля обычно осуществляется в процессе монтажа с помощью специальной оснастки второго порядка – монтажных плит, изготовленных на тех же координатных стендах и связывающих только технологические отверстия (МО и БО), и калибров стыка, связывающих конструкторские и технологические отверстия (ОСБ и МО), а также с помощью универсального оснащения – оптических приборов в комплекте с другими средствами построения.

С учетом этого выполнение лабораторной работы разбито на три части:

- изготовление рубильников с помощью плоского координатного стенда (плаз-кондуктора);

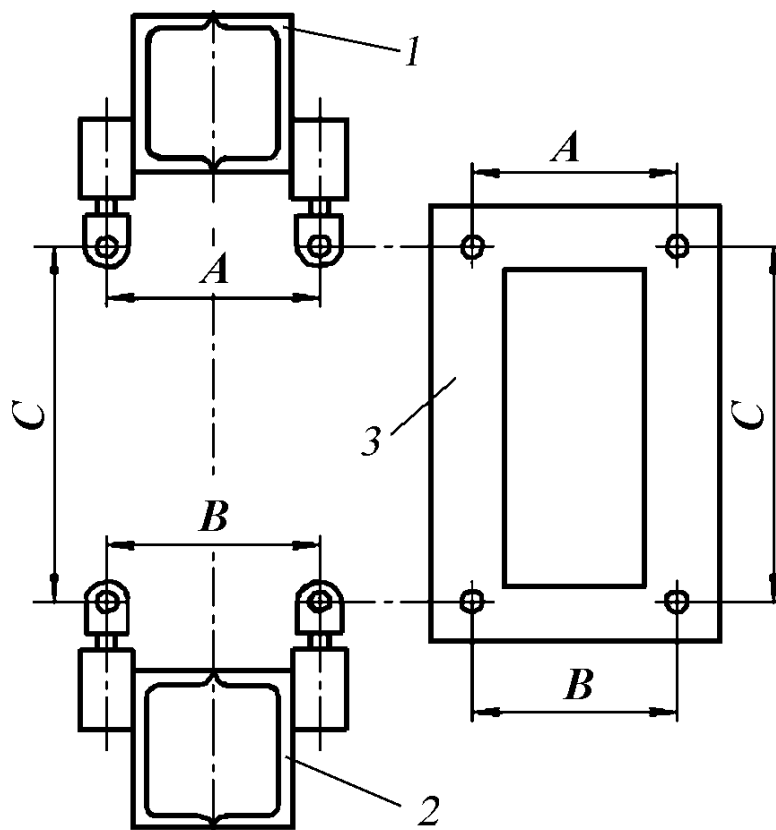


Рис. 4.3. Схема монтажа СП по КШМ:
1 – верхняя балка; 2 – нижняя балка;
3 – монтажная плита

- изготовление балок стапеля на пространственном координатном стенде (инструментальном стенде);
- монтаж стапеля с помощью монтажных плит и оптических приборов.

Изготовление рубильников с помощью плаз-кондуктора

Плаз-кондуктор (ПК) представляет собой плоский координатный стенд (рис. 4.4). Он состоит из стола 1 в виде чугунной плиты, имеющей шабренную поверхность, и системы координатных линеек (двух неподвижных продольных 3 по краям стола и набора съемных поперечных 2). В линейках выполнены отверстия диаметром 18Н9 с шагом 50 мм и точностью между центрами отверстий $\pm 0,01$ мм. Перемещением поперечных линеек вдоль продольных на плоскости плиты (стола) можно получать фиксированные точки с координатами, кратными 50 мм. Положение поперечных линеек фиксируется классными штырями. Для нужд производства плаз-кондукторы зачастую оснащают сверлильными головками и устройствами механизации.

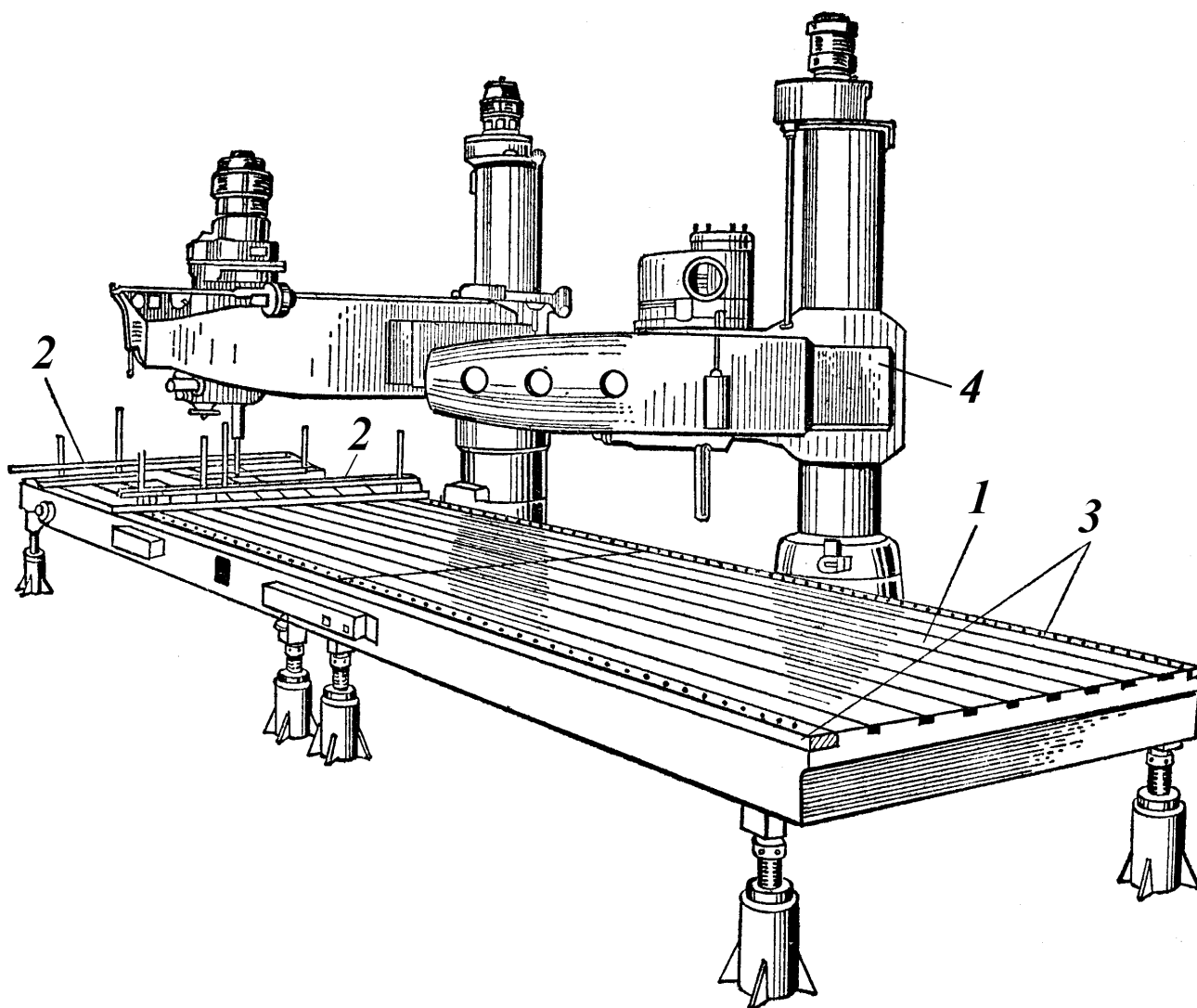


Рис. 4.4. Плаз-кондуктор: 1 – стол; 2 – линейка поперечная; 3 – линейка продольная; 4 – станок сверлильный

На плаз-кондукторе можно выполнять следующие работы:

- размечать (расчерчивать) координатные сетки и конструкторские оси на панелях плаза;
- сверлить базовые отверстия (БО) в панелях плазов и в шаблонах;
- сверлить БО и монтажные отверстия (МО) или выставлять втулки с этими отверстиями в мастер-плитах, стапельных и монтажных плитах;
- сверлить МО в рубильниках;
- заливать цементом втулки с МО в рубильниках.

Контур рубильника можно получить следующим образом:

- обработкой на токарном станке (если он является частью круга), на копировально-фрезерном станке по копиру-шаблону приспособления, на фрезерном станке с программным управлением;
- слепком с макета сечения, с эталона поверхности, с эталона узла;
- слесарной обработкой по ШП.

Затем в законцовках корпуса рубильника по размерам чертежа приспособления сверлят отверстия диаметром, на 8...10 мм большим внешнего диаметра втулки с МО (если рубильник изготовлен из износостойкого материала).

После этого рубильники выставляют на поперечных линейках плаз-кондуктора по ШП, который предварительно также был выставлен на этих линейках и зафиксирован по БО (рис. 4.5).

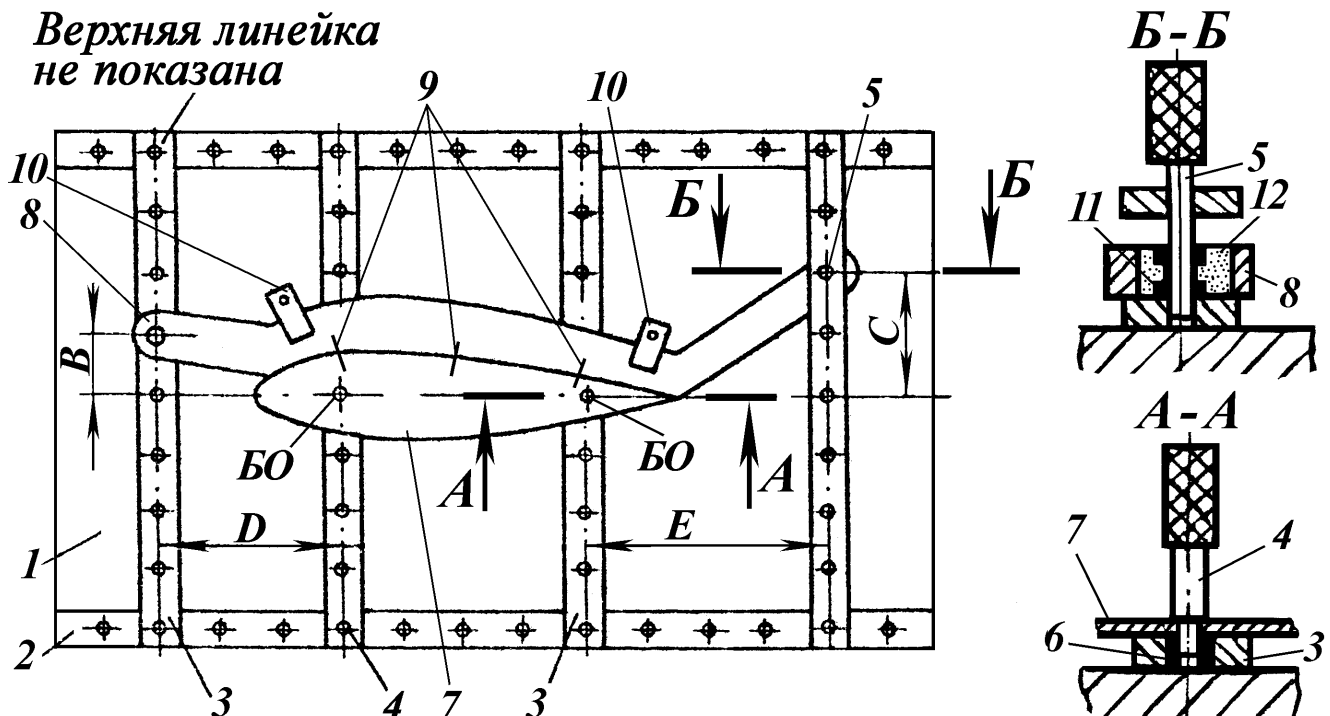


Рис. 4.5. Заливка втулок с МО в рубильниках на плаз-кондукторе: 1 – стол ПК; 2 – линейка продольная; 3 – линейка поперечная; 4, 5 – штыри; 6 – втулка переходная; 7 – ШП; 8 – рубильник; 9 – риски; 10 – прижим; 11 – втулка с МО; 12 – цемент НИАТ-МЦ

С помощью других поперечных линеек и штырей в отверстиях рубильников выставляют втулки с МО в соответствии с размерами, показанными на чертеже, относительно БО шаблона. Зазор между рубильником и втулкой заполняют цементом НИАТ-МЦ. Окончательная точность установки втулок в рубильниках составляет $\pm 0,1$ мм. Рубильники можно снимать с плаз-кондуктора через 7–12 минут, выдержка до установки в стапель – двое суток.

Таким образом, сложная задача по координированию МО рубильника относительно его рабочего контура с помощью ШП и плаз-кондуктора сведена к двум простым:

- совмещение контура и рисок рубильника и ШП, привязка тем самым контура рубильника к БО шаблона;
- координирование осей МО рубильника относительно БО шаблона приспособления (размеры *B, C, D, E*).

Последнее в зависимости от конструкции рубильника можно осуществить не только заливкой втулок с МО, но и прямым сверлением этих МО в рубильнике через отверстия кондукторных линеек или установкой законцовок с МО на рубильник с последующим скреплением болтами по месту. Поскольку размещение МО прямо не связано с базовыми поверхностями агрегата, то при проектировании стапеля их назначают в сетке, удобной для реализации на плаз-кондукторе, т. е. 50×50 мм. Размеры, выполненные с помощью плаз-кондуктора, на чертежах обозначают звездочкой.

Комплектация лабораторной работы

1. Плаз-кондуктор с оснасткой (макет).
2. Схема наладки плаз-кондуктора.
3. Рубильники с готовым обводом и втулки с МО (макеты).
4. Шаблон приспособления (макет).

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой наладки плаз-кондуктора и лабораторным оснащением.
2. С помощью плаз-кондуктора и ШП выставить в рубильниках втулки с МО.
3. Оформить отчет о выполнении работы, в котором представить:
 - ответы на контрольные вопросы;
 - эскиз-схему и техпроцесс координирования и заливки втулок с МО в рубильниках на ПК.

Изготовление балок на инструментальном стенде

Инструментальный стенд представляет собой устройство с пространственной системой координат, что позволяет в пределах его габаритов фиксировать любую точку в этой системе с точностью не ниже $\pm 0,1$ мм.

Рассмотрим устройство и работу станда типа ИС-6 (рис. 4.6). Основой инструментального станда является литая чугунная станина с параллельными направляющими, по которым перемещается стол длиной 8200 мм для установки на нем отдельных элементов (балок) или рамы каркаса сборочного приспособления. Система координатных линеек станда состоит из одной продольной линейки, укрепленной на боковой поверхности стола, двух вертикальных линеек, смонтированных на стойках портала, и двух поперечных линеек, передвигающихся с грузами-противовесами вдоль стоек портала. На всех координатных линейках есть отверстия диаметром 10H7 или 12H7 с шагом 200 мм и точностью между их центрами $\pm 0,01$ мм.

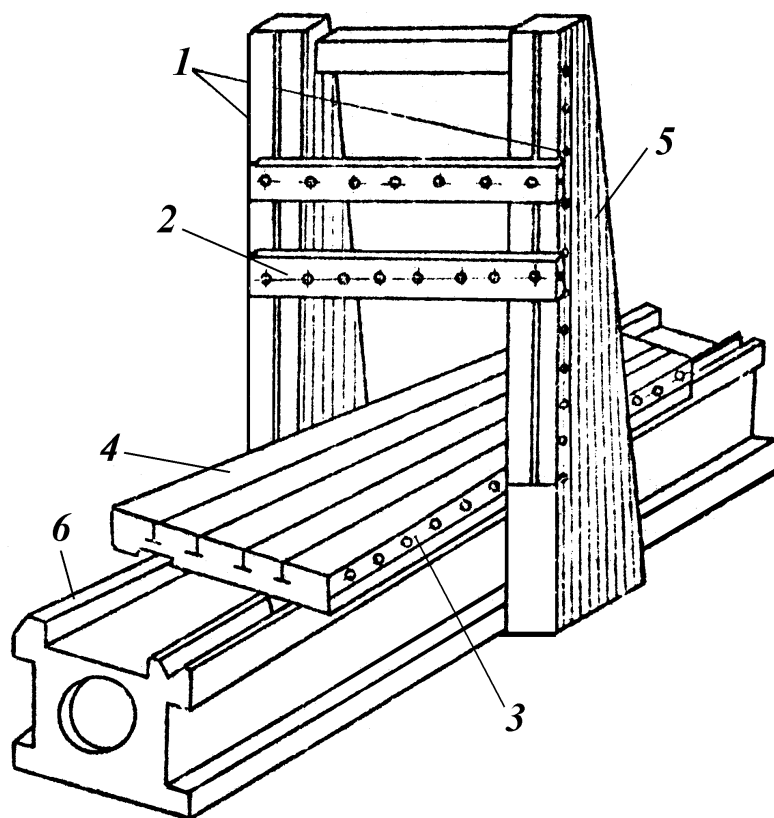


Рис. 4.6. Инструментальный стенд:
 1 – вертикальные линейки; 2 – поперечная линейка; 3 – продольная линейка;
 4 – стол; 5 – портал; 6 – станина

Для построения размеров (дистанций) вдоль всех линеек применяют дистанционные калибры, постоянные или микрометрические.

Комплект из 11 постоянных дистанционных калибров позволяет отсчитывать размеры через 1 мм.

Микрометрический калибр позволяет откладывать любой размер с точностью $\pm 0,05$ мм.

Дистанционные калибры 8 (рис. 4.7) фиксируют штырями 9 на линейках 3, 5, 6 станда по двум отверстиям, разнесенным на расстояние 200 мм. Отсчет и откладывание размеров ведут по отверстиям второго ряда. С помощью дистанционных калибров выставляют: относительно вертикальных линеек 5 – поперечные линейки 3; относительно поперечных линеек 3 – переходные фитинги 4 для выставления вилок 12; относительно продольных линеек 6 – дистанционные фитинги 7.

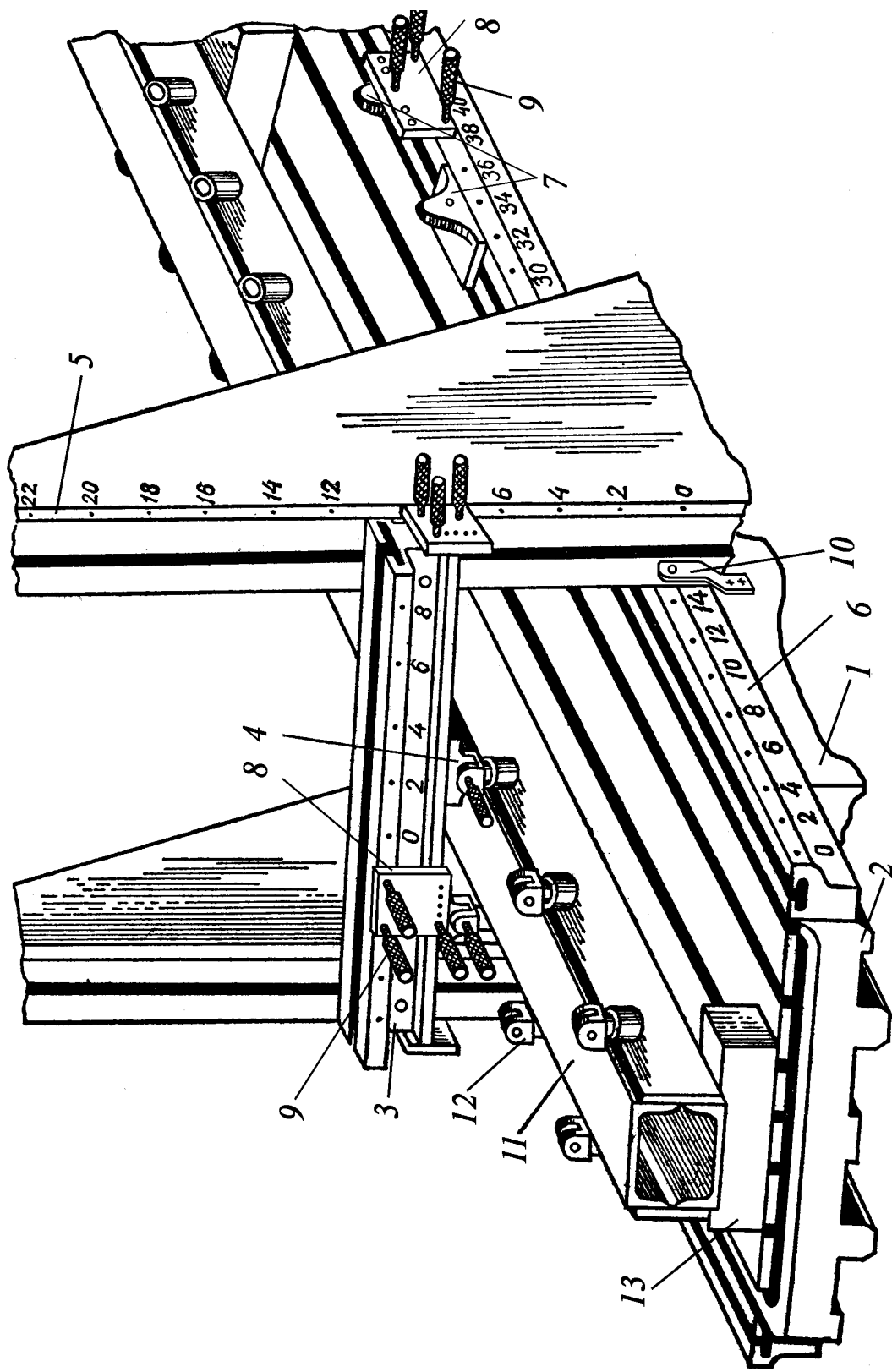


Рис. 4.7. Заливка вилок в балке на инструментальном стенде: 1 – станина; 2 – стол; 3 – линейка поперечная; 4 – фитинг **переходной**; 5 – линейка вертикальная; 6 – линейка продольная; 7 – фитинг дистанционный; 8 – калибр дистанционный; 9 – штырь; 10 – кронштейн дистанционный; 11 – балка сборочного приспособления; 12 – вилка; 13 – опора-подставка

Выставив и зафиксировав на продольной линейке стола первый дистанционный фитинг, от его отверстия ведут отсчет размеров и выставляют с помощью дистанционных калибров другие дистанционные фитинги на расстояниях, заданных на чертеже оснастки. Дистанционные фитинги крепят к столу 2 болтами и стол последовательно **вводят** в рабочие положения по дистанциям, фиксируя его штырем через дистанционный фитинг и дистанционный кронштейн 10 станины 1. Отметим, что на практике такая фиксация стола затруднена из-за его больших габаритов. Поэтому к дистанционному кронштейну крепят индикаторное устройство, настроенное "на ноль" по упору дистанционного фитинга, когда тот зафиксирован штырем к дистанционному кронштейну. При установке рабочих положений стола следят за показаниями индикатора (деление его шкалы равно 0,01 мм). Обычная точность установки стола с индикатором – $\pm 0,1$ мм, это значение приемлемо практически для всех видов оснастки.

На инструментальном стенде можно с высокой точностью координировать систему отверстий в вилках, которые являются монтажными или фиксирующими элементами сборочных приспособлений и оснастки второго порядка – калибров стыка, монтажных рам и т.д.

Выдержка балки с вилками после снятия со стола ИС до установки в стапель – двое суток.

Как отмечалось выше, вилки, установленные в балках на инструментальном стенде, могут быть предназначены для рубильников, стапельных плит, монтажных плит и калибров стыка. В соответствии с этим их размещение однозначно определяется или конструктивными размерами агрегата (шаг нервюр или шпангоутов, размещение плоских или вилочных стыков), или отверстиями вилок для данного элемента стапеля (рубильника, стапельной плиты) или оснастки второго порядка (монтажных плит, калибров стыка).

Размеры, выполненные с помощью инструментального стенда, на чертежах оснастки выделяют (обозначают их звездочкой или берут в рамку).

Комплектация лабораторной работы

1. Чертежи балки стапеля.
2. Инструментальный стенд с оснащением (макет стенда ИС-6).
3. Заготовка балки (макет).

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежом балки и лабораторным оснащением.
2. С помощью инструментального стенда выставить вилки в балке.
3. Оформить отчет о выполнении работы, в котором представить:
 - эскиз-схему координирования вилок в балке на инструментальном стенде;
 - техпроцесс координирования и заливки вилок в ИС.

Монтаж стапеля с помощью монтажных плит и оптических приборов

Монтаж крупногабаритного стапеля (рис. 4.8) начинается с установки на фундамент основ, горизонтальность которых проверяют уровнем. На основах из стандартных блоков составляют колонны, вертикальность которых (с точностью до 5 мм) проверяют отвесом. К колоннам согласно чертежу крепят кронштейны для установки балок.

Самый ответственный этап – монтаж балок стапеля, потому что положение их вилок определяет точность установки фиксаторов обводов и стыков, т. е. точность обводов и стыков собираемого агрегата.

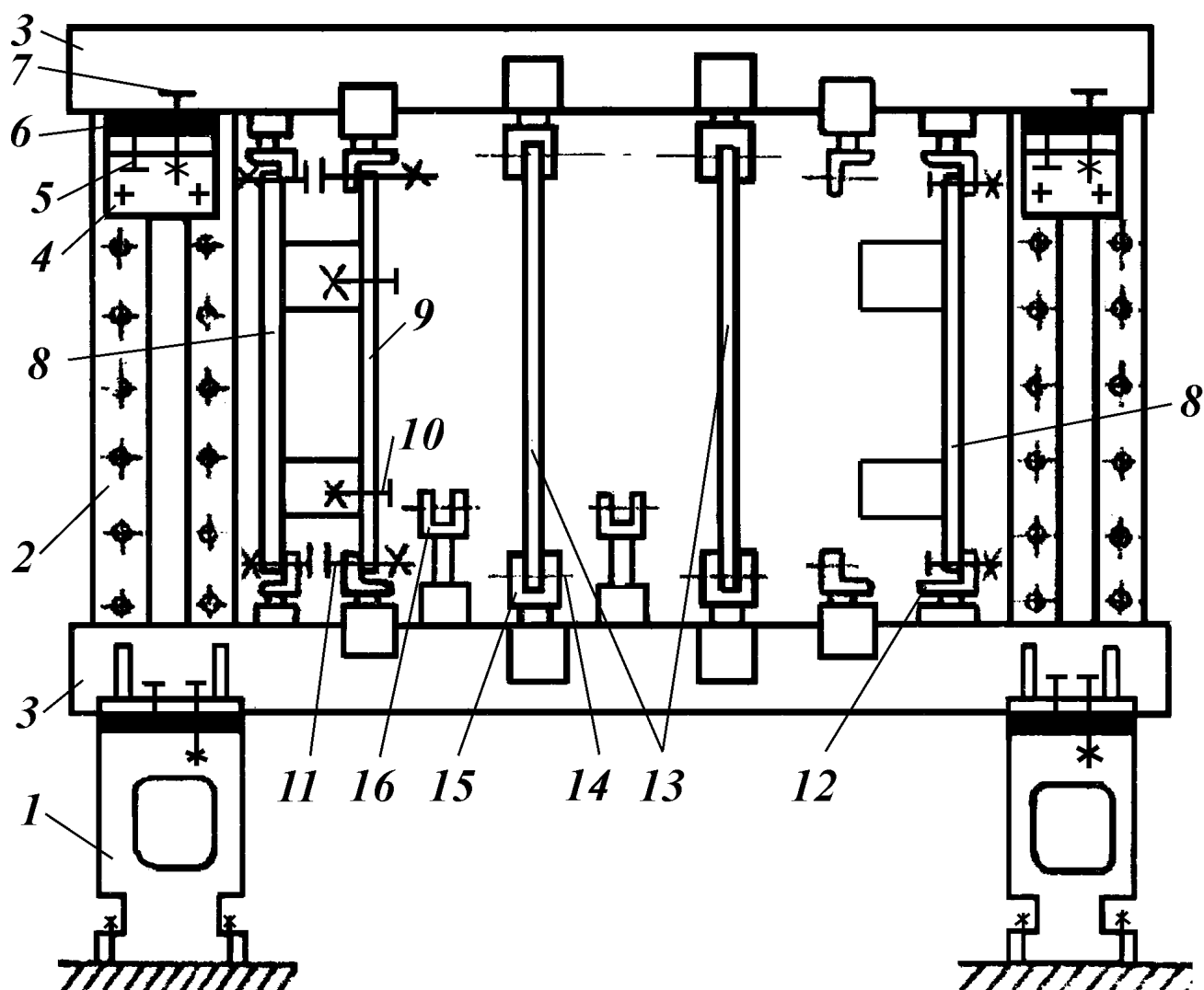


Рис. 4.8. Основные элементы СП (на стадии монтажа): 1 – основание; 2 – колонна (блок); 3 – балка; 4 – кронштейн; 5 – винт регулировочный (домкратный); 6 – наполнитель (прокладка, цемент НИАТ-МЦ); 7 – болт стяжной; 8 – плита монтажная; 9 – плита стапельная; 10 – болт по БО; 11 – болт по МО; 12 – полувилка (ушко); 13 – рубильник; 14 – штырь по МО; 15 – вилка; 16 – фиксатор вилочного стыка

Сначала выставляют верхнюю балку как базовую регулировочными винтами в заданное чертежом положение, пользуясь нивелиром и измерительными высотными линейками. Зазоры, образовавшиеся между балкой и каркасом (кронштейнами), заполняют цементом НИАТ-МЦ и после выдержки в течение 7–12 минут балку закрепляют болтами. Нередко для крепления балок применяют реперные вилки (ушки).

Затем на соответствующие полувилки (ушки) балки навешивают (устанавливают) монтажные плиты и, пользуясь оптическими средствами, выставляют их вертикально (рис. 4.9). В таком положении их фиксируют вспомогательными средствами (струбцинами и распорками) к колоннам. После этого к свободным ушкам монтажных плит подводят соответствующие ушки другой балки и фиксируют их болтами по МО. Зазор между балкой и каркасом, как и в первом случае, заливают цементом, балку крепят болтами.

Таким образом, сначала с помощью монтажных плит выставляют балки во взаимно правильное положение. Затем монтируют стапельные плиты. Каждую из них скрепляют с соответствующей монтажной плитой по БО и базовым поверхностям, затем их ушки закрепляют цементом в соответствующих стаканах балок, а на подвижную стапельную плиту дополнительно устанавливают узлы, обеспечивающие возможность ее перемещения. Через сутки на вилки балок навешивают рубильники. Благодаря согласованию размеров на плаз-кондукторе и инструментальном стенде фиксация рубильников штырями должна быть свободной (от руки). После соответствующей выдержки (двое-три суток) монтажные плиты демонтируют, стапель практически готов.

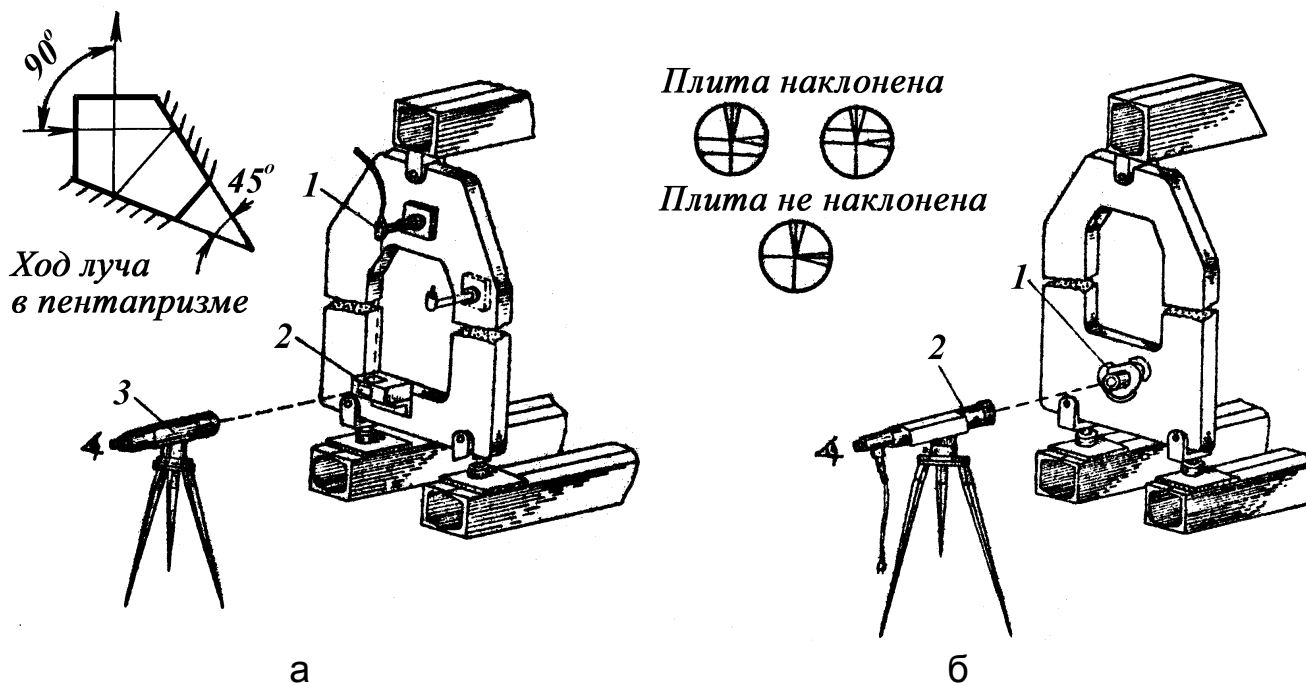


Рис. 4.9. Схема контроля вертикальности плит: а – нивелиром (1 – стойка с маркой, 2 – пентапризма, 3 – нивелир); б – автоколлиматором (1 – зеркало, 2 – автоколлиматор)

В процессе эксплуатации точность стапеля проверяют проведением таких же работ и с помощью тех же средств, что и при его монтаже. Монтажная плита в этом случае является своеобразным эталоном монтажных размеров.

Комплектация лабораторной работы

1. Чертежи стапеля для сборки центроплана.
2. Комплект готовых элементов стапеля (макеты).
3. Средства монтажа – монтажные плиты (макеты), нивелир, линейки, а также струбцины, болты, штыри.

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежом стапеля и лабораторным оснащением.
2. Смонтировать стапель сборки.
3. Оформить отчет о выполнении работы, в котором представить:
 - ответы на контрольные вопросы;
 - эскиз-схему монтажа и контроля стапеля средствами КШМ;
 - техпроцесс монтажа стапеля.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается суть координатно-шаблонного метода увязки оснастки?
2. Назовите преимущества координатно-шаблонного метода.
3. Какие виды работ выполняют на плаз-кондукторе?
4. Для чего предназначен плаз-кондуктор при изготовлении рубильников?
5. Чем руководствуются при назначении положения МО в рубильниках?
6. Какие виды работ выполняют на инструментальном стенде?
7. Каково строение дистанционных калибров и в чем заключается их назначение?
8. Каково назначение переходных фитингов инструментального стенда?
9. Опишите порядок выполнения отсчета по осям инструментального стенда.
10. Приведите примеры применения быстротвердеющих цементов при изготовлении элементов стапеля и его монтаже.
11. Какую точность обеспечивает координатный стенд?
12. Какие отверстия выполняют в стапельных и монтажных плитах?

Лабораторная работа № 7

МОНТАЖ И КОНТРОЛЬ СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы – ознакомиться с сутью метода монтажа сборочного оснащения с применением оптических и лазерных приборов.

Основные сведения

Увеличение габаритов авиационных изделий при повышении их монолитности способствует упрощению сборочных стапелей, поскольку уменьшается количество фиксирующих и поддерживающих элементов. Это обстоятельство усложняет монтаж оснастки вследствие исключения из каркаса стапеля сплошных продольных элементов (балок стапеля) и перехода к каркасу в виде отдельных стоек или блоков. Из-за этого инструментальный стенд при изготовлении стапеля не всегда можно применить.

Сохранение принципа задания конструктивных размеров стапеля в системе координатных осей изделия и системах базовых отверстий, которые располагаются, как правило, в разных сечениях на одной оси, параллельной продольной оси агрегата, позволяет эффективно использовать для монтажа оптические средства.

Используя оптические средства – визирную трубку и целевой знак, конструктивные оси стапеля заменяют линией визирования, которая совпадает с оптической осью визирной трубки (нивелира, теодолита, специальных приборов ППС-7, ППС-11).

Для сохранения устойчивости положения линии визирования и возможности отсчета координаты вдоль этой линии используют инструментальные координатные линейки, которые устанавливают в зоне монтажа стапеля и применяют вместе с оптическими приборами для бесконтактных построений и измерений.

Образовавшаяся оптико-механическая система (ОМС) имеет высокую точность и мобильность, что позволяет вести монтаж стапеля непосредственно в сборочном цехе. В зависимости от конструктивных особенностей стапеля оптико-механические и координатные системы могут включать в себя различные комбинации элементов и соответственно имеют разное строение. ОМС могут быть либо встроены в каркас стапеля, либо расположены рядом со стапелем – оптико-механический стенд.

Механическую часть такого стенда образуют (рис. 4.10):

1) дистанционные линейки 1, установленные горизонтально под прямым углом друг к другу; они обеспечивают отсчет дистанций в горизонтальной плоскости в прямоугольной системе координат благодаря инструментальным отверстиям и дистанционным калибрам 2;

2) высотная линейка 3, обеспечивающая отсчет по вертикальной оси координат заданной высоты H относительно горизонтальной плоскости; отсчет производится по нониусу (поз. 3.1) высотной линейки после совмещения целевого знака (поз. 3.2) с перекрестием визирной трубки;

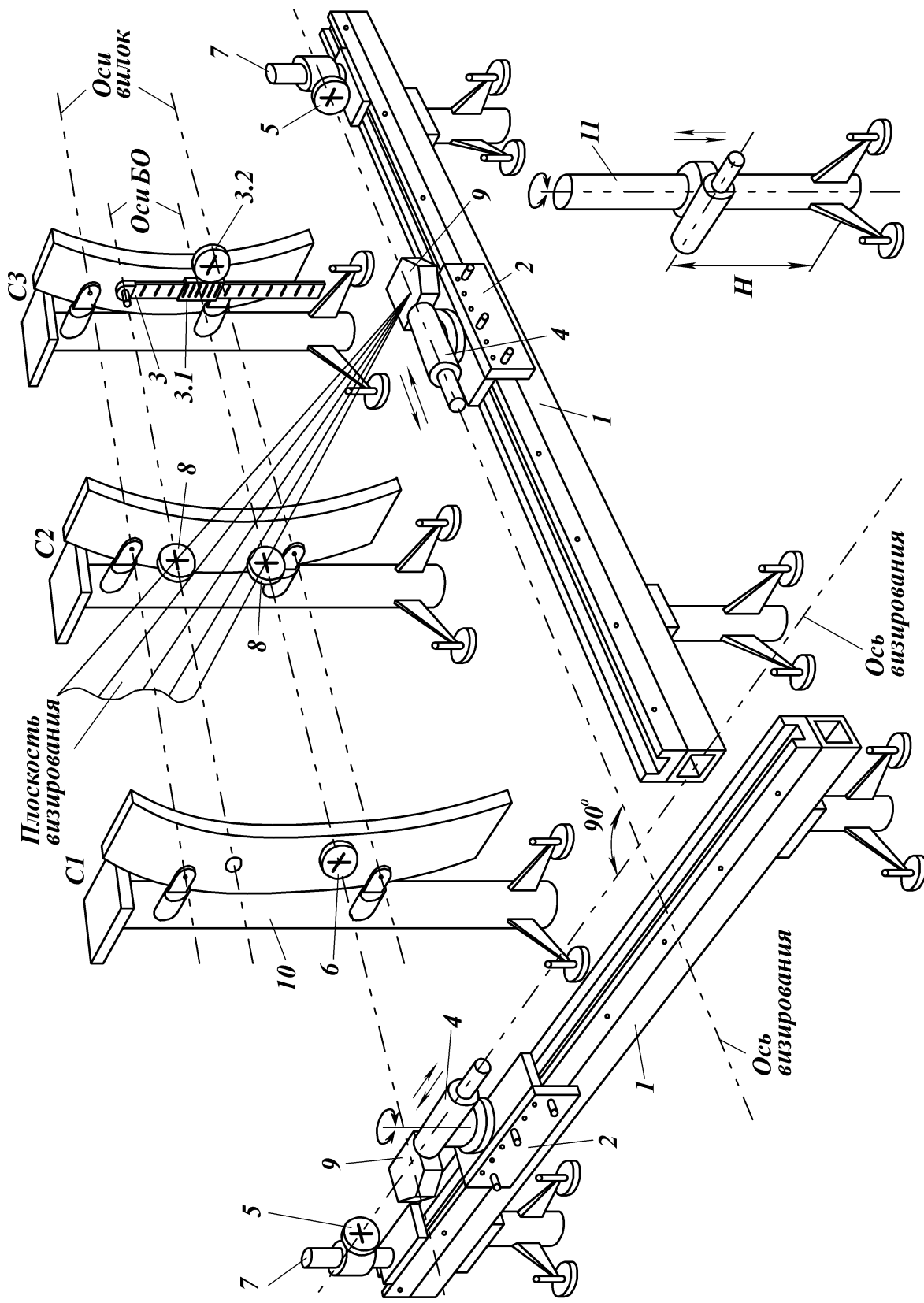


Рис. 4.10. Оптико-механический стенд: 1 – дистанционная линейка; 2 – калибр дистанционный; 3 – высотная линейка (3.1 – нониус, 3.2 – целевой знак); 4 – визирная трубка (нивелир НТ); 5, 6 – целевые знаки; 7 – стойка; 8 – угловой целевой знак; 9 – пентапризма; 10 – монтируемый объект (стойки С1, С2, С3 с рубильниками); 11 – катетометр В-В-630А

3) катетометр 11, который представляет собой вертикальную стойку с мерной линейкой и передвижным кронштейном, на котором закреплен телескоп (визирная трубка); назначение катетометра аналогично назначению высотной линейки 3.

Элементы оптической части станда:

1) визирные трубки 4 нивелира НТ, закрепленного на переходном кронштейне линейки 1;

2) система целевых знаков: целевой знак 6 задает положение конструктивных осей стапеля, 5 – положение исходных осей координатных линеек, 8 – положение плоскости рубильников (угловые целевые знаки); 3.2 является целевым знаком на высотной линейке;

3) поворотные пентапризмы 9 в корпусе;

4) визирная трубка катетометра В-В-630А.

Катетометр предназначен для измерения вертикальных координат изделий, расположенных в местах, недоступных для непосредственного измерения в условиях цеха. Погрешность измерения не превышает $\pm(10+L/100)$ мкм на дистанции L , мм.

Катетометр (рис. 4.11) позволяет измерить размер $a-b$ изделий с помощью шкалы, вмонтированной в прибор, путем последовательного визирования визирной трубкой на начало a и конец b отрезка изделия.

Катетометр состоит из следующих основных частей: визирное устройство – визирная трубка 4, которая перемещается по направляющим 6 цилиндрической или прямоугольной формы; устройство 3 для установки визирной трубки в горизонтальное положение (уровень с цилиндрической ампулой); шкала 2; отсчетное устройство 5 (микроскоп).

Внедрение в производство лазерных методов монтажа оснастки позволяет снизить трудоемкость монтажных работ, сократить в 2-3 раза цикл изготовления стапелей, повысить точность их увязки.

Состав лазерной центрирующей измерительной системы (ЛЦИС) для монтажа крупногабаритных стапелей показан на рис. 4.12.

Положение любого узла стапеля в пространстве однозначно определяется двумя лазерными лучами и плоскостью, перпендикулярной к ним, образующейся разворотом лазерного луча с помощью пентапризмы. Таким образом контролируют шесть степеней свободы узла стапеля.

Технологические координатные плоскости (ТКП) выполняют в виде двух идентичных плит с системой координатных отверстий, обработанных на координатно-расточных станках. Для монтажа стапеля выставляют систему координат из ТКП и дистанционных линеек. Базируя лазерные лучи по отверстиями ТКП, образуют систему опорных лазерных лучей для увязки положения в пространстве узлов сборочных приспособлений.

ТКП могут быть размещены автономно на специальных стойках или вмонтированы в стапель (тогда они выполняют функции монтажных плит).

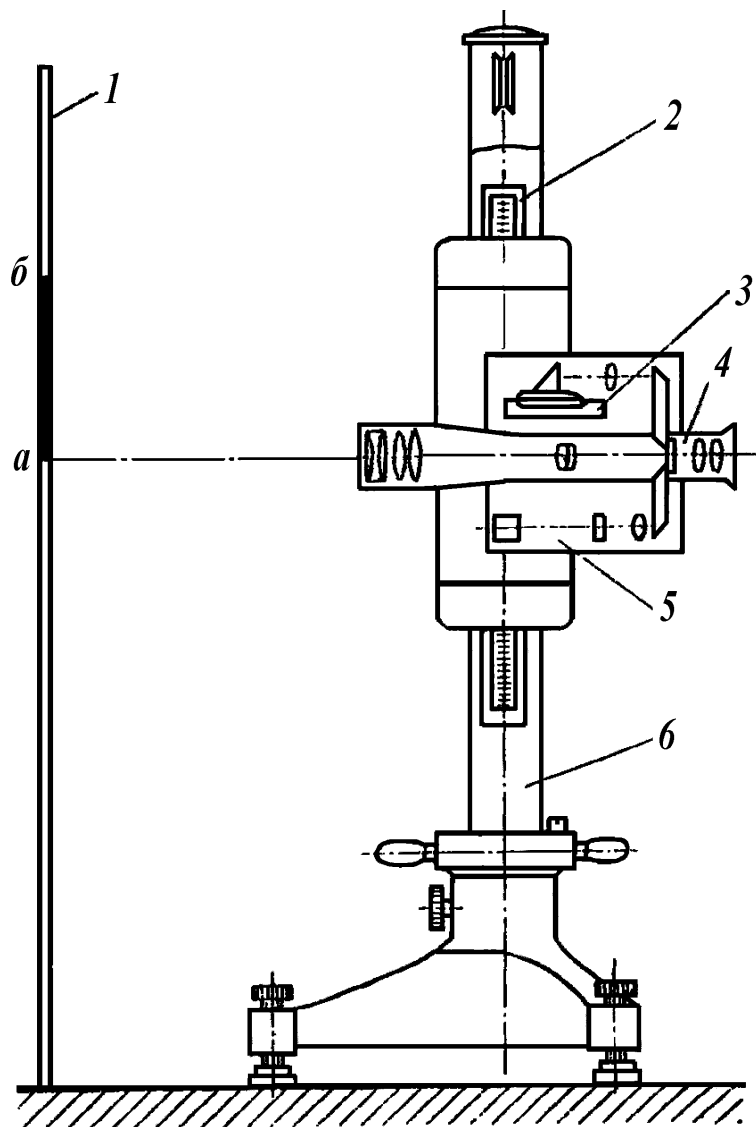


Рис. 4.11. Принципиальная схема катетометра: 1 – изделие; 2 – шкала; 3 – уровень для проверки горизонтальности; 4 – визирная трубка; 5 – отсчетное устройство; 6 – направляющие

Комплектация лабораторной работы

1. Стапель для сборки панелей (см. чертежи к лаб. работе), представляющий собой систему опорных стоек с рубильниками. В рубильниках выполнено по два базовых отверстия (БО) диаметром 18Н7, определяющих вспомогательные конструкторские оси стапеля, и по два монтажных отверстия (МО) для закрепления рубильников на стойках (в системе "вилка – стакан").

2. Комплект ОМС (см. рис. 4.10).

3. Чертежи общего вида стапеля.

4. Понижающий трансформатор для ламп подсветки.

5. Лазерный визир ЛВ-5М.

6. Лазерный уровень на магнитной подошве.

7. Лазерная трубка прибора ППС-7 с переходником диаметром 18Н7.

8. Угловые поворотные призмы.

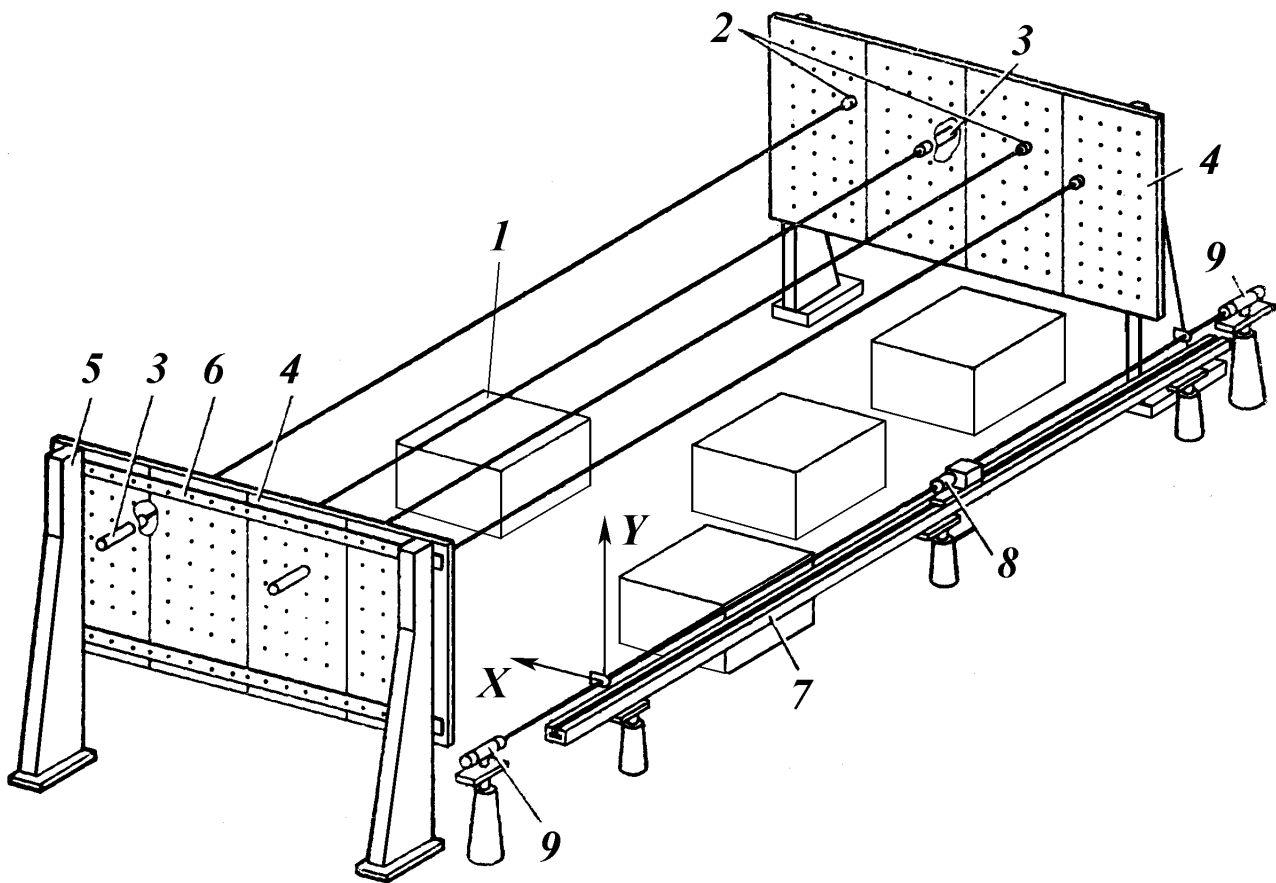


Рис. 4.12. Лазерная центрирующая измерительная система (ЛЦИС) для монтажа крупногабаритных ступеней: 1 – фундаментные блоки колонн ступени; 2 – целевые знаки; 3 – излучатель лазера; 4 – плиты ТКП; 5 – стойки; 6 – линейки; 7 – продольная координатная линейка; 8 – пентапризма; 9 – лазерный дальномер с опорным лучом

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с механическими и оптическими элементами ОМС, осознать назначение и правила пользования оптическими и лазерными приборами.

2. Выполнить типовые операции.

Проверка установки дистанционных линеек

Порядок выполнения:

а) для контроля горизонтальности каждой координатной линейки установить на один конец линейки опорный целевой знак 5 на стойке 7 (см. рис. 4.10);

б) установить визирную трубку нивелира в направлении целевого знака, проверив его положение с помощью пузырькового цилиндрического уровня;

в) совместить перекрестие визирной трубки с целевым знаком, перемещая целевой знак по высоте стойки;

г) переместить нивелир по линейке до целевого знака, но не ближе, чем на 1,2 м (совпадение перекрестий сетки нивелира и целевого знака, устойчивое положение пузырька цилиндрического уровня будут свидетельствовать о горизонтальности линейки), зажать стопорный винт на корпусе нивелира;

д) для проверки перпендикулярности линеек переместить нивелир на конец линейки и установить на нивелир пентапризму;

е) перемещать нивелир по линейке, пока в поле зрения не попадет целевой знак 5 на второй координатной линейке (совпадение линий перекрестий целевого знака и визирной трубки или их параллельность будут свидетельствовать о взаимной перпендикулярности линеек).

Примечание 1. Для уменьшения количества операций линейки можно устанавливать с "перекрытием", что позволяет использовать поворотную визирную трубку без пентапризмы для контроля перпендикулярности линеек.

Примечание 2. Пространство, ограниченное длиной линеек и рабочей высотой катетометра (или другого измерительного средства), образует рабочее (монтажное) пространство для монтажа (проверки) стапеля. Дискретность пространства определяется ценой деления отсчетных линеек (дистанционных и высотной линеек, катетометра). В это пространство должен вписываться контролируемый или монтируемый стапель.

Проверка соосности отверстий в рубильниках прямым визированием целевых знаков

Положение любого рубильника в пространстве определено (задано), если его базовые отверстия и БО в первом рубильнике соосны. Для обеспечения соосности выполнить следующее:

а) установить в необходимое положение визирную трубку по дистанции и зафиксировать ее с помощью дистанционного калибра на линейке;

б) установить целевые знаки в базовые отверстия рубильников, проверить совпадение перекрестий целевых знаков и сетки трубки, просматривая последовательно целевые знаки; определить погрешность установки по шкале целевого знака;

в) установить визирную трубку прибора ППС-7 в верхнее базовое отверстие рубильника;

г) повторить операции, начиная с п. б.

Контроль соосности отверстий в рубильниках прямым визированием с помощью пентапризмы и углового отражателя

Последовательность действий:

а) установить целевой знак в верхнее базовое отверстие (БО) первого рубильника;

б) установить угловой отражатель в верхнее базовое отверстие и пентапризму в нижнее базовое отверстие последнего рубильника;

в) навести нивелир, вращая пентапризму (или угловой отражатель) до попадания в плоскость визирования целевого знака.

Проверка расположения рубильников по дистанции и параллельности их плоскостей

Порядок выполнения:

- а) приняв за начало отсчета плоскость первого рубильника, установить на линейке и зафиксировать нивелир с пентапризмой с помощью дистанционного калибра (см. рис. 4.10);
- б) установить в БО рубильника угловые целевые знаки;
- в) поворачивая пентапризму, проверить совпадение перекрестий целевых знаков и сетки;
- г) переместить по дистанционной линейке нивелир с пентапризмой и зафиксировать штырями на заданной чертежом дистанции с помощью дистанционного калибра;
- д) повторить операции пп. б и в, проверив тем самым параллельность рубильников, в случае несовпадения перекрестий нивелира и нижнего целевого знака подобрать дистанционный калибр и рассчитать фактическую дистанцию рубильников.

Определение положения элементов стапеля вне основной линии визирования

Во время контроля соосности отверстий может оказаться, что заданные элементы располагаются вне линии или плоскости визирования. Например, в рассматриваемом устройстве (см. чертежи общего вида стапеля) БО рубильников по шпангоутам 7–9 по вертикали смещены относительно отверстий в рубильниках по шпангоутам 10 и 12.

Если вертикальность плоскости, проходящей через центры этих БО, можно проверить с помощью пентапризмы, то размещение БО на высоте требует перемещения оси визирования по вертикали. Последнее можно осуществить с помощью катетометра или высотной линейки и нивелира (если катетометр отсутствует или имеет недостаточный рабочий ход):

- а) установить в контролируемое БО на рубильнике высотную линейку;
- б) переместить нониус с маркой вдоль линейки до совмещения с перекрестием сетки визирной трубки нивелира или катетометра;
- в) зафиксировать взаимное превышение плоскостей (осей) по шкале высотной линейки.

3. Привести схемы, иллюстрирующие контроль установки линеек, соосности отверстий, дистанции, параллельности двух смежных рубильников, вертикального смещения БО в рубильниках.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие элементы включает в себя ОМС?
2. На каком принципе основан метод монтажа стапеля с помощью оптических приборов?

3. Как осуществить контроль соосности отверстий?
4. Как осуществить контроль параллельности рубильников, ступельных плит? Что является общей базой в этом случае?
5. Чем определяется рабочее монтажное пространство ОМС и его дискретность?
6. Какие преимущества имеют лазерные системы монтажа и контроля по сравнению с оптическими?

5. ОБРАЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СБОРКЕ САМОЛЕТА. МЕТОДЫ КЛЕПКИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

В конструкциях самолетов и вертолетов используются разъемные и неразъемные соединения. К неразъемным принадлежат соединения, которые выполняются клепкой, сваркой, склеиванием, обжатием или сочетанием склеивания со сваркой и клепкой. Разъемные соединения выполняют с помощью винтов, резьбовых пар, замков, пальцев, осей с соответствующими посадками.

Среди всех видов соединений заклепочные являются наиболее распространенными. Количество заклепок в конструкциях современных самолетов среднего класса доходит до 400–600 тыс. шт., а в конструкциях тяжелых и сверхтяжелых самолетов – до 1,5–2,0 млн шт., что составляет 75...90 % от общего количества крепёжных точек, а трудоемкость клепально-сборочных работ составляет 30...35 % от общей трудоемкости изготовления планера.

Такое широкое применение клёпки объясняется в первую очередь особенностями технологии сборки самолётов и вертолётотв, широкой номенклатурой деталей и материалов, разнообразием и спецификой конструктивных элементов планера, высокими требованиями к точности геометрических форм узлов и агрегатов, к показателям надежности и долговечности соединений, большими габаритами конструкций, ограниченным количеством конструктивных и технологических разъёмов. Следует также отметить, что технологическая себестоимость клёпки конструкций из алюминиевых сплавов является наименьшей по сравнению с другими видами образования неразъемных соединений, а заклепочные соединения имеют лучшую контролепригодность.

Однако клёпка по сравнению с другими процессами (сваркой, пайкой, склеиванием) имеет следующие недостатки:

- низкая производительность;
- увеличение массы конструкции из-за выступающих закладных и замыкающих головок заклепок;
- ослабление сечений конструктивных элементов из-за наличия отверстий под заклепки;

- необходимость проведения дополнительных работ по герметизации по разным схемам и контрольных операций по оценке герметичности;

- значительные деформации и внутренние напряжения в конструкции;

- вредные факторы в процессах сверления отверстий и ударной клёпки (шум, вибрации, переохлаждение рук рабочего).

Несмотря на указанные недостатки, процесс клёпки широко применяется в самолёто- и вертолётостроении и, по прогнозам отечественных и иностранных специалистов, будет основным процессом на период до 2050 года.

Лабораторная работа № 8

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВЕРЛИЛЬНО-КЛЕПАЛЬНЫХ РАБОТ

Цель работы – ознакомиться с типовыми технологическими процессами подготовки и образования заклёпочных соединений, применяемым оборудованием и инструментом, технологическими методами и способами повышения качества соединений; приобрести практические навыки выполнения заклёпочных соединений.

Основные сведения

Процесс клёпки обычными заклёпками представляет собой соединение деталей путем деформирования стержней заклёпок, установленных в отверстиях, предварительно образованных в соединяемых деталях. Применяется в открытых местах, где возможен двусторонний подход к зоне клёпки. Стержневые заклёпки изготавливают на высадочных автоматах из проволоки и прутка из алюминиевых сплавов В65, АМг5П, Д18П, Д1, АМц, сталей 10, 15, 20Г2, 12Х18Н9Т, имеющих особые условия поставки. Закладные головки этих заклёпок могут быть выступающими и потайными. В свою очередь, выступающие закладные головки могут быть плоскими (ЗП), полукруглыми (ЗК) и плоско-выпуклыми (ЗВ), а потайные – с углом конуса 90 и 120°. В конструкциях современных самолетов 60...70 % заклёпок имеют потайные закладные головки. Чаще применяются заклёпки из сплава В65, указанные в ОСТ 1.34040–79 (с головками ЗП, ЗК и ЗВ), ОСТ 1.34087–80 (с углом конуса 90°), ОСТ 1.34098–80 (с углом конуса 120°).

Процесс соединения деталей обычными потайными заклёпками включает в себя пять типовых операций (рис. 5.1).

Технологический процесс клёпки завершается контролем качества соединения (комплекс ограничивающих параметров задается на чертеже, в технических условиях, производственных инструкциях и других руководящих документах).

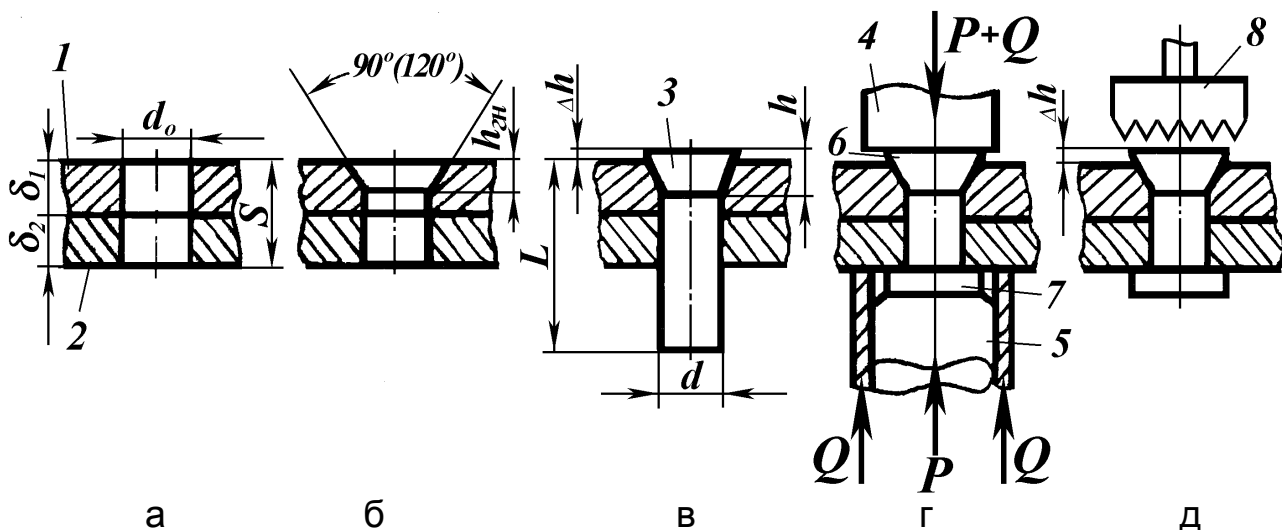


Рис. 5.1. Операции процесса клёпки: а – образование отверстия; б – зенкование гнезда; в – установка заклёпки; г – клёпка (при сжатом пакете); д – фрезерование потайной головки заклёпки (1, 2 – соединяемые детали; 3 – заклёпка; 4 – боёк; 5 – поддержка; 6 – закладная головка заклёпки; 7 – замыкающая головка заклёпки; 8 – фреза)

Образование отверстий под заклёпки

Наиболее распространённым способом образования отверстий является их сверление, поскольку пробивка отверстий штампами не обеспечивает высокого уровня прочности и ресурса соединения. В зависимости от конструкции и толщины клепаемого пакета отверстия сверлят за один или два перехода.

Диаметр отверстий d_o под обычные стержневые заклёпки должен быть больше номинального диаметра d заклёпки на 0,05...0,20 мм для удобной и производительной установки.

Для образования отверстий используют универсальные и специальные станки, стационарные установки, оснащенные сверлильно-зенковальными агрегатами (СА-02, СЗА-02, СЗА-02, СЗУ-Ф1), а также разнообразные ручные пневматические сверлильные машины – пневмодрели (СМ11-180, СМ11-35, СМ21-140, СМ21-25, СМ41-12, УСМ12-6-30, СМУ21-6-5 и др.).

В зависимости от конструктивного исполнения, группы мощности, частоты вращения выходного вала редуктора пневмодрели имеют соответствующие буквенно-цифровые обозначения, например: для сверлильной машины СМ11-180 первая цифра (1) означает группу мощности, вторая (1) – конструктивное исполнение, далее группа цифр (180) – максимальную частоту вращения шпинделя на холостом ходу (18 000 об/мин). Технические характеристики пневматических дрелей, имеющих широкое применение в отрасли для сверления и зенкования отверстий, приведены в учебном пособии [9].

В сверлильном оборудовании должны быть предусмотрены приспособления для выравнивания и поддержания собираемой конструкции или же само оборудование должно перемещаться относительно нее. В зоне сверления отверстия пакет должен быть плотно сжатым для исключения попадания стружки между деталями и предотвращения образования заусенцев внутри пакета. Качество просверленных отверстий контролируют визуально и с помощью предельных калибров-пробок.

Зенкование гнезд под потайные головки заклёпок

Конические гнезда под заклёпки получают зенкованием или штамповкой. Гнезда под потайные головки заклёпок выполняют зенковками с направляющими штифтами, диаметр которых равен номинальному диаметру сверла для последнего перехода с качеством f9 или e9. В целях повышения производительности для зенкования рекомендуется использовать комбинированный инструмент – сверло-зенковку. Зенкование применяется в случаях, когда толщина обшивки δ_1 больше, чем высота закладной головки заклёпки h . В тонких пакетах и в пакетах с толщиной обшивки меньше высоты закладной головки конические гнезда выполняют штамповкой. Способы образования гнезд под головки обычных потайных заклёпок изображены на рис. 5.2.

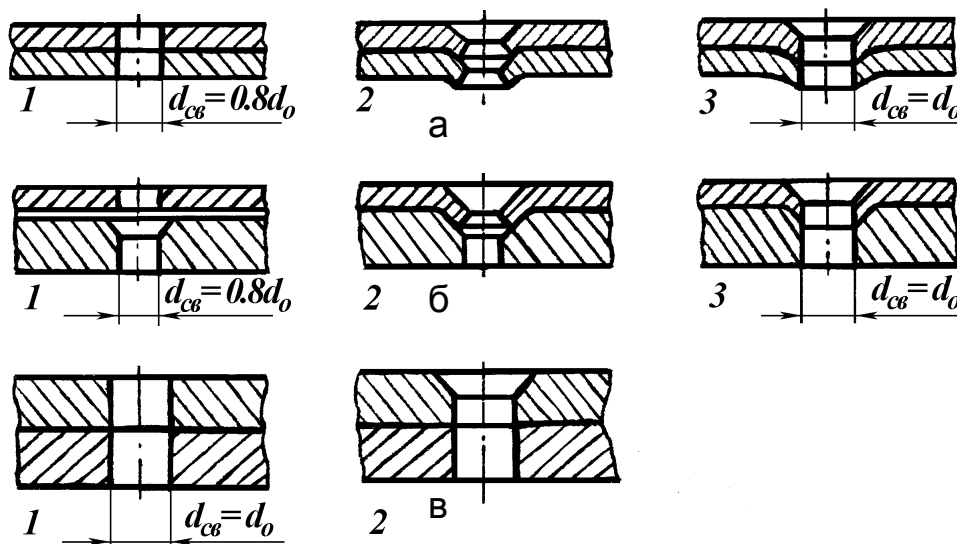


Рис. 5.2. Способы образования гнезд под головки потайных заклёпок: а – штамповка в обеих деталях; б – зенкование в каркасе и штамповка в обшивке; в – зенкование в обшивке (1 – сверление отверстий; 2 – зенкование гнезда; 3 – рассверливание отверстий)

Если толщина пакета $S < d$ и $\delta_1 < h$, то гнездо штампуют отдельно в каждой детали или совместно в деталях пакета с помощью пуансона и матрицы с центрированием их по ранее просверленным отверстиям диаметром $(0,8...0,9)d$, после чего отверстие рассверливают до необходимого диаметра d_0 . Если толщина обшивки $\delta_1 < 1$ мм, а толщина

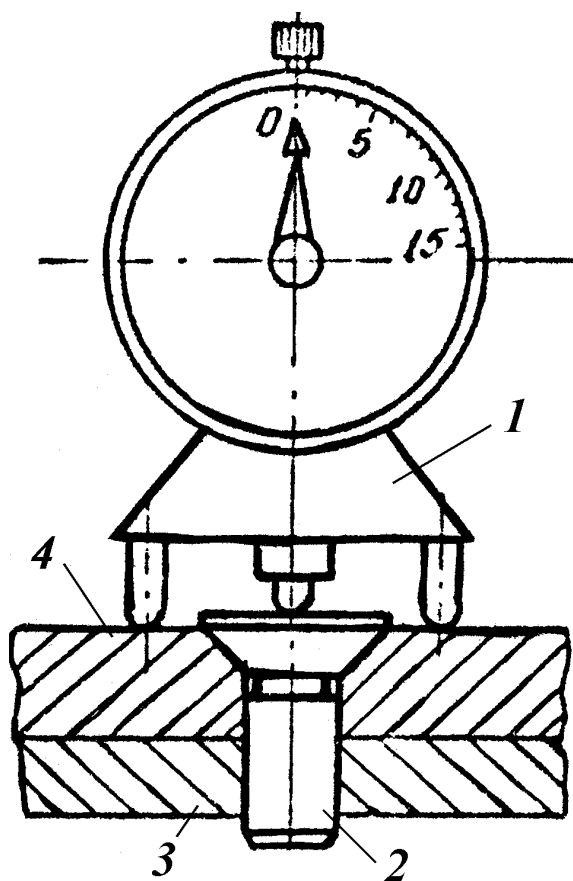


Рис. 5.3. Контроль глубины гнезда:

- 1 – индикатор часового типа;
- 2 – калибр-заклёпка;
- 3, 4 – соединяемые детали

равными $\Delta h^I = 0,0 \dots 0,15$ мм для первой зоны обтекаемых поверхностей и $\Delta h^{II} = 0,0 \dots 0,2$ мм – для второй. Таким образом, допуск на глубину зенкования для первой зоны обтекаемых поверхностей $\Delta h_{zn}^I = \begin{matrix} 0,0 \\ -0,05 \end{matrix}$ мм, для второй – $\Delta h_{zn}^{II} = \begin{matrix} 0,0 \\ -0,1 \end{matrix}$ мм.

Сжатие пакета

Для обеспечения качества заклёпочных соединений и их наиболее эффективной работы на срез необходимо плотное прилегание поверхностей соединяемых деталей. Этого достигают путём предварительного сжатия пакета с силой Q (см. рис 5.1) с помощью встроенных в штамп элементов (при клёпке прессами) или специальной насадки-натяжки (при клёпке молотками).

Клёпка (формирование замыкающей головки)

Образование замыкающих головок заклёпок происходит вследствие пластического деформирования (высадки) стержня под действием ударов обжимки пневматических молотков или поддержки, давления пуансона пресса или локального давления (рис. 5.4).

элемента каркаса $\delta_2 < h$, то гнёзда под головки заклёпок зенкуют в каркасе, а гнездо в обшивке получают штамповкой в штампах или давлением головки самой заклёпки. Глубину гнёзд под потайные головки заклёпок контролируют с помощью калибра-заклёпки и индикатора часового типа (рис. 5.3).

Западение потайных головок заклёпок – явление негативное, поскольку при этом не обеспечивается необходимый уровень качества соединения по критериям прочности и герметичности. Для предотвращения этого явления на глубину зенкования h_{zn} установлен допуск Δh_{zn} , величину которого назначают в соответствии с допуском на высоту потайной замыкающей головки h , равный $\begin{matrix} +0,1 \\ 0,0 \end{matrix}$ мм, и допусками на выступание потайных головок заклёпок относительно поверхности обшивки Δh ,

Прессовая клёпка характеризуется тем, что замыкающая головка заклёпки формируется при относительно равномерном сжатии стержня в пакете. При единичной клёпке за один ход ползуна (обжимки) расклёпывают одну заклепку, а при групповой – несколько.

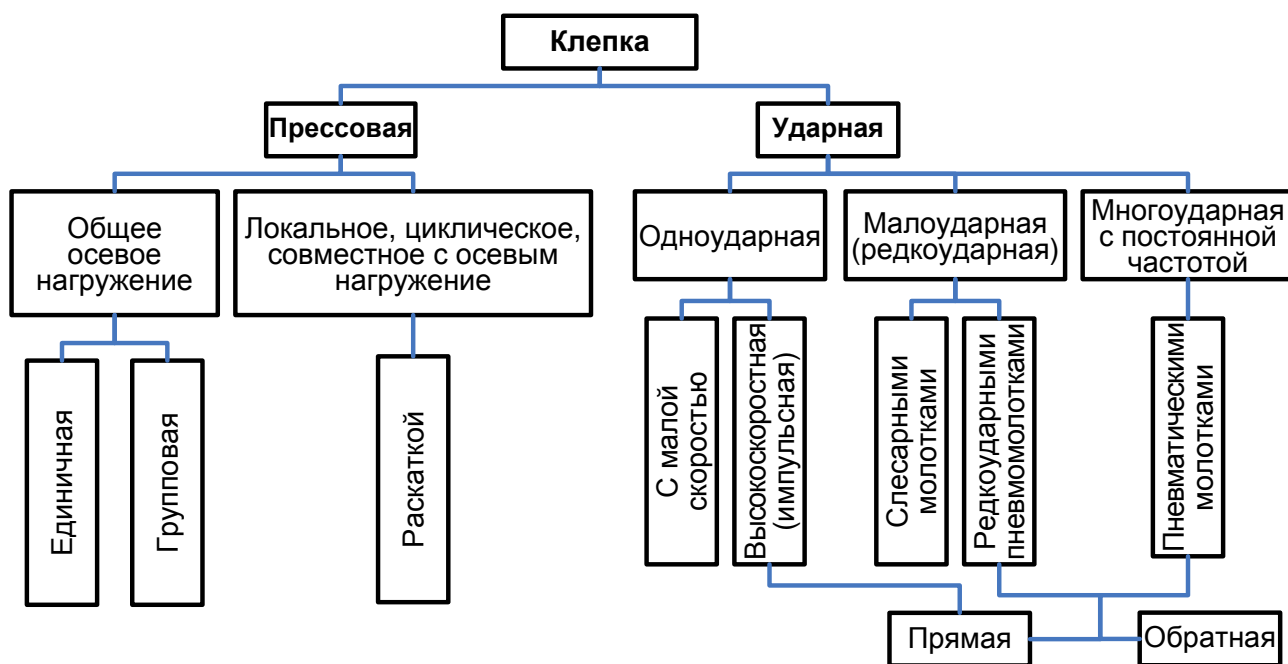


Рис. 5.4. Способы клёпки

Прессовая клёпка обеспечивает:

- высокую и стабильную прочность соединения благодаря более равномерному (по сравнению с многоударной клёпкой) натягу по высоте стержня заклёпки;
- высокое качество соединения по геометрическим параметрам;
- высокую производительность и минимальную трудоёмкость выполнения соединений;
- низкий уровень производственного шума и отсутствие вибраций;
- возможность групповой клёпки в целях повышения производительности.

Кроме того, прессовую клёпку легко автоматизировать, причем в одном оборудовании можно совместить выполнение сверлильных и клепальных работ.

Ударная клёпка с помощью пневматических клепальных молотков в зависимости от места приложения активного силового воздействия подразделяется на прямую и обратную. В процессе прямой ударной клёпки обжимка пневмомолотка действует на стержень заклепки, формируя замыкающую головку, а массивная поддержка является опорой для клепаемого пакета и прижимается к поверхности детали и закладной головке заклепки. В процессе обратной клёпки удары обжимкой наносятся по закладной головке и через неё – по пакету, а менее массивная (чем во

время прямой клёпки) поддержка располагается со стороны замыкающей головки. Отсюда вполне понятно, что обратная клёпка является принципиально возможной только для пакетов с определённой степенью податливости, т. е. для относительно тонких пакетов. Основным преимуществом ударной клёпки по сравнению с прессовой и клёпкой раскаткой является возможность её применения для замкнутых контуров и в труднодоступных местах. Для обратной клёпки нужна поддержка со значительно меньшей массой.

Клёпка раскаткой в последние годы получает все большее распространение в связи с созданием конструкций из композиционных материалов, применением многослойных и смешанных пакетов. Необходимые форму и размеры замыкающей головки получают, применяя специальные обжимки, которым придают вращение механизмы с необходимым крутящим моментом.

По сравнению с ударной и прессовой клёпкой клёпка раскаткой имеет ряд преимуществ:

- осевое давление инструмента в десятки раз меньше;
- в процессе клёпки отсутствуют удары по пакету и вибрации;
- радиальные деформации стержня заклёпки в пакете практически отсутствуют, что имеет большое значение при клёпке неметаллических материалов и высокопрочных композитов.

Клёпка раскаткой применяется для образования соединения в клиновидных пакетах с углом клиновидности до 15° , а также в конструкциях, содержащих соты, композиционные и неметаллические материалы. Форма замыкающей головки может быть потайной (ГОСТ 14798–75), полукруглой (ГОСТ 14797–75) и плоской.

Качество заклёпочного соединения в значительной мере определяется размером и формой замыкающей головки заклёпки. Замыкающая головка цилиндрической формы с плоским торцом характеризуется диаметром D и высотой h :

$$D = \mathbf{0,5 \pm 0,1} \bar{d}, h = \mathbf{0,5 \pm 0,1} \bar{d},$$

а для замыкающих головок полукруглой формы

$$D = \mathbf{0,6 \pm 0,1} \bar{d}, h = \mathbf{0,6 \pm 0,1} \bar{d}.$$

Исходя из этого, а также учитывая раздачу отверстия стержнем осаждаемой заклёпки и используя закон постоянства объема, можно определить длину стержня заклёпки для пакетов с небольшой толщиной $S = (1,0...2,5) d$:

$$L = S + \mathbf{0,2...1,4} \bar{d}.$$

Оборудование и инструмент для клёпки

Прессовая клёпка осуществляется на специализированных прессах или клепальных автоматах. Клёпка на прессах требует членения конструкции на более простые элементы (узлы, панели), что позволяет применять тот или иной тип пресса и обеспечивать доступ к месту клёпки.

Клепальные прессы по эксплуатационному признаку подразделяются на стационарные и переносные. Выбор типа пресса зависит от возможности подхода к месту клёпки, типоразмера и материала заклёпок, размеров конструкции узла или панели, других конструктивных и технологических факторов. По виду энергии и способам её использования клепальные прессы подразделяются на пневморычажные, гидрорычажные, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические.

Принцип работы пневмо- и гидрорычажных прессов заключается в том, что давление воздуха или жидкости на поршень силовой головки передается на обжимку через систему рычагов, что позволяет при небольших размерах силовых головок получать бóльшие, по сравнению с пневматическими и пневмогидравлическими прессами, усилия на обжимке. Принцип работы пневматических прессов основан на непосредственном воздействии давления сжатого воздуха через поршень на обжимку. Работа гидравлических и пневмогидравлических прессов основана на преобразовании сравнительно низкого давления жидкости или воздуха, поступающего в мультипликатор, в высокое гидравлическое давление, передаваемое от мультипликатора через поршень гидроцилиндра на обжимку. Основные технические характеристики наиболее распространенных отечественных стационарных и переносных клепальных прессов приведены в [9]. Так, пресс КП-204М имеет усилие до 49 кН (5 т), ПНП-5,5 – до 54 кН (5,5 т).

Среди стационарного сверлильно-клепального оборудования особое место занимают клепальные автоматы отечественного и зарубежного производства, позволяющие комплексно решать задачи по созданию заклепочных соединений.

При клёпке на автоматах осуществляется следующее:

- выравнивание поверхности изделия относительно оси инструмента;
- сжатие пакета;
- образование отверстия и гнезда под заклепку;
- установка заклёпки в отверстие;
- образование замыкающей головки;
- отвод инструмента в исходное положение;
- перемещение изделия или автомата на шаг клёпки.

Несмотря на широкое применение стационарных и переносных прессов, значительный объем заклепочных соединений выполняется ударной клепкой с помощью пневматических многоударных клепальных

молотков (табл. 5.1). Молотки используются при клёпке непосредственно в сборочных приспособлениях и при стыковке отсеков и агрегатов на участках внестапельной сборки. Отличаются они мощностью, габаритными размерами и формой рукоятки. Пневмомолоток выбирают по работе одного удара, которая зависит от диаметра и материала заклёпки. Принцип действия молотков заключается в том, что под действием сжатого воздуха поршень молотка совершает возвратно-поступательное движение и наносит удары по обжимке, вследствие чего расклёпывается заклёпка.

Таблица 5.1

Основные технические характеристики
пневматических клепальных молотков

Параметр	Марка молотка			
	КМП-13	КМП-23	КМП-31	КМ-41
Диаметр заклёпок из В65, мм	3,5	4,0	6,0	8,0
Количество ударов в минуту	1800	1500	1300	1200
Время расклёпывания одной заклёпки, с	1,2	1,5	1,5	2,0
Расход воздуха, м ³ / мин	0,1	0,2	0,25	0,35
Минимальное расстояние от оси молотка до стенки изделия, мм	20,0	25,0	20,0	25,0
Форма рукоятки	Пистолетная	Пистолетная	Пистолетная	Замкнутая
Габаритные размеры, мм	136×140×40	165×150×55	210×155×52	355×140×68
Масса, кг	1,1	1,3	1,95	2,8

Клёпка пневмомолотками осуществляется с использованием поддержки определённой массы в зависимости от диаметра заклёпки и её материала, а также от метода клёпки (прямого или обратного). С помощью расчётов и из производственного опыта определены оптимальные соотношения между массой поддержки m_n , кг, и диаметром стержня заклёпки d , мм, в зависимости от материала заклёпки и метода клёпки:

- прямая клёпка, лёгкие сплавы – $m_n = 1,5 d$;
- прямая клёпка, стальные заклёпки – $m_n = 3 d$;
- обратная клёпка, лёгкие сплавы – $m_n = 0,5 d$;
- обратная клёпка, стальные заклёпки – $m_n = d$.

Несмотря на широкое применение ударной клёпки пневмомолотками, следует отметить существенные недостатки метода: недостаточно высокое качество соединений, высокий уровень шума, наличие вибраций, что может привести к заболеваниям клепальщиков, потребность в высокой квалификации рабочих, высокая трудоёмкость клёпки из-за необходимости участия в процессе двух исполнителей. Поэтому в последние годы распространяется применение высокоэнергетических методов одноударной клёпки импульсными клепальными молотками и устройствами с пневматическими, пневмогидравлическими, электромагнитными, электрогидравлическими и другими приводами.

Требования техники безопасности при сверлильно-клепальных работах приведены в инструкции к лабораторной работе.

Контроль качества соединения

Завершающей операцией процесса клёпки всегда является контроль качества соединения. Контролируемые параметры и средства контроля заклёпочных соединений, выполненных обычными стержневыми заклёпками, приведены в табл. 5.2.

Комплектация лабораторной работы

1. Сверлильная машина СМ21-25 с комплектом насадок режущего инструмента.
2. Клепальные пневмомолотки КМП-13, КМП-23 и др.
3. Клепальные прессы КП-204 и ПНП-5,5 с комплектами поддержек и обжимок.
4. Измерительный инструмент и калибры для оценки качества отверстий и заклёпочных соединений (штангенциркуль, калибры-пробки, шаблоны, щупы, индикаторы, контрольные заклёпки и т.д.).
5. Образцы из листовых материалов и заклёпки.

Таблица 5.2

Контроль качества заклёпочных соединений

Контролируемые параметры	Средства контроля
Диаметр отверстий	Предельные калибры-пробки
Глубина зенкования	Индикатор часового типа и контрольная заклепка
Высота и диаметр замыкающей головки заклёпки	Специальные шаблоны
Выпучивания обшивки, вмятины	Линейка, щуп
Обводы узлов и панелей	Шаблоны или рубильники стапелей, щуп
Качество клёпки в закрытых местах и трубах	Оптические устройства
Плотность прилегания головок, отсутствие механических повреждений, трещин на замыкающих головках	Визуально, лупы

6. Планшеты с образцами и схемами клёпки.

7. Инструкция по технике безопасности при сверлильно-клепальных работах.

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
2. Ознакомиться с описанием лабораторной работы, её оснащением, сделать краткие записи по схеме отчёта.

3. При заданных величинах толщины пакета и диаметра стержня заклёпки заданного типа определить диаметр отверстия под заклёпку, длину стержня и размеры замыкающей головки, массу поддержки для различных методов ударной клёпки.

4. Установить пакет в тиски, вставить заклёпки и заклепать по 3-4 заклёпки прямым и обратным способами пневмомолотком, используя подобранные поддержки.

5. Оценить качество заклёпочных соединений, используя измерительный инструмент.

6. Настроить пресс КП-204 или ПНП-5,5 на нужный ход обжимки и клепать 3-4 заклёпки. Оценить качество клёпки.

7. Оформить отчёт о выполнении лабораторной работы и ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит назначение заклёпочных соединений в конструкциях самолетов? Какое место они занимают среди соединений различных типов?

2. Назовите преимущества и недостатки ударной клёпки.

3. Назовите преимущества и недостатки прессовой клёпки.

4. Опишите методы образования отверстий и гнезд под заклёпки, а также применяемое оборудование и инструмент.

5. Какие оборудование и механизированный инструмент применяются для клёпки?

6. Как различаются заклёпки по материалам, какие типы заклёпок применяются?

7. Какими могут быть дефекты клёпки?

8. С помощью каких средств и методов определяют качество заклёпочных соединений?

Лабораторная работа № 9

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗАКЛЁПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КЛЁПКИ

Цель работы – ознакомиться с технологическими методами повышения качества заклёпочных соединений, видами технологического оборудования и механизированного инструмента, способами интенсификации процесса клёпки; приобрести практические навыки оценивания качества соединений по величине натяга.

Основные сведения

Заклёпочные соединения в конструкциях самолетов из алюминиевых сплавов являются наиболее многочисленными. Эти соединения также широко применяются в конструкциях, изготовленных из сталей, титановых сплавов, композиционных материалов.

Статистические данные показывают, что абсолютное большинство усталостных разрушений начинается в зоне соединений. Отсюда очевидно, насколько важно выявить факторы, определяющие ресурс заклёпочных соединений, и на основе их анализа разработать мероприятия по обеспечению необходимого ресурса этих наиболее распространенных соединений. Ресурс конструкции, под которым понимают наработку объекта от начала эксплуатации до наступления предельно допустимого состояния, закладывается во время её проектирования и реализуется в виде конкретных технологических решений при её изготовлении. Факторы, определяющие ресурс заклёпочных соединений, можно разделить на три группы: конструктивные, технологические и эксплуатационные.

К технологическим факторам можно отнести:

- точность выполнения отверстий;
- качество поверхностного слоя отверстий;
- величины осевых и радиальных натягов в пакете;
- состояние контактных поверхностей;
- распределение и уровень деформаций в заклёпке и пакете;
- структура материалов заклёпки и пакета после образования соединений.

Технологические факторы зачастую являются определяющими в обеспечении ресурса соединений и конструкции.

Соединение заклёпками с компенсаторами

Одним из путей повышения ресурса и герметичности соединений является применение заклёпок с компенсатором типа ЗУК и их модификаций ЗУКМ, ЗУКС, ЗПК, ЗВУК, ЗУКК. Известно, что диаметр стержня обычных заклёпок при клёпке увеличивается неравномерно по толщине пакета. Стержень в отверстии приобретает конусность 2...5 %, вершина конуса повернута в сторону закладной головки. Из-за производственных погрешностей изготовления заклёпок и зенкования гнёзд под потайные закладные головки не обеспечивается плотное прилегание закладной головки к гнезду. Следствием этого является неудовлетворительная герметичность и невысокий ресурс заклёпочного соединения.

Для получения соединения с равномерным и высоким по толщине пакета натягом применяют заклёпки с компенсатором на торце закладной головки. Компенсатор может быть выполнен в виде усечённого конуса (рис. 5.5, а–д), кольцевых (рис. 5.5, е) и цилиндрических (рис. 5.5, ж, и) выступов. При клёпке одновременно с образованием замыкающей головки компенсатор утапливается в тело заклёпки поверхностью клепального инструмента, вызывая радиальное течение материала как в зоне закладной головки, так и в зоне перехода стержня в закладную головку (рис. 5.6). На рис. 5.7 показан характер распределения натяга по толщине пакета при использовании стержневых заклёпок обычного исполнения и заклёпок с компенсатором.

Технологический процесс соединения заклёпками с компенсатором аналогичен процессу соединения обычными заклёпками.

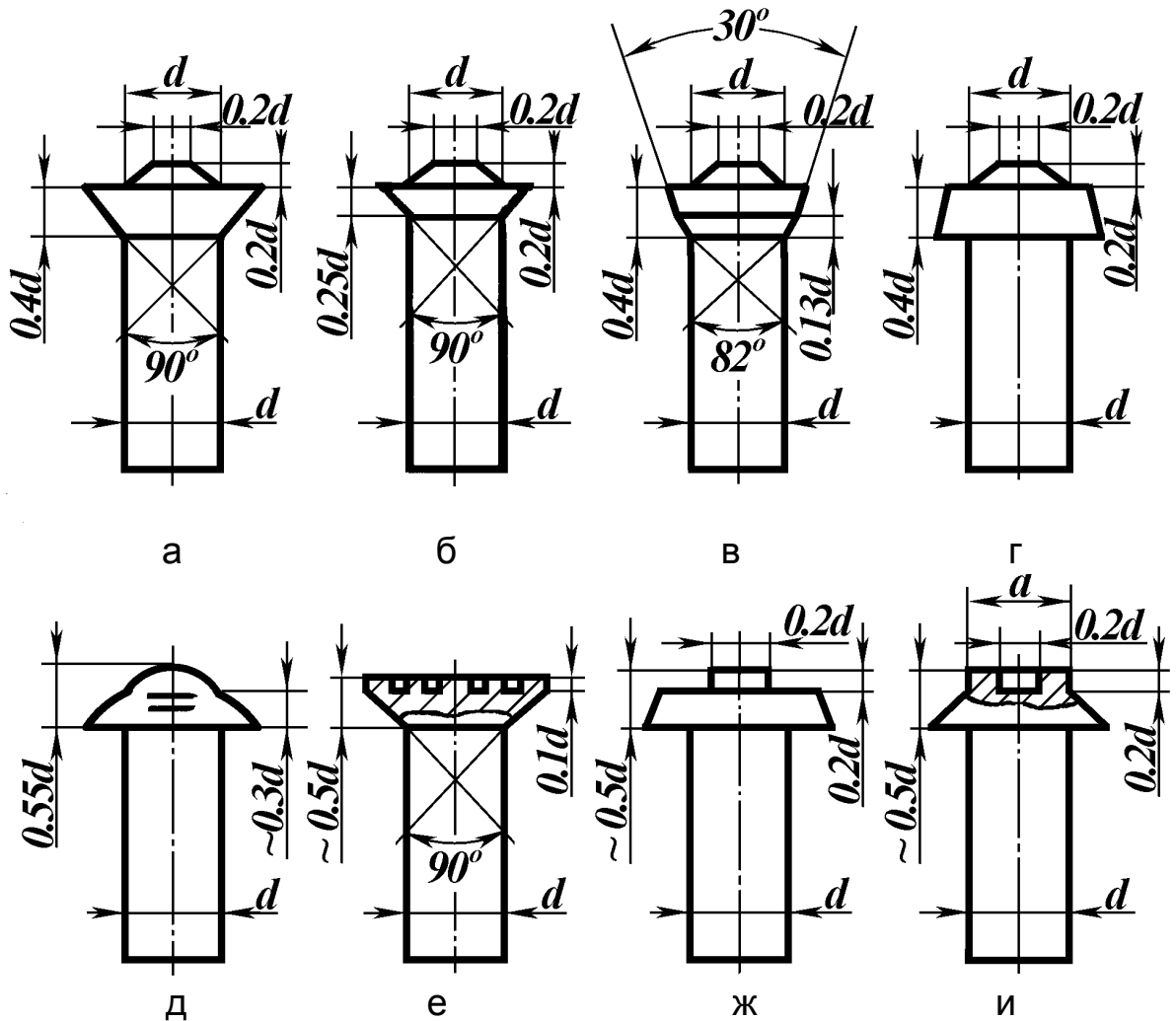


Рис. 5.5. Заклёпки с компенсаторами: а – ЗУК (ОСТ 1.12020–75); б – ЗУКМ (ОСТ 1.34047–80); в – ЗУКС (ОСТ 1.34043–80); г – ЗПК (ОСТ 1.34040–79); д – ЗВУК (ОСТ 1.34040–79); е – ЗУКК (ОСТ 1.34052–85); ж – ЗПКМ (ОСТ 1.34040–79); и – ЗВУКК (ОСТ 1.34047–80)

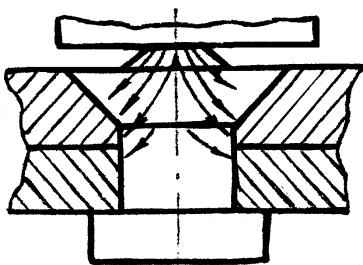


Рис. 5.6. Схема течения металла при соединении заклёпкой с компенсатором

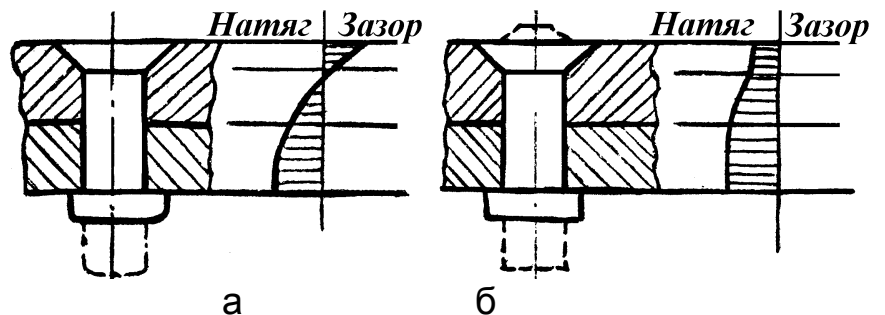


Рис. 5.7. Распределение натяга по толщине пакета:
а – обычная заклёпка;
б – заклёпка с компенсатором

Клёпка стержнями

Применение клепальных автоматов позволило использовать заклепки без закладной головки – стержневые заклепки. При этом способе клёпки происходит одновременное расклёпывание головок с обеих сторон пакета. Такие заклёпки обеспечивают лучшую герметичность конструкции и её наибольший ресурс. При клёпке стержнями можно получать соединения с двумя выступающими головками или соединения, в которых одна головка потайная, а вторая – выступающая (плоская или полукруглая). Потайная замыкающая головка, как правило, представляет собой двойной конус с углами 60 и 120°.

Методы интенсификации процесса ударной клёпки

Один из путей интенсификации процесса и повышения качества заклёпочных соединений – повышение скорости деформирования при клёпке. На параметры процесса ударной клёпки влияют следующие основные факторы: масса и скорость перемещения бойка (обжимки), усилие и время деформирования стержня заклёпок, пластичность материала заклёпки, масса поддержки. Поскольку усилие клёпки и пластичность материала заклёпки для определенных марки материала и диаметра стержня заклёпки, формы и размеров замыкающей головки можно считать условно постоянными величинами, то другими параметрами процесса ударной клёпки можно управлять, изменяя массу бойка и скорость его перемещения.

При ударной клёпке работу деформации выполняет боёк, летящий с определённой скоростью (система "боёк – обжимка"), кинетическая энергия E_{δ} которого в момент столкновения с заклёпкой переходит в работу деформации:

$$E_{\delta} = A_{\text{деф}}.$$

Кинетическая энергия бойка, накопленная за время его разгона, определяется известным соотношением

$$E_{\delta} = \frac{m_{\delta} V_{\delta}^2}{2},$$

где m_{δ} – масса бойка или системы "боёк – обжимка"; V_{δ} – начальная скорость соударения бойка и заклёпки.

Очевидно, что наиболее эффективным способом повышения энергии удара переносных клепальных устройств является повышение скорости перемещения бойка, что даёт возможность клепать одним ударом, используя импульсное устройство. Процесс одноударной клёпки

по сравнению с обычной клёпкой многоударными молотками обеспечивает получение высокопрочных соединений благодаря более равномерной радиальной деформации стержня заклёпки, более высокой интенсивности деформации отверстия и уменьшению величины зоны упруго-пластических деформаций в соединяемых элементах, повышению стабильности параметров заклёпки. Улучшаются условия работы клёпальщиков вследствие снижения шума и исключения вибраций.

В табл. 5.3 приведены технические характеристики импульсных клепальных молотков, разработанных на кафедре технологии производства ЛА (ХАИ), которые можно применять для клёпки авиационных конструкций – как цельнометаллических, так и выполненных из композиционных материалов.

Таблица 5.3

Технические характеристики импульсных клепальных молотков

Параметры	Пневмогидравлические молотки		Пневматические молотки	
	КИМ-4	КИМ-6	МП-4	МПИ-90М
Энергия удара (максимальная), Дж	70	150	80	120
Наибольший диаметр заклёпки из сплава В65, мм	4	6	4	5...6
Цикличность работы, уд./мин	16...18	14...16	50...60	50...60
Усилие, прикладываемое к рукоятке, Н	0...10	0...10	0...5	0...5
Усилие нажатия на кнопку (курок), Н	-	-	2...10	1,5...2
Габаритные размеры, мм	-	-	400×170×100	420×200×90
Масса молотка, кг	2,3	2,8	2,2...2,8	2,8...3,2
Давление воздуха в сети, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5
Давление жидкости мультипликатора, МПа	14...15	14...15	нет	нет

Методика определения натяга

В целях исследования влияния способа клёпки (прессовой, многоударной пневмомолотками, одноударной импульсными молотками) на радиальный натяг выполняется следующее: образование отверстий и снятие заусенцев; измерение диаметров отверстий; установка заклёпок и клёпка различными способами; разрезание пакетов и извлечение заклёпок; измерение диаметров стержней заклёпок на нескольких уровнях пакета; вычисление значений натяга по формуле $\Delta = (d' - d_o) / d_o$, где d' – диаметр стержня заклёпки (после клёпки), d_o – диаметр отверстия.

Образование отверстий включает в себя операции сверления диаметром 3,8 мм с последующим развертыванием до диаметра 4,1Н9 в два перехода (4,05Н9 и 4,1Н9) для обеспечения стабильности размеров

получаемых отверстий. В целях обеспечения перпендикулярности оси отверстия к поверхности пакета сверление отверстий выполняется на станке (или сверлильной машине с применением упора). Возможно образование отверстий за один переход комбинированным инструментом – сверлом-развёрткой.

Для получения достоверных результатов по каждому способу клёпки выполняют три точечных соединения. Диаметры отверстий измеряют индикаторным нутромером на нескольких уровнях по толщине пакета. После этого выполняют клёпку пакетов на прессе, пневмомолотком и одноударным импульсным молотком (по три заклёпки). Качество образования замыкающих головок контролируется измерением их геометрических параметров штангенциркулем или предельными калибрами. Заклёпки из пакетов вынимают, разрезая их слесарной ножовкой. Пакет разрезают без повреждения стержня заклёпки. После извлечения заклёпок диаметр стержня измеряют на нескольких уровнях пакета с помощью индикатора в специальном устройстве. По полученным измерениям вычисляют местные и средние значения натяга и строят графики его распределения (рис. 5.8).

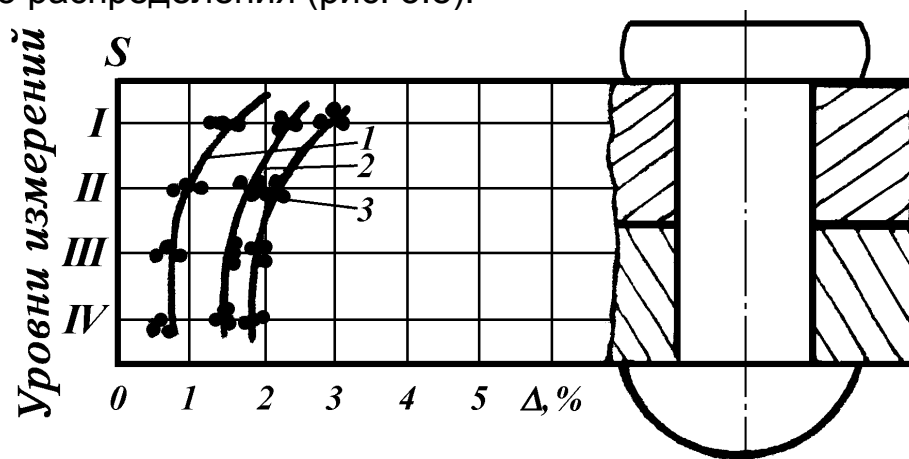


Рис. 5.8. Распределение натяга по толщине пакета: 1 – прессовая клёпка; 2 – многоударная клёпка; 3 – импульсная клёпка

Комплектация лабораторной работы

1. Клепальный пресс КП-204 (ПНП-5,5).
2. Клепальный пневмомолоток КМП-21 (КМП-23).
3. Импульсный клепальный молоток КИМ-4 (МПИ-90М).
4. Сверлильная машина СМ-21-25 с насадкой или сверлильный станок Н12.
5. Поддержки для клёпки.
6. Образцы пакетов из Д16Т.
7. Сверло $\varnothing 3,8$ мм, развёртки $\varnothing 4,05Н9$ и $\varnothing 4,1Н9$ или сверло-развёртка $\varnothing 4,1Н9$.
8. Индикаторный нутромер для измерения диаметров отверстий от 4 до 9,5 мм.

9. Устройство с индикатором для измерения диаметров заклёпок.
10. Штангенциркуль и предельные калибры для измерения параметров замыкающих головок.
11. Ножовка по металлу.
12. Тиски.
13. Заклёпки ЗК-4-13, ЗК-4-14, ЗП-4-13, ЗП-4-14.
14. Технологические болты.

Последовательность выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
2. Ознакомиться с содержанием работы и выполнить необходимые записи в журнале отчетов.
3. Определить длину стержня заклёпки для конкретной толщины пакета.
4. Согласно методике выполнить отверстия в пакетах и измерить их диаметры на нескольких уровнях; данные записать в журнал согласно табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты измерений

Вид клёпки	Номер отверстия (заклепки)	Диаметр отверстия d_o , мм				Диаметр заклёпки d' , мм				Натяг Δ , %			
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Прессовая	1												
	2												
	3												
	Среднее												
Многоударная	1												
	2												
	3												
	Среднее												
Импульсная	1												
	2												
	3												
	Среднее												

5. Построить графики распределения натяга по уровням пакета для различных методов клёпки (см. рис. 5.7).

6. По графику на рис. 5.9 определить изменение относительной выносливости соединения $N_{отн}$ для различных способов клёпки, приняв за основу для сравнения прессовую клёпку (за стопроцентную выносливость принято количество циклов до разрушения заклёпочного соединения, выполненного с натягом 1 %).

7. По результатам измерений и расчётов сделать выводы о влиянии способа клёпки на относительную выносливость соединения.

8. Ответить на контрольные вопросы.

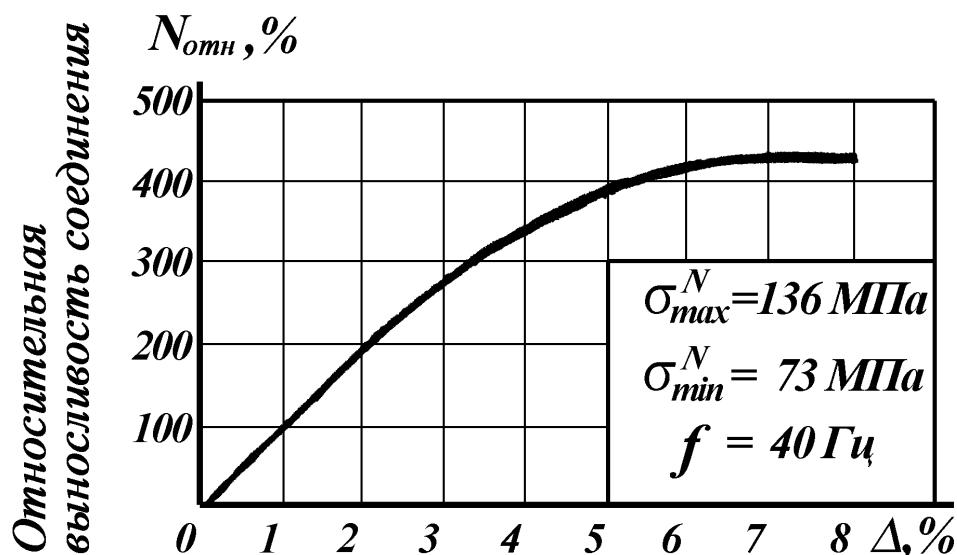


Рис. 5.9. Влияние натяга на относительную выносливость заклёпочного соединения (шва)

Контрольные вопросы

1. Какие технологические факторы влияют на ресурс заклёпочных соединений?

2. Опишите механизм повышения натяга при соединении заклёпками с компенсаторами.

3. Каким является распределение натяга по толщине пакета для обычной заклёпки и заклёпки с компенсатором?

4. Опишите особенности клёпки стержнями и применяемое оборудование.

5. Как определить натяг в заклёпочном соединении?

6. В чем суть и преимущества импульсной клёпки по сравнению с многоударной клёпкой пневмомолотками?

7. Какие физические явления положены в основу принципа действия импульсных клепальных молотков?

СОСТАВ И СВОЙСТВА БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Цемент НИАТ-МЦ

Состав (по массе): цемент марки 500 – (65 ± 5) %;
гипс строительный – (35 ± 5) %;
вода – 35 % от суммарной массы цемента и гипса;
хлористый литий (присадка – 0,1...0,5 % от массы цемента).

Выдержка от заливки до расфиксации – 7...12 мин.

Время затвердевания – 2-3 суток.

Карбинольный цемент

Состав (по массе): карбинольный клей – 20...40 %;
цемент марки 500 – остальное.

Время затвердевания – 12...16 ч.

Готовую смесь можно использовать в течение 2-3 ч.

Эпоксидно-цементная масса

Состав (по массе): эпоксидная смола (связующее) – 15 %
(100 вес. част.);
полиэтиленполиамин (отвердитель) – $(1,50\pm 0,02)$ %
(10-12 вес. част.);
дибутилфталат (пластификатор) – 4 %
(25 вес. част.);
цемент марки 500 (наполнитель) – остальное
(450–500 вес. част.).

Время затвердевания – 5...8 ч при 20...22 °С.

Имеет хорошую адгезию к металлу и древесине, высокую механическую прочность ($15...35 \text{ кг/мм}^2$), очень малую усадку (0,2 %).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ И МОНТАЖА СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Общее (структурное) уравнение для определения погрешности сборки имеет вид

$$P_{сб} = P_{исх.базы} + P_{совм.баз} + P_{баз.разм} + P_{ф} + P_{соед} + P_{др},$$

где в правой части – погрешности исходной базы, совмещения баз, базисного размера, фиксации, соединения, другие погрешности.

Основными параметрами этих погрешностей являются величина поля рассеяния (допуска) δ и координата середины поля рассеяния (допуска) Δ_0 .

Существует два метода расчёта точности сборки (монтажа):

а) метод максимума-минимума:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \delta_i ; \Delta_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i} ,$$

где δ_{Σ} и $\Delta_{0\Sigma}$, δ_i и Δ_{0i} – параметры погрешностей замыкающего и входящих звеньев (составных частей) размерной цепи соответственно, $m - 1$ – количество составляющих звеньев, ξ_i – передаточное отношение составляющего звена;

б) вероятностный метод:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 k_i^2 \delta_i^2} ; \Delta_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \left(\Delta_{0i} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2} \right),$$

где k_i – коэффициент относительного рассеяния погрешностей, α_i – коэффициент относительной асимметрии кривой рассеяния.

Предельные отклонения размера вычисляют по формулам

$$\Delta_{в} = \Delta_{0\Sigma} + \frac{\delta_{\Sigma}}{2} ; \Delta_{н} = \Delta_{0\Sigma} - \frac{\delta_{\Sigma}}{2} ,$$

где $\Delta_{в}$ и $\Delta_{н}$ – верхнее и нижнее отклонения размера соответственно.

При нормальном законе распределения погрешностей $k_i = 0$, $\alpha_i = 0$.

ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕНОСА РАЗМЕРОВ

Этап	Техпроцесс или метод переноса	Отклонение по контуру, мм	Отклонение межосевых расстояний, мм
ТП – КП (ТП – ШКК)	Расчерчивание	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$
КП – ОК	Фотопечать	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$
ОК – ШК	Припиливание	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$
ШК – ШВК	- II -	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$
ШК – ШОК	- II -	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$
КП – ШП	- II -	$\pm 0,1$	$\pm(0,1...0,15)$
ШП – рубильник	- II -	$\pm 0,2$	–
ШВК – формблок	- II -	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$
Шаблоны – ЭП	- II -	$0...-0,2$	–
ЭП – КЭ	Перенос слепком	$0...+0,1$	$\pm(0,1...0,2)$
МЭ – стапель		$0...+0,1$	
КЭ – МЭ (ЭУ)		$0...-0,1$	
ПК – оснастка	Фиксация штырями	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$
ИС – оснастка		$\pm 0,1$	
Формблок – деталь	Штамповка резиной	$0...+0,3$	–
ШОК – деталь	Сверление	–	$\pm 0,2$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология самолетостроения [Текст]: учеб. для авиац. вузов / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др.; под ред. А. Л. Абибова. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
2. Технология сборки самолетов [Текст]: учеб. для авиац. спец. вузов / В. И. Ершов, В. В. Павлов, М. Ф. Каширин, В. С. Хухорев. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.
3. Технология производства летательных аппаратов [Текст]: учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию / под ред. В. Г. Кононенко. – К.: Вища шк., 1974. – 221 с.
4. Боборыкин, Ю. А. Оптико-механические методы монтажа оснастки [Текст] / Ю. А. Боборыкин. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1973. – 60 с.
5. Григорьев, В. П. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов [Текст]: учеб. пособие для авиац. вузов / В. П. Григорьев, Ш. Ф. Ганиханов. – М.: Машиностроение, 1977. – 140 с.
6. Вагнер, Е. Т. Лазеры в самолетостроении [Текст] / Е. Т. Вагнер. – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
7. Федорченко, Б. Д. Расчеты точности сборки и увязки в самолетостроении [Текст]: учеб. пособие / Б. Д. Федорченко. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1986. – 68 с.
8. Федорченко, Б. Д. Решение задач технологической подготовки производства самолетов на основе ЕСТПП [Текст]: учеб. пособие / Б. Д. Федорченко, И. В. Павлов, С. А. Бычков. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 103 с.
9. Букин, Ю. М. Инструмент и оборудование, применяемые при производстве клепально-сборочных работ в самолетостроении [Текст]: учеб. пособие / Ю. М. Букин, С. Г. Кушнаренко. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1981. – 86 с.
10. Технология производства самолетов и вертолетов. Раздел «Сборочно-монтажные работы» [Текст]: учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию: в 2 ч. / В. С. Кривцов, Ю. М. Букин, Ю. А. Боборыкин, Ю. А. Воробьев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – Ч. 1. – 258 с.
11. Технология производства самолетов и вертолетов. Раздел «Сборочно-монтажные работы» [Текст]: учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию: в 2 ч. / В. С. Кривцов, Ю. М. Букин, Ю. А. Боборыкин,

- Ю. А. Воробьёв. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2006. – Ч. 2. – 221 с.
- 12.Букин, Ю. М. Технология производства самолетов и вертолетов. Сборочно-монтажные и испытательные работы в самолёто- и вертолётостроении [Текст]: консп. лекций / Ю. М. Букин, Ю. А. Воробьёв. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2003. – 331 с.
- 13.ДСТУ 2232–93. Базування та бази машинобудування. Терміни та визначення. – Введ. 09.09.93. – К. : Держстандарт України, 1994. – 35 с.
- 14.ДСТУ 2390–94. Складання. Терміни та визначення. – Введ. 01.01.95. – К. : Держстандарт України, 1995. – 30 с.
- 15.Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] : в 3 т. / В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 920 с.
- 16.Kihlman, H. Affordable automation for airframe assembly [Текст] / H. Kihlman. – Sweden : Roland Offsettryck, 2005. – 286 p.

THE LIST OF ADOPTED ABBREVIATIONS

A	–	ЛА	–	Aircraft
AB	–	КБ	–	Assembly base
AH	–	СО	–	Assembly hole
AJ	–	СП	–	Assembly jig
AMW	–	СМР	–	Assembling and mounting work
AU	–	СЕ	–	Assembly unit
BH	–	БО	–	Basic hole
CFH	–	КФО	–	Coordinate-fixing hole
CNC	–	ЧПУ	–	Computer numeric control
CNCM	–	СтЧПУ	–	CNC Machine
CP	–	ОК	–	Control print
CS	–	КЭ	–	Counterstandard
CTM	–	КШМ	–	Coordinate-template method
CTP	–	КТП	–	Chart of technological process
DD	–	КЧ	–	Design drawing
DDT	–	КЧО	–	Design drawing of tooling
DL	–	КП	–	Design loft
DM	–	СМ	–	Drilling machine (manual)
DTM	–	ДТМ	–	Directive technological materials
FWT	–	КРС	–	Frame with working templates
GH	–	НО	–	Guiding hole
IS	–	ИС	–	Instrumental Stand
JBH	–	ОСБ	–	Joint bolt hole
LC	–	ПК	–	Loft-conductor
LCMS	–	ЛЦИС	–	Laser centric-and-measuring system
LFH	–	УФО	–	Locating-fixing hole
LTM	–	ПШМ	–	Loft-template method
MB	–	ИБ	–	Measuring base
MH	–	МО	–	Mounting hole
MI	–	ПИ	–	Manufacturing instruction
MMS	–	ММП	–	Mathematical model of surface
MS	–	МЭ	–	Mounting standard
NMP	–	ЭМИ	–	Numerical model of product
OMS	–	ОМС	–	Opto-mechanical system
P	–	Д	–	Part
PB	–	ТБ	–	Processing base
Pr	–	Пр	–	Program

PRG	–	КМП	–	Pneumatic riveting gun
PrIM	–	ПрИМ	–	Program-instrumental method
SM	–	ПСК	–	Sand mold
SS	–	ЭП	–	Surface standard
STM	–	ЭШМ	–	Standard-template method
TB	–	ШГ	–	Template of bending
TC	–	ШК	–	Template of contour
TCC	–	ШОК	–	Template of contour cutting and conductor for part drilling
TCM	–	ШХФ	–	Template of chemical milling
TCO	–	ШКК	–	Template of control of outline
TCP	–	ТКП	–	Technological coordinate plate
TCS	–	ШКС	–	Template of cross-section
TD	–	ШСД	–	Template of drilling
TGC	–	ШГР	–	Template of group cutting
TIC	–	ШБК	–	Template of inner contour
TJ	–	ШП	–	Template of jig
TL	–	ТП	–	Theoretical loft
TM	–	ШФ	–	Template of milling
TO	–	ТК	–	Theoretical outline
TPD	–	ШРД	–	Template of part development
TPM	–	ТПП	–	Technological preparation of manufacturing (preproduction)
TR	–	ТУ	–	Technical requirements (specification)
TTP	–	ТПП	–	Typified technological process
USDD	–	ЕСКД	–	Unite system of design documentation

INTRODUCTION

The variety of designs of modern aircraft is caused by their various purposes and ranges of application. Thus each modern aircraft as an object of production has some typical for any aircraft peculiarities, which create the specifics of aviation manufacturing. For example, multidetaility of an airframe and the wide nomenclature of used materials resulted in the large volume of the assembling and mounting works which labour-intensiveness comes practically to 70% of the whole labour-intensiveness of the airplane (helicopter) production. Availability of non-rigid but large-sized parts forces to use special jigs while assembling, and high requirements to the accuracy of aircraft geometry – specific methods of coordination. That, in turn, results in necessity of difficult and long preparation of assembling and mounting facilities for aircraft production which purpose is the insure the possibility of aircraft manufacturing with the required quality, in necessary quantity and in the required time.

In the laboratory work cycle presented in this manual, all aspects of assembling and mounting manufacturing are considered. First of all, technology of assembling of aircraft units and aggregates: existing assembly methods, technique of their choice, procedure of assembly technological processes and other necessary documentation working out. The following issue is about to manufacturing of tooling for assembly production – jig mounting procedures while different coordination methods. Modern contactless methods of aircraft structures assembling and jigs mounting are especially discussed. Final part of the manual narrates about joining processes. Methods and means of fulfilling of the most widespread in aviation joints – riveted ones – are considered.

The laboratory classes promote formation of future engineer's practical skills of working out the technological processes of assembling and drawing up of necessary documentation, and of choosing of technological tooling for assembly works performing.

All the materials are given in Russian and English languages. The English text is intended, first of all, for foreign students, but can be useful also for Russian-speaking students for terminology studying.

The authors of this workbook express deep acknowledgement to the senior lecturer of the department of aircraft manufacturing Pavlenko Alexey Anatolyevich for the constant help and informational support while preparation of the English text of this workbook.

1. GENERAL PRINCIPLES OF ASSEMBLING WORKS

Locating during assembling operations and assembly methods

The principal terms and definitions related to the workpieces locating and their bases are set out in ГОСТ 21495-76 and ДСТУ 2232-93.

Locating means proper positioning of a blank or the product with respect to the selected coordinate system.

Base is the surface, axis, or point that belongs to the blank or product and is used for purpose of locating.

Project base - base selected during designing, manufacturing or repairing of the product.

According to the theoretical mechanics correct position of the solid body relatively to the selected coordinate system can be achieved by imposing of geometric constraints.

In the general case body bounded with real surfaces may be in contact with the bodies, which determine its position, only at the individual elementary areas (spots), conventionally regarded as a point of contact.

Six constrains, depriving the body displacements in six directions, can be created by six body contact points. In the case of the ideal form of surfaces it is considered that the necessary constraints are imposed due to the contact of bodies' surfaces, and the presence of real constraints is symbolized by the reference points that are theoretical.

Locating point – a point that represents one of constrains of blank or product with the selected coordinate system.

Locating chart – the chart of the locating points arrangement on the bases. Number of blank or product projections in the locating chart should be sufficient for a clear idea of locating points placing.

Imposing of geometric bilateral relations can be achieved by contact of the body surfaces with the surfaces of other bodies to which it is attached, and by the applying of forces or couple of forces to ensure contact between them.

Fixing (or clamping) – the applying of forces to the blank or the product to stabilize its position, which it acquired during locating.

Positioning – locating and fixing (or clamping) of a product.

The classification of bases is build upon the following considerations.

All the variety of surfaces of parts of the mechanical engineering products can be reduced to four types:

- Executive surfaces – the surfaces by which blank performs its function in operation;
- Main bases – the surfaces which determine the position of the considered part in the product;
- Auxiliary bases – the surfaces which determine the position of the attached parts with respect to considered part;
- Free surfaces – the surfaces that are not in contact with the surfaces of other parts.

Locating is necessary for all the stages of a product making – designing, manufacturing, measuring, and when considering the product as a whole. This implies the classification of bases by purpose: assembly, processing, and measuring (Fig. 1.1).

By Purpose

Assembly Bases

Main Bases

Auxiliary Bases

Processing Bases

Measuring Bases

**By Degrees of Freedom
Being Taken**

Setting Bases

Guiding Bases

Resting Bases

Double
Guiding Bases

Double
Resting Bases

By Nature

Real Bases

Latent Bases

Fig. 1.1. Classification of Bases

Assembly base – the base used to determine the position of the part or assembly unit in the product.

Main base – the assembly base of the part or assembly unit used to determine their position in the product.

Auxiliary base – the base of the part or assembly unit that is used to determine the position of the product that is attached to them.

Assembly bases are divided into main and auxiliary. This base division is used for the product drawing development, and during its manufacturing. The need for such classification is resulted from the roles dissimilarity of the main and auxiliary bases and the importance of considering this fact during both the designing of the product (choosing of the part surfaces structural shapes, specifying of their relative positions, dimensioning, specifying of accuracy grades, etc.) and the developing and implementing of technological processes.

Processing base – base used to determine the position of the blank or the product during the manufacturing or repairing.

Measuring base – base used to determine the relative position of the blank or the product and the measuring tool.

Locating laws are common for all the stages of product creating, and therefore, regardless of the purpose bases may be differ only in the number of degrees of freedom, which are taken from the blank, part or assembly unit, and

in their nature. Therefore, there is an additional bases classification: with respect to degrees of freedom that are taken and their nature (see Fig. 1.1).

Usually aircraft parts have complex geometry. However, the typical geometric surface on the parts (flat, cylindrical interior and exterior, etc.) can be identified.

Set of bases for prismatic parts are setting, guiding and resting bases.

Setting base – base used for applying to the blank or product constrains, depriving them of three degrees of freedom – possibility to move with respect to the one of the coordinate axes and rotations about the other two axes.

Guiding base – base used for applying to the blank or product constrains, depriving them of two degrees of freedom – moving along a coordinate axis and rotating around other axis.

Resting base – base used for applying to the blank or product constrains, depriving them of one degree of freedom – moving along a coordinate axis or rotation around the axis.

Double guiding and double resting bases are used for the parts locating by the holes.

Double guiding base – base used for applying to the blank or product constrains, depriving them of four degrees of freedom – movement along two axes and rotation around these axes.

Double resting base – the base used for applying to the blank or product constrains, depriving them of two degrees of freedom – movement along two axes.

Latent base – base in the form of imaginary plane, axis or point.

Real base – base in the form of the real surface, marking lines or the point of marking lines intersection.

During the early stages of the assembly technological processes developing the possible sets of bases are considered, and then locating chart is drawn up in the form of sketch of the product with the set of selected technological bases that schematically shown on it (sign \surd is used).

Techniques and means of the locating chart implementing, that is, positioning parts into required position, are called *the assembly methods*. On the grounds of locating, there are two classes of assembly methods (Fig. 1.2).

Assembly processes are multivariant, because usually the product can be assembled according to drawing and specifications by using of different assembly methods, or its combinations. To select the particular variant, we need to decide which of them can provide the required quality of products with the lowest expenses of the manufacturing and its preparation (preproduction).

Assembling is the positioning (i.e. locating and fixing) and jointing of the assembly components, and also auxiliary assembly operations. Thus,

$$E_{as} = E_{loc} + E_{joint} + E_{other},$$

where E_{as} – the error of product assembling as to required parameter; E_{loc} , E_{joint} – errors of locating and joining; E_{other} – errors of auxiliary operations, and errors caused by locating and joining (due to inner stresses, for instance), which are revealed in some period of time.

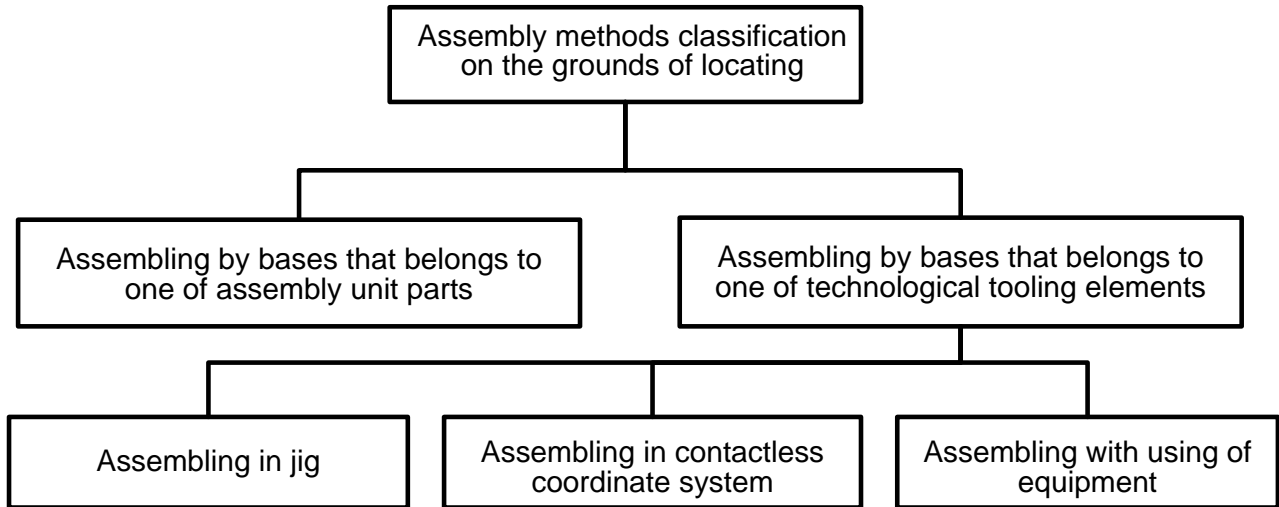


Fig. 1.2. Assembly methods classification on the grounds of locating

Principles of locating during assembling

1. *The bases unity principle* is the need to combine project bases with the processing bases. Since the project bases are considered before the processing bases, it means that as the processing bases it is necessary to assume the project bases.

Failure to comply with this principle (no following to it) will be resulted in mismatch between the project and technological bases, so called basic size with its own error inevitably.

2. *The bases combination principle* requires combining of processing bases with assembly bases. Since the assembly bases are considered before the processing base, then the assembly bases should be assumed as processing bases.

Failure to comply with this principle resulted in the mismatch size appearance between processing and assembly bases (during this stage of the assembling). This size is also basic.

3. *The bases constancy principle* is the need to combine the processing bases during this stage of the assembly process with the processing bases for the subsequent and previous stages of assembling and processing. Since the assembly process design procedure is going "from the whole to the particular", i.e. at first we consider the processing bases for assembling the product as a whole (airframe), and then aggregates and assembly units of lower levels of the product structure, it means that as the processing bases of subassemblies and parts are necessary to assume the processing bases of the components of

higher levels of the product structure. In other words, once the chosen processing bases must be retained at all stages of processing and assembling.

Failure to comply with this principle also resulted in the basic dimension appearance and its error.

Assembly process design procedure

Initial information for the technological process developing is divided into basic, guiding and reference.

Basic information – is the information about the product (given in the design documentation), and the output program and volume (amount).

Guiding information is given in the standards, technical requirements (specifications), technological and manufacturing instructions, directive technological documents (materials), costs normals (e.g., as to the time, materials), standards of labour protection, and technological classifiers, typified processes, etc.

Reference information are provided in technological documentation for pilot production and actual technological analogue processes, descriptions of experience of technical solutions, techniques, catalogues, reference books, albums of tools and equipment, etc.

In *the directive technological materials* the principles of the assembly work are given. Their composition is not regulated, but usually the dismantling diagrams (partition of the product into its assembly components) and the assembly diagram (sequence of assembly components positioning during assembling with additional information about the tooling and techniques of the assembling) are performed first.

In the dismantling diagram the product and its assembly component (assemblies and parts) with their mutual positions are represented in any perspective.

Assembly diagram is made out in the view of block diagram of assembling, where the blocks are the parts, assemblies, finished product and the assembly jigs.

There are three types of assembly:

- Sequential (closed);
- Parallel (differentiated);
- Parallel-sequential (combined).

Development of working assembly process (for full-scale production) includes a complex of interrelated activities:

1) Analysis of the initial data and the needs for additional information, and assigning of the classification type of product;

2) Searching for the typified, group or individual (particular) technological process-analogue;

3) The typified process updating or the developing of the new technological route of assembling (i.e. assembly sequence) in several variants;

4) Selecting of bases, i.e. assembly methods, and evaluation of the assembly accuracy;

5) Defining of the technical requirements (demands) for the assembly components (subassemblies and parts (blanks)) supply;

6) Designing of the technological operations with using typified technological steps, the choice of technological tooling means (equipment, jigs, and tools);

7) Calculation (or selecting) of the technological modes and normalizing of operations time, assigning of the work performers skill category and professions;

8) Assigning of safety requirements;

9) Evaluation and substantiation of the technical, economic and social efficiency of the different variants of the assembly process, and selecting of the optimal one;

10) Forming of the set of technological documents.

Depending on the purpose the technological documents are divided into the main and auxiliary ones.

Main documents are fully and uniquely define the process and contain the summary information that is necessary for solving of engineering, planned-economic and organizational tasks.

Depending on the kind and type of production and the applied methods of manufacturing (technologies) the main documents are divided into the general purpose documents (title page, sketch chart, technological instruction) and the special purpose ones (flow charts, operating chart, parts list, tool layout chart, etc.).

Auxiliary documents (derivative ones) are developed on the ground of main ones and have organizational and technical nature (order chart for the assembly tooling, technical requirements for the assembly tooling designing, the report of the process implementation, technological certification, assembly cycle diagram, technical requirements for the parts and subassemblies supply, etc.).

Text of technological process for the large-scale production is given in the description of the operational breakdown, i.e. it has such a structure as to the content of operations:

1) Keyword – description of the action (technological operation, or technological step) for either processing or assembling, written by verb in the infinitive form ("locate", "clump", "mark", "drill", "rivet", etc.);

2) Information about the amount and type of processed surface elements (such as "drill 3 holes") of products or assembly components (such as "rivet 3 rivets");

3) Information about the dimensions of the processed surface elements ("holes with $\varnothing 4,5$ ") or with various components of the product ("rivet 4–10 by OCT 1.34043–85 ");

4) Additional information, such as "by the making," "by GH", "by AH", "by CFH", "by template", "by stoppers", "according to sketch, to the drawing", "with providing adjacency".

It is allowed either the full or the short form of operations and steps recording (definition) depending on the need of the document developer. For example, to the complete recording "drill 21 holes with $\varnothing 4,05$, with following dimensions 1 and 2" corresponds the shorthand "Drill the holes according to the drawing".

The records can use the words and phrases reduced in accordance with the standards. For example, there are long and reduced names of items of production and their structural features: part – pt., product – prod., blank – bl., contour – c-r.

Also in technical documentation it is used the shorthands in accordance with USDD, such as longeron – l-n., stringer – str., frame – fr., as well as so called "shorthands of industry branch", for example: technological screw – t/s, assembly, guiding, coordinate-fixing holes – AH, GH, CFH respectively.

If the technological operation, processing step, or their element fully in line with either the typified technological process (TTP) or manufacturing instruction (MI), the record is given in reduced form with indicating of those documents numbers.

According to the standards in specific rows and columns of the operation chart (OC) the following data are given: safety requirements (number of instructions), means of technological tooling (equipment, tooling, tools and their types, codes, standards), the work performers skill category and professions, normalized time.

Along with the flow and operation charts for assembling the technologist which develops the assembly process also creates a derivative technological documentation:

a) Technical requirements (summary, charts) for parts and subassemblies supply for assembling (Table 1.1);

b) An order chart for the assembly tooling designing for performing (realization) of this technological process with technical requirements for this tooling (example is given in Table 1.2).

In these documents the properties (features, elements, parameters) of the produced items (parts and subassemblies, which are the assembly components of assembled item) and means of work (assembly jig and other means of technological tooling) are indicated for process performing. For example, operation "Locate Bottom in the assembly jig by CFH" requires coordinated coordinate-fixing holes (CFH) in Bottom and assembly jig locators; operation "Locate Stiffener on the Bottom by AH" requires that both the Stiffener and the Bottom have coordinated assembly holes (AH).

Table 1.1

Technical requirements for parts and subassemblies supply
for assembling of the frame № 42

Name of Assembly Component	Drawings Number	Amount	Availability of allowance	Availability of holes (GH, AH, JBH, CFH)	Note
Bottom	0312.10AD	1	2 mm at the butt	3 AH, 3 CFH Ø5H9	assembled according to the assembly diagram
Left sidewall	0372...	1	2 mm at the butt	2 CFH Ø5H9	-
Boom	0342...	1	-	48 GH	-
Fitting	0342...	1	2 mm at JBH	12 GH	-
Stiffener	0342...	1	-	14 GH, 2 AH	-

Note. Holes GH and AH have Ø2,6H12 (or Ø2,7H12) and CFH - Ø8H9 (or Ø5H9, Ø6H9) depending on the product overall dimensions.

Table 1.2

Technical requirements for the designing of the assembly jig
for assembling of the frame № 42

1	Function	For pre-assembling of the frame № 42 (with further sealing and press riveting)
2	Priority	Tooling of the first waiting line, developed for the first time
3	Assembly Components List	Bottom, Sidewalls (Left, Right), Booms, Fittings, Stiffener, Edgings, Struts, ...
4	Status of supply	With the allowances for assembling and technological holes according to the technical requirements for the supply
5	Order of assembling	Locating of Bottom and Sidewalls, fixing by t/s, ...
6	Locating chart or List of Bases	Bottom and Sidewalls – by CFH, booms – by outline, fittings – by the joint-bolt holes (JBH), ...
7	Tools for assembly work	Hand mechanized pneumatic tools
8	Tooling for products removing from the jig	By hand (manually)
9	Technical requirements to assembly jig design	a) Item position – vertical, as in flight; b) The facilities of the jig mechanization – not required; c) Means of mounting (coordination) – standard (mock-up) of frame № 42; d) Other requirements: to provide a removable conductor, and platform at height of 1200 mm from the floor

2. UNIT ASSEMBLING IN AIRCRAFT MANUFACTURING

Units are the smallest components of a product (aircraft, helicopter) that is structurally and technologically completed (for each unit, as a rule, the individual assembly drawings is issued):

- Flat airframe units that are close or not close to the theoretical outlines of aggregates (longerons, ribs, frames, beams);
- Spatial airframe units ("spiders" of the wingframe, frames of navigation and radio equipment, cockpit canopies);
- Airframe panels – the airframe parts joined to the skin, i.e. skins that reinforced with load-carrying structural elements;
- Structures of door-type (assembly units): hatch cover, and covers of shields, fairings, channels;
- Units and panels of on-board systems and airborne equipment (control panels, collectors, chairs, mechanisms); their assembling is commonly called mechanoassembling.

In the units structure it can be singled out the assembly components (subassemblies, assembly groups) that are assembled independently and then joined into the whole unit. Such components are called subunits and for them the individual assembly drawings aren't issued.

Thus, the objects of the unit assembling are units (including panel) and subunits of airframe and onboard aircraft systems.

Laboratory work № 1

ASSEMBLING AND CHECKING OF THE FLAT TECHNOLOGICAL UNITS (ASSEMBLING BY AH AND IN THE READJUSTABLE ASSEMBLY JIG)

The purpose – to get acquainted with the essence of methods of assembling by AH and in the assembly jig, with the mounting procedure of readjustable jigs for assembling and checking of flat technological units, with the sequence of developing of the assembly and checking technologies, with the methods of the contour accuracy determining for the units assembled in the jig and by AH.

Basics

In large-scale production the technological units are the most numerous group among all the assembly units of airframe structures. It is especially typical for the modern wide-body aircraft assembling, when the amount of such assembly units as sections and compartments is reduced, and into the main assembly jig for the aggregate (e.g. wing, fuselage) the individual units, panels, parts are supplied.

The most of technological units (assembled ribs, frames, spars, beams) due to their small thickness have a "flat" design. Basic methods of their assembling – by AH and in the jig (Fig. 2.1).

During assembling by AH the parts of the unit are located due to aligning of AH and temporarily fixed by technological fasteners, e.g. bolts. As a result, the error of assembling in the plane of parts mating is determined (Fig. 2.2) by the following errors:

- Of AH placement at the basic part – $E_{loc(AH)}$;
- Of AH placement at the other parts incoming into the unit with respect to their outlines (contours) – $E_{inc(outline-AH)}$;
- Of parts fixing at AH – $E_{fix(AH)}$;
- Of parts joining (due to the loads and temperature effects) – E_{joint} ;
- Other errors resulted from the curvature and stiffness of parts, amount of AH and their position – E_{other} .

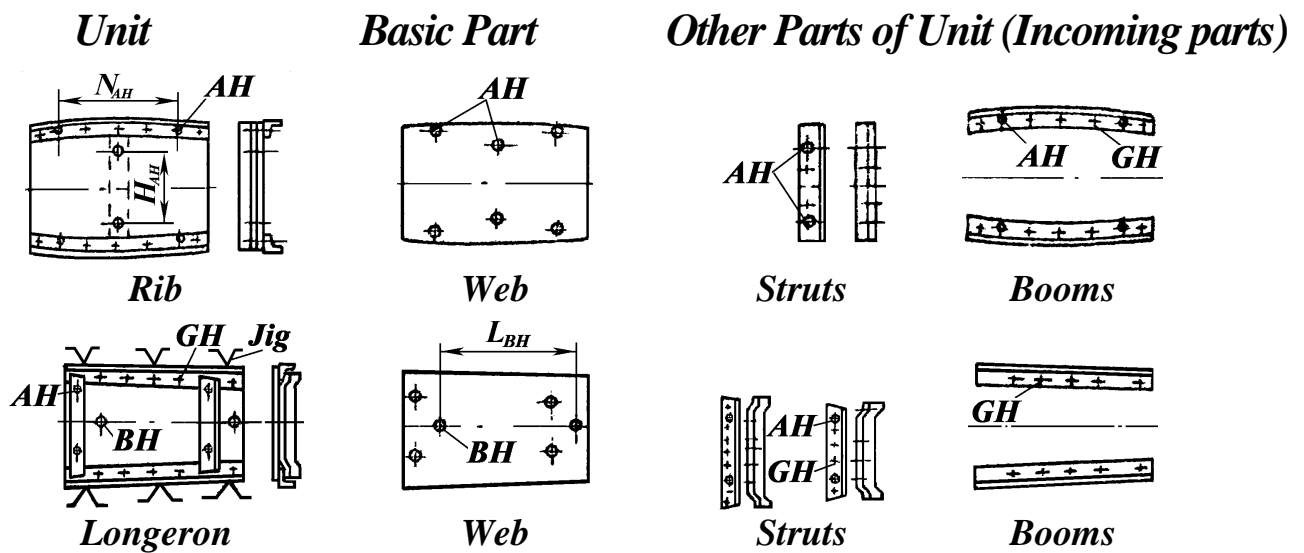


Fig. 2.1. Locating during unit assembling and conditions of parts supply for assembling by the AH and in the jig

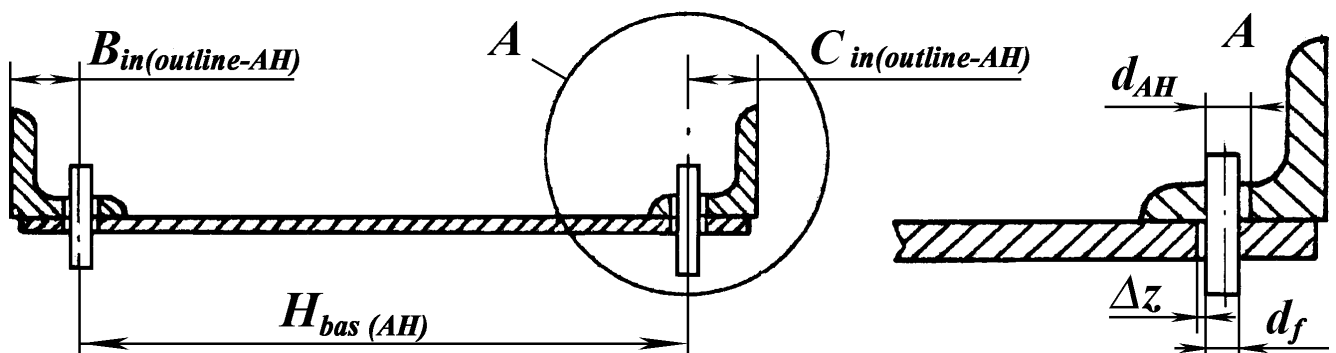


Fig. 2.2. Scheme of errors initiation during assembling by AH

Thus, we can write

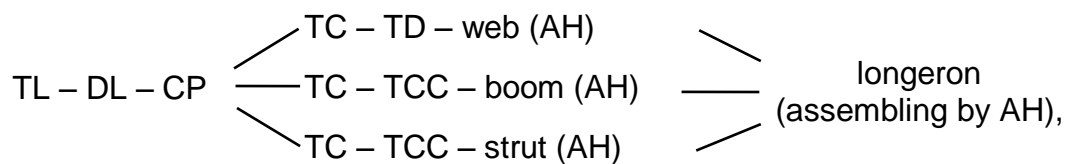
$$E_{as(AH)} = E_{loc(AH)} + E_{inc(outline-AH)} + E_{fix(AH)} + E_{joint} + E_{other}$$

Let's analyze the causes of errors initiation and methods for their determination:

1. To improve accuracy of AH coordination for basic and incoming parts of the unit the independent AH systems, which involved in solving of specific functional problems, are allocated. So, in the rib (see Fig. 2.1), that consist of web, booms and struts, the basic part (web) has two AH systems – for the booms and struts (according to their amount).

The AH are assigned in the places of rivets or bolts arrangement, i.e. in places where structural holes are necessary. For brazed, glued and welded joints AH are assigned in other way. AH are drilled in parts with using either templates (TC, TPD, TD, and TCC) or conductors (specific or universal). Sometimes AH are punched in stamps.

The AH coordination are initially performed on the design lofts, and then - by flat and spatial carriers of dimensions (templates, tooling). Let's show the one of the variants of dimensions transferring and coordination in the form of block diagram (the dimension transferring diagram):



where TL – theoretical loft; DL – design loft; CP – control print.

Under program-instrumental method the mathematical model of the surface (MMS) and the electronic model of the product (EMP) are used instead of lofts, and the templates are produced by CNC machine (CNCM).

2. Errors of AH placement at the incoming parts of the unit with respect to their outlines (external surfaces of rims) occur during location and drilling of parts by conductor or templates (TCC, TD). Thus, $E_{inc (outline-AH)}$ also can be calculated with using of the dimension transferring diagram.

3. The error of parts fixing at AH is the result of mismatch of the AH and fixing fasteners diameters. To provide uniformity of tooling items (templates, conductors) the AH diameter should be chosen from the recommended line of dimensions [14]: 2,6 mm – for small subassemblies, 8 mm – for large ones. Using of other diameters (as a rule of 4, 5 or 6 mm) should be grounded, because on the one hand, the AH diameter must not be bigger than the fastener, i.e. the rivet, or bolt: $d_{AH} \leq d_{hole riv. (bolt)}$. For example, bulked rivets (conventional ones) can be placed in the AH immediately after removing of the technological fasteners with the same diameter, whereas the holes for the bolts require additional processing to cut machining allowance. On the other hand, the diameter of the assembly holes should be large enough to provide force locking of the attached surfaces. That is why the AH of diameter 2,6 mm should

not be used for the thick stacks. Diameter of AH usually has a positive tolerance +0,1 mm and the diameter of the AH fastener smooth shank may have a little negative deviation from the nominal value of the AH diameter. This guaranteed clearance between the temporary fasteners and AH allows to compensate the error of distance between the axes of the AH, but causes the error $E_{fix(AH)} = 4\Delta z$ (see Fig. 2.2).

4. Technological loads of joining cause internal stresses that are resulted in some deformation E_{joint} , especially in the stacks with parts of low stiffness and with big distance between the AH. This deformation is small at the attaching plane and may be significant in perpendicular planes.

5. The AH amount, their pitch and relative position with respect to the part edges depend on the design parameters of parts and the assembly unit, the used joint type and limits for the clearance between parts of the stack that given in the technical requirements. When the AH pitch is big the stack needs additional pressing in the zone where parts are drilled and riveted; it is also possible the bulge-type material contortion between AH due to thin part deformation during the riveting process. So, minimum amount of AH: one in the circle-type part (in the center) and two – in other cases. Increasing of AH amount complicates their coordination.

If two AH are used for locating and fixing then due to the free fit of fasteners in the AH the mutual turning of parts is possible – angular displacement. In this case the accuracy of assembling of the parts in the plane of their attaching will depend on the distance between the AH and the points determining the dimension has to be maintained.

Assembling by AH is used for simple assemblies (units, panel) with low requirements to accuracy: $\pm(0,5...1,5)$ mm.

The advantage of assembling by AH is that it doesn't require special assembly tooling, assembling is performed on the universal workbenches – tables, machines, or in the simple supporting jigs. This causes the minimum expenses for assembly tooling and low expenditure of labour, time and money for assembling. But there is a disadvantage – increasing of the labour input of parts manufacturing (via drilling AH) and preproduction of sheet stamping manufacturing (because of the need of templates or conductors with the coordinated AH). The cost of assembling depends on the volume of production.

Assembling in the assembly jig provides higher product accuracy (comparing with assembling by AH) due to the possibility of errors compensation of parts dimensions during attaching of their bases with the jig locators which determine the required final shapes and dimensions of the unit. Assembly jig allows locating of parts according to the drawings, provides stiffness and holding while joining.

The error of assembling in the jig $E_{as(jig)}$ is determined by the accumulation of such errors: of dimensions carrier, i.e. the jig, E_{jig} ; of parts locating E_{loc} ; of joining E_{joint} ; of other errors E_{other} .

The error E_{jig} depends on technique and tools of assembly jig manufacturing. For the considered type of units the diagram of dimension transferring can be given in the follow form:

TL – DL – CP – TJ – locators of AJ

or

MMS – EMP – Pr – CNC Machine – TJ – locators of AJ,

where Pr – a program for processing by CNC Machine, TJ – template of jig.

Explanation as to the mounting procedure of the assembly jig will be presented later in this laboratory work.

For error of locating can be written

$$E_{loc} = E_{coord.part-jig} K_f,$$

where $0 \leq K_f \leq 1$; $E_{coord.part-jig}$ – the error of boom (i.e. the located part) and jig coordination, for example according to the following:

TL – DL – CP $\begin{cases} \text{---} \text{TJ – locators of AJ} \\ \text{---} \text{TC – TCC – boom} \end{cases}$

or

MMS – EMP $\begin{cases} \text{---} \text{Pr – CNCM – TJ – locators of AJ} \\ \text{---} \text{Pr – CNCM – templates – boom.} \end{cases}$

Thus,

$$E_{as(jig)} = E_{jig} + E_{coord.part-jig} K_f + E_{joint} + E_{other}.$$

The main advantage of the method of assembling in the jig is the ensuring of identity and interchangeability of subassemblies.

The shortcoming of the method of assembling in the jig – the high cost of assembly tooling. Significant expenses for tooling are resulted from the different designs of the assembled units, so assembling of each individual unit with the required accuracy can be achieved only in the special (unique) jig. The special jigs during serial (large-scale) aircraft production have an average usage factor (by time) equal to 0,3...0,5, and when they are wearied-out or the aircraft design is changed (which occurs every 3–5 years) they are just put out of usage.

Using of readjustable (reconfigurable) assembly jigs – one of the ways to reduce expenses. Each of such jigs can be used for producing a group of units

with similar design. Structurally it consists of the universal basement on which the locators are placed with using of the flat jig template (TJ). After assembling of the batch of the same type units the jig locators are repositioned (reconfigured) by another TJ for assembling of another unit of this group. All the elements of readjustable jig are universal and can be standardized. Application of the readjustable jigs is appropriate not only for assembling, but also for checking of units, for example, for units assembled by AH.

The mounting procedure of such jigs is quite simple. At the first on the plate-type basement the reference posts with pins for the base holes (BH) are preliminary located, and after TJ is attached to them (with mating of the BH in the jig template and pins in the posts) and, so, posts are finally located and fixed to the basement. Then locators are placed due to the mating of certain contours of each locator and template. In this position the locators are fixed to the plate-like basement by bolts. Then TJ is removed – and the jig is ready to operation.

Assembling in the readjustable jig is performed in the ordinary way. The parts are located in the assembly position by the stoppers and locators of the assembly jig and, then stack of parts is temporarily fixed by technological fasteners (clamps) of the jig. The following operations of preparation to joining (e.g. drilling) and joining of parts according to the drawings are made in the jig.

To simplify the assembly jig design the reference posts with BH (or with the pins for BH) can be used as technological bases for the web of the assembled unit during its assembling (the longeron, in this laboratory work).

If the unit has parts of junctions, then the jig needs the appropriate locators which are coordinated among themselves and with the contours locators. In this case the jig is mounted with the using of the single solid carrier of contours and joints – standard (mock-up) of the technological unit, which is the TJ with the reference junctions parts (junction calibres) fixed on it.

In any of considered variants for the jig mounting the fully finished outlines and junction locators and stoppers are supplied and mounting tool (template or standard) is located by the reference posts. The checking jigs typically have indicating measuring devices that are set by the same mounting tool. The error of the assembled unit is found as the difference between the indicators readings for TJ and for the unit. From the above-stated it is clear that the mounting procedure of readjustable jig doesn't require its drawings, since it is enough to have the locating chart of the assembled or checked unit (tool layout chart from the set of documents for technological process) with indicating of the codes of jig standard elements.

Laboratory Work Facilities

1. Drawings of the longeron.
2. Kit of the longeron parts for assembling by AH and in the jig.
3. Kit of components of readjustable jig for assembling and checking of flat units.

4. Templates of jig (TJ).
5. Technological fasteners (clamps, technological bolts).
6. Set of the plate-like gage probes or wedge-shaped gage probe.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Answer the test questions.
2. Get familiarized with the longeron drawings.
3. Draw a sketch of the longeron and the possible locating charts for its parts locating during assembling.
4. Work out a technological process for the longeron assembling by AH.
5. Work out a technological process for the longeron assembling in jig.
6. Work out technical requirements of parts supply for longeron assembling by AH and in the jig.
7. Mount with using of TJ:
 - a) Assembly jig (at the upper boom);
 - b) Checking jig (at the lower boom).
8. Set the measuring devices (indicators) by TJ and write their readings to the table. 2.1.

Table 2.1

The measurement results

Number of reference point	Indicator reading for TJ	Deviation from TJ			
		Assembling in jig			Assembling by AH
		with four clamps	with three clamps	with two clamps	
1					
2					
3					
4					
The average deviation					

9. Assemble the upper boom of the longeron with it web by AH.
10. Assemble the lower boom of the longeron with it web in the jig, locating web by BH.
11. Identify deviation of longeron contour (lower boom) from the template contour by indicators and write data to the table. 2.1.
12. Reduce the amount of clamps in the assembly jig (according to the table); record the values of deviations of the longeron contour to the table. 2.1.
13. Identify deviation of longeron contour (upper boom) assembled by AH from the template contour by indicators and write data to the table. 2.1.
14. State the conclusions about the accuracy of assembling by AH and in the jig and as to the influence of jig clamps amount upon the accuracy of the assembling.

Test Questions

1. What factors affect upon the accuracy of assembling by AH?
2. What factors affect upon the accuracy of assembling in the jig?
3. What are the advantages and disadvantages of assembling by AH, in the special jigs and in the group (readjustable) jigs?
4. Name the processing, assembly and measuring bases of the longeron.

Laboratory work № 2

HANGING UP OF THE JUNCTION ELEMENTS ON THE LONGERON IN THE JIG

The purpose – to get acquainted with the peculiarities of junction units mounting technology, with processing base selection techniques and with the typical bolts setting operations.

Basics

Zones of attaching and joining of particular finished components of the aircraft are called junctions. By design there are distinguished the flat junctions (flange one), fork-like, telescopic, band junctions and others.

The fork junction consists of parts that are called junction units. They always have holes for joining bolts (JBH). These “units” are the parts and they should not be mixed up with the technological units, i.e. the finished assemblies – longerons, ribs and so on. Junction units are the most important elements of the assembly unit structure, since it is they determine considerably the functional quality of the aircraft as a whole – strength and resource, aerodynamic shapes, kinematics of the aircraft control surfaces. Therefore, during assembly stage the high demands are made to the junctions’ geometrical interchangeability and coordination (matching) between themselves and with the aircraft aggregates outlines.

To solve this problem the locating (hanging) of junction units is singled out as a special stage of the assembly process and performed in the stiff and accurate jigs that have contours and junction locators coordinated between themselves.

Usually, junction units are hanged during assembling of technological units (panels), and then are used as the processing bases during the compartments and aggregates assembling. At the final stage of the assembling – stage of the aggregates joining – they are used as the assembly bases.

In this laboratory work it is represented the longeron, which has three groups of the junction units: for joining with outer wings section, for joining with the fuselage, for hanging of the landing gear. Parts of the junction units are joined to the longeron by bolts with appropriate fits. That requires a special hole preparation (finishing treatment), which provides the required accuracy and the surface roughness.

Peculiarities of junction units hanging

The scheme of the joining of the longeron boom with the junction unit (for attaching to the fuselage) is shown in Fig. 2.3. On this scheme are shown: the assembly bases of longeron and junction unit, designated as AB_1 и AB_2 ; the processing bases of the longeron, the junction unit and the jig – PB_1, PB_2, PB_{jig} .

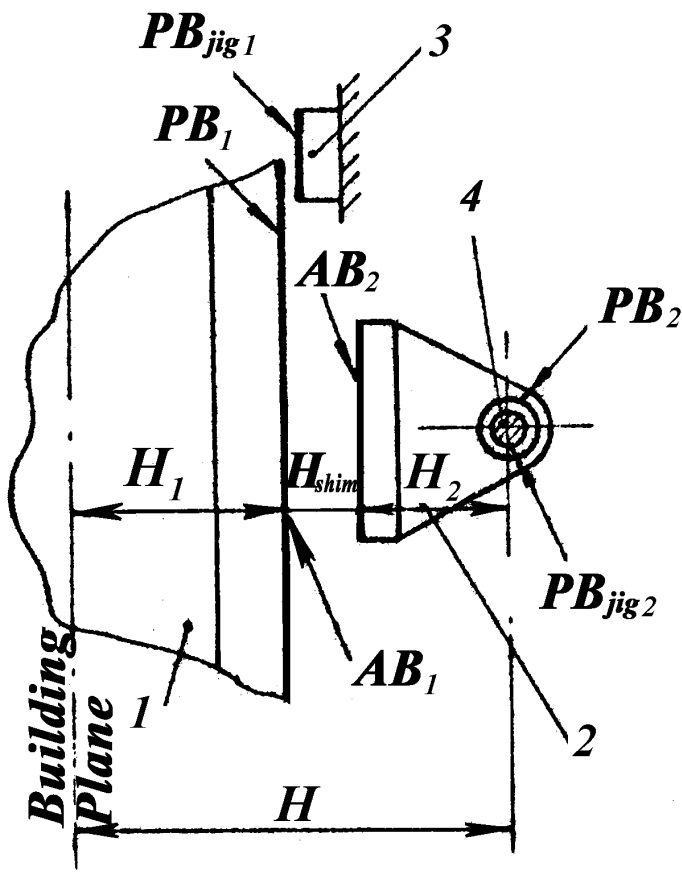


Fig. 2.3. The scheme for selecting of the compensating shim thickness:

1 – longeron; 2 – junction unit; 3 – outline locator; 4 – junction locator

It seen that the plane of attaching of the junction unit element and the longeron forms the angle $\sim 90^\circ$ with the plane of the longeron web in which assembly size H (the junction unit JBH coordinate with respect to the main project base – the building plane) is given. It is obvious from the scheme that the dimension H should be equal to the sum of dimensions of the longeron H_1 , junction unit H_2 and the distance H_{shim} . This distance H_{shim} between the attached planes is considered as equal to zero, but in fact it could deviates from the nominal value.

The error $E_{H_{shim}}$ of the dimension H_{shim} is the error $E_{AB_1-AB_2}$ of mutual position of the longeron AB_1 and the junction unit AB_2 assembly bases. This error appears due to the accumulation of errors of mutual position of (see Fig. 2.3):

- Bases of the longeron PB_1 ($PB_1 = AB_1$) and the jig PB_{jig1} (while locating and fixing of the longeron in the assembly jig for the junctions hanging):

$$E_{AB_1-PB_{jig1}} = E_1;$$

- Bases of the jig PB_{jig1} and PB_{jig2} (while mounting procedure of locators of the assembly jig for the junctions hanging): $E_{PB_{jig1}-PB_{jig2}} = E_2$;

- Bases of the jig PB_{jig2} and the junction unit PB_2 (while fixing of the junction unit in the jig): $E_{PB_{jig2}-PB_2} = E_3$;

- Bases the junction unit PB_2 and AB_2 (while processing of the junction unit): $E_{PB_2-AB_2} = E_4$.

Thus, we can write

$$E_{AB_1-AB_2} = E_{AB_1-PB_{jig1}} + E_{PB_{jig1}-PB_{jig2}} + E_{PB_{jig2}-PB_2} + E_{PB_2-PB_2},$$

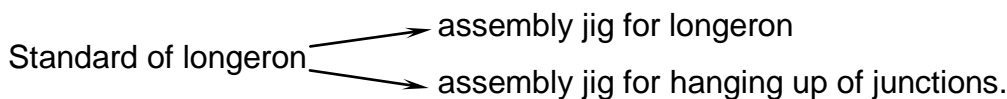
or, briefly $E_{H_{shim}} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$.

Let's analyze the components of this equation:

1. $E_1 = E_{AB_1-PB_{jig1}}$ – the error of locating and fixing of the longeron in

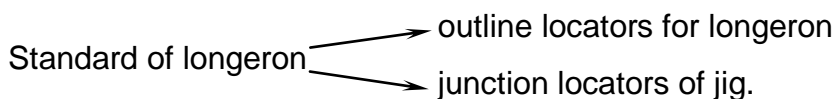
the assembly jig for the junctions hanging, which can be written as $E_1 = E_{coord}K_f$ where E_{coord} – the error of coordination of processing bases of the longeron and the junction unit, and $0 \leq K_f \leq 1$ – coefficient of fixation.

It can be assumed that the error E_{coord} is the error of coordination of processing bases of two jigs (for longeron assembling and for the junction units hanging) according to the following scheme



Coefficient K_f consider the possible shifts of the longeron outline during fixation by the clamps of the jig for the junction units hanging and depends on the stiffness of subassembly that fixed, the distance between clamps (the clamps pitch), the force of fixing. Thus $K_f = 0$ if clamps completely eliminate inconsistencies of PB_1 and PB_{jig1} bases, i.e. align them, and $K_f = 1$ if jig clamps fix the longeron without changing the relative position of bases PB_1 and PB_{jig1} . The value of K_f for the particular cases are set by researching. In this example the following data [3] can be used: if the amount of clamps is 2, 3, 4, 5, 7, 8 then coefficient K_f respectively equal to 0.85, 0.60, 0.50, 0.25, 0.20, 0.10.

2. $E_2 = E_{PB_{jig1}-PB_{jig2}}$ – the error of mutual positioning of the outline and junction locators during mounting of the assembly jig, for example, according to the following scheme:



3. $E_3 = E_{PB_{jig2}-PB_2}$ – the error of the junction unit fixing by JBH in the jig.

Usually JBH are performed according to 7-9 accuracy grades, and in the jig they are fixed by pins with appropriate fits (the values of E_3 can be taken from the tables given in [15]).

4. $E_4 = E_{PB_2-AB_2}$ – the error of manufacturing of part which is called "the junction unit". As a rule, at the first the basic flange plane of this part (i.e. underside, the base AB_2) is processed, and then the JBH are drilled by conductor (the base

PB_2); i.e. E_4 – the error of JBH positioning after drilling operation, what corresponds to such diagram of dimension transferring:



where DD – design drawing of the part, DDT – design drawing of tooling (conductor). These drawings have the same value of H_2 , i.e. information transferring from DD to the DDT does not give the errors. It should be noted that after drilling the JBH are processed (by reaming, broaching), but the JBH center location does not change because of it, so this does not considered as the errors increasing and it is not reflected in the diagram.

All these errors can have either positive or negative values, so during assembling it can appear either the interference, or the clearance between the longeron boom and the junction unit.

In the case of parts interference the junction unit can be located and fixed only after sawing up of the underside, but it is complex and labour consuming process. Therefore it should be taken the steps for ensuring of the guaranteed clearance: by reducing the nominal distance H_2 from the junction unit underside to the JBH on the value that exceeds the most probable interference. Then dimensional compensation during assembling can be performed by selecting the shims of appropriate thickness.

Thus, for regular hanging of the junction units in longeron design it is necessary to provide a guaranteed clearance and to supply for assembling an additional set of compensating shims. Preliminarily it is must be solved the following problems:

a) Calculating of the most probable interference value as a positive deviation of the error of bases combining $E_{H_{shim}}$;

b) Assuming of the guaranteed clearance value as being equal to the nominal value of the compensative shim thickness, and changing of the dimension H_2 value on drawing of the junction unit with considering the clearance value;

c) Calculating of the expected limits of guaranteed clearance value deviation (or shim thickness) as limits of the deviation of bases combining error $E_{H_{shim}}$.

For the summation of dispersion fields of more than three independent random errors the probabilistic method is recommended (see Appendix 2).

It is assumed that the errors E_i dispersion fields are obeyed to the normal law of distribution. This law describes the most probable limits of the error $E_{H_{shim}}$.

The probability of an adverse combination of the incoming errors E_i (by maximum or minimum) is small, since the method of maximum-minimum (see Appendix 2) does not be applied.

The appearance of the mutual positioning errors while hanging of junction units for joining to the outer wing on the center wing section longeron is also inevitable. These errors are compensated just by the parts mutual offset, since

the dimension being fulfilled lies in the plane of joining. But the high accurate holes for the joining bolts should be processed in the parts of junction units and longeron jointly, and only after their locating and fixing by technological bolts.

Drilling of holes with the pre-processed diameters for the technological bolts can be performed in different ways:

1. Separately, in the junction units parts and the longeron parts before of their supplying for assembling. Such holes should be smaller in diameter d than the nominal one d_{nom} . They will be under the nominal diameter with the value that is equal to the sum of the minimum allowance for processing P and the doubled error of locating (alignment) a . At the same time such holes should be bigger in diameter than the selected technological bolt d_{tb} with the value of the possible shift a . Thus,

$$d_{tb} + a \leq d \leq d_{nom} - 2a - P.$$

The minimum allowance for hole diameter processing P is determined by the tool (instrument) type (e.g. countersink-reamer, broach), and its value is adopted according to typical recommendations. The error of locating a is determined by accuracy of coordination of the jig for longeron assembling and the jig for junction units hanging according to the diagram given above.

2. By guiding holes (GH) of the junction unit after locating the longeron, which has no holes, in the jig.

3. By removable conductor that is fixed in the jig by pins at JBH. In this case only holes in the longeron are drilled, because parts of the junction unit already have the holes with the same diameter as the conductor holes.

Laboratory Work Facilities

1. Longeron drawing.
2. Assembled longeron of the center wing section and the parts of the junction units.
3. Jig for junction units hanging.
4. Measuring tool (probe).
5. Book of typified operations of unit assembling.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Answer the test questions.
2. Familiarize with the drawings and laboratory work tooling.
3. Draw the sketch for junction units hanging on the longeron with indicating of the assembly and processing bases.
4. Estimate the error of junction units combining with the longeron and the necessary thickness of shim and the allowance values.
5. Work out the technological process of junction units hanging on the longeron.

Test Questions

1. Describe the principle of bases combination. Give examples of its implementation.
2. Why the interference fit during junction units hanging is undesirable?
3. How the guaranteed clearance between the longeron and the junction unit can be provided?
4. Why allowance for the diameters of joint bolt holes is necessary?

3. ASSEMBLING OF AGGERGATES, COMPARTMENTS AND SECTIONS

Aggregates are the largest components of the aircraft, finished in terms of design and technology and performing the individual functions – fuselage, wing, stabilizer, etc. [13].

Compartments and *sections* – the largest components of aggregates, which are the independent assembly units (AU) obtained by cutting of aggregate by one or more planes under the design, technological or operating considerations. These components may have closed contour of cross-section (e.g. fuselage *compartments*) and their assembling will slightly differ from the aggregate assembling, or open (unclosed) contour of cross-section (e.g., side *section* of the fuselage) and their assembling will be rather similar to the panel assembling.

Technology of aggregate assembling is characterized by multi-variance, because any aggregate can be presented as different combinations of either, one or another assembly units and parts, the jointing sequence of which is ambiguous. The question of dismantling (partition) degree and order (stages, levels) of assembling is solved during of the airplane designing procedure and then reflected on the drawings and in the directive technological materials (in the form of diagram of design-and-technological dismantling (exploded view, breakdown) and aggregate assembly diagram).

The diagram of design-and-technological dismantling represents the aggregate, its subassemblies and parts, which form an assembly set, in the arbitrary axonometric projection.

Depending on the nature and degree of partition it can be considered:

- Aggregates of non-panelled design, assembled from parts and a small quantity of units;
- Aggregates of panelled design, assembled from compartments or sections, panels and units, and also a small quantity of individual parts.

The following advantages can be provided due to separation of subassemblies, especially panels, in the structure of aggregates:

- a) The field of operation expansion and, thus, reducing of assembly cycle (i.e. time of assembling);

b) Improving of approaches to the assembly zone and, as the result, the possibility of work mechanization and objective monitoring of the assembly process, especially during the jointing processes. That, in turn, resulted in increasing of productivity, reducing of labour-intensiveness and assembly cycle, improving the quality of the product;

c) Reducing of jigs amount and simplification of design of jigs for final assembling;

d) Improving of the assembly works conditions.

At the same time the nature and degree of aggregate partition should be suitable for the particular manufacturing conditions, especially for the production volume and annual programme. Separation of individual subassemblies is resulted in the necessity of manufacturing of appropriate assembly jigs, which must be coordinated to each other and to the aggregate assembly jig. It is also important that using of the subassemblies jigs require additional manufacturing facilities.

Assembling of non-panelled aggregates with a minimum amount of assembly tooling is typical for research and individual production type (so called, job production). With increasing of production volume the degree of aggregate partition also increases.

Creating of aggregate assembly diagram is the next stage of the directive technological materials working out. Such diagram represents not only an aggregate structural arrangement with pointing out of the subassemblies, but the sequence of the all assembly process – from parts to aggregate, and also is a visual presentation of the needs in the assembly tooling.

There are the following types of assembly diagram (Fig. 3.1): sequential (closed) – the parts and no more than one subassembly are supplied to assembling; the parallel-sequential (differentiated) – the parts and subassemblies are supplied to assembling; parallel – only subassemblies and fasteners are supplied to assembling.

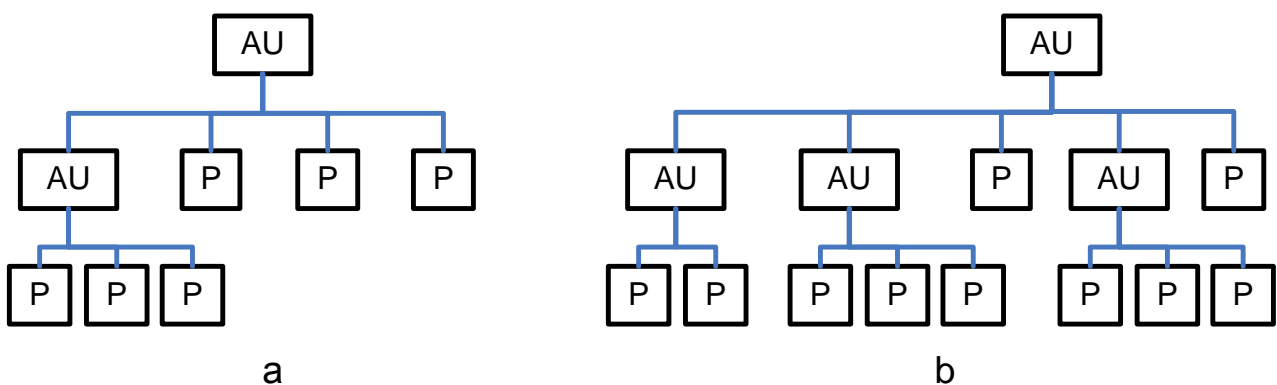


Fig. 3.1. Assembly diagrams: a – sequential; b – parallel-sequential

Assembly diagram is used as an information ground during working out of the working assembly technological processes (temporary and serial ones). Temporary technological processes are actual only during the production of leading series of the aircraft.

Technique of the serial assembly technological processes working out practically does not depend on the type of assembly unit. During the aggregate assembling, unlike unit one, its inherent locating techniques and assembly methods are implemented: assembling in the jig "from skin", "from inner surface of skin", "from framework", assembling by laser beams and also combinations of different assembly methods.

Laboratory work № 3

ASSEMBLING OF THE FUSELAGE SIDE SECTION IN THE ASSEMBLY JIG WITH LOCATING BY COORDINATE-FIXING HOLES

The **purpose** of this work is to get familiarized with the essence of assembling by CFH, with the content of assembly procedure for the typical structure and with the peculiarities of the assembly tooling; to elicit factors, which affect on the accuracy of fuselage section assembling.

Basics

There are exist two quite different possible ways of locating during assembling in assembly jig for the structures, associated with theoretical outline (contour): by the outlines (contours); by other (arbitrary) surfaces. In both cases, the assembly jig acts as a stiff carrier of the initial bases to which the technological bases of parts of assembled item are mated with during the assembly process.

When locating by the outlines is used, the assembly jig needs to have outlining (contour-forming) elements, to which parts to be assembled are fixed. Such a decision would be acceptable if there is possible a compensation of errors of parts manufacturing by their elastic deformation during locating of them into the assembly position. If parts are high-rigid, such compensation is impossible and locating of parts by the outlines is ineffective. Rigid parts can be based at the jig in more simple way, for example, by special holes in parts. Locators of holes have more simple design than the outlines ones and, besides, can be standardized. The design of such assembly jig as a whole is considerably simplified and the approaches to the assembly areas are improved (Fig. 3.2).

Assembling in the jig with locating by such holes is called "assembling by adjusting-fixing holes". If these holes are placed in the planes of basic cross-sections and positioned in system of main design bases of airplane (axis of symmetry, building horizontal line, building plane) at the distances that aliquot

to the step of universal coordinate stand (loft-conductor), which is 50×50 mm, then they are called coordinate-fixing holes (CFH).

For this assembly method the technological bases are axes of CFH and the planes of CFH locators. To them should be mated the CFH and the planes of airframe parts. In so doing basis dimension inevitably emerge between the CFH axis and assembly unit project (i.e. design) axis.

Taking into account the general equation of assembly errors, the error of assembling of fuselage side section (see Fig. 3.2), if panels are located by CFH, can be represented as follows:

$$E_{as}^{sect} = E_{jig}^{CFH} + E_{outline-CFH} + E_{fix} + E_{joint}^{pan-pan}$$

Locators of CFH (as “eyes”, or else fork-shaped connector) are mounted at the skeleton of the assembly jig with using the instrumental stand, at that E_{CFH} error is ±0.1 mm. In the assembly jig for aggregates some CFH locators can be positioned with using of the CFH of first subassemblies, for instance of the spars (wing longerons) CFH.

Error $E_{outline-CFH}$ includes tolerance of skin thickness (+0.1 mm) and error of frame outline relatively frame CFH compared to the original rigid carriers of their relative positions – design loft (DL) and control print (CP). Outlining element of the frame – frame rim – is manufactured by rubber stamping on the forming die (and rim is based by the CFH during this stage of manufacturing).

Block diagram of dimensions transferring, when the coordinate-template method is used, has the form

$$DL - CP - TC - TIC - \text{forming die} - \text{frame rim}.$$

The frame rim has z-shaped cross-section, so the united template TC-TIC are made for it. Errors for the stages of the dimensions transferring are given in the App. 3.

Alignment of the CFH are performed by technological bolts (with h6 or h7), and CFH usually have diameters of 5H9, 6H9 or 8H9. Thus, the error E_{fix} depends on the fit of the technological bolts.

Finally, the error $E_{joint}^{pan-pan}$ depends on the kind of joint and design parameters of subassembly. For assembly units of the considered type with the

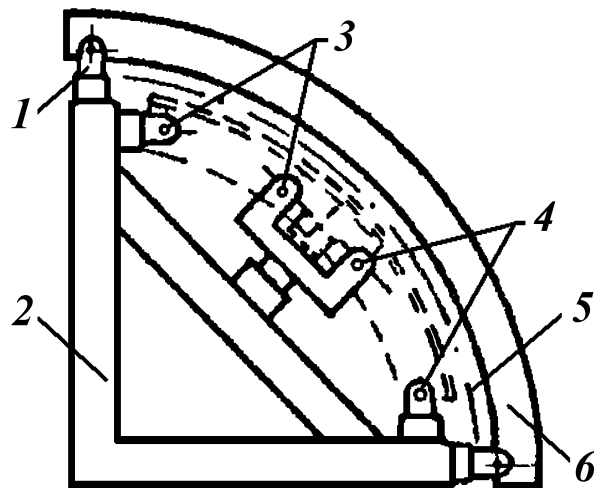


Fig. 3.2. Locating by CFH during section assembling: 1 – fork-shaped conector; 2 – frame; 3 – CFH of the upper panel; 4 – CFH of the lower panel; 5 – theoretical outline; 6 – equidistant template

riveted joints this error is usually taken as $E_{joint}^{pan-pan} = (0, 2...0, 4)E_{as}$ in the jointing zone.

The analysis of errors leads to the conclusion: while assembling by the CFH the principles of unity of design and processing bases (TO lines and the CFH axes) and the combination of processing and assembly bases are violated as to the outlines: processing bases are the CFH, assembly bases are the surfaces to be mated of the panels and strip. Due to such "indirect" locating of subassemblies in the jig (compared to the "direct" – directly by outlines) some additional factors affects the accuracy of the outlines; that, in turn, considerably affects the accuracy of parts manufacturing. If it is the outline is used as the base during locating, the accuracy of parts manufacturing may be lower than the accuracy of assembly unit as a whole. During the locating by the CFH the accuracy of parts must be higher than the required accuracy of assembly unit.

To check the accuracy of outlines of structure assembled by the CFH the control equidistant templates, which working contour is equidistant to aggregate theoretical outline, are built-in into the jig. Coordination of mounting holes in templates with their working contours and appropriate forks of assembly jig is performed by using of the loft-conductor and instrumental stand.

While assembling of the fuselage side section locating by the CFH is acceptable only for the panels. For placing of the connecting parts, such as joining strip and butt plates, another assembly method is more efficient (due to low requirements to the accuracy) – by marking; so, the jig does not need locators for these parts, and that allow to simplify the jig design even more.

The content of the assembly technological process depends on the type of the junction between the panels themselves (at skins, frames, stringers). The most processabilive one is the junction with compensation – with elements overlapping. Butting end-to-end "to zero" or with very small gap requires adjusting by removing the allowance on the skin edge (butt end) of one of the panels during the process of its location.

Laboratory Work Facilities

1. Drawings of the fuselage side section.
2. Drawings of the jig for assembling by CFH.
3. Kit of parts and subassemblies of the fuselage side section.
4. The jig with equidistant templates for the section assembling.
5. Template TC-TIC of the frame rim.
6. Measuring devices: pointer indicator for measuring the error of frame rim relatively the CFH; slide gage for measuring of the section outline error relatively the equidistant template.
7. Supporting jig for assembling of the panel by assembly holes (AH).
8. Book "Typified operations of aggregate assembling".

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the drawing of the section being assembled, the drawing of jig and the tooling of the laboratory work.
2. Answer the test questions.
3. Work out the technological process of the fuselage side sections assembling by the CFH.
4. Work out the technical requirements for parts and subassembly supply for assembling, using the typical form (see table 1.1).
5. Work out the technical requirements for the assembly jig designing (see table 1.2).
6. Draw a sketch of chart of location for panels and parts during assembling of the fuselage side section with reflecting of the processing, assembly and measuring bases.
7. Perform the assembly procedure of the fuselage side section in the jig.
8. Mount equidistant templates at the forks of the jig (nominal distance from the theoretical outline is 13 mm).
9. Measure the actual clearance between the section outline and template contour at three points; write the results to the table 3.1. Find E_{as}^{sect} as a difference of nominal and measured values of the clearance.
10. Draw a draft scheme of these measurements.

Table 3.1

The results of measuring

Number of section	Number of measuring point	Clearance at outline	Error of section assembling at outline E_{as}^{sect}	Error of frame manufacturing $E_{outline-CFH}$	Calculated error of locating E_{loc}
1	1				
	2				
	3				
2	1				
	2				
	3				

11. Measure the error of frame outline relatively the CFH, i.e. $E_{outline-CFH}$, at three points using template TC-TIC, a special fixture and an indicator device. For that fix the part and TC-TIC together by the CFH and measure the deviation of part outline relatively to the template contour. Write the results to the table 3.1.

12. Calculate the total error of panel locating using the follow formula:

$$E_{loc} = E_{jig}^{CFH} + E_{fix} = E_{as}^{sect} - E_{outline-CFH} - E_{joint}^{pan-pan}.$$

Consider that the resulting deviation can be of any sign.

13. Make conclusion regarding the accuracy of this method of assembling.

Test Questions

1. Give examples of following and violation of the locating principles while assembling the section by the CFH.
2. How to coordinate the CFH of parts and the CFH of assembly jig?
3. What are the advantages and disadvantages of the assembling by the CFH?
4. What purpose equidistant templates are used for?
5. Which assembly methods are used during the section production?
6. What are the technical requirements to the skins butts of panels to be assembled?
7. Compare the accuracy of the assembly unit as a whole and the outline-forming parts supplied to assembling if assembly process is performed in jig by the following assembly methods: by outline-forming surfaces; by the CFH?
8. How does locating by the CFH affect the accuracy of assembling?
9. Name the assembly, processing and measuring bases used during procedure of assembling and checking of the section.

Laboratory work № 4

ASSEMBLING OF THE STABILIZER FRAMEWORK IN THE ASSEMBLY JIG

The **purpose** of this work is to get familiarized with specificity of assembling of non-panelled aggregate framework; to acquire practical skills of technological documentation developing for assembling process; to learn the examples of locating principles realization during assembling.

Basics

The aggregates of tail unit group – stabilizer, fin – have small thickness of the skin and low requirements to the manufacturing accuracy. They are usually made as follows: at first, the framework is assembled from individual parts and some units and then the skin is "hanged up" to the assembled framework in the same assembly jig, just with other set of the outline locators (fixing arms) for which the thickness of skin is taken into account; thus, a minimal set of assembly tooling is used. This is the implementation of assembly method in the jig with locating by the framework surfaces ("assembling from framework").

The disadvantage of the method of assembling "from framework" is a undulation (wavelike) of external aerodynamic surface of aggregate, due to the

thin skin repeats all the errors of framework and also gets extra warpages (pullings) which resulted from riveting.

The technological process of stabilizer assembling as any assembly process includes the following operations:

- Gathering a complete set of parts and subassemblies required for assembling, incoming inspection, preparation of an assembly jig for using (such preparation is performed once per assembly cycle);

- Locating and temporary fixing (holding) of parts and subassemblies at the required position;

- Preparation for the jointing procedure;

- Fulfilling of joints according to the drawing;

- Taking off the temporary (technological) fasteners;

- Finishing operations;

- Outgoing inspection of assembly unit quality.

Laboratory Work Facilities

1. Drawings of the stabilizer and the stabilizer framework.
2. Stabilizer assembly diagram (one of the possible variants).
3. The kit of parts and subassemblies of the stabilizer framework.
4. Assembly jig for the stabilizer assembling.
5. Technological holders and fasteners (clamps, technological screws).
6. Book "Typified operations of aggregate assembling".

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the tooling of the laboratory work.
2. Analyse the proposed and the possible stabilizer assembly diagrams, draw in report the draft of the chosen one.
3. Work out the technological process of stabilizer framework assembling with using of typified operations.
4. Work out the technical requirements for parts and subassemblies supply for assembling (see table 1.1).
5. Work out the technical requirements for the assembly jig designing (see table 1.2).
6. Work out the locating chart for stabilizer airframe parts and subassemblies during assembling.
7. Get familiarized with the assembly jig design.
8. Answer the test questions.

Test Questions

1. What is the sequence of the assembly technology working out for full-scale production?
2. Name the initial documentation for full-scale (serial) production technology working out.

3. List the factors which determine the nature and degree of the aggregate dismantling (partition).
4. Give the comparative description of the assembly diagrams for panelled and non-panelled structures.
5. List the assembly methods of non-panelled structures, explain their disadvantages.
6. Name the processing and assembly bases used during assembling of stabilizer framework.
7. Give an example of following the principles of locating during assembling of stabilizer framework.

4. MANUFACTURING OF THE ASSEMBLY JIGS

One of the peculiarities of the aircraft manufacturing is the necessity in big amount of assembly jigs (AJ). This is due to specific of aircraft as the object of assembling (low stiffness of parts, complexity of its spatial shapes, and high demands to the accuracy of produced items). This implies the main purpose of the AJ: locating of parts and subassemblies at the position given in the assembly drawing with the required accuracy, adding rigidity to them and fixing during the period of jointing with other parts.

The design of the AJ must be rational, simple, allowing the possibility of standardization, processable (technologically effective) during the manufacturing, servicing and repairing of the jig itself. All these resulted in the additional purposes of an assembly jig: increasing of labour productivity; ensuring of the assembly process convenience and safety; tools guiding with respect to the produced items.

Variants of the AJ design are diverse and depend on sizes and type of the produced assembly unit, its design features, dominant jointing type, adopted locating chart and types of subassemblies, program and volume of the manufacturing and other factors. It should be noted that the assembly jigs can be conditionally classified in such a way: non-separable special, mountable-and-dismountable, specialized adjustable, universal non-adjustable and universal mountable ones.

Accuracy of assembly jig, under condition of its skeleton (framework) adequate stiffness, depends on the accuracy of producing of individual locators and the accuracy of their mutual locating (positioning) during the mounting of the assembly jig (*mounting* is the product assembling at the place of its application).

Various methods, means (tooling) and technique of assembly jigs producing may be used depending on the demands to the accuracy of the produced item outlines and junctions, as well as the overall dimensions and spatial shapes of the assembly unit, the program and volume of production.

All the variety of mounting techniques can be classified by two considerable criterions (using of special tooling – mock-ups, which are the hard

carriers of shapes and dimensions of a product; availability of contact between the means and the objects of mounting) into four groups: contact with mock-ups using; contact without mock-ups using; contactless without mock-ups using; contactless with mock-ups using.

Methods of assembly jigs mounting differ in the amount, type and cost of the means that determine the accuracy of positioning of the assembly jig locators. As the matter of fact these means, so called tooling of the second order, are the tooling for assembly jig mounting. It can be special (of mock-up type) – templates of AJ, junction gages, mounting standards (models), and universal – coordinate stands and optical devices. Manufacturing of the special second-order tooling increases the expenses of resources of all kinds (labour, materials, money, time, energy) for the new aircraft preproduction.

Choice of a particular method of the assembly jig manufacturing must be substantiated by calculating of the assembly accuracy. If several methods are acceptable due to the reasonable assembly accuracy then a comparative economic analysis must be held.

Laboratory work № 5

MANUFACTURING OF ASSEMBLY JIG BY STANDARD-TEMPLATE METHOD OF TOOLING COORDINATION

The *purpose* of this work is to get familiarized with the essence of standard-template method of tooling coordination, to study the peculiarities of assembly jig mounting procedure with using of mounting standard.

Basics

Large-scale (serial) aircraft production requires a big amount of assembly tooling, and almost everything of it has to be duplicated for the expansion of the assembly operations field. For the light aircraft manufacturing it is more rational to produce the assembly tooling not by direct construction of dimensions, but by copying of produced item shapes and dimensions from the special solid carriers - spatial standards (mock-ups, calibres or gages). The demands to standards which used for the making of tooling for parts producing and for the making of assembly tooling are different due to their different purpose. In the first case the standard should have a solid surface, in the second - it will be quite enough to have carriers of outline shape (templates of cross-section) only in some planes, where outline locators should be placed; in addition, the assembly standard must have the base points at places with junctions for the proper positioning of the joint bolts holes (JBH) locators of assembling jig. This explains the terms "standard (mock-up) of aggregate surface" and "mounting standard (mock-up) of aggregate". These standards should have the same shape of the basic cross-sections, and that is provided by special tooling, which, in facts, is an intermediate reverse copy of the surface standard - "counterstandard of aggregate".

A set of these spatial standards is the groundwork (basis) of a particular method of the interchangeability and tooling coordination insuring – the standard-template method (STM).

Surface standard (SS) can be produced, for example, according to the followings. First of all, the templates of outlines are located with using of the measuring means and fixed to the stiff frame in the some basic main cross-sections of the aggregate. After, space between these templates is filled up with pieces of wood and processed for making smooth surface (i.e. splined). Then the surface is coated with paint and lacquer and axis of the framework elements (spars, longerons, ribs, frames, stringer), contours of hatches, lines of skins butts – so called, layout lines - are marked. Surface standard does not have gages of structural junctions (their positions are only marked on the SS).

Auxiliary elements of the surface standard are the rigging components (for transportation) and the reference platforms (for SS positioning during its locating at the counterstandard frame).

Counterstandard (CS) is a device for manufacturing and periodic inspection (checking) of mounting standard and its components - standards of units (ribs, frames, longerons, spars).

Design of counterstandard only a little differs from the assembling jig design, but the counterstandard has higher accuracy then the assembling jig. Counterstandard producing is started from the surface standard locating and fixing at the reference platforms on the CS frame. In the basic cross-sections the blanks of counterstandard outline (contour) locators should be placed with the clearance of about 10 mm from the surface of SS. In this position they will be fixed with using of the fork-shaped connectors (eye-bolts) into the frame barrels and the gap inside the barrels will be filled up with fast-hardening cement like HIAT-ML \square , which has good adhesion to metals. This operation is called "filling of forks". Properties of HIAT-ML \square cement are given in App. 1.

Then the working surfaces of the fixing arms (contour locators) will be made by pouring the gap between the contour locator body and the surface of the surface standard with special carbinol cement or epoxy-cement compound (see App. 1). After some cure time (about one day) the surface standard will be unfixed and dismantled from the CS frame. Error of outlines reproducing by the mould-copying of the surface standard to the counterstandard is approximately 0,1 mm.

Mounting standard (MS) may have either assembled or solid (welded, cast) framework, but in any case its working surfaces are formed by moulding from the counterstandard locators after positioning of the MS at the CS reference platforms (the gap between the counterstandard fixing arm and the appropriate pattern of the MS, which is about 10 mm, is filled up with the carbinol cement). Then mounting standard are taken out from the counterstandard and the standards (i.e. gages) of junction elements are placed at the mounting standard with using either instrumental (measuring) tools according to the drawing with accuracy $\pm(0,3...0,5)$ mm or the special junction gauges.

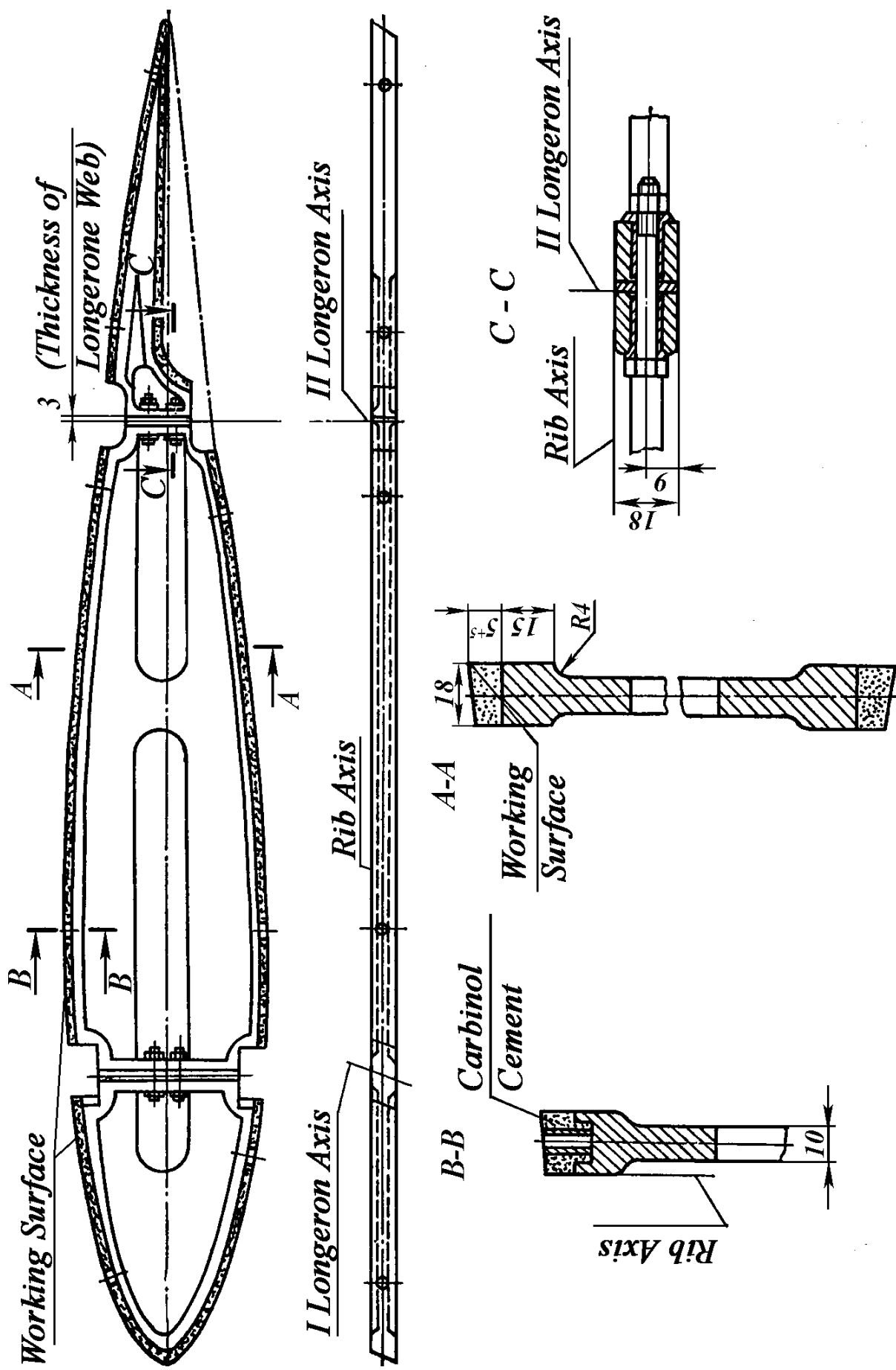


Fig. 4.1. Unit (rib) standard

It should be pointed, that although the outlines of mounting standards of conjugated (mated) aggregates are produced in different counterstandards, after these MS have to pass a common processing procedure at the junctions – *detaching*. Components of assembled mounting standard are called the *unit standards* (US); they are used as the tooling for mounting of the unit assembly jigs (Fig. 4.1).

Due to the fact that the working dimensions of the mounting standard can be deteriorated (distorted) during its exploitation, MS needs to be periodically checked with using of counterstandard; that is why immediately after detaching of the MS in the counterstandard the junction locators are produced (by the mounting standard junction gages; MS is located at reference platforms of the counterstandard during this procedure).

Sometimes another procedure of aggregates junctions coordination is used. First of all, the locators of junctions are made in the counterstandard with using conventional instrumental tools or by junction gages, then mounting standard framework is located and fixed at the reference platforms in the counterstandard and outline and junction elements of mounting standard are produced by copying of counterstandard. The junction elements of mounting standards for aggregate compartments to be conjugated are located and fixed on their mounting standards immediately during detaching procedure.

As to the assembly jigs for aggregate components (compartments, panels, units) it is much more convenient to mount such jigs by detachable mounting standards – the standards of compartments and units. In the most cases the mounting standard has jointless design; in that case standards of compartments and units are the independent tooling which manufactured in the same counterstandard. In that case, the work as to preparing of the set of the assembly tooling can be performed simultaneously.

Manufacturing of assembly jig is a complex of various works. The most important and crucial work is the making and mounting of the assembly jig locators. For providing of it, the aggregate mounting standard is positioned in the assembly jig frame with using of the simplest auxiliary means and universal measuring devices.

Then, the mounting standard is preliminary fixed in the position given in assembly jig drawing. The reference platforms of the assembly jig are located at the MS reference platforms and fixed to them with bolts. The gaps between the jig reference platforms and jig frame (about 10 mm) are filled with special cement HИAT-MLЦ. After freezing the cement the all auxiliary fasteners which fixing the mounting standard are removed, and from this moment MS is completely and unequivocally located at its reference platforms. Next, two variants of assembly jig mounting procedure are possible; they are differ with the way of the outline locators (“fixing arms”) making (Fig. 4.2).

According to the first variant, the fixing arms 6, which are unfinished on outline contour, are positioned with a gap of 10-15 mm with respect to the mounting standard 1 and temporarily fixed to the mounting standard patterns

with auxiliary fasteners such as clamps. Forks 7 (eye-bolts) are joined with the ends of fixing arms at the mounting holes (MH) by pins 10. Tails of forks are set up into frame beam barrels and gaps are poured with cement 11 of type НИАТ-МЦ. After cement freezing the fixing arms will be held by forks, so, clamps can be removed. It remains to fill the gap between the mounting standard pattern and the outline edge of the fixing arms with carbinol cement 12. Cement is injected with syringe. To limit the zone of the cement pouring the plate 13, pressed to the fixing arms, are used.

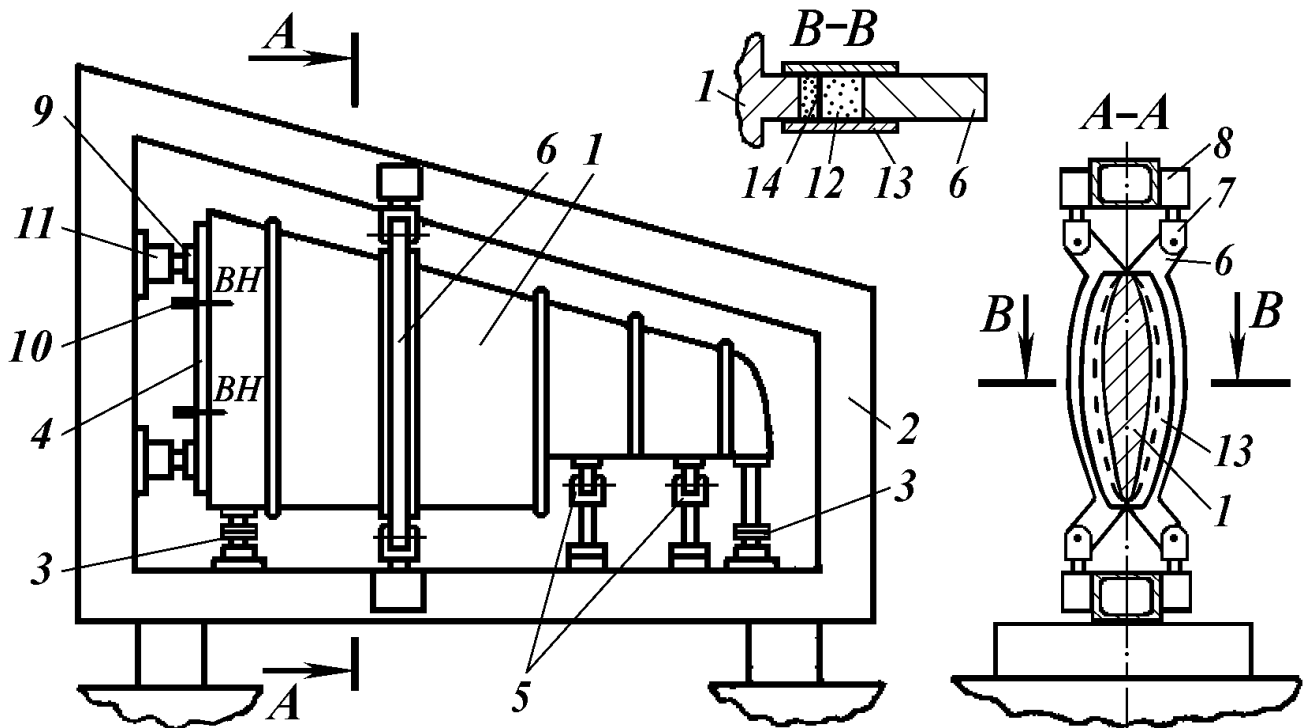


Fig. 4.2. Mounting of the assembly jig with using of mounting standard: 1 – mounting standard; 2 – assembly jig frame; 3 – the reference platform; 4 – locator of the flat junction (jigging plate); 5 – locators of fork-shaped junctions; 6 – outline (contour) locator (the fixing arm); 7 – fork of the jig (eye-bolt); 8 – jig barrel; 9 – bracket; 10 – pin; 11 – jig barrel filled with the cement НИАТ-МЦ; 12 – carbinol cement; 13 – technological plate; 14 – separation material

According to the second scheme the contour locators (fixing arms) are supplied to the mounting of assembly jig with the finished working surfaces (outlines). They are previously produced by moulding from either the aggregate mounting standards or the unit standard (on rare occasions – from the surface standard). Technique of contours copying is the same as the described above. Right away after pouring of cement the hairlines which correspond to the axes of power elements are marked on sides of fixing arms bodies according to the marking of the mounting standard. During the assembly jig mounting procedure the fixing arms are located by the mounting standard working surfaces and by the MS hairlines (sometimes for more accurate locating of the fixing arms on

the mounting standard or the unit standard the special bushes with basic holes are made in the fixing arms working surfaces). Fixing arms are temporarily fixed to the mounting standard, and then they are jointed to the assembly jig frame with pins, forks and cement НИАТ-МЦ.

After mounting of the outline locators (fixing arms) it comes to the junction locators mounting procedure. For the flat junction the locator is jiggging plate. It is located by basic holes on special platforms of the mounting standard (sometimes the mounting standard has joint bolt holes, and then they can be used for jiggging plate locating). Then the jiggging plate is joined to the frame as well as the fixing arms: forks (or brackets) are attached to the plate and after fixed in the frame barrels with cement НИАТ-МЦ.

Locators of fork-shaped junctions (like "eye – fork") are located by the corresponding gages of the mounting standard, and then are fixed to the jig frame. In this case the cement, which filled into the gaps, is a compensator of dimensional errors and the fixing material at the same time.

It is obviously, that for insuring the demands to the accuracy of the unit being assembled, the assembly jig should have higher accuracy of locators working surfaces than the considered assembly unit (usually, it is from 1 to 3 accuracy grades). This consideration is crucial while choosing of the methods and means for assembly tooling manufacturing. It is necessary to estimate the expected error of the assembly jig and to compare it to the allowed one.

Calculation of the accuracy is performed by standardized techniques with using of statistical data about the errors which occur during the stages of dimension transferring (see App. 3).

Thus, to calculate the expected error of the assembly jig it is necessary to know the amount of stages of dimension transferring and the parameters of the error dispersion field for each stage. And it is very important to determine the primary carrier of dimensional information (the primary source, or origin, of coordination), which is the first link in the chain of this dimension transferring and relatively to which assembly jig error is evaluated.

For outlines such a primary source of information is the theoretical loft where the contours of the basic cross-sections are drawn in the full-scale with high accuracy.

The accuracy calculation procedure is:

- Defining of stages of dimension transferring which determine assembly jig accuracy at outlines, junctions or any other parameters according to the structural diagram of tooling coordination by standard-template method;
- Writing out of values of errors for these stages from the reference tables (see App. 3);
- Finding, according to the technique given in App. 2, of the expected error of the assembly jig or assembled aggregate and its comparing with the value of allowed error, then making of appropriate conclusions about accuracy.

Laboratory Work Facilities

1. Scaled mock-up of:
 - Wing surface standard;
 - Wing counterstandard;
 - Wing mounting standard;
 - Wing assembly jig frame, fixing arms and locators of junctions, fork-shaped connectors (forks), pins, reference platforms.
2. Auxiliary tooling (holders, clamps), measuring instrument (the scale), wrenches, bolts, nuts.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the tooling of the laboratory work.
2. Perform mounting of the assembly jig with using of mounting standard.
3. Estimate the error of the assembly jig (see App. 2).
4. Make a laboratory work report which includes:
 - Sketch of assembly jig with the mounting standard located in it; their basic elements and bases should be designated;
 - Structural diagram of dimension transferring from the theoretical loft to the assembly jig and values of errors for it stages;
 - Computational formulas and results of calculation of the error of the assembly jig mounting;
 - Technological process description of the assembly jig mounting with using of mounting standard.
5. Answer the test questions.

Test Questions

1. What are the causes of the necessity to use spatial standards of aggregates?
2. Describe the peculiarities of two ways of the assembly jig mounting with using of the mounting standard.
3. What is the purpose of the reference platforms?
4. What determines the choice of methods and means for the assembling jig mounting?
5. What are the advantages and disadvantages of standard-template method?
6. How to ensure the coordination of assembly tooling at junctions?
7. List the main elements of the assembly jig structure.
8. Name the technological properties of the cements used in the standards and the assembly jigs structures.
9. What is the purpose of the counterstandard?
10. What are the benefits of the mounting standard of the assembled-type design?

Laboratory work № 6

MANUFACTURING OF ASSEMBLY JIG BY COORDINATE-TEMPLATE METHOD OF TOOLING COORDINATION

The **purpose** of this work is to get familiarized with the essence of coordinate-template method of tooling coordination, to acquire practical skills of operating with loft-conductor, instrumental stand and optical devices for mounting of assembly jig.

Basics

Coordinate-template method (CTM) of tooling coordination is further improvement of loft-template method. CTM was implemented in manufacturing with the advent of the large-tonnage aircrafts. Using of other methods of interchangeability ensuring of assembly units for the production of such aircraft was turned out ineffective.

Distinctive feature of CTM is using of universal coordinate measuring means (the loft-conductor and the instrumental stand) which perform to insure coordinating of large-sized assembly tooling at contours and junctions.

Two examples will explain the idea of CTM. Let the assembly jig (AJ) skeleton is a jointless frame. If fork-shaped connectors (eye bolts) with mounting holes (MH) for fixing arms and jigging plates are located with respect to the frame with high accuracy and the corresponding MH in the fixing arms and the jigging plates are made (located) precisely, then assembly jig mounting procedure will be reduced to the simple placing (hanging up) of fixing arms and jigging plates and their holding by pins at coordinated MH.

The realization of this mounting technique requires the flat coordinating stand (loft-conductor) for coordination of outline contours of fixing arms and joint bolt holes (JBH) in the jigging plates with their MH, and the spatial coordinating tooling (instrumental stand) for locating of forks (connecting elements) with MH which are intended for the fixing arms, gages of junctions and jigging plates.

If the skeleton consists of columns and beams then mounting of assembly jig will be complicated (Fig. 4.3). First of all, the upper and bottom beams, which made in the spatial coordinating stand, must be mutually located, i.e. the coordination of their forks mounting holes must be ensured in the basic cross-sections (where fixing arms and jigging plates are). It can be performed by the special tooling - mounting plates, which strictly coordinate MH of assembly jig beams in the particular cross-section. For proper locating of beams the mounting plates must have totally certain position in space - usually vertical. The verification of it is performed by optical devices (this means are for construction, but not for the measuring).

For mounting of the flat junction locator (i.e. jiggling plate) the mounting plate needs to have basic holes (BH), which will be used for locating of the jiggling plate. It is quite clear that BH of the mounting plate must be coordinated with its MH, and BH of the jiggling plate – with its JBH.

And finally, the united junction gage is needed for locating of each elements of junction locators group at different parts of the assembly jig (beams, columns). The junction gage is a space truss with junction's master parts which are located by its JBH with respect to the MH of its so called reference forks with high accuracy. Response reference forks of the jig must be located on one of the beams with using of instrumental stand (IS).

In the mentioned examples the principles of assembly jigs mounting by means of CTM are considered. The essence of this method is that the dimensional chains for individual basic elements of assembly jig can be constructed with using of spatial and planar coordinating stands. Constructing of complete chain of the assembly jig basic dimensions are usually performed during jig mounting procedure with using of special second-order tooling – mounting plates, which are made in the same coordinating stands and coordinate only special technological holes (MH and BH), and junction gages, which coordinate design and technological holes (JBH and MH) – and with using of universal tooling – optical devices in combination with other means of construction.

In the view of this the laboratory work is divided into three stages:

- Making of fixing arms with using of planar coordinating stand (loft-conductor);
- Making of assembly jig beams in the spatial coordinating stand (instrumental stand);
- Mounting of assembly jig by the mounting plates and optical devices.

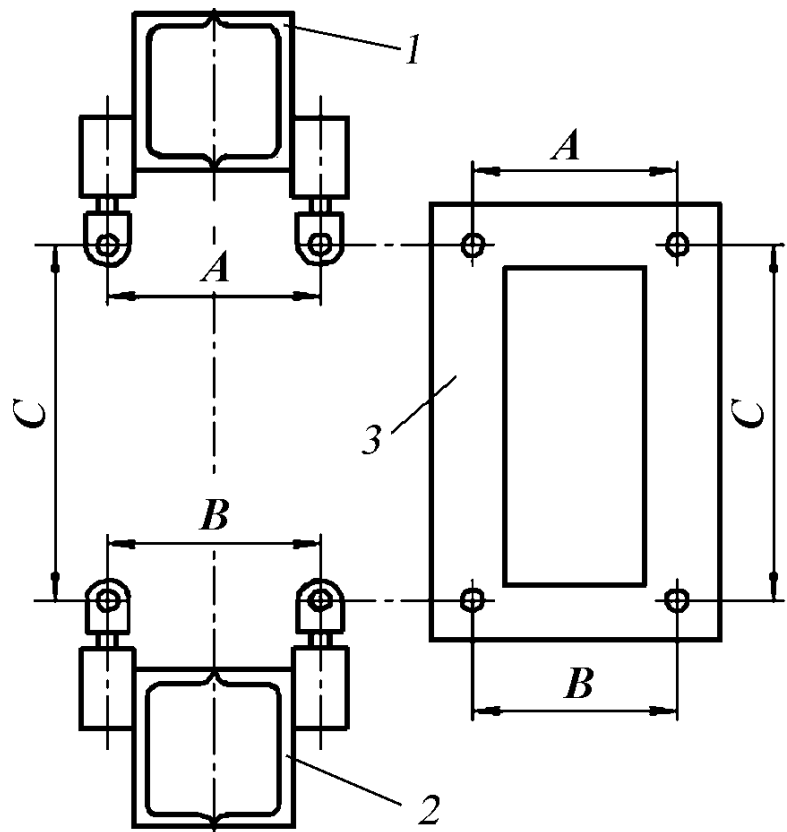


Fig. 4.3. Scheme of assembly jig mounting by CTM: 1 – upper beam; 2 – bottom beam; 3 – mounting plate

Making of fixing arms with using of loft-conductor

Loft-conductor (LC) is a planar coordinating stand (Fig. 4.4). It consists of the table 1, produced from a cast iron plate with scraped upper surface, and the system of coordinate rulers (the two fixed longitudinal rulers 3 at the edges of the table and a set of the removable transversal rulers 2). The holes in the rulers are made with diameter 18H9 and pitch between their centres is equal to 50 mm with accuracy $\pm 0,01$ mm. The fixed points with coordinates multiple of 50 mm can be get by moving of the transversal rulers along the longitudinal ones on the plate surface (table). The position of transverse rulers is fixed by the high accurate pins. At the enterprises the loft-conductors are often equipped with drilling spindles and mechanized devices.

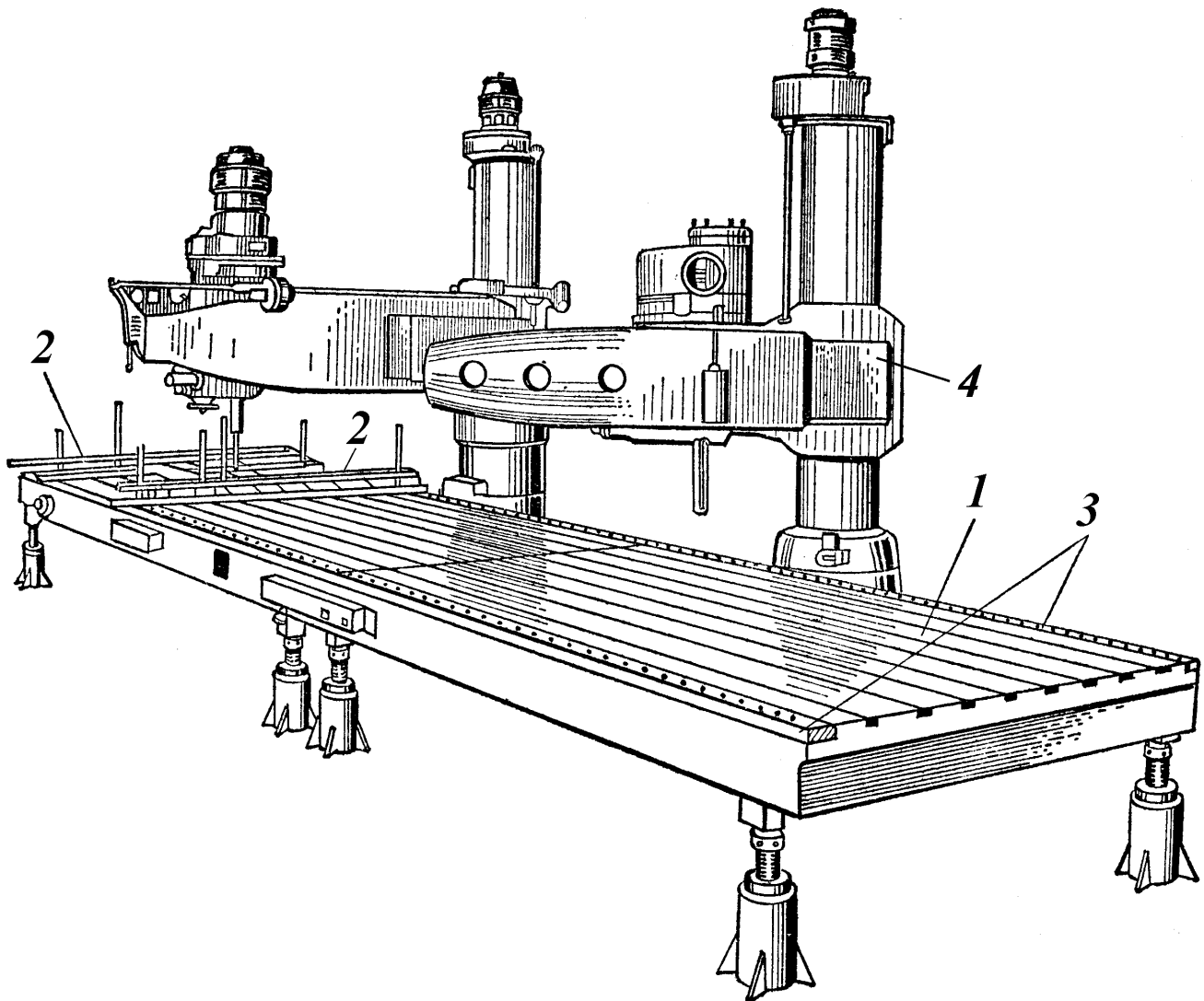


Fig. 4.4. Loft-conductor: 1 – table; 2 – transverse ruler; 3 – longitudinal ruler;
4 – drilling spindle

Following kinds of work can be performed by the loft-conductor:

- Marking (drawing) of coordinate grids and design axis on the loft plates;
- Drilling of basic holes (BH) in the lofts and templates;

- Drilling of BH and mounting holes (MH) or coordinating of bushes with these holes in the master-plates, the jiggling and mounting plates;
- Drilling of the MH in the fixing arms;
- Casting in cement of bushes with MH in the fixing arms.

Outline of the fixing arm can be obtained by:

- Machining on the lathe (if fixing arm has circular shape), on the profile milling machine by the master template of jig, or on the CNC milling machine;
- Mould copying of the cross-section mock-up, of the surface standard, of the unit standard;
- Bench-work by the assembly jig template (JT).

Then, in the ends of fixing arms the holes are drilled with diameter of according to the dimensions given on the jig drawing 8-10 mm larger than the outer diameter of bushes with MH (if fixing arms are made of non-wear-proof or fragile material) according to the dimensions given on the jig drawing.

After this the fixing arms are located on the transversal loft-conductor rulers by the JT that was previously located on these rulers and fixed by BH (Fig. 4.5).

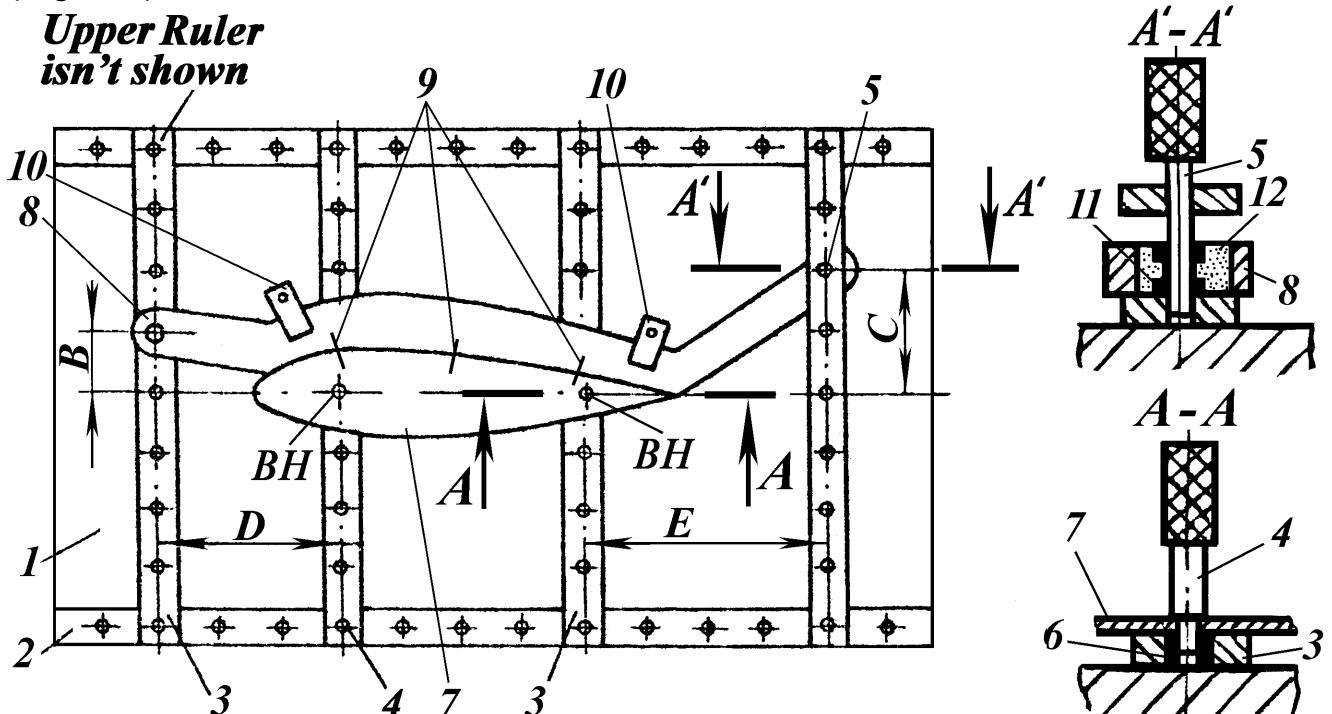


Fig. 4.5. Casting in cement of bushes with MH in fixing arms on loft-conductor:
 1 – table of LC; 2 – longitudinal ruler; 3 – transversal ruler; 4, 5 – pins;
 6 – adapting bush; 7 – JT; 8 – fixing arm; 9 – hairlines; 10 – clamp; 11 – bush
 with MH; 12 – cement НИАТ-МЦ

Bushes with MH in the fixing arms tips are located with respect to the BH of the jig template by other transversal rulers and pins (according to the

dimensions given on the AJ drawing). Gap between the fixing arm body and the bush is filled with cement НИАТ-МЦ. The final accuracy of bush positioning in the fixing arm is $\pm 0,1$ mm. Fixing arm can be taken off from loft-conductor in 7-12 minutes, but they need time lag during 2 days before the assembly jig mounting procedure.

Thus, the challenge of coordinating of the MH of fixing arm with respect to its working outline is reduced, due to using JT and loft-conductor, to two simple problems:

- mating of fixing arm and jig template at outline and hairlines, i.e. positioning of the fixing arm working outline to the BH of jig template;

- coordinating of the MH axis in fixing arms relatively to the BH of jig template (dimensions *B, C, D, E*).

Depending on fixing arm design the last operation can be performed not only by casting bushes with MH in cement, but by direct drilling these MH via holes of conductor rulers or by attaching of assembled tips with MH to the fixing arm body with further fastening by bolts. Considering that the positions of MH are not related directly to the basic surfaces of the aggregates to be assembled, then during designing procedure of the assembly jig the MH are placed in the grid which convenient for loft-conductor, with pitch 50×50 mm. On the drawings the dimensions which performed by loft-conductor should be indicated with the asterisk.

Laboratory Work Facilities

1. Loft-conductor with tooling (scaled mock-up).
2. Setting-up diagram for loft-conductor.
3. Fixing arms with finished working outlines and bushes with MH (scaled mock-ups).
4. Assembly jig template (scaled mock-up).

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the loft-conductor setting-up diagram and the tooling of the laboratory work.
2. Locate bushes with MH in the fixing arms, using of loft-conductor and jig template.
4. Make a laboratory work report which includes:
 - Answers to the test questions;
 - Sketch and technological process of coordinating (positioning) and casting in cement of bushes with the MH in fixing arms with using of loft-conductor.

Production of assembly jig beams in the instrumental stand

The instrumental stand is a device with a spatial coordinate system that allows fixing of any point within dimensions of this system with accuracy not worse than $\pm 0,1$ mm.

Let's consider the arrangement and the operation of instrumental stand of type IC-6 (Fig. 4.6). The backbone of the instrumental stand is casted iron bed with parallel guide rails by which the table of length 8200 mm, intended for placing on it of individual assembly jig skeleton elements (beams) or the whole frame, is moved. The system of coordinate rulers of the stand consists of one longitudinal ruler, fixed on the lateral surface of the table, two vertical rulers, mounted on the portal columns, and two transversal rulers that moved with balance bobs along the portal columns. All coordinate rulers have holes with diameters 10H7 or 12H7 placed of 200 mm apart with accuracy between their centres of $\pm 0,01$ mm.

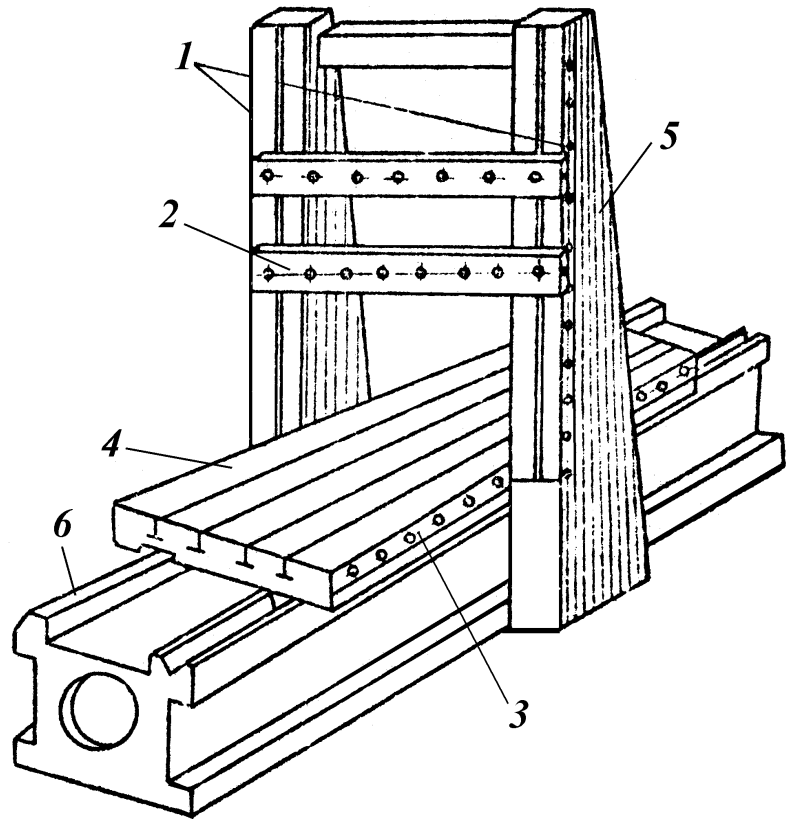


Fig. 4.6. Instrumental stand: 1 – vertical ruler; 2 – transversal ruler; 3 – longitudinal ruler; 4 – table; 5 – portal; 6 – bed

For dimensions (distances) constructing along all the rulers, the distance permanent or micrometric gages are used.

Set of 11 distance permanent gages allows to lay off dimensions in 1 mm.

Micrometric gage allows to lay off any dimensions with accuracy of $\pm 0,01$ mm.

Distance gages 8 (Fig. 4.7) are fixed by the pins 9 on the stand rulers 3, 5, 6 at two holes that spaced at a distance of 200 mm. Dimensions are laid off (constructed) by the holes of the second row. With the using of the distance gages follows are located: the transversal rulers 3 with respect to the vertical rulers 5; the adapting fitting 4, intended for locating forks (eye bolts) 12, with respect to the transversal rulers 3; the distance fittings 7 with respect to the longitudinal rulers 6.

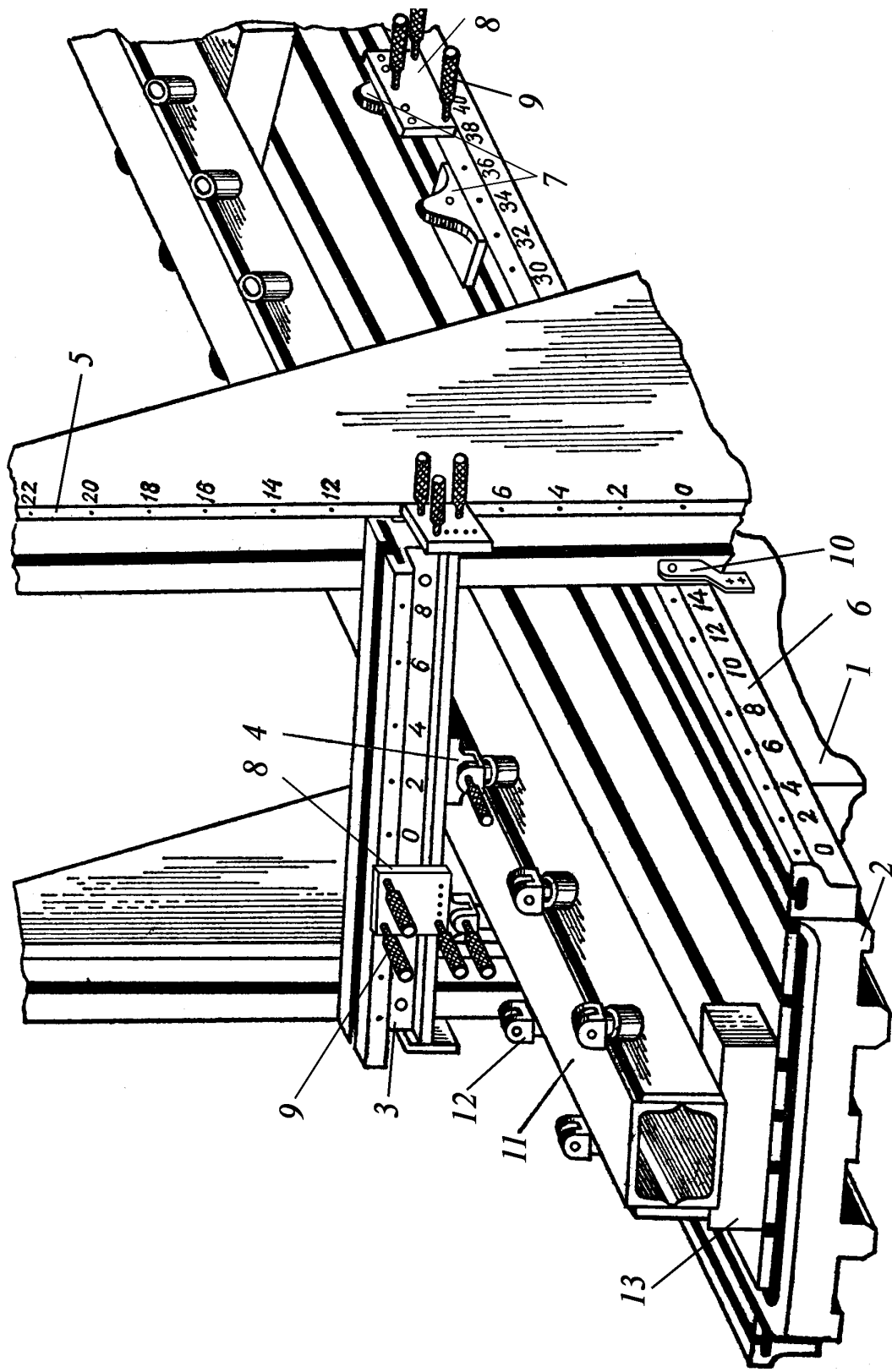


Fig. 4.7. Casting in cement of the beam forks (eye bolts) in the instrumental stand: 1 – bed; 2 – table; 3 – transversal ruler; 4 – adapting fitting; 5 – vertical ruler; 6 – longitudinal ruler; 7 – distance fitting; 8 – distance gage; 9 – pin; 10 – distance bracket; 11 – assembly jig beam; 12 – fork (eye bolt); 13 – prop-base

The first distance fitting is positioned and fixed on the table longitudinal ruler 6; from its hole all the dimensions, which given in the assembly tooling drawing, are reckoned and laid off by the distance gages; thus, other distance fittings are located. These distance fittings are fixed to the table 2 by bolts and afterwards the table is successively located into its working positions "along distance" and fixed in it by the locking pin through the holes in the distance bracket 10 on the bed 1 and in the appropriate distance fitting. It should be noted that in actual practice this table fixing technique is complicated due to the table large sizes. Therefore an indicator device that adjusted "to zero" with respect to the stopper of distance fitting, when it fixed by pin to the distance bracket, is held to the distance bracket. Thus, in process of table working positions locating the indications of this device should be traced (its scale graduation is $\pm 0,01$ mm). Common accuracy of table locating by indicator is $\pm 0,1$ mm, and this value is acceptable for all kinds of tooling.

Instrumental stand allows coordinating with high accuracy of the system of holes in the forks which are either mounting or locating elements of assembly jigs and the second-order tooling (junction gauges, mounting plates, etc.).

Cure time of the beam with forks after replacing it from the table of IS to mounting it in assembly jig – two days.

As noted above, the forks placed at beams in the instrumental stand may be intended for the fixing arms, jiggling plates, mounting plates and junction gages. Accordingly, their positions are uniquely determined either by the dimensions of assembled aggregate (step of the ribs or frames, arrangement of the flat or fork junctions) or by holes in the forks for the particular element of jig (fixing arm, jiggling plate) or in the forks for the second-order tooling (mounting plates, junction gages).

Dimensions, which produced by using of the instrumental stand, are specially marked in the tooling drawings (by marking them with an asterisk or by framing them).

Laboratory Work Facilities

1. Drawing of the assembly jig beam.
2. Instrumental stand with necessary tooling (scaled mock-up of the stand of type IC-6).
3. Blank of the beam (scaled mock-up).

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the drawing of the assembly jig beam and the tooling of the laboratory work.
2. Locate forks at the beam by instrumental stand.
3. Make a laboratory work report which includes:
 - Sketch diagram of forks coordinating (locating) procedure at the beam by instrumental stand;
 - Technological process of locating and casting in cement of forks by IS.

Mounting of assembly jig with the mounting plates and optical devices

Mounting procedure of the big-sized assembly jig (Fig. 4.8) is started with the setting of basements, which horizontality is checked with the levelling instrument, at the foundation. On the basements the columns are constructed from the standardized blocks and its vertical position (with the accuracy up to 5 mm) is tested by plummet. The brackets for placing of the beams are fixed to the columns according to the assembly jig drawing.

The most important stage of mounting procedure is locating of assembly jig beams, because it is the positions of their forks determine the accuracy of outline and junction locators positioning, thus and accuracy of the junctions and the outline geometry of the assembled aggregate.

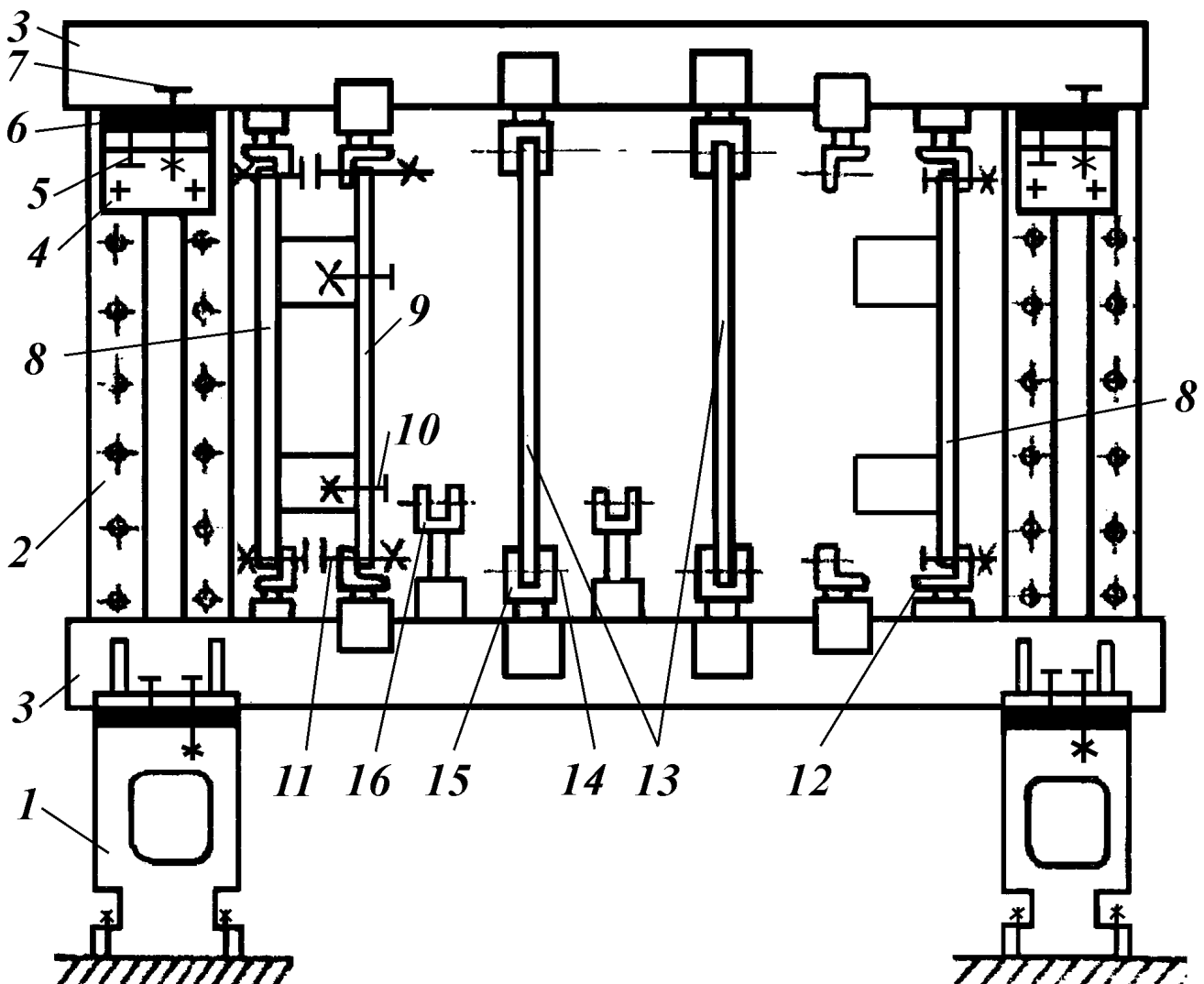


Fig. 4.8. Main elements of the assembly jig (during its mounting procedure):
 1 – basements; 2 – column (standardized blocks); 3 – beam; 4 – bracket;
 5 – adjusting screw (jacking screw); 6 – gaps filler (layer shim, cement
 НИАТ-МЦ); 7 – fixing bolt; 8 – mounting plate; 9 – jigging plate; 10 – bolt at BH;
 11 – bolt at MH; 12 – half-fork; 13 – fixing arm; 14 – pin at MH; 15 – fork;
 16 – junction locator of fork type

First step is to locate the upper beam, as a basic one, in the position given in drawing by adjusting screws (jacking screws) with using of the optical level and vertical measuring rulers. Gaps between the beam and the jig skeleton elements (brackets) are poured with the cement HIAT-MLJ, and after cure time that is equal to 7–12 minutes the beam will be fixed by bolts. Sometimes for beam fixing special reference forks (eye bolts) are used.

Next step is to hang up the mounting plates at the corresponding half-forks and to locate plates vertically by optical devices (Figure 4.9). In this position plates will be clamped to the columns with the auxiliary means (like jacking clamps and distance bars). Then the forks of other beam will be brought close to the free forks of mounting plates and joined to them by the bolts at MH. Gap between the beam and the jig skeleton, as in the first case, is poured with the cement, and beam is joined with bolts to the jig skeleton.

So, first of all it is the beams are located in correct mutual position by the mounting plates. Then the jiggling plates are mounted. Each of them is joined to the appropriate mounting plate at the BH and the work surface, and then their fixing forks are casted in cement in the appropriate beam barrels; and besides of it the additional components, which provide possibility of the moveable jiggling plate travel, are set to this plate. In a day the fixing arms are hanged up at the beams forks. Due to the coordination of dimensions, which performed with using of loft-conductor and instrumental stand, the hanging and fixing of the fixing arms by high-accurate pins should be easy (by hand). After appropriate cure time (two-three days) the mounting plates will be dismantled and assembly jig will be ready for exploitation.

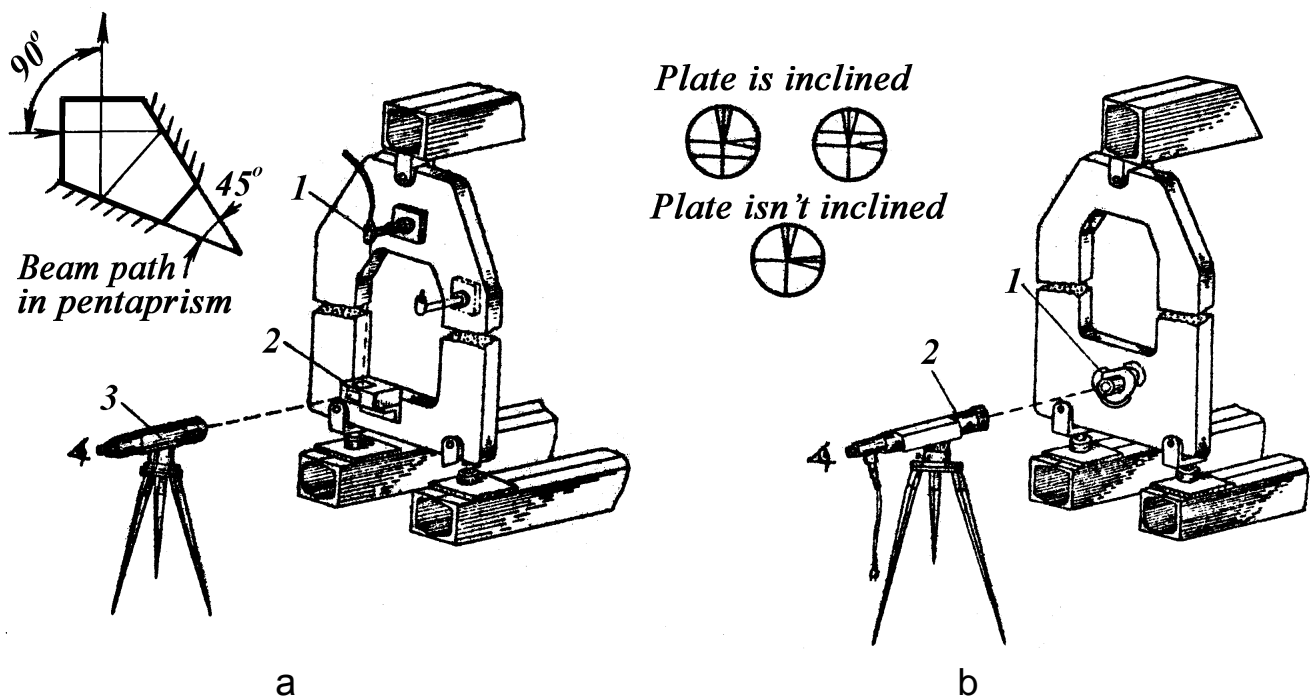


Fig. 4.9. Plate vertical position checking: a – by level (1 – a prop with mark; 2 – pentaprism; 3 – the level); b – by autocollimator (1 – mirror; 2 – autocollimator)

During the exploitation period the accuracy of the assembly jig is checked by holding the same work and with using of the same means as during its mounting procedure. Mounting plate in this case is the peculiar standard of the mounting dimensions.

Laboratory Work Facilities

1. Drawing of the assembly jig for assembling of the centerwing section.
2. Kit of the finished components of the assembly jig (scaled mock-up).
3. Means of mounting – mounting plates (scaled mock-ups), the level, the vertical rulers, clamps, bolts, pins.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the drawing of the assembly jig and the tooling of the laboratory work.
2. Mount the assembly jig.
3. Make a laboratory work report which includes:
 - Answers to the test questions;
 - Sketch diagram of assembly jig mounting and checking by CTM means;
 - Technological process of the assembly jig mounting procedure.

Test Questions

1. What is the essence of the coordinate-template method of tooling coordination?
2. List the advantages of the coordinate-template method.
3. What kinds of work are performed by the loft-conductor?
4. What is loft-conductor used for while fixing arms are made?
5. What is directive principle for choosing the positions of the MH in the fixing arms?
6. What kinds of work are performed by instrumental stand?
7. How the distance gage is structured, and what is its purpose?
8. What is the purpose of the adapting fittings of the instrumental stand?
9. Describe the order of the dimensions laying out along the axis of the instrumental stand.
10. Give the examples of the fast-hardening cements application during manufacturing of the components of assembly jig and its mounting procedure.
11. What accuracy the instrumental stand ensures?
12. List the holes names in the jiggling and mounting plates.

Laboratory work № 7

MOUNTING AND CONTROL OF ASSEMBLY TOOLING BY OPTOMECHANICAL SYSTEM

The **purpose** of this work is to get familiarized with the essence of method of the assembly tooling mounting by the optical and laser devices.

Basics

The enlarging of overall dimensions of the items, which aviation industry produce, while increasing their structural integrity resulted in the simplification of assembly jig design due to the reducing of the quantity of locating and supporting elements of jig. This fact complicates the tooling mounting procedure as a result of exclusion of continuous longitudinal frame elements (beams) from the assembly jig and using a skeleton that consist of separate risers or blocks. Thus, the possibility of the instrumental stand applying in the assembly jig manufacturing is distinctly limited.

Following the principle of dimensioning of the assembly jig in the coordinate system of the produced item axes and the systems of the basic holes, which are located usually in different cross-sections along the same axis parallel to the main (longitudinal) axis of aggregate, allows efficient using of the optical and likewise means for mounting of the assembly jig.

Due to the using of the optical means, i.e. the sighting tube and the sighting mark (target), the design axes of assembly jig are replaced with the line of sight that coincides with the optical axis of the sighting tube (level, theodolite, special devices like ППС-7, ППС-11).

To maintain the constancy of the sight line position and the possibility to lay off coordinates along this line the instrumental coordinate ruler are used. They are placed in the mounting zone of the jig to be assembled and used in combination with the optical devices for contactless constructing and measuring.

The optomechanical system (OMS) that created according to these principles has high accuracy and mobility; so, it is allows to widen the field of operations as to the assembly jig mounting in the assembly shop. Depending on the peculiarities of the assembly jigs design the optomechanical and coordinate systems may include the various combinations of elements and therefore have a different structure. OMS can be either mounted into the assembly jig skeleton or located next to the assembly jig (so called opto-mechanical stand).

The mechanical part of the stand is formed by (Fig. 4.10):

1) Distance rulers 1, located horizontally at right angles to each other; they provide a laying off the distances in the horizontal plane in a rectangular coordinate system by its instrumental holes and distance gages 2;

2) Vertical ruler 3, which provides a laying off the given height H relative to the horizontal plane along the vertical coordinate axis; the laying off of the dimensions is performed by vernier (pos. 3.1) of vertical ruler after aligning the sighting mark (pos. 3.2) with the cross hairs of the sighting tube;

3) Cathetometer 11, which is a vertical riser with a measuring ruler and movable bracket, which holds the telescope (sighting tube); the purpose of the cathetometer is similar to the ones of the vertical ruler 3.

Elements of the optical part of the stand:

1) Sighting tubes 4 of level HT, which is fixed on the ruler 1 by adapting bracket;

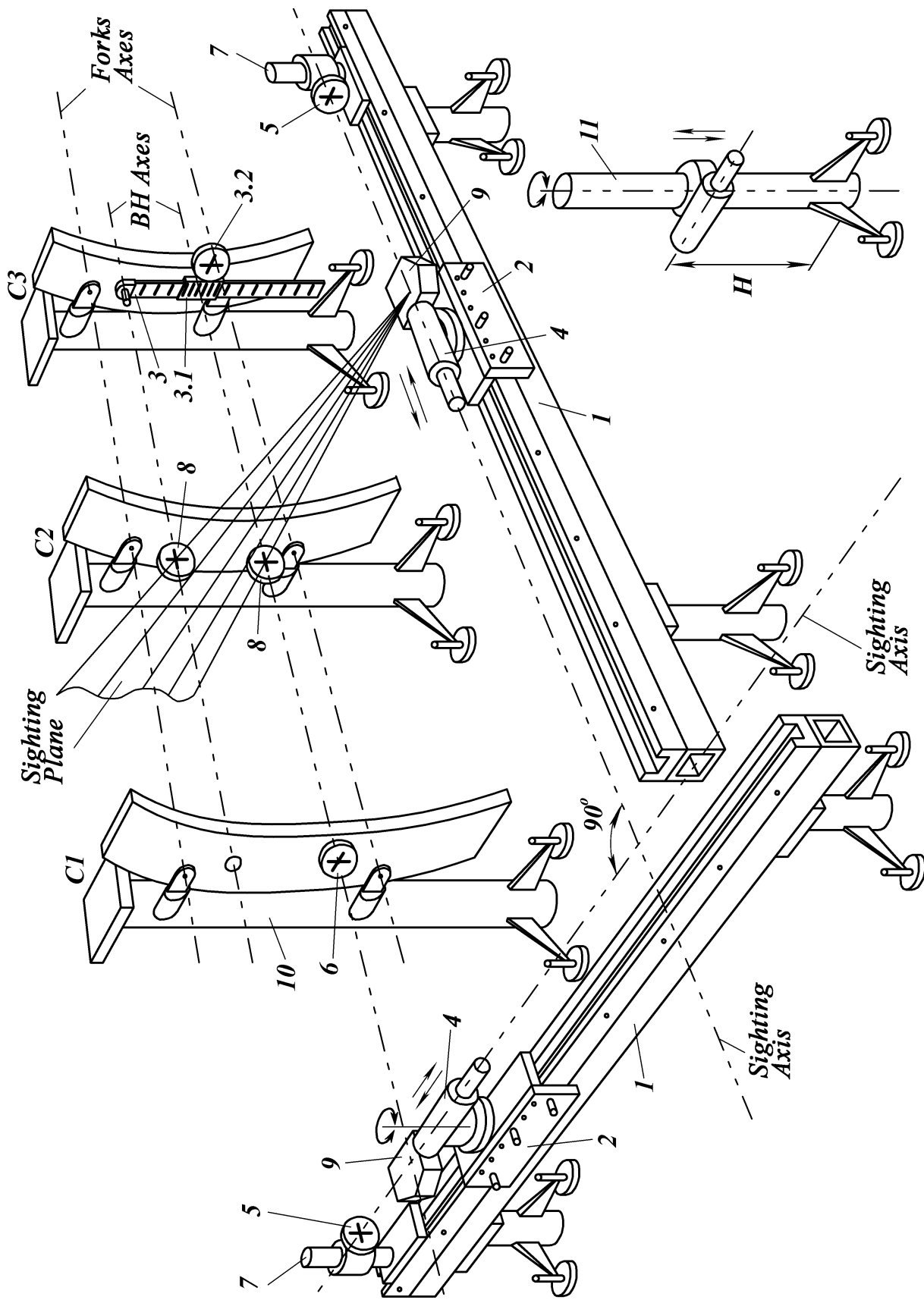


Fig. 4.10. Optomechanical stand: 1 – distance ruler; 2 – distance gage; 3 – vertical ruler (3.1 – vernier, 3.2 – sighting mark); 4 – sighting tube (of the level HT); 5, 6 – sighting marks; 7 – prop; 8 – angle sighting mark; 9 – pentaprism; 10 – mounted object (risers C1, C2, C3 with the fixing arms); 11 – cathetometer B-B-630A

2) The system of sighting marks: sighting mark 6 set the position of the design axes of assembly jig, 5 – position of origin axes of coordinate rulers, 8 – position of the fixing arms planes (angle sighting marks), 3.2 is a sighting mark on the vertical ruler;

3) Rotary pentaprism 9 in the body shell;

4) Sighting tube of cathetometr B-B-630A.

Cathetometer is designed for measuring of vertical coordinate of products, which are placed out of reach for the direct measuring immediately in the shop. Measurement error by it does not exceed $\pm(10+L/100)$ microns at a distance of L , mm.

Cathetometer (Figure 4.11) allows to measure the product dimension $a-b$ due to the built-in-device scale by successive sighting by the sighting tube at the beginning a and end b of a product segment.

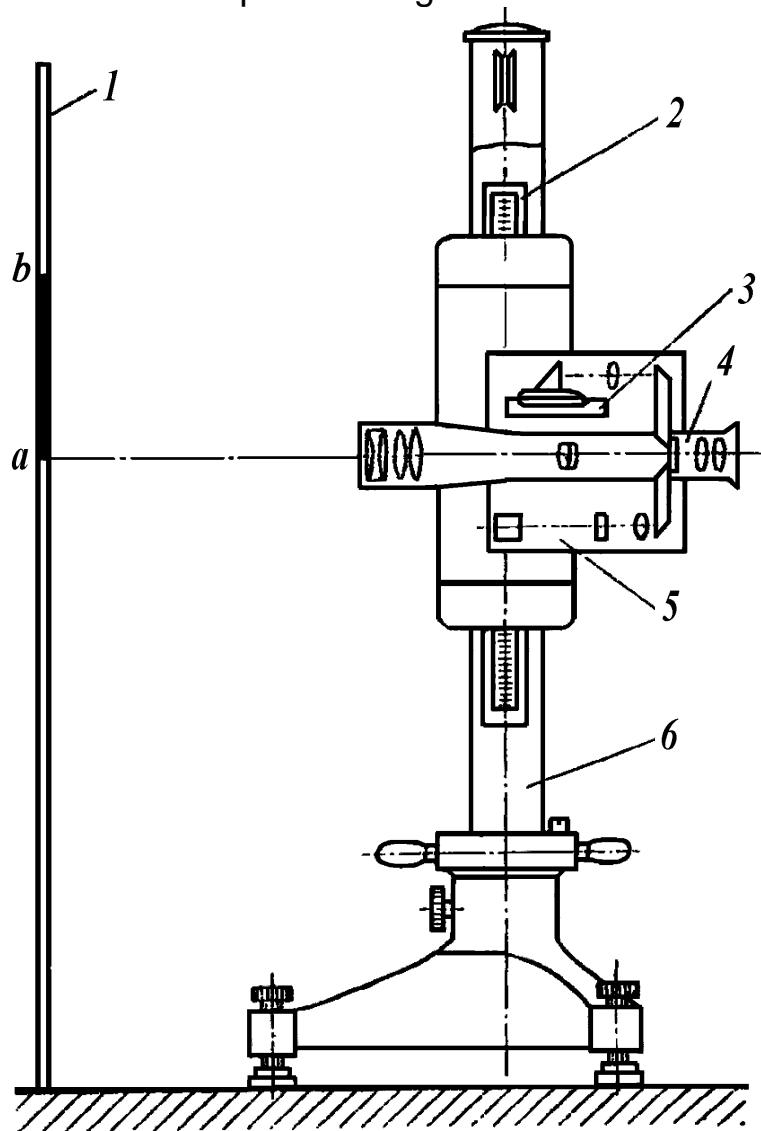


Fig. 4.11. Schematic diagram of cathetometer: 1 – product; 2 – scale; 3 – bubble level for the horizontality checking; 4 – sighting tube; 5 – counting device; 6 – guides

Cathetometr has the following main parts: the finder system – sighting tube 4, which moves in guides 6 of cylindrical or rectangular shape; device 3 for aligning a sighting tube in a horizontal position (bubble level with the cylinder ampoules); scale 2; counting device 5 (microscope).

The implementation of laser-based techniques of mounting of the assembly tooling in the manufacture allows to reduce the labour-intensiveness (labour-input) of mounting works, to cut the cycle of jigs manufacturing in 2-3 times, and to improve the accuracy of their coordination.

The structure of laser centring-and-measuring system (LCMS) for mounting of the large jigs is shown in Fig. 4.12.

The position of any assembly jig element in space is uniquely determined by two laser beams and the plane that perpendicular to them and created by turning of the laser beam due to the pentaprism. In such a way the six degrees of freedom for the each element of the assembly jig can be controlled.

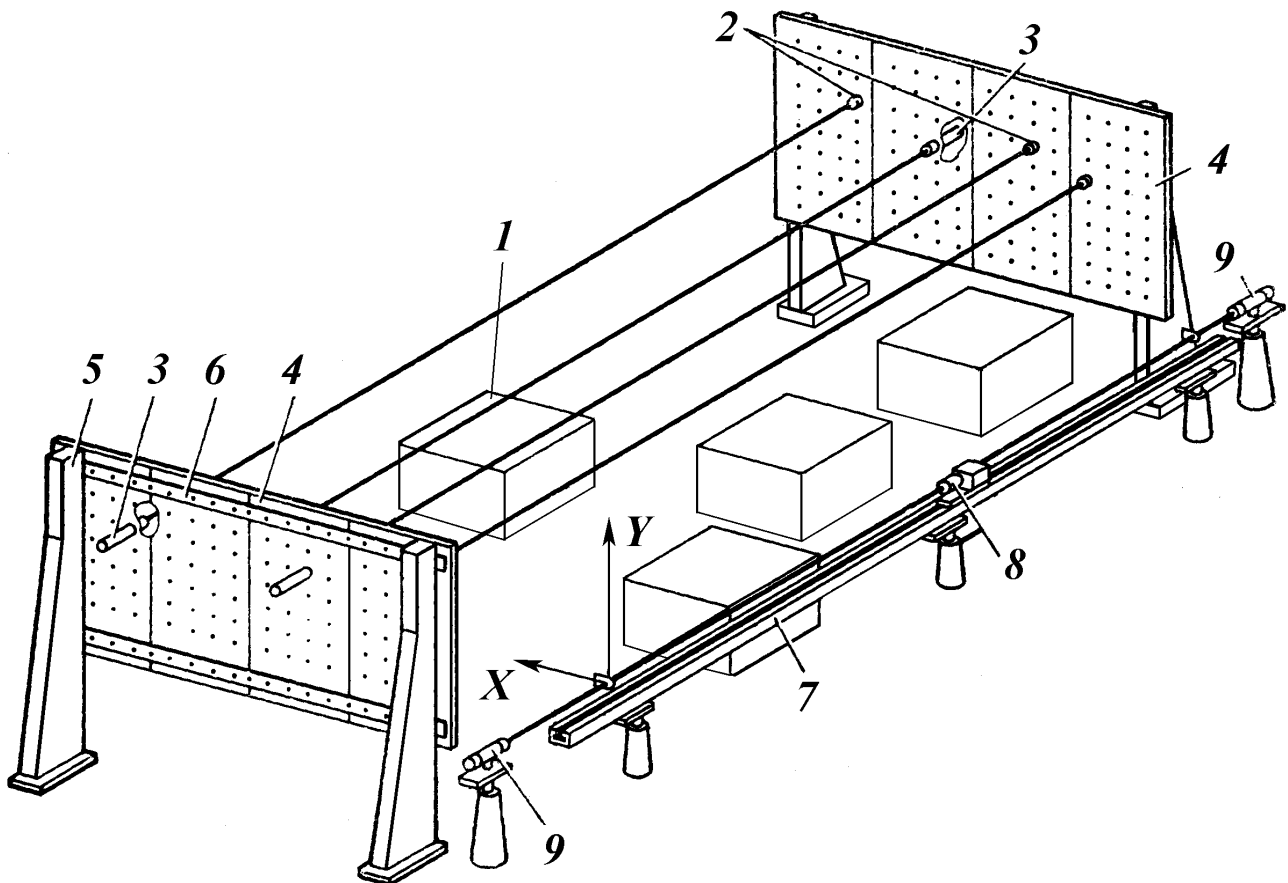


Fig. 4.12. Laser centring-and-measuring system (LCMS) for mounting of the large assembly jigs: 1 – basement blocks of the jig columns; 2 – sighting marks; 3 – laser head; 4 – TCP plates; 5 – risers; 6 – rulers; 7 – longitudinal coordinate ruler; 8 – pentaprism; 9 – laser rangefinder with the reference beam

Technological coordinate planes (TCP) are performed as two identical plates with a system of coordinate holes which treated by the jig-boring machine. For mounting of the assembly jig the coordinate system formed by

TCP and distance coordinate rulers are created. Thus, the system of reference laser beams for coordinating of spatial position of the assembly jigs elements is constructed due to the locating of laser beams on the holes of the TCP.

The TCP can be placed independently on the special risers or be built-in into the jig (in that case they also serve as the mounting plates).

Laboratory Work Facilities

1. Jig for panels assembling (see the drawings to this laboratory work) which is a system of supporting risers with outline locators (the fixing arms). In the each fixing arm are made two basic holes (BH) with diameter 18H7, which determine auxiliary design axes of the jig, and two mounting holes (MH) for joining the fixing arms to the risers (in the "fork–barrel" system).
2. Kit of OMS elements (see Fig. 4.10).
3. Drawing of the assembly jig general arrangement.
4. Step-down transformer for the backlights.
5. Laser viewing device ЛВ-5М.
6. Laser level with magnetic base.
7. Laser tube of the device ППС-7 with adapter of diameter 18H7.
8. Angle rotary prism.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Get familiarized with the mechanical and optical elements of the OMS, get realized the purpose and maintenance technique of the optical and laser devices.
2. Perform typical operations.

Checking of the distance rulers positioning

The execution order:

- a) In order to control the horizontal position of each coordinate ruler set the reference sighting mark 5 on the prop 7 at one end of the ruler (see Fig. 4.10);
- b) Set sighting tube of the level in the direction of the sighting mark and check position of the level with the cylindrical bubble level;
- c) Align the cross hair of sighting tube with a sighting mark by moving the mark along the prop height;
- d) Move the level along the ruler to the sighting mark, but not closer than 1,2 m (coincidence of the level and the sighting mark crosshairs, stable position of the bubble of cylindrical level indicate the horizontal position of the ruler), hold down the locking screw on the casing of the level;
- e) In order to check the rulers perpendicularity move the level at the end of ruler and set the pentaprism on the level;
- h) Continue the moving of the level along the ruler until the field of view will get the sighting mark 5 on the other coordinate ruler (the mutual perpendicularity of rulers is indicated by either coincidence of the level and the sighting mark cross hairs or their parallelity).

Note 1. To reduce the amount of operations rulers can be set "with overlapping" that allows to use the rotary sighting tube without pentaprism for rules perpendicularity checking.

Note 2. Space that limited by the rulers length and cathetometer (or other device) working height is a working (mounting) space for mounting (checking) of the jig. Discontinuity of this space is determined by scaling factors of counting rulers (distance and vertical ones, cathetometer ruler). In this space the jig to be inspected or mounted should be fit.

*Verification of holes coaxiality (concentricity) in the fixing arms
by the direct sighting of the sighting marks*

The position of any fixing arm in a space is quite determined if its basic holes and the BH of the first fixing arm are coaxial. To ensure coaxiality do the following:

- a) Set the required position of the sighting tube along the distance ruler and fix it by distance gage on the ruler;
- b) Set the sighting marks in the basic holes of fixing arms, check the coincidence of the level and the sighting marks cross hairs, sighting consistently over the sighting marks, and determine the error of locating by the sighting mark scale;
- c) Set the sighting tube of device ППС-7 at the upper basic hole of the fixing arm;
- d) Repeat all the operations from the item *b*.

*Checking of holes coaxiality (concentricity) in the fixing arms by the direct
sighting with using of pentaprism and angled reflector*

Procedure:

- a) Set the sighting mark in the upper basic hole (BH) of the first fixing arm;
- b) Set the angled reflector in the upper basic hole and the pentaprism in the lower basic hole of the last fixing arm;
- c) Point the level at the sighting mark, turning the pentaprism (or angled reflector) while finding the sighting plane of the sighting mark.

*Checking of the fixing arms position along the distance
and the parallelism of their planes*

The execution:

- a) Considering as the origin the first fixing arm plane, set the level with the pentaprism and fix it on the ruler by the distance gage (see Fig. 4.10);
- b) Set the angle sighting marks in the basic holes of the fixing arm;
- c) Check the coincidence of the level and the sighting marks cross hairs, turning pentaprism;
- d) Move the level with the pentaprism along the distance ruler and fix it on the ruler by pins at the distance, which given in the drawing, using the distance gage;

e) Repeat the operations of items *b* and *c*, thus examining the parallelism of the fixing arms. In case of non-coincidence of the level and the lower sighting mark cross hairs it should be selected the appropriate distance gage and calculated the actual distance between the fixing arms.

Determining of the positions of the jig elements placed outside the main sighting line

While the holes coaxiality (concentricity) checking procedure it may be revealed that specified elements are placed outside the line or plane of the sighting. For example, in the considered jig (see the drawing of the assembly jig general arrangement) the BH of the fixing arms, which correspond to the frames 7–9, are vertically shifted with respect to the holes of the fixing arms for frames 10 and 12.

If the verticality of the plane that passes through the centres of these BH can be checked with pentaprism, then placing of the BH on some height require the shifting of the sighting axis along vertical. This can be done with using of either the cathetometer or vertical ruler and level (if cathetometer is absent or has insufficient vertical travel):

- a) Set the vertical ruler at BH, which to be checked, in the fixing arm;
- b) Move the vernier with the sighting mark along the ruler to coincidence of the cross hairs of the sighting mark and the level or cathetometer;
- c) Ascertain the mutual exceeding of planes (axes) by the scale of the vertical ruler.

3. Draw the sketches that illustrate the checking procedure of rulers positioning, of holes coaxiality (concentricity), of distances and parallelism between two adjacent fixing arms, of vertical shift of the BH in fixing arms.

4. Answer the test questions.

Test Questions

1. What elements OMS includes?
2. What is the basic principle of assembly jig mounting method with using of optical devices?
3. How to check the holes coaxiality (concentricity)?
4. How to check the parallelism of the fixing arms and the jiggling plates? What is the common base in this case?
5. What determines the working mounting space of OMS and its discontinuity?
6. What are the advantages of laser systems of mounting and checking in comparison with the optical one?

5. FULFILLING OF JOINTS DURING AIRPLANE ASSEMBLING. METHODS, EQUIPMENT AND TOOLS FOR RIVETING

In the aircraft and helicopters structures the permanent and detachable joints are used. Permanent joints are performed by riveting, welding, gluing, reduction or by combination of gluing and either riveting or welding. Detachable joints can be performed with using screws, axial joints (threaded screw pair), locks, fingers, and axles with appropriate fits.

Among all the types of joints it is the riveted ones are the prevalent. Amount of rivets in the structure of modern aircraft of medium weight is over the range 400-600 thousands, in structures of the heavy and super heavy aircraft – up to 1,5-2,0 million riveted points; that is equal to 75-90% of the total amount of the joined points. Labour-intensiveness of riveting work is about 30-35% of the total labour-intensiveness of the airplane manufacturing.

Such widespread using of riveting is the result of specific character of the aircraft manufacturing technology, of the wide range of assembly components types and materials are used in aircrafts structure, of airframe design features diversity and specificity, of high demands to the accuracy of units and aggregates geometry and to the joints reliability and durability, of large overall dimensions of assembly components, of limited amount of the structural and technological breaks (or splits). It should also be noted that the cost of manufacturing (expenses) of riveted structures made from aluminium alloys is the lowest in comparison to the other types of permanent joints, and besides it is the riveted joints have the best checkability.

However the riveting has the following disadvantages comparatively to the other joining processes (welding, brazing or soldering, gluing):

- Low productivity;
- Enlarged weight of the structure due to the overhanging of rivets manufactured and upset heads;
- Strength retrogression of the structural components because of the holes for rivets;
- The necessity of additional sealing-in works by various techniques and checking operations for the leakproofness (air-tightness) evaluation;
- Significant deformations and internal stresses of structural elements;
- Harmful phenomena (factors) during the processes of holes drilling and impact riveting (noise, vibration, hypothermia of worker's hands).

Despite these drawbacks, riveting process is widely used in airplane and helicopter manufacturing and considered by domestic and foreign specialists to be the main process for the period until 2050.

Laboratory work № 8

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR DRILLING AND RIVETING WORK

The **purpose** of this work is to get familiarized with typical technological processes of riveted joints pre-treating and making, with equipment and tools which used, with technological methods of the joints quality improving; to acquire practical skills of riveting.

Basics

Riveting by the ordinary (solid, or bulk) rivets is the process of the parts joining due to the deformation of rivets shanks, which placed in previously made holes in the components to be assembled. Such process is used in the open areas of the structure where two-side approach to the riveting zone is possible. Solid rivets are made on automatic upsetting machines from blanks of wire or bar type of the aluminium alloys B65, AMr5П, Д18П, Д1, AMц, and steels 10, 15, 20Г2, 12X18H9T with special supply conditions. The rivet top head (so called manufactured, or factory one) can be of bulk (overhanged) or flush head style. In turn, the bulk manufactured head can be of flat (3П), round (3K), universal (3B) types, and the flush (countersunked) ones – with a cone angle of 90° or 120° . In the structures of the modern aircraft it is about 60-70% of rivets have countersunked manufactured heads. There are rivets made of alloy B65 specified in standards OCT 1.34040-79 (with head type 3П, 3K or 3B), OCT 1.34087-80 (with cone angle 90°), OCT 1.34098-80 (with cone angle 120°) mostly in use.

Process of parts joining by ordinary flush rivets includes five typical operations (Fig. 5.1).

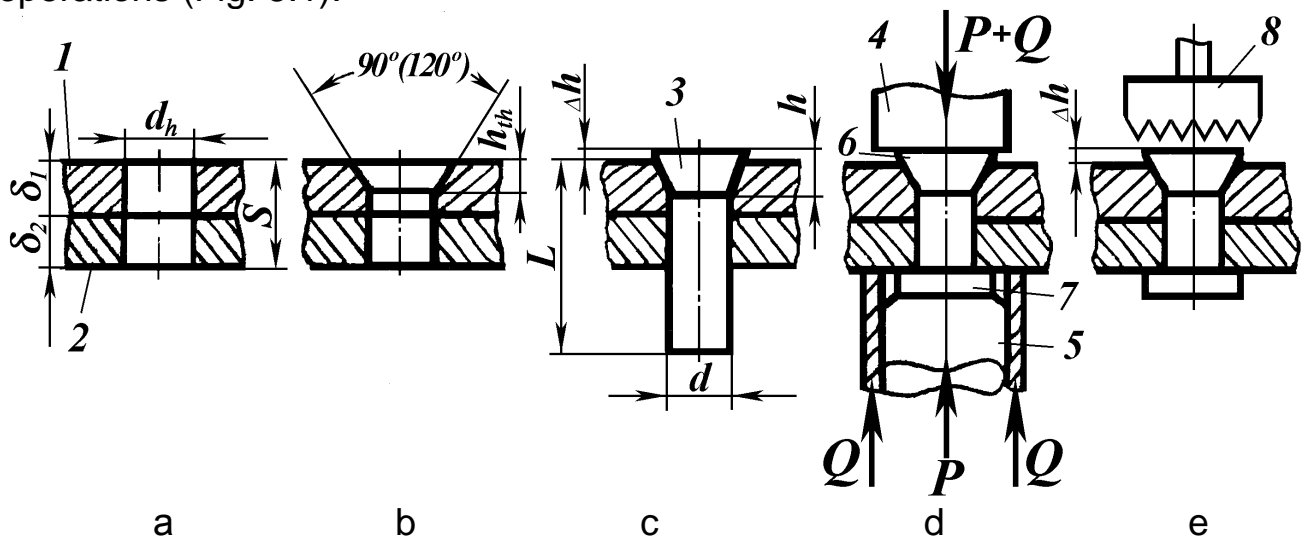


Fig. 5.1. Operations of riveting process: a – making of the hole; b – countersinking of the hole; c – placing of rivet; d – riveting (in the clenched stack); e – milling of the head of flush rivets (1, 2 – parts to be joined; 3 – rivet; 4 – hammer; 5 – bucking bar; 6 – manufactured rivet head; 7 – upset (shop) rivet head; 8 – miller)

Technological process of riveting is completed by quality control of the joint (the set of limiting parameters specified in the drawings, in technical requirement, manufacturing instructions and other guiding documents).

Making holes for rivets

The most common way of holes making is drilling, because punching of holes by stamps does not provide a high degree of strength and resource of the joint. Depending on the design and thickness of the stack to be riveted the holes may be drilled in one or two technological step.

Diameter of hole d_h for ordinary solid (bulk) rivet must be larger than the nominal rivet diameter d of 0,05...0,20 mm for more easy and productive placing of the rivets into the holes.

For making holes the following equipment is used: universal and special machines, stationary machines equipped with the drilling-countersinking aggregates (CA-02, C3A-02, C3A-02, C3Y-Φ1), and various pneumatic hand drilling machines – hand drills (CM11-180, CM11-35, CM21-140, CM21-25, CM41-12, YCM12-6-30, CMY21-6-5, etc.).

Depending on the design, group of power, rotation speed of the reducer output shaft all the hand drills have corresponding alphanumeric designations, for example: in designation the of drill machine CM11-180 the first digit (1) means a group of power, second (1) – design, next group of digits (180) – maximum rotary speed of spindle while idling (18 000 rpm). Technical performances of pneumatic hand drills, which have the widest application in the industry for holes drilling and countersinking, are given in the book [9].

Drilling equipment must be provided with devices for supporting and levelling the structure to be assembled or the equipment itself should travel along it. In the drilling area the stack of parts should be tightly compressed for exclusion of ingress of chips between the parts and prevention of burrs forming inside the stack. The quality of drilled holes is checked visually and with the limit plug gages.

Countersinking of tapered holes to receive rivet heads

Tapered holes for receiving the rivets are made by countersinking or punching. Holes for receiving of countersunked rivet heads are performed by countersinks, which have guiding pins of diameter equal to the nominal diameter of the drill for the previous step and tolerance corresponding to f9 or e9. To increase productivity the using of compound tool – countersink-drill – is recommended for countersinking. Countersinking is applied when skin thickness δ_I is greater than the height h of manufactured rivet head. In thin stacks or when skin thickness is less than the height of the of manufactured rivet head, tapered holes are performed by stamping (dimpling). Methods of fulfilling of holes for receiving of ordinary countersunked rivets are shown in Fig. 5.2.

If the stack thickness is $S < d$ and $\delta_1 < h$, then tapered dimple should be produced separately in every part or jointly in the stack of parts with using a punch and a die, which located by the center of the previously drilled hole with diameter $(0,8...0,9) d$, and after hole should be reamed to the desired diameter d_h . If the skin thickness is $\delta_1 < 1$ mm, and thickness of the airframe element is $\delta_2 < h$, then the dimples for receiving the rivet heads should be countersunked in the airframe and dimple in the skin may be get either by punching with the die or by pressure of the rivet head. The depth of the dimples for receiving the countersink rivet heads is checked by gage-rivet and indicator device of watch type (Fig. 5.3).

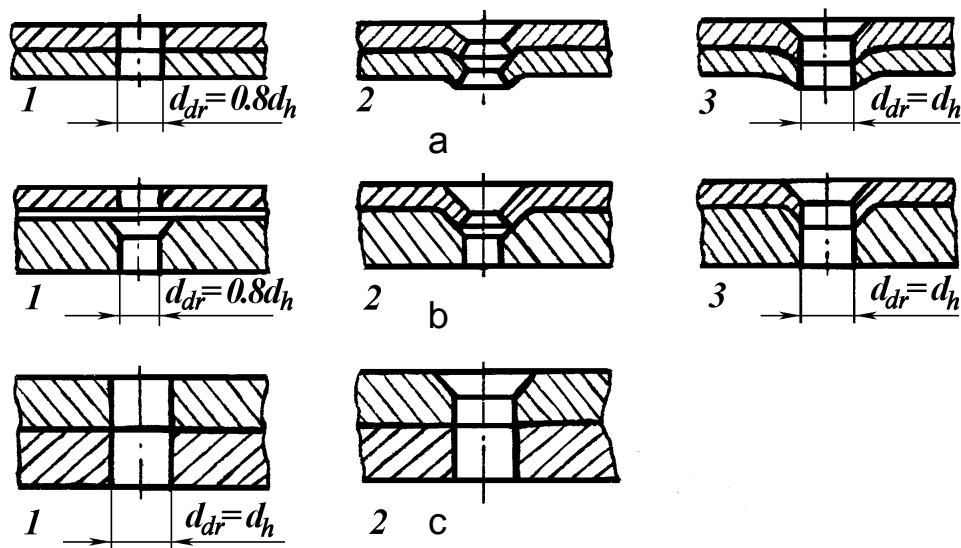


Fig. 5.2. Methods of making of holes for receiving countersunked rivets: a – by punching (dimpling) in both parts; b – by countersinking in the frame and punching in the skin; c – by countersinking in the skin (1 – hole drilling; 2 – hole countersinking; 3 – hole reaming)

Sinking down of countersink rivet heads is negative phenomenon, since due to it the necessary quality of the joint (as to the strength and air-tightness) will not be provided. To prevent this for the depth of countersinking h_{cs} the tolerance Δh_{cs} is set. Its value is determined with respect to the tolerance of countersink rivet upset head height h which equal to $\begin{matrix} +0,1 \\ 0,0 \end{matrix}$ mm and to the tolerance of countersink rivet head flaring out the skin surface Δh , which is equal to $\Delta h^I = 0,0...0,15$ mm for the outline surfaces in the first streamline zone and $\Delta h^{II} = 0,0...0,2$ mm – for the second one. Thus, the tolerance for the depth of countersinking in the first zone is equal to $\Delta h_{cs}^I = \begin{matrix} 0,0 \\ -0,05 \end{matrix}$ mm and for the second – $\Delta h_{cs}^{II} = \begin{matrix} 0,0 \\ -0,1 \end{matrix}$ mm.

Compression of the stack

To ensure high quality of riveted joints and their best performance under the shear-type loads, it is necessary to have a firm contact of parts to be joined. This is achieved by the preliminary loading of stack parts with the force Q (see Fig. 5.1) with the built-in elements of riveting dies while using a riveting presses or special stretching heads of riveting guns (hammers).

Riveting (the forming of the upset (bucked) heads)

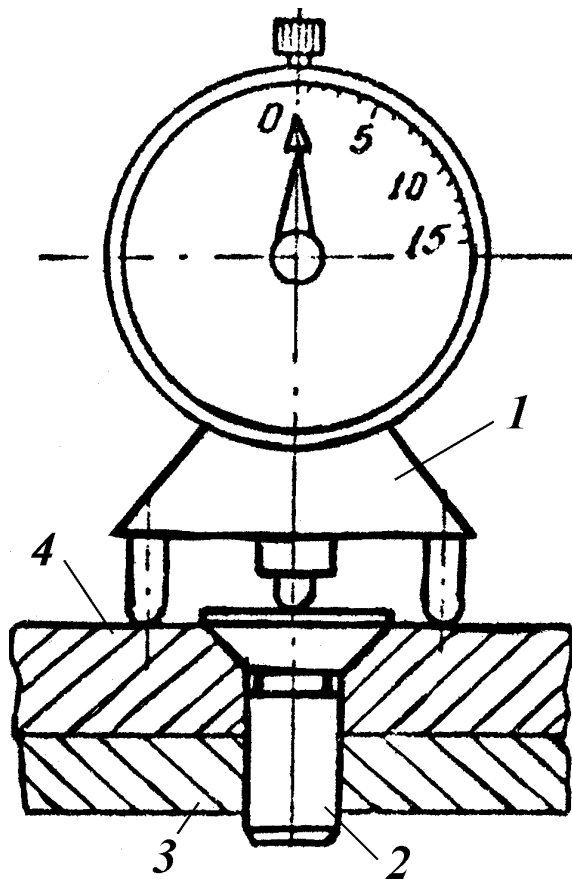


Fig. 5.3. Control of the tapered hole depth:
1 – an indicator device, 2 – gage-rivet;
3, 4 – parts to be joined

Forming of the rivet bucked head is due to plastic deformation (upsetting) of the rivet shank under the blows of pneumatic hammers or bucking bar, the pressure of a press punch or under the local pressure (Fig. 5.4).

While *press riveting* the bucked (upset) head of rivet is formed under the relatively uniform compression of the shank in a stack. In the single riveting only one rivet is upset during travel of the press slider and in the group riveting – the few ones.

Press riveting provides:

- High and steady strength of the joint due to the more uniform (vs. multi-impact riveting) tightness along the rivet shank length;

- High quality of joints geometry;

- High productivity and minimal labour-intensiveness of joining process;
- Low level of industrial noise and no vibration;
- The ability to use group riveting to increase productivity.

And besides, the press riveting can be automated and the equipment will perform the drilling and riveting works.

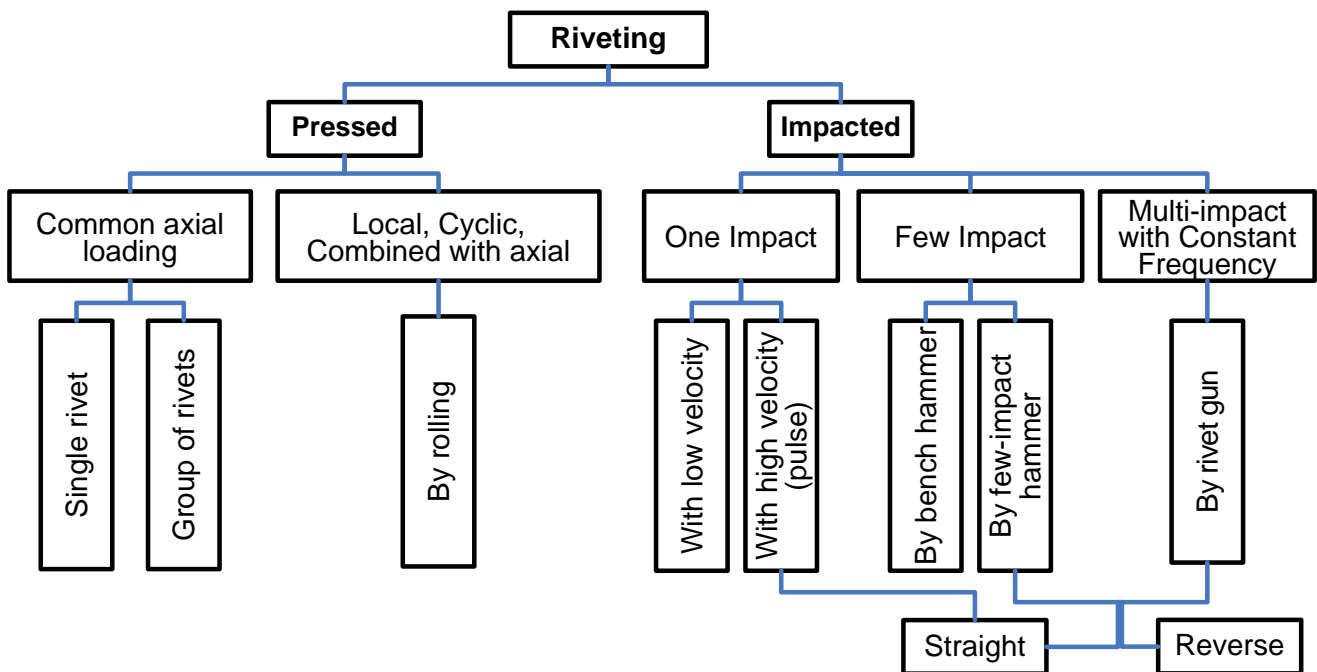


Fig. 5.4. Methods of riveting

Impact riveting with using pneumatic riveting hammers is divided into the straight and reverse ones depending on the place of active load application. While the straight impact riveting the set of riveting gun acts to rivet shank, forming the bucked head, and the massive bucking bar playing the role of riveted stack support and is pressed to the part surface and to the rivet manufactured head. During the reverse riveting the set blows to the rivet manufactured head and through it – on the stack, and at that time the less massive (than in straight riveting) bucking bar is placed on upset head side. Hence it is clear that the reverse riveting is possible in principle only for stack with a certain degree of compliance, that is, for relatively thin stacks. The main advantage of impact riveting in comparison with pressing and rolling riveting is possibility to perform joining of closed contours and in the out-of-the-access places. Reverse riveting also needs bucking bar of a much lower mass.

Radial (or so called orbital) *riveting* in recent years is becoming increasingly common due to the widespreading of structures made of composite materials, and due to the using of multilayer and mixed stacks. Required shape and dimensions of the bucked head are obtained by applying of special swages, rotation of which is provided by mechanisms with the necessary torque.

Compared with impact and press riveting the riveting by rolling has following advantages:

- Axial pressure of tools are some tens times lower;
- No impacts and vibration of stack in the process of riveting;

- Radial deformation of the rivets shank in the stack (swelling) is practically absent, that is very important for the riveting of non-metallic materials and high-strength composites.

Riveting by rolling is used to form joints in wedge-shaped stacks with wedging angle of 15° and in structures containing cell composite and non-metallic materials. Form of bucked head can be countersink (ГОСТ 14798-75), round (ГОСТ 14797-75) and flat.

Quality of riveted joints is largely determined by the sizes and shape of the rivets bucked head. Bucked head of cylindrical shape with a flat flank is characterized by the diameter D and height h :

$$D = 0,5 \pm 0,1 d, h = 0,5 \pm 0,1 d,$$

and for bucked heads of round shape

$$D = 0,6 \pm 0,1 d, h = 0,6 \pm 0,1 d.$$

Under consideration of this and also taking into account the hole expansion due to the upset rivet shank swelling, and using the law of volume constancy, the length of the shank for rivets in the stacks of the small thickness $S = (1,0...2,5) d$ can be determine as:

$$L = S + 0,2...1,4 d.$$

Equipment and tools for riveting

Press riveting is performed by using of either specialized presses or riveting automatons. Riveting by presses require partition of the product structure into more simple elements (units, panels), which allows to use one or another type of press and provide access to the place of riveting.

Riveting presses on the operational characteristics are divided into stationary and portable. Choosing of the press type depends on the possibility to reach the place of riveting, dimensions and material of rivets, overall dimensions of unit or panel to be riveted and other design and technological factors. Under the characteristic of energy kind and methods of its using the riveting presses are divided into pneumo-lever, hydraulic-lever, pneumatic, pneumohydraulic.

The principle of operation of pneumo- and hydraulic-lever presses is that the pressure of air or fluid on the piston of power head transmitted to the swage through leverage, which allows to get greater, compared to the pneumatic and pneumohydraulic presses, swage force, having even smaller sizes of power heads. Principle of pneumatic presses is based on the direct pressing of compressed air through the piston to the swage. Operation of hydraulic and pneumohydraulic presses is based on the transformation of energy of liquid or air, supplied to the multiplier under the relatively low pressure, in the high

hydraulic pressure transmitted from the multiplier through the hydrocylinder piston to swage. Performances of widespread domestic stationary and portable riveting presses are described in [9]. So, the press КП-204М has force up to 49 kN (5 tons), ПНП-5,5 – up to 54 kN (5,5 tons).

Among the stationary drilling-and-riveting equipment the special place is taken by the riveting automatons of domestic and foreign fabrication, which allow fully solving of the problems of joining by rivets.

When riveting by the automatons are performed the following:

- Positioning (levelling) of products relative to the tool axis;
- Compressing of the stack;
- Fulfilling of the cylindrical and countersunked holes for receiving the rivet;
- Placing of the rivet into the hole;
- Forming of the bucking head;
- Allocating of tool to its original position;
- Moving (travelling) of either a product or a riveting automaton to riveting pitch (step).

Despite the widespread use of portable and stationary presses, the significant amounts of the riveted joints are produced by impact riveting with using of pneumatic riveting hammers (rivet guns). Hammers are used for riveting immediately in the assembly jigs and during aggregates joining at the shop-floors of the out-of-jig assembling. They differ in capacity, dimensions and shape of the handle. Pneumatic hammer is chosen according to the work of one impact (blow), which depends on the diameter and material of the rivets. Principle of the hammers operation is that the under the load of the compressed air the hammer piston makes reciprocation and blows to the set, resulting in the upsetting of a rivet. Performances of hammers which are widespread in airplanebuilding industry are given in the table. 5.1.

Table 5.1

Performances of Pneumatic Riveting Hammers

Parameter	Hammer Type			
	КМП-13	КМП-23	КМП-31	КМ-41
Diameter of rivets made of B65, mm	3,5	4,0	6,0	8,0
Blows per minute	1800	1500	1300	1200
Time of one rivet upsetting, sec	1,2	1,5	1,5	2,0
Air consumption, m ³ /min	0,1	0,2	0,25	0,35
Minimum distance from the axis of hammer to the product web, mm	20,0	25,0	20,0	25,0
Shape of the handle	Gun-type	Gun-type	Gun-type	Closed
Dimensions, mm	136×140×40	165×150×55	210×155×52	355×140×68
Weight, kg	1,1	1,3	1,95	2,8

Riveting by pneumohammers is carried out with using of bucking bar of a definite mass, which depends on the diameter of the rivet, its material and method of riveting (straight or reverse). Under the calculations and from the manufacturing experience the optimum ratio between weight of the bucking bar m_{bb} in kilograms and diameter of the rivet shank d in millimetres is determined depending on the material of the rivets and riveting methods:

- Straight riveting, light alloys – $m_{bb} = 1,5 d$;
- Straight riveting, steel rivets – $m_{bb} = 3 d$;
- Reverse riveting, light alloys – $m_{bb} = 0,5 d$;
- Reverse riveting, steel rivets – $m_{bb} = d$.

Despite the widespread using of impact riveting by pneumohammers it should be mentioned the shortcomings of this method: insufficient quality of joints, high level of noise, the vibrations that can lead to disease of the riveters, the need for high qualified fitters, the high labour-intensiveness of the rivets driving (upsetting) due to the necessity of having the two employees for riveting process performing. That is why in recent years using of high-energy pulse methods of riveting by one-impact riveting hammers and devices with pneumatic, pneumohydraulic, electromagnetic, electro- and other driving gears are continue to spread.

Requirements for the safety of drilling-and-riveting works are given in the manual for laboratory work.

Checking of joint quality

The final operation of riveting process is always the joint quality checking procedure. Parameters to be checked and means of checking for riveted joints with ordinary solid rivets are shown in Table. 5.2.

Table 5.2

Checking of riveted joint quality

Parameters to be checked	Means of checking
Diameter of holes	Limit plug gages
Depth of countersinking	Indicator of watch type and gage-rivet
Height and diameter of the rivets bucking head	Special templates
Failing, dents in the skin	Ruler , probe
Outlines of units and panel	Templates or jig fixing arms, probe
Quality of riveted joints in enclosed spaces and pipes	Optical devices
Tight-fitting of rivets heads, absence of mechanical damages and cracks in the bucking heads	Visually or with magnifying glass

Laboratory Work Facilities

1. Drilling machine CM21-25 with the kit of nozzles for the cutting tools.
2. Rivet guns КМП-13, КМП-23 and the others.
3. Riveting presses КП-204 and ПНП-5,5 with the kit of bucking bars and swages.
4. Measuring instruments and gages to check the quality of holes and riveted joints (slide gage, plug-gauge, templates, probes, indicators, gage-rivets, etc.).
5. Samples of materials made of sheets and rivets.
6. Mapboards with the examples and schematic diagrams of riveting procedure.
7. Safety instructions for the drilling-and-riveting work performing.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Read the safety instructions.
2. Read the description of the laboratory work, its equipment, makes brief notes in the report.
3. For given stack thickness and shank diameter of the particular type of rivet find the diameter of the hole for receiving the rivet, the length of the shank and the dimensions of the rivet upset head, the weight of the bucking bar for different methods of impact riveting.
4. Set the stack into the vice, place the rivet, do stretching of the stack and drive 3-4 rivets by rivet guns using straight and reverse method with the chosen bucking bar.
5. Evaluate the quality of riveted joint with using of the measuring tools.
6. Adjust the press КП-204 or ПНП-5,5 for the required travel and drive 3-4 rivets. Evaluate the quality of riveted joint.
7. Make a report of laboratory work and answer the test questions.

Test Questions

1. What is the purpose of the riveted joints in aircraft structures? What is their position among the different types of joints?
2. What are the advantages and disadvantages of impact riveting?
3. What are the advantages and disadvantages of the press riveting?
4. Describe the methods of holes making for bulk and countersink rivets and the equipment and tools which used.
5. What equipment and mechanized tools are used for riveting?
6. How the rivets differ on materials? Which types of rivets are used?
7. What are the possible defects of riveting?
8. What are the means and methods of the riveted joints quality checking?

Laboratory work № 9

METHODS OF RIVETED JOINTS QUALITY IMPROVING AND INTENSIFICATION OF RIVETING PROCEDURES

The **purpose** is to get familiarized with the technological methods of the riveted joints quality improving, the types of equipment and mechanized tools, and with the ways of the riveting intensifying; to acquire practical skills of joints evaluation by the tightness value.

Basics

Riveted joints in the aircraft structures made of aluminium alloys are the most widespread. These joints are also widely used in structures made of steels, titanium alloys and composite materials.

Statistic data shows that the vast majority of fatigue damages begin in the joining zone. Hence it is obviously important to identify factors which determine riveted joints resource, and on the ground of their analysis to find the ways of providing of the demanded resource for these kind of joints. Resource of the structure, which understood as the operating time of the object exploiting before the failure, is formed during the structure designing procedure and resulted in the particular technological solutions during its production. Factors which determine the riveted joints resource can be divided into three groups: structural, technological and operational ones.

The technological factors determining the riveted joints resource are the following:

- Quality of holes making;
- Quality of the holes surface layers;
- Values of the axial and radial tightness in the stack;
- State of contacting surfaces;
- Distribution and values of strain inside the rivet and in the stack;
- Structures of the rivets and stack materials after the joint making.

Technological factors are often crucial in providing of the resource of the joints and the structure as a whole.

Joining by rivets with compensators

One of the ways of increasing of resources and air-tightness of the joints is the using of rivets with compensators of type 3YK and their modifications like 3YKM, 3YKC, 3ПK, 3BYK, 3YKK. It is known that the diameter of the shank of the ordinary rivets is increased during riveting in non-uniform way with the stack thickness. The shank in the hole gets the tapered shape with conicity of 2-5%, and the peak of the cone facing toward the manufactured head. Because of the errors of rivets fabrication and the errors of countersunked holes for the flush rivets heads receiving it is do not provided the firm contact of the rivet head and

the tapered hole. The result is unsatisfactory air-tightness and low resource of the riveted joint.

For achieving of the uniform and high-rate distribution of the tightness with the thickness of the stack it is the special kind of rivets is used – the rivets with the compensator on the manufactured heads. Compensator can be designed as a truncated cone (Fig. 5.5, a-e), circular (Fig. 5.5, f) and cylindrical (Fig. 5.5, g, h) projection. While riveting the compensator is sunk in rivet body by the surface of the riveting tool simultaneously with the formation of the upset head, causing a radial flow of material both in the zone of the manufactured head and in the zone where shank is transformed to the upset head (Fig. 5.6). Fig. 5.7 shows the character of distribution of the tightness with the stack thickness while using the ordinary rivets and the rivets with compensators.

Technological process of joining by the rivets with compensator is the same as the process of joining by the ordinary solid rivets.

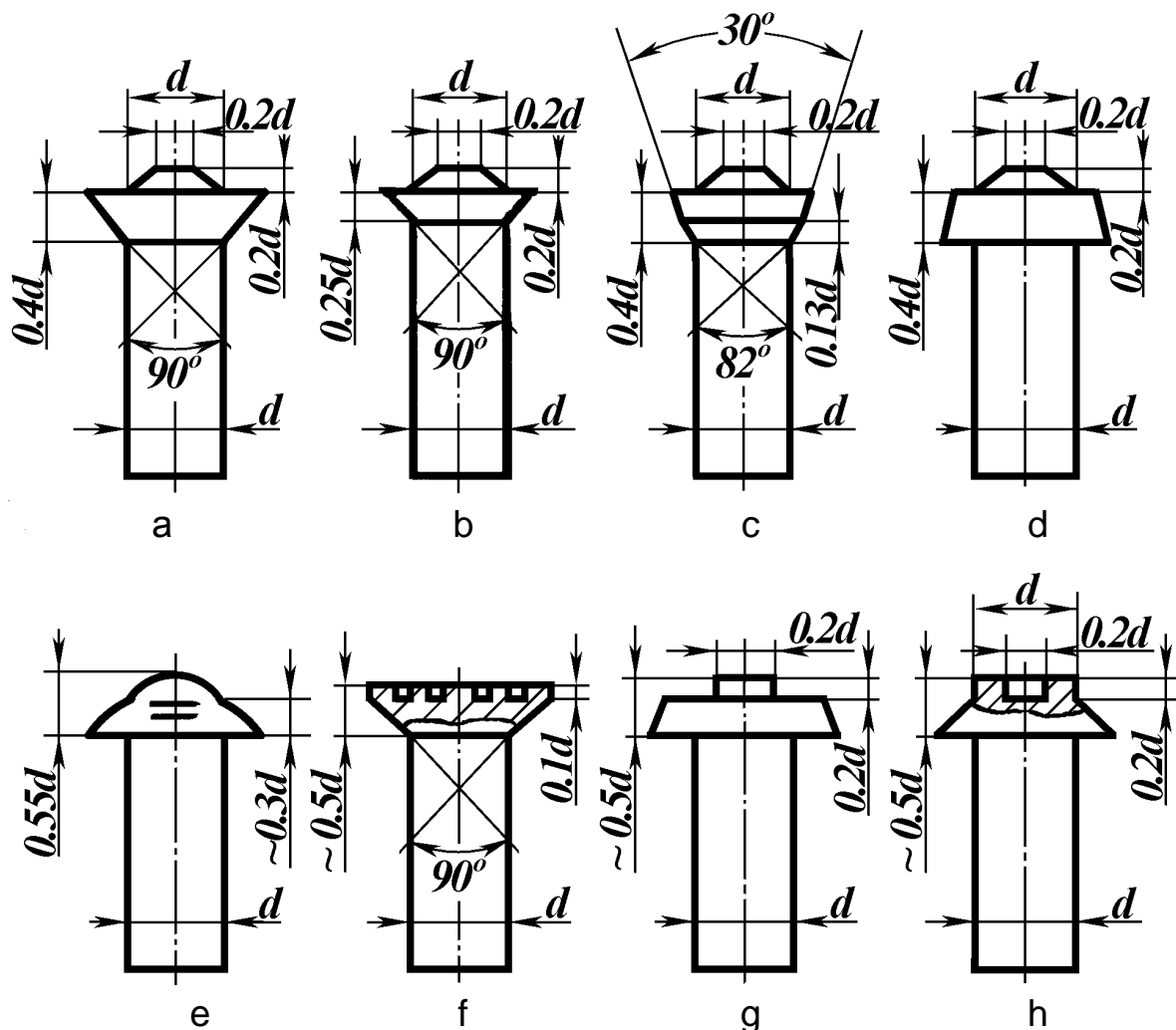


Fig. 5.5. Kinds of rivets with compensators: a – 3YK (OCT 1.12020–75); b – 3YKM (OCT 1.34047–80); c – 3YKC (OCT 1.34043–80); d – 3ПК (OCT 1.34040–79); e – 3BYK (OCT 1.34040–79); f – 3YKK (OCT 1.34052–85); g – 3ПКМ (OCT 1.34040–79); h – 3BYKK (OCT 1.34047–80)

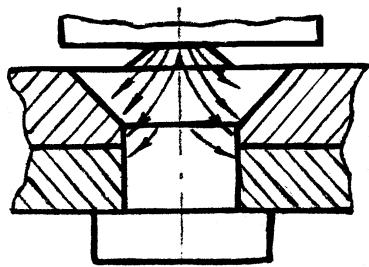


Fig. 5.6. Scheme of the metal flow during upsetting the rivet with compensator

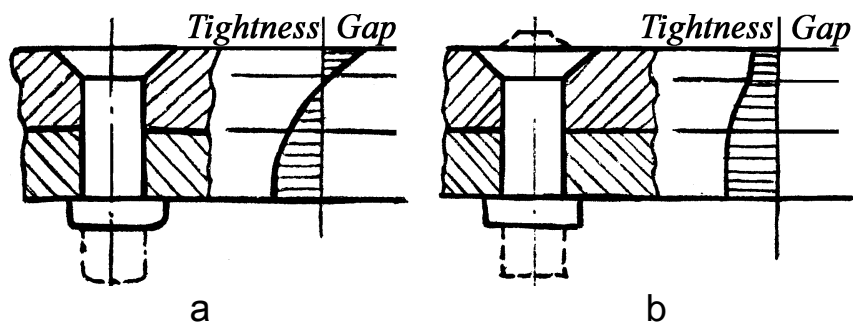


Fig. 5.7. Distribution of the tightness with the stack thickness: a – ordinary solid rivet; b – rivet with compensators

Riveting by rods

Application of riveting automatons allowed the using of the rivets without manufactured heads – the rod rivets. While riveting with this method the formation of the rivet heads occurs simultaneously on both sides of the stack. These rivets provide better sealing of the structure and its maximum resource. Due to the riveting by rods the joint with two bulk heads can be obtained or the joints in which one head is of bulk type (either flat or round) and other – of flush one. Flush upset (bucked) head is usually the double cone with the angles of 60 and 120°.

Methods of impact riveting intensification

One of the ways of riveting process intensification and riveted joints quality improvement is the increasing of the speed of deformation during the rivet driving. The following key factors affect on the impact riveting process parameters: mass and velocity of pane (swage), the force and time of deformation of rivet shank, plasticity of rivet material, mass of the bucking bar. Since the riveting force, the plasticity of the rivet material for certain rivet material, the rivet shank diameter, the shape and dimensions of the manufactured head can be considered relatively constant values, so the other parameters of impact riveting process can be controlled by changing the pane weight and the speed of its travel.

While impact riveting the work of deformation is fulfilled by the pane flying with some speed (the “pane – swage” system); its kinetic energy E_p at the moment of the collision with the rivet passes in the work of deformation:

$$E_p = A_{def}.$$

The kinetic energy of the pane, accumulated during its acceleration, determined by the ratio

$$E_p = \frac{m_p V_p^2}{2},$$

where m_p – mass either pane or the system “pane – swage”; V_p – the initial speed at the moment of pane and rivet impact.

Obviously, the most effective way to increase the impact energy of portable riveting machines is to increase the speed of the pane travel; that allows the upsetting of the rivet during one blow of pulse riveting machine. Method of riveting by one impact in comparison with the ordinary riveting procedure with using of multi-impact hammers allows obtaining of high-strength joints with more uniform radial deformation of the rivet shank, higher intensity of deformation of the hole and reducing of the elastic-plastic deformations zone in the elements to be joined, and improves the stability of the rivets parameters. Conditions of the riveter working are improved due to the noise reducing and vibration exclusion.

Table 5.3 shows the performance of pulse riveting hammers designed in the department of aircraft manufacturing (KhAI), which can be used for riveting of aircraft structures – the all-metal ones and made of composite materials.

Table 5.3

Performance of pulse riveting hammers

Options	Pneumohydraulic hammers		Pneumatic hammers	
	КИМ-4	КИМ-6	МП-4	МПИ-90М
Impact energy (up to), J	70	150	80	120
The largest diameter of the rivet made of alloy B65, mm	4	6	4	5-6
Cyclic recurrence of work, bpm	16-18	14-16	50-60	50-60
Effort applied to the handle, N	0-10	0-10	0-5	0-5
Effort of pressing the trigger, N	-	-	2-10	1,5-2
Overall dimensions, mm	-	-	400×170×100	420×200×90
Weight of the hammer, kg	2,3	2,8	2,2-2,8	2,8-3,2
Air pressure in the net, MPa	0,5	0,5	0,5	0,5
Fluid pressure in multiplier, MPa	14-15	14-15	absent	absent

Technique of the tightness determining

In order to study the influence of riveting method (pressing, multi-impact by rivet guns, one-impact by pulse hammers) on the radial tightness is performed the follows: making of holes and deburring; measuring of the holes diameters; installation of rivets and upsetting of them with different methods using; cutting out of the stack and removing the rivets; measuring the diameters of rivets shanks with the thickness of the stack on several levels; calculation of the tightness by the formulation $\Delta = (d' - d_h) / d_h$, where d' – diameter of the rivet shank, d_h – diameter of the hole.

The holes making includes drilling of hole of diameter 3,8 mm, with further reaming up to the diameter 4,1H9 in two technological steps (4,05H9 and

4,1H9) for ensuring of the dimension's stability of holes to be obtained. Drilling of holes is performed on the machine (or drilling hand machine with the using of pins) to ensure perpendicularity of the axis of the hole to the surface of the stack. It is possible making of holes during one step by the combined tool – drill-reamer.

For obtaining of the reliable results in respect of each riveting method there are three punctual joints are fulfilled. Diameters of holes are measured by the indicator hole-gauge at several levels with the stack thickness. Then the riveting procedure is performed with using of the riveting press, the rivet gun, and the one-impact pulse hammer (three rivets for each of methods). Quality of the bucking (upset) heads is checked due to their geometrical parameters measuring by slide-gage or limit gages. Rivets are taken out of stack after its cutting by the hacksaw. Stack should be cut without damaging the rivet's shanks. After removing the rivets from the stack the shank diameter is measured at several levels with the stack thickness by the special device of indicator type. The data obtained during measuring are used for calculating of the local and averages values of the tightness and plotting of the diagram of its distribution (Fig. 5.8).

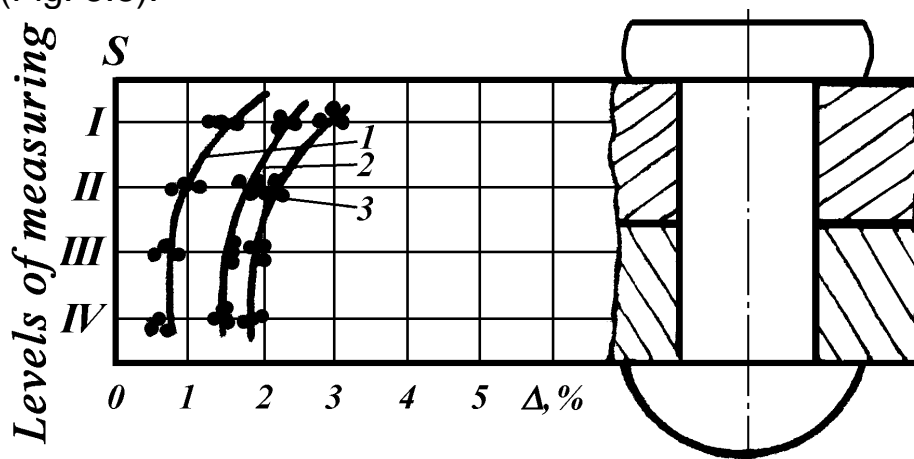


Fig. 5.8. Distribution of tightness with the stack thickness:
1 – press riveting; 2 – multi-impact riveting; 3 – pulse riveting

Laboratory Work Facilities

1. Riveting press КП-204 (ПНП-5,5).
2. Rivet gun КМП-21 (КМП-23).
3. Pulse riveting hammer КИМ-4 (МПИ-90М).
4. Drilling machine СМ-21-25 with the nozzle or drilling machine Н12.
5. Bucking bars for riveting.
6. Sample of stacks made of Д16Т.
7. Drill $\varnothing 3,8$ mm, reamers $\varnothing 4,05H9$ and $\varnothing 4,1H9$ or drill-reamer $\varnothing 4,1H9$.
8. Indicator hole-gauge for measuring of the diameters of holes from 4 to 9,5 mm.

9. Device of indicator type for measuring of the rivet's shanks diameters.
10. Slide-gage and the limit gages for measuring of the upset heads parameters.
11. Hacksaw for metal.
12. Vice.
13. Rivets 3K-4-13, 3K-4-14, 3П-4-13, 3П-4-14.
14. Technological bolts.

Laboratory Work Performance Procedure

1. Read the safety instructions.
2. Get familiarized with the content of the work and make the necessary notes in the report.
3. Calculate the length of the rivet shank for the particular stack thickness.
4. According to the technique given above make the holes in the stack and measure their diameters at some levels; record the obtained data to the report according to table 5.4.

Table 5.4

The measurement results

Riveting method	Number of hole (rivet)	Diameter of hole d_h , mm				Diameter of rivet d' , mm				Tightness Δ , %			
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Press	1												
	2												
	3												
	Average												
Multi-impact	1												
	2												
	3												
	Average												
Pulse	1												
	2												
	3												
	Average												

5. Plot the diagram of the tightness distribution at levels of the stack for different methods of riveting (see Fig. 5.7).

6. According to the diagram in Fig. 5.9 determine the changing of the joint relative endurance N_{rel} for different methods of riveting, taking the pressing riveting as a basis for comparison (as hundred percent endurance was taken the number of cycles to failure of riveted joint performed with tightness of 1 %).

7. On the ground of the measurements and calculations results to draw conclusions about depending of the relative endurance of riveted joint on the riveting method.

8. Answer the test questions.

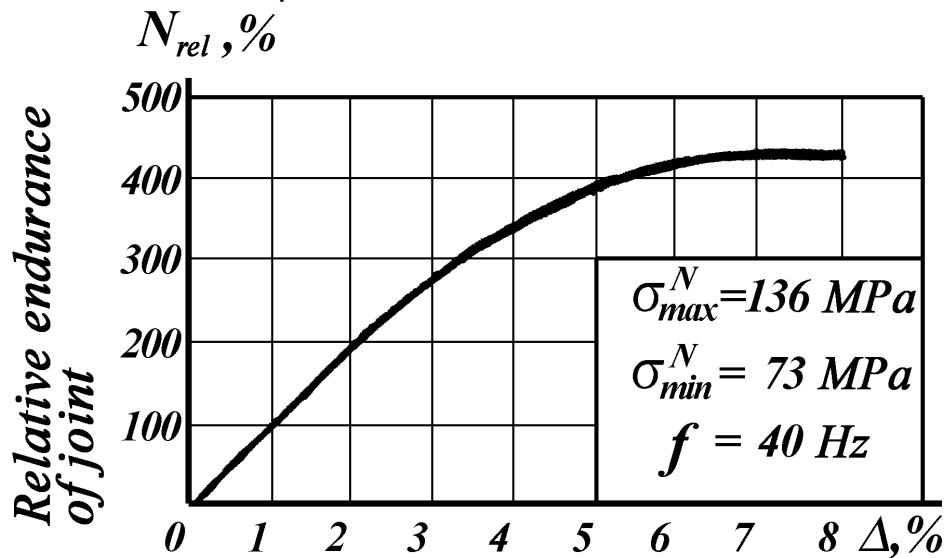


Fig. 5.9. Influence of tightness on the relative endurance of riveted joint (single riveting)

Test Questions

1. What technological factors affect the resource of riveted joints?
2. Describe the mechanism of tightness increasing during joining by the rivets with compensators.
3. What is the distribution of tightness with the thickness of the stack for ordinary rivets and rivets with the compensators?
4. Define the peculiarities of riveting by rods and equipment that used for this riveting method.
5. How to determine the tightness of the riveted joint?
6. What are the essence and advantages of the pulse riveting in comparison with riveting by multi-impact rivet gun?
7. What physical phenomena is the ground of operational principle of the pulse riveting hammers?

COMPOSITION AND PROPERTIES OF FAST-HARDENING BLENDS

Cement HIAT-ML

Formulation (by mass): cement of brand 500 – (65±5) %;
 gypsum – (35±5) %;
 water – 35 % of the total mass of cement and gypsum;
 lithium chloride (additive – 0,1...0,5 % of cement mass).

Setting time (before unclamping) – 7...12 min.

Curing period – 2-3 days.

Carbinol cement

Formulation (by mass): Carbinol glue – 20...40 %;
 cement of brand 500 – the rest.

Curing period – 12...16 hours.

Mixture can be used for 2-3 hours.

Epoxy-cement mass

Formulation (by mass): epoxy resin (binder) – 15 % (100 parties by weight);
 Polietylenpoliamin (hardener) – (1,50±0,02) %
 (10-12 parties by weight);
 dibutyl phthalate (plasticizing agent) – 4 % (25 parties by weight);
 cement of brande 500 (filler) – the rest
 (450-500 parties by weight).

Curing period – 5...8 hours at 20 ... 22 °C.

Has good adhesion to metal and wood, high mechanical strength (15...35 kg/mm²), very low shrinkage (0,2 %).

TECHNIQUE OF ACCURACY CALCULATION OF THE ASSEMBLED ITEMS AND THE MOUNTED ASSEMBLY JIGS

General (structural) equation for determining of the error of the assembled items has the form

$$E_{as} = E_{orig.base} + E_{comb.base} + E_{bas.dim} + E_{fix} + E_{joint} + E_{other},$$

where in the right side – the errors of the original base, of the bases combining, of the basic dimension, of fixing, of joining and other errors.

The main parameters of these errors are the values of the width of the dispersion field (of tolerance) δ and the coordinate of the midpoint of the dispersion field (of tolerance) Δ_0 .

There are two methods of accuracy calculation of assembling (mounting):

a) the method of maximum-minimum:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \delta_i; \quad \Delta_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i},$$

where δ_{Σ} and $\Delta_{0\Sigma}$, δ_i and Δ_{0i} – parameters of the errors of closing and the incoming links (components) of the dimensional chain, respectively, $m - 1$ – amount of the links (components), ξ_i – the gear ratio of the link (component);

b) probabilistic method:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 k_i^2 \delta_i^2}; \quad \Delta_{0\Sigma} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \left(\Delta_{0i} + \alpha_i \frac{\delta_i}{2} \right),$$

where k_i – coefficient of the relative dispersion of errors, α_i – the coefficient of the relative asymmetry of the dispersion curve.

Limit deviations of the dimension are calculated by the formulas

$$\Delta_{up} = \Delta_{0\Sigma} + \frac{\delta_{\Sigma}}{2}; \quad \Delta_{low} = \Delta_{0\Sigma} - \frac{\delta_{\Sigma}}{2},$$

where Δ_{up} and Δ_{low} – the upper and lower limits of dimension, respectively.

Under the normal distribution law of errors: $k_i = 0$, $\alpha_i = 0$.

ERRORS OF DIMENSIONS TRANSFERRING

Step	Method or process technology transfer	Contours deviation, mm	Interaxle distances deviation, mm
TL – DL (TL – CTC)	By drawing	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$
DL – CP	by photocopying	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$
CP – TC	by abrasive cutting	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$
TC – TIC	- II -	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$
TC – TCC	- II -	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$
DL – TJ	- II -	$\pm 0,1$	$\pm(0,1...0,15)$
TJ – fixing arm	- II -	$\pm 0,2$	–
TIC – forming die	- II -	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$
Templates – SS	- II -	$0...-0,2$	–
SS – CS	By moulding	$0...+0,1$	$\pm(0,1...0,2)$
MS – assembly jig		$0...+0,1$	
CS – MS (US)		$0...-0,1$	
LC – tooling	Fixing with pins	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$
IS – tooling		$\pm 0,1$	
forming die – part	Rubber forming	$0...+0,3$	–
TCC – part	drilling	–	$\pm 0,2$

BIBLIOGRAPHY

1. Технология самолетостроения [Текст]: учеб. для авиац. вузов / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др.; под ред. А. Л. Абибова. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
2. Технология сборки самолетов [Текст]: учеб. для авиац. спец. вузов / В. И. Ершов, В. В. Павлов, М. Ф. Каширин, В. С. Хухорев. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.
3. Технология производства летательных аппаратов [Текст]: учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию / под ред. В. Г. Кононенко. – К.: Вища шк., 1974. – 221 с.
4. Боборыкин, Ю. А. Оптико-механические методы монтажа оснастки [Текст] / Ю. А. Боборыкин. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1973. – 60 с.
5. Григорьев, В. П. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов [Текст]: учеб. пособие для авиац. вузов / В. П. Григорьев, Ш. Ф. Ганиханов. – М.: Машиностроение, 1977. – 140 с.
6. Вагнер, Е. Т. Лазеры в самолетостроении [Текст] / Е. Т. Вагнер. – М.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
7. Федорченко, Б. Д. Расчеты точности сборки и увязки в самолетостроении [Текст]: учеб. пособие / Б. Д. Федорченко. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1986. – 68 с.
8. Федорченко, Б. Д. Решение задач технологической подготовки производства самолетов на основе ЕСТПП [Текст]: учеб. пособие / Б. Д. Федорченко, И. В. Павлов, С. А. Бычков. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1987. – 103 с.
9. Букин, Ю. М. Инструмент и оборудование, применяемые при производстве клепально-сборочных работ в самолетостроении [Текст]: учеб. пособие / Ю. М. Букин, С. Г. Кушнаренко. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1981. – 86 с.
10. Технология производства самолетов и вертолетов. Раздел «Сборочно-монтажные работы» [Текст]: учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию: в 2 ч. / В. С. Кривцов, Ю. М. Букин, Ю. А. Боборыкин, Ю. А. Воробьев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – Ч. 1. – 258 с.
11. Технология производства самолетов и вертолетов. Раздел «Сборочно-монтажные работы» [Текст]: учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию: в 2 ч. / В. С. Кривцов, Ю. М. Букин, Ю. А. Боборыкин,

- Ю. А. Воробьёв. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2006. – Ч. 2. – 221 с.
- 12.Букин, Ю. М. Технология производства самолетов и вертолетов. Сборочно-монтажные и испытательные работы в самолёто- и вертолётостроении [Текст]: консп. лекций / Ю. М. Букин, Ю. А. Воробьёв. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2003. – 331 с.
- 13.ДСТУ 2232–93. Базування та бази машинобудування. Терміни та визначення. – Введ. 09.09.93. – К. : Держстандарт України, 1994. – 35 с.
- 14.ДСТУ 2390–94. Складання. Терміни та визначення. – Введ. 01.01.95. – К. : Держстандарт України, 1995. – 30 с.
- 15.Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] : в 3 т. / В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 920 с.
- 16.Kihlman, H. Affordable automation for airframe assembly [Текст] / H. Kihlman. – Sweden : Roland Offsettryck, 2005. – 286 p.

СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ СБОРОЧНЫХ РАБОТ	8
2. УЗЛОВАЯ СБОРКА В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ	16
Лабораторная работа № 1. Сборка и контроль плоских технологических узлов (сборка по СО и в переналаживаемом приспособлении).....	17
Лабораторная работа № 2. Навеска стыковых узлов на ложерон в приспособлении	24
3. СБОРКА АГРЕГАТОВ, ОТСЕКОВ И СЕКЦИЙ.....	30
Лабораторная работа № 3. Сборка боковой секции фюзеляжа в приспособлении с базированием по координатно-фиксирующим отверстиям	32
Лабораторная работа № 4. Сборка каркаса стабилизатора в приспособлении	36
4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ.....	38
Лабораторная работа № 5. Изготовление сборочного приспособления при эталонно-шаблонном методе увязки оснастки.....	39
Лабораторная работа № 6. Изготовление сборочного приспособления при координатно-шаблонном методе увязки оснастки	46
Изготовление рубильников с помощью плаз-кондуктора.....	48
Изготовление балок на инструментальном стенде	50
Монтаж стапеля с помощью монтажных плит и оптических приборов	54
Лабораторная работа № 7. Монтаж и контроль сборочной оснастки с использованием оптико-механических систем.....	56
5. ОБРАЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СБОРКЕ САМОЛЕТА. МЕТОДЫ КЛЕПКИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ	64
Лабораторная работа № 8. Технология и оборудование сверлильно-клепальных работ	65
Лабораторная работа № 9. Методы повышения качества заклёпочных соединений и интенсификация процесса клёпки	74
Приложение 1. СОСТАВ И СВОЙСТВА БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ	82
Приложение 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ И МОНТАЖА СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ	83
Приложение 3. ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕНОСА РАЗМЕРОВ	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	85

THE LIST OF ADOPTED ABBREVIATIONS.....	87
INTRODUCTION.....	89
1. GENERAL PRINCIPLES OF ASSEMBLING WORKS.....	90
2. UNIT ASSEMBLING IN AIRCRAFT MANUFACTURING	98
Laboratory work № 1. Assembling and checking of the flat technological units (assembling by AH and in the readjustable assembly jig).....	98
Laboratory work № 2. Hanging up of the junction elements on the longeron in the jig	105
3. ASSEMBLING OF AGGERGATES, COMPARTMENTS AND SECTIONS.....	110
Laboratory work № 3. Assembling of the fuselage side section in the assembly jig with locating by coordinate-fixing holes	112
Laboratory work № 4. Assembling of the stabilizer framework in the assembly jig	116
4. MANUFACTURING OF THE ASSEMBLY JIGS.....	118
Laboratory work № 5. Manufacturing of assembly jig by standard-template method of tooling coordination	119
Laboratory work № 6. Manufacturing of assembly jig by coordinate-template method of tooling coordination.....	126
Making of fixing arms with using of loft-conductor.....	128
Production of assembly jig beams in the instrumental stand.....	131
Mounting of assembly jig with the mounting plates and optical devices	134
Laboratory work № 7. Mounting and control of assembly tooling by optomechanical system	136
5. FULFILLING OF JOINTS DURING AIRPLANE ASSEMBLING. METHODS, EQUIPMENT AND TOOLS FOR RIVETING	144
Laboratory work № 8. Technology and equipment for drilling and riveting work	145
Laboratory work № 9. Methods of riveted joints quality improving and intensification of riveting procedures	154
Appendix 1. COMPOSITION AND PROPERTIES OF FAST-HARDENING BLENDS.....	161
Appendix 2. TECHNIQUE OF ACCURACY CALCULATION OF THE ASSEMBLED ITEM AND THE MOUNTED ASSEMBLY JIG.....	162
Appendix 3. ERRORS OF DIMENSIONS TRANSFERRING.....	163
BIBLIOGRAPHY	164

Навчальне видання

**Кривцов Володимир Станіславович
Воробйов Юрій Анатолійович
Брега Дмитро Андрійович
Д'яченко Юрій Веніамінович
Горлов Олександр Кузьмич
Мещеряков Олександр Миколайович
Миронова Світлана Юріївна
Шипуль Ольга Володимирівна
Воронько Віталій Володимирович**

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ
(СКЛАДАЛЬНО-МОНТАЖНІ РОБОТИ)**

(Російською й англійською мовами)

Редактори: Є. В. Пизіна, Т.О. Іващенко

Технічний редактор Л. О. Кузьменко

Зв. план, 2013

Підписано до друку 13.12.2013

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 9,3. Обл.-вид. арк. 10,5. Наклад 100 пр.

Замовлення 367. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр "ХАІ"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001