

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

О.В. ЛОМОВСКОЙ, А.А. ШАРОВ, Е.Г. ГРОМОВА

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СБОРКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.03.04 и 24.04.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и по специальностям 24.05.07 Самолёто- и вертолётостроение, 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов

С А М А Р А
Издательство Самарского университета
2020

УДК 629.7.05(075)
ББК 39.56я7
Л751

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. кафедры эксплуатации авиационной техники Самарского университета А. Н. К о п т е в,
зав. кафедрой транспортных процессов и технологических комплексов Самарского государственного технического университета, доц. В. А. П а п ш е в

Ломовской, Олег Владиславович
Л751 **Разработка технологии механической сборки узлов и агрегатов бортовых систем летательных аппаратов:** учебное пособие / *О.В. Ломовской, А.А. Шаров, Е.Г. Громова.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 84 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1570-6

Изложены технологические основы процессов сборки механических и гидрогазовых элементов бортовых систем летательных аппаратов, а также примеры применяемого при этом оборудования и технологического оснащения.

Представлена методика оценки технологичности конструкции элементов бортовых систем летательных аппаратов, проводимой в рамках отработки монтажей. Отражены показатели технологичности элементов бортовых систем. Изложена методика разработки технологического процесса сборки механических и гидрогазовых элементов бортовых систем летательных аппаратов, приведены алгоритмы расчёта параметров технологических процессов сборки. Указан порядок подбора оборудования и инструмента, приведена методика нормирования процессов сборки.

Охарактеризованы приспособления для сборки узлов и агрегатов. Представлена методика проектирования сборочных приспособлений. Приведён порядок расчётов приспособлений на точность, прочность и жесткость.

Предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 24.03.04 и 24.04.04 Авиастроение, 27.03.02 Управление качеством, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и по специальностям 24.05.07 Самолёто- и вертолётостроение, 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов.

Пособие может быть использовано при изучении теоретического материала по технологии производства аэрокосмической техники студентами 4-6 курсов университета. Может быть полезно молодым специалистам аэрокосмических отраслей.

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

УДК 629.7.05(075)
ББК 39.56я7

ISBN 978-5-7883-1570-6

© Самарский университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Общие сведения	7
1.1 Основные понятия, термины и определения	7
1.2. Объекты проектирования и исходная информация для проектирования	9
1.3 Общие требования к разрабатываемым технологиям и к конструкторской документации на технологическое оснащение	10
2. Проектирование технологического процесса сборки и испытаний	11
2.1 Назначение и краткое описание конструкции изделия	11
2.2 Оценка технологичности конструкции изделия (отработка изделия на технологичность)	14
2.2.1 Качественная оценка технологичности конструкции изделия	16
2.2.2 Количественная оценка технологичности конструкции изделия	22
2.3 Анализ сборочных размерных цепей	24
2.3.1 Установление геометрических и кинематических связей между деталями. Уравнение размерности цепи.....	26
2.3.2 Методы достижения заданной точности исходного звена	32
2.3.3 Выбор метода достижения точности исходного звена.....	35
2.3.4 Конструкторско-технологические рекомендации по выбору метода сборки	39
2.3.5 Пример анализа исходной информации с помощью анализа размерных цепей.....	44
2.4 Разработка схемы технологического членения	48
2.5 Разработка схемы сборки	50
2.6 Разработка схемы технологического процесса сборки.....	54
2.7 Расчет технологических параметров процессов сборки.....	59
2.7.1 Расчет предельных значений зазоров в сопряжениях деталей изделия.....	59
2.7.2 Расчет параметров выполнения резьбовых соединений	61

2.7.3 Расчет усилий запрессовки при сборке прессовых соединений	64
2.8 Подбор оборудования и инструмента для процесса сборки	70
2.9 Нормирование технологического процесса сборки	72
2.10 Разработка технического задания на проектирование сборочного оснащения.....	74
3. Проектирование сборочной оснастки.....	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	83

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной задачей совершенствования производств летательных аппаратов является внедрение рациональных технологий, позволяющих повысить эффективность производства при достижении требуемого качества продукции.

Решение поставленной задачи возможно при наличии квалифицированного персонала на производстве, который готовится в системе высшего профессионального образования национальных университетов по указанному профилю.

Подготовка квалифицированного персонала для аэрокосмических предприятий в рамках национальных университетов подразумевает освоение в процессе обучения студентами прогрессивных методик технологической подготовки производства, обеспечивающих эффективный процесс запуска в производство и производство современной техники.

Для современных летательных аппаратов значительную долю элементов конструкции составляют агрегаты и узлы бортовых систем. Даже не прибегая к обширному анализу событий по отказам аэрокосмической техники, можно утверждать, что большинство отказов происходит из-за нарушений работоспособности элементов бортовых систем.

Элементы бортовых систем, по своим технологическим характеристикам, являются объектами сборки, при изготовлении которых применяются методы сборки по базовой детали. В литературе указанный метод сборки также обозначен как «метод механической сборки».

В производстве современной техники, к которой мы относим и аэрокосмическую технику, трудоемкость работ при изготовлении изделий данного технологического типа составляет 30-40% и более от общей трудоемкости изготовления изделия. Степень механизации сборочных операций не превышает 20-30%, а степень автоматизации – еще ниже. Поэтому совершенствование механо-сборочного производства является одним из основных резервов

повышения технического уровня и экономической эффективности предприятий аэрокосмического профиля.

Сборка отличается от других технологических процессов тем, что ее составными элементами являются разнообразные, физически разнородные процессы. Установка составных частей конструкции сборочной единицы (СЕ) включает основанные на различных физических принципах процессы перемещения и ориентирования соединяемых деталей.

Сборка является завершающим этапом изготовления машин, и требования к элементам конструкции, поступающим на сборку, оказывают существенное влияние на содержание заготовительных работ, механической обработки и других процессов изготовления элементов конструкции изделия. Возможность применения современных методов и средств производства существенно зависит от технологических свойств конструкции, которые закладываются при проектировании. Поэтому содержание сборочных работ органически взаимосвязано с конструкцией изделия и предшествующими этапами производственного процесса изготовления его элементов [1].

Процессы сборки элементов бортовых систем требуют проведения весьма сложных работ по обеспечению взаимозаменяемости элементов, входящих в состав систем, а также отработки и доводки выходных параметров систем. Отработка и доводка систем производится с учетом специфических условий эксплуатации, тепловых, механических и других нагрузок.

Необходимость определения разнообразных показателей качества бортовых систем на различных этапах производства, многообразие принципов работы систем и большое количество параметров, характеризующих их свойства, привели к большому количеству контрольно-испытательных работ, разнообразных по своим целям и характеру.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основные понятия, термины и определения

Технологическим процессом сборки называется совокупность операций по координированию, фиксации, соединению и закреплению деталей и сборочных единиц для обеспечения их взаимного положения и движения, определённого функциональным назначением узла, агрегата или изделия.

Для определения степени соответствия собранных узлов и агрегатов или изделий техническим требованиям их подвергают испытанию и контролю на различных этапах производства при соблюдении прозрачности процесса с обязательным документированием.

Большинство узлов и агрегатов бортовых систем состоит из большого числа элементов, находящихся в сложной взаимосвязи друг с другом. Первоначальной мерой, определяющей соответствие узлов, агрегатов или изделий техническим требованиям, может служить сам факт их функционирования после приведения в рабочее состояние.

Приведение узла, агрегата или изделия в рабочее состояние связано с подачей на них энергии и командных сигналов, а также различных симулирующих условия эксплуатации воздействий. Симулирующие воздействия имитируют с той или иной степенью приближения нагрузки, действующие на изделие в процессе эксплуатации, а также сигналы, служащие для передачи информации между элементами изделия. При выборе симулирующих воздействий возникает проблема точности воспроизведения, а в ряде случаев и проблема обеспечения их подобия известным факторам условий окружающей среды и факторам условий работы изделия.

Основные определения.

Сборка – установка входящих деталей и сборочных единиц в сборочное положение и образование разъемных или неразъемных соединений составных частей, узлов или других изделий.

Узловая сборка (агрегатная сборка) – это сборка, объектом которой является составная часть изделия.

Общая сборка – это сборка, объектом которой является изделие в целом, в большинстве случаев при этом процессе происходит стыковка агрегатов.

Комплекующие изделия (покупные изделия) – это изделия предприятия-поставщика, применяемые как составная часть изделия, выпускаемого предприятием.

Сборочный комплект – это группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части.

Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций. К деталям относятся также изделия, подвергнутые покрытиям и изготовленные с применением местной пайки, сварки, склейки и т.п.

Сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе (свинчиванием, клепкой, сваркой и т.д.). Это понятие адекватно понятию «узел», «агрегат», но может быть и законченным изделием. Следует учесть, что технологическое понятие «сборочная единица» шире конструкторских терминов, т.к. может быть разбита на несколько единиц при разработке технологического процесса.

Агрегат – часть изделия, законченная в конструктивном отношении и не предназначенная для самостоятельного использования.

Узел – часть агрегата, которое после сборки составляет единое целое. Узел, в зависимости от конструкции, может состоять из отдельных деталей или узлов и деталей. Технологическая особенность узла – возможность его сборки независимо от других частей изделия.

Испытания – комплекс работ по приведению агрегата или изделия в рабочее состояние с целью оценки каких-либо свойств, качественно или количественно определяемых параметрами.

Контроль – комплекс работ по измерению, регистрации и оценке контролируемых параметров.

Параметры – величины, характеризующие геометрические, механические, физические, химические, электрические и другие свойства агрегата или изделия, влияющие на эксплуатационные показатели.

Контролируемые параметры – параметры функционирования агрегата или изделия, которые контролируются в процессе производства и эксплуатации.

Сборочная технологическая операция – это законченная часть технологического процесса сборки, выполняемая на одном рабочем месте, одним и тем же исполнителем (исполнителями) с применением одного и того же оборудования и приспособления.

Переход сборочной операции – законченная часть сборочной операции, выполняемая над сборочной единицей, находящейся в одном определенном положении, одним инструментом.

Технологическая операция испытаний – законченная часть технологического процесса испытаний, заключающаяся в экспериментальном определении одного или нескольких контролируемых параметров в соответствии с установленной процедурой, выполняемая на одном рабочем месте, одним и тем же исполнителем (исполнителями) с применением одного и того же испытательного оборудования и приспособления при неизменности установки и подключения изделия.

Технологический переход испытаний – законченная часть испытательной операции, направленная на определение одного контролируемого параметра при неизменности симулирующего внешнее воздействие параметра, выполняемая с одним и тем же средством измерения, и средствами технологического оснащения.

Приведенные определения необходимо использовать при разработке порядка операций и содержания переходов в процессе проектирования технологического процесса сборки и испытаний узлов и агрегатов в процессе выполнения курсового или дипломного проектирования.

1.2. Объекты проектирования и исходная информация для проектирования

Объектами проектирования должны быть назначены узлы и агрегаты механических и гидрогазовых систем летательных аппаратов средней сложности, в состав которых входит 15...30 деталей. Это могут быть несложные стойки шасси, гидравлические и пневматические цилиндры, гидроаккумуляторы, электромеханиче-

ские приводы; редукционные клапаны, замки, пружинные толкатели, устройства разделения с пиротехническими или иными приводами, рулевые машинки, устройства обдува, солнечные батареи, расходомеры и т.п.

Исходными данными для проектирования являются следующие документы.

Годовая программа выпуска изделий.

Конструкторская документация: сборочный чертёж; спецификация; чертежи входящих деталей; технические требования; различные виды расчетов, выполненные при проектировании изделия.

Базовая технологическая документация:

- технологический процесс сборки.

Базовое технологическое оснащение:

- чертежи сборочных приспособлений.

В процессе работы над проектом разработка технологической и конструкторской документации на технологическое оснащение выполняется «по аналогу», с применением прогрессивных технологических и конструкторских решений.

В материалах задания допускается отсутствие некоторых видов конструкторской и технологической документации. В данном случае, технологическая и конструкторская документация на технологическое оснащение выполняется вновь и объём, а также состав разрабатываемых документов согласуется с руководителем проектирования.

1.3. Общие требования к разрабатываемым технологиям и к конструкторской документации на технологическое оснащение

Входящая в состав проекта текстовая, технологическая документация должна оформляться в соответствии с действующими стандартами, в том числе с СТО Самарского университета, Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП), Единой системы технологической документации (ЕСТД), Единой системой конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования по оформлению приведены в методических указаниях [3].

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ И ИСПЫТАНИЙ

2.1. Назначение и краткое описание конструкции изделия

Назначение и техническое описание объекта проектирования – определённого узла или агрегата, определяется его функциональными и конструктивными связями между входящими элементами (детальями и узлами), образующими систему.

Должно быть описано назначение рассматриваемого узла или агрегата. Для этого надо определить назначение, изучить конструкцию объекта проектирования. Также необходимо указать в какое изделие входит рассматриваемый объект, и какие функции он выполняет в составе изделия.

Необходимо представить схему, эскиз узла или агрегата с обозначением входящих подборок и деталей с необходимой расшифровкой в подрисуночной надписи. Пример в виде схемы «мембраны прорыва» представлен на рисунке 2.1. Полезно на эскизе обозначить посадки между сопрягаемыми частями изделия.

Далее необходимо дать краткое описание изделия и отразить принцип его функционирования. Иными словами, объект проектирования описывается «в статике», где отражаются входящие элементы и их связи, а затем объект описывается «в динамике», где представляются взаимодействия элементов, с описанием эффекта функционирования рассматриваемого устройства. Далее необходимо привести технические характеристики устройства, а также технические требования, предъявляемые к устройству.

Пример назначения и краткого описания конструкции «мембраны прорыва» приведен ниже.

Мембрана прорыва является соединительным элементом для гидравлических магистралей системы подачи компонент ракетного топлива летательного аппарата. Узел является клапаном свободного прорыва. Подобные устройства устанавливаются в магистралях горючего и окислителя двигательной установки летательного аппарата перед электро-пневмо-клапанами для по-

вышения надежности системы в целом. Надежность системы обеспечивается за счёт герметизации баков системы выдачи импульсов тяги с компонентами топлива при хранении после заправки до подготовки СВИТ к штатной работе.

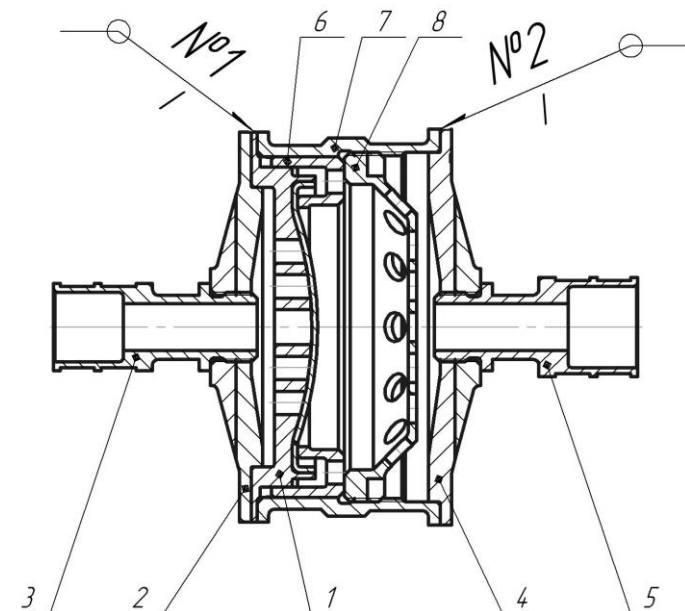


Рис. 2.1. Схема мембраны прорыва:

- 1 – мембранный узел; 2 – тарель крышки; 3 – наконечник крышки;
- 4 – тарель крышки; 5 – наконечник крышки; 6 – нож; 7 – стакан;
- 8 – ловитель

Рассматриваемая мембрана прорыва содержит мембранный узел 1, состоящий из постели и мембраны, эскиз которой представлен на рисунке 2.1. Постель мембранного узла 1 по своей расточке центрируется на проточке тарели 2. В тарель 2 по резьбе установлен наконечник крышки 3. С обратной стороны мембранного узла имеется аналогичная тарель крышки 4 с установленным в неё по резьбе наконечником крышки 5. С мембраной мембранно-

го узла 1 контактирует нож 6, установленный по цилиндрическое отверстие стакана 7. Нож 6 поджат ловителем 8, который установлен в стакан 7 по резьбе. Стакан 7 является корпусной деталью, поверхности которой определяют положение входящих в изделие деталей.

Мембрана прорыва функционирует следующим образом.

При подаче давления предварительного наддува баков компонент ракетного топлива, на мембрану мембранного узла 1 передается указанное давление. По линии среза ножа 6, контактирующего с указанной мембраной, при достижении давления предварительного наддува до 1,1 МПа создаются условия среза – напряжения среза превышают предел прочности на срез материала мембраны. Происходит разделение центральной части мембраны от периферийной части по сектору 330°. Отделившийся лепесток мембраны удерживается ловителем 8 и не перекрывает условное проходное сечение узла.

Далее в данном пункте приводятся технические характеристики и технические требования к конструкции изделия.

Технические характеристики:

1. Рабочие жидкости:

- окислитель АТИН ОСТ В113-03-503-85 с содержанием растворенного азота до 0,040 г/л или растворенных азота до 0,0045 г/л и гелия до 0,0046 г/л;

- горючее НДМГ ГОСТ В 17803-72 с содержанием растворенного азота до 0,040 г/л или растворенных: азота до 0,0045 г/л и гелия до 0,0046 г/л.

2. Температура компонентов топлива от 0 до 40°C.

3. Испытательный газ – азот (воздух) ОСТ 92-1577-78 2 категории;

4. Испытательная среда – ГВС (воздух+10% гелия ТУ 0271-135-31323949-2005 марки Б).

5. Давление прорыва мембраны до 1,18 МПа (до 12 кгс/см).

6. Время герметизации компонентов топлива не менее 2 лет при возможном давлении компонента топлива на МП со стороны входа:

- до 100 кПа (до 1 кгс/см) – 360 нагружений;

- до 300 кПа (до 3 кгс/см) – 1 нагружение.

7. Мембрана прорыва сохраняет работоспособность после нагружки давлением со стороны выхода МП:

- до 686 кПа (до 7 кгс/см) – 20 нагружений;
- до 1,96 МПа (до 20 кгс/см) – 5 нагружений.

8. Срок нахождения МП под действием компонентов топлива после срабатывания (срок штатной работы изделия) – 5 лет при давлении от 1,2 до 2,0 МПа (от 12 до 20 кгс/см).

Технические требования к изделию:

1. Материал штуцеров МП – сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 2590-88.
2. При сварке МП с трубопроводами температура в зоне сварных швов должна быть не более 350°C.

3. Допускаемое давление испытательной среды при испытаниях сварных швов после приварки трубопроводов:

а) со стороны входа МП:
– при испытаниях на герметичность – (300 ± 15) кПа [$(3 \pm 0,15)$ кгс/см];

б) одновременно со стороны входа и выхода МП:
– при испытаниях на прочность – $(3,0 \pm 0,2)$ МПа [(30 ± 2) кгс/см];

– при испытаниях на герметичность – $(2,0 \pm 0,2)$ МПа [(20 ± 2) кгс/см];

в) со стороны выхода МП:
– при испытаниях на прочность и герметичность – $(1,96 \pm 0,05)$ МПа [$(20 \pm 0,5)$ кгс/см].

ВНИМАНИЕ! Испытания проводить в бронекabinе при плавном повышении при подаче и плавном понижении при сбросе давления испытательной среды.

4. Диаметры эквивалентных сечений МП на входе 5 и выходе – 8 мм.

2.2. Оценка технологичности конструкции изделия (отработка изделия на технологичность)

Технологичность конструкции изделия (ТКИ) – совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при

производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ [1].

Согласно ГОСТ 14.201-83 отработка конструкции изделия на технологичность должна обеспечивать на основе достижения технологической рациональности и оптимальной конструктивной и технологической преимущества конструкции изделия решение следующих основных задач:

- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа вне предприятия-изготовителя;
- снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия;
- снижение важнейших составляющих общей материалоемкости изделия – расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, монтаже вне предприятия-изготовителя, техническом обслуживании и ремонте.

Также согласно ГОСТ 14.201-83 комплекс работ по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления изделия на предприятии в общем случае включает:

- повышение серийности изделия и его составных частей при изготовлении (обработка, сборка, испытание) посредством стандартизации, унификации и обеспечения конструктивного подобия;
- ограничение номенклатуры составных частей, конструктивных элементов и применяемых материалов;
- применение в разрабатываемых конструкциях, освоенных в производстве конструктивных решений, соответствующих современным требованиям;
- применение высокопроизводительных и малоотходных технологических решений, основанных на типизации процессов и других прогрессивных формах их организации;
- применение высокопроизводительных стандартных средств технологического оснащения, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации труда в производстве;
- использование конструктивных решений, позволяющих снизить затраты на обеспечение: доступа к составным частям; установки и съема составных частей изделия;

- использование конструктивных решений, обеспечивающих возможность транспортирования изделия в собранном виде или в виде законченных составных частей, не требующих при монтаже разборки для расконсервации, ревизии, а также операций по подгонке;

- использование конструктивных решений, облегчающих и упрощающих условия изготовления и монтажа вне предприятия-изготовителя для ограничения требований к квалификации изготовителей и монтажников.

В рамках проектирования проводится оценка узла или агрегата на соответствие требованиям технологичности. С учётом вышесказанного требования технологичности к конструкции изделия во многом определяются технологичностью соединений.

При проведении конструктивно-технологического анализа сначала определяется качественная оценка технологичности конструкции изделия, а затем – количественная.

Качественная оценка технологичности позволяет первоначально получить общую оценку технологичности конструкции изделия в целом, а количественная – выявить элементы конструкции, отрицательно влияющие на технологичность конструкции изделия и, по возможности, внести изменения в конструкцию, которые позволят повысить эффективность и конкурентоспособность изделия на раннем этапе запуска изделия в производство.

По результатам конструктивно-технологического анализа конструкции изделия разрабатываются мероприятия и предложения по изменению конструкции изделия, направленные на повышение его уровня технологичности и как следствие – на повышение эффективности производства данного изделия.

2.2.1. Качественная оценка технологичности конструкции изделия

Качественная оценка технологичности конструкции изделия основана на инженерно-визуальных методах оценки и проводится по отдельным конструктивным и технологическим признакам.

Она, как правило, предшествует количественной оценке, но вполне совместима с ней на всех стадиях проектирования. Качественной оценке могут быть подвергнуты одно исполнение изделия или совокупность его исполнений.

Для качественной и количественной оценки технологичности необходимо выбрать показатели технологичности, присущие заданному узлу. Качественную оценку технологичности конструкции изделия можно оформить в виде таблицы, содержащей три столбца – «№ показателя», «Показатель» и «Оценка» (табл. 2.1).

Оценка показателя отмечается знаками «+» или «-» если он соответствует требованиям технологичности или не соответствует. В таблице показатель должен быть отражен «дословно». Далее подсчитывается отношение количества показателей, удовлетворяющих требованиям технологичности (со знаком «+») к сумме рассмотренных показателей.

Таблица 2.1. Качественная оценка технологичности конструкции изделия

№ показателя	Показатель (требование технологичности)	Оценка

При количественной оценке технологичности выбранные показатели технологичности рассчитываются по формуле:

$$K_i = \frac{Q_T}{Q},$$

где i – номер показателя; Q_T – число элементов узла, удовлетворяющих условиям технологичности по i -му показателю; Q – общее число элементов узла по i -му показателю.

В рамках проекта необходимо выполнить анализ соответствия технологичности конструкции изделия требованиям производственной технологичности подобрав необходимые показатели, характерные для заданного изделия.

Примеры требований к производственной технологичности конструкции изделия приведены ниже [2].

2.2.1.1. Общие требования технологичности к соединениям

1. В конструкции соединения следует исключать сложную и необоснованно точную обработку сопрягаемых поверхностей.

2. Форма сопрягаемых поверхностей должна быть регулярной (образованной плоскостью, цилиндром, конусом, резьбовой поверхностью).

3. Номинальный размер сопряжения должен входить в стандартный ряд, а также показатели точности (кавалитет) и шероховатости должны соответствовать рекомендованным (требование стандартизации).

4. Точность сопрягаемых поверхностей должна быть близка по показателям.

5. Шероховатость сопрягаемых поверхностей должна быть близка по показателям.

6. Детали, сопрягаемые в осевом направлении, по кромкам поверхностей должны иметь конструктивные элементы (фаски, направляющие расточки и т.п.), облегчающие самоустановку и самоцентрирование поверхностей.

7. При сборке деталей по двум посадочным местам необходимо соблюдать правильную последовательность входа элементов деталей на места посадок, что обеспечивается заданием таких линейных размеров, при которых начальный контакт каждой пары сопрягающихся поверхностей осуществляется не одновременно, а последовательно.

8. При последовательной установке нескольких деталей с натягом следует избегать посадки по одному диаметру.

2.2.1.2. Требования технологичности к сварным соединениям

1. Число сварных соединений должно быть по возможности наименьшим.

2. В конструкциях необходимо использовать наиболее работоспособные и удобно выполняемые типы соединений.

3. Расположение соединений должно уменьшать вероятность возникновения сварочных деформаций. Поэтому следует стремиться к их симметричному расположению.

4. Следует избегать перекрещивания сварных швов и располагать швы вблизи параллельных угловых швов элементов жесткости.

5. Необходимо обеспечить удобный подход электродов к месту сварки, чтобы детали могли быть сварены на стандартном оборудовании прямыми электродами.

6. Конструкция изделия должна допускать возможность применения рациональной последовательности сварки, сводящей к минимуму образование сварочных деформаций узла.

7. Наиболее рациональными являются конструкции открытого типа, которые следует сваривать прямыми швами большой протяженности на стандартном оборудовании прямыми электродами.

2.2.1.3. Требования технологичности к паяным соединениям

1. Наиболее рациональным является паяное соединение «внахлестку».

2. При конструировании отдельных элементов узла под пайку между паяемыми деталями должны быть предусмотрены зазоры, оптимальная величина которых зависит от ширины шва, свойств припоя и соединяемых деталей, а также технологических особенностей процесса пайки.

3. В изделиях, имеющих замкнутые объемы, необходимо предусматривать технологические отверстия для выхода нагретого воздуха, а при выполнении швов большой ширины (при отсутствии возможности приложения внешнего давления) – технологические канавки, фаски и выступы для размещения припоя

4. Конструкция паяемых деталей должна предусматривать способы их закрепления при сборке. Закрепление деталей может быть выполнено с помощью технологических шипов и окон, заклепками, винтами, штифтами, кернением, развальцовкой, отбортовкой, расклепыванием, обжатием, прессовой посадкой с предварительной накаткой одной из деталей, фиксацией под действием собственного веса детали или дополнительного груза, прихваткой точечной контактной сваркой непосредственно самих деталей или с использованием фольги, прихваткой с помощью сварки плавлением, а также с помощью специальных приспособлений.

5. Способ закрепления деталей должен обеспечивать сохранение размеров элементов конструкции и качественное формирование паяных швов.

6. В трубчатых соединениях телескопического типа с односторонним доступом к месту пайки, когда для фиксации деталей используют уступы, конструктивные элементы паяных швов должны выбираться с учетом толщины стенок соединяемых деталей. Для обеспечения равномерного затекания припоя в зазор высота микронеровностей на паяемой поверхности должна быть в пределах 10-30 мкм.

7. При нагреве соединения сборочный зазор может изменяться вследствие различных коэффициентов термического расширения металлов. Поэтому нужный зазор при пайке деталей из разнородных материалов необходимо учитывать коэффициенты линейного расширения и габариты деталей.

2.2.1.4. Требования технологичности к разъемным соединениям

1. Должен быть обеспечен открытый доступ к местам обработки и постановки болтов, затяжки гаек.

2. Конструкция узлов должна обеспечивать возможность образования отверстий режуще-деформирующим протягиванием.

3. Применение болтов и шрифтов с коническим стержнем следует ограничивать.

4. Размеры лысок, квадратов и шестигранников «под ключ» должны соответствовать стандартным значениям.

5. Размеры цековок или зенковок под болты, гайки и винты, размеры гнезд под ключ должны быть стандартными.

6. Крепежные элементы должны применяться стандартизованные.

7. Число типоразмеров крепежа должно быть минимальным.

8. Конструкция изделия должна обеспечить применение механизированного слесарного инструмента.

2.2.1.5. Требования технологичности к конструкции сборочной единицы

1. В конструкции сборочной единицы должна быть базовая составная часть, которая является основой для расположения остальных составных частей изделия.

2. Форма базовой составной части должна быть удобной для правильной установки ее на рабочем месте сборки: в стапеле, приспособлении, на рабочем столе, сборочной площадке и т.д.

3. Сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегирования.

4. Конструкция сборочной единицы должна компоноваться из стандартных и унифицированных частей и исключать необходимость применения сложного технологического оснащения.

5. Виды используемых соединений, их конструктивное оформление и месторасположение должны быть выбраны с учетом требований механизации и автоматизации сборочных работ.

6. В конструкции сборочной единицы и ее составных частей, имеющих массу более 16 кг, необходимо наличие конструктивных элементов для удобного захвата грузоподъемными средствами, используемыми в процессе сборки, разборки и транспортирования.

7. В конструкции базовой составной части необходимо предусматривать возможность использования конструкторских баз в качестве технологических и измерительных.

8. Компоновка конструкции сборочной единицы должна обеспечивать сборку изделия при неизменном базировании составных частей и исключать их промежуточные разборки и повторные сборки.

9. В компоновке составных частей сборочной единицы предусматривают удобный доступ к местам, требующим контроля, регулирования и проведения других работ, регламентированных технологией подготовки изделия к использованию по назначению, технического обслуживания и ремонта.

10. Компоновка сборочной единицы и способы соединений должны обеспечивать легкоосъемность быстросменных составных частей.

11. При выборе компоновки сборочной единицы необходимо предусматривать рациональное расположение такелажных узлов, монтажных опор и других устройств для обеспечения транспортабельности изделия.

12. Число поверхностей и мест соединений составных частей должно быть по возможности минимальным, а места соединений составных частей доступными для механизации сборочных работ и контроля качества соединений.

2.2.2. Количественная оценка технологичности конструкции изделия

Количественная оценка технологичности конструкции изделия проводится для уточнения степени выполнения ранее рассмотренных качественных показателей технологичности изделия, которые в полной мере не позволяют оценить уровень технологичности конструкции. Иными словами, оценивается относительная величина выполнения рекомендаций, направленных на повышение уровня технологичности конструкции.

Эта оценка основана на инженерно-расчетных методах и проводится по конструктивно-технологическим признакам, которые существенно влияют на выполнение основных требований к ней.

Перед выполнением количественного анализа технологичности конструкции изделия рекомендуется представить в виде таблицы (табл. 2.2) информацию о параметрах сопряжений рассматриваемого узла или агрегата.

Таблица 2.2. Параметры сопряжений узла

Сопряжение	Деталь 1 – Деталь 2	
Номинальный размер	А	Б
Квалитет	Н	h
Шероховатость	Ra (Rz)	Ra (Rz)
Сопряжение	Деталь 3 – Деталь 4	
Номинальный размер		
Квалитет		
Шероховатость		
Сопряжение	Деталь N – Деталь N-1	
Номинальный размер		
Квалитет		
Шероховатость		

В количественном виде показатели технологичности рассматриваются как коэффициенты, определяющие отношение количества решений, повышающих уровень технологичности изде-

лия к общему количеству принятых при разработке изделий технических решений по одному показателю, рассмотренному при качественной оценке уровня технологичности. В рамках проекта, для количественной оценки технологичности конструкции изделия, рекомендуется определить следующие коэффициенты:

1) *Коэффициент сборности (коэффициент блочности, коэффициент панелирования)* – отношение деталей, входящих в под сборки изделия, включая покупные, к общему числу составных частей:

$$K_{CB} = \frac{N_{уз.}}{N_{дет.об.}},$$

где $N_{уз.}$ – число деталей, входящих в под сборки изделия, включая покупные, шт; $N_{дет. об.}$ – общее число составных частей, шт.

2) *Коэффициент эффективности взаимозаменяемости* – отношение деталей изделия, сборка которых осуществляется по принципу полной взаимозаменяемости (без пригонки, подбора или регулирования) к общему количеству деталей изделия:

$$K_{BЗ} = \frac{N_{вз.}}{N_{дет.об.}},$$

где $N_{вз.}$ – число деталей изделия, сборка которых осуществляется по принципу полной взаимозаменяемости (без пригонки, подбора или регулирования), шт.

3) *Коэффициент унификации изделия* K_y – отношение числа унифицированных сборочных единиц $N_{е.у}$ изделия и его унифицированных деталей $N_{д.у}$, не вошедших в состав сборочных единиц, к общему числу составных частей изделия без учета стандартных крепежных деталей (к унифицированным составным частям относятся заимствованные, покупные и стандартные непокупные сборочные единицы и детали):

$$K_y = \frac{N_{Е.У} + N_{Д.У}}{N_ч - N_{Д.К}}.$$

4) Коэффициент стандартизации номиналов сопряжений $K_{ст}$ – отношение числа стандартных номинальных размеров сопрягаемых поверхностей $N_{ст}$ изделия к общему числу сопряжений $N_{сопр}$:

$$K_{ст} = \frac{N_{ст}}{N_{сопр}}.$$

5) Коэффициент точности сопрягаемых поверхностей K_T – определяется по формуле:

$$K_T = 1 - \left(\frac{1}{A_{сп}} \right) K_T = 1 - \left(\frac{1}{A_{сп}} \right),$$

где $A_{сп}$ – средний квалитет точности сопрягаемых поверхностей.

6) Коэффициент шероховатости сопрягаемых поверхностей $K_{ш}$ – определяется по формуле:

$$K_{ш} = 1 - \left(\frac{1}{B_{сп}} \right) K_{ш} = 1 - \left(\frac{1}{B_{сп}} \right),$$

где $B_{сп}$ – средний класс шероховатости сопрягаемых поверхностей.

Данные коэффициенты должны стремиться к единице.

Указанные коэффициенты могут быть использованы для сравнительной оценки технологичности конструкции подобных сборочных единиц, разработанных разными исполнителями (при оценке вариантов конструкции изделия).

2.3. Анализ сборочных размерных цепей

При проектировании технологических процессов, в том числе процессов сборки, при выборе средств и методов измерений, в том числе для контрольных и испытательных операций, возникает необходимость в проведении размерного анализа, с помощью которого достигается правильное соотношение взаимосвязанных размеров и определяются допустимые ошибки (допуски). Подоб-

ные геометрические расчеты выполняются с использованием теории размерных цепей [4].

Размерной цепью называется совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей) одной или нескольких деталей. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что размеры, входящие в размерную цепь, не могут назначаться независимо, т.е. значение и точность, по крайней мере, одного из размеров определяются остальными. Размерная цепь состоит из отдельных звеньев.

Звеном называется каждый из размеров, образующих размерную цепь.

Звеньями размерной цепи могут быть любые линейные или угловые параметры: диаметральные размеры, расстояния между поверхностями или осями, зазоры, натяги, перекрытия, мертвые ходы, отклонения формы и расположения поверхностей (осей) и т.д.

Анализ сборочных размерных цепей изделия входит в процедуру отработки технологий сборки (конструктивно-технологической отработки изделия), наряду с анализом технологичности конструкции изделия. Следует добавить, что в процессе отработки технологий сборки также выполняют привязку к рассматриваемому изделию типовых технологических решений, прогрессивных технологий и т.п., в рамках настоящего пособия эти вопросы подробно не рассматриваются.

Любая размерная цепь имеет одно исходное (замыкающее) звено и два или более составляющих звеньев.

Исходным называется звено, к которому предъявляется основное требование точности, определяющее качество изделия в соответствии с техническими условиями. Понятие исходного звена используется при проектном расчете размерной цепи.

В процессе обработки или при сборке изделия исходное звено получается обычно последним, замыкая размерную цепь. В этом случае такое звено именуется *замыкающим*. Понятие замыкающего звена используется при поверочном расчете размерной цепи. Таким образом, замыкающее звено непосредственно не выполняется, а представляет собой результат выполнения (изготовления) всех остальных звеньев цепи.

Составляющими называются все остальные звенья, с изменением которых изменяется и замыкающее звено.

На рисунке 2.2, а, б показано несколько примеров сборочных размерных цепей, с помощью которых решаются задачи достижения заданной точности зазоров или натягов A_{Σ} .

На рисунке 2.2, б построены схемы соответствующих размерных цепей. В простых случаях схемы изображаются непосредственно на эскизах деталей или узлов.

2.3.1. Установление геометрических и кинематических связей между деталями. Уравнение размерности цепи

Как уже сказано выше, сборка представляет собой последовательное соединение (сопряжение) сборочных единиц, определяемое заданным в конструкторской документации их относительным положением и видом связи между ними и лишаящее определенное число степеней свободы эти составные части. Далее, как правило, устанавливают элементы крепежа.

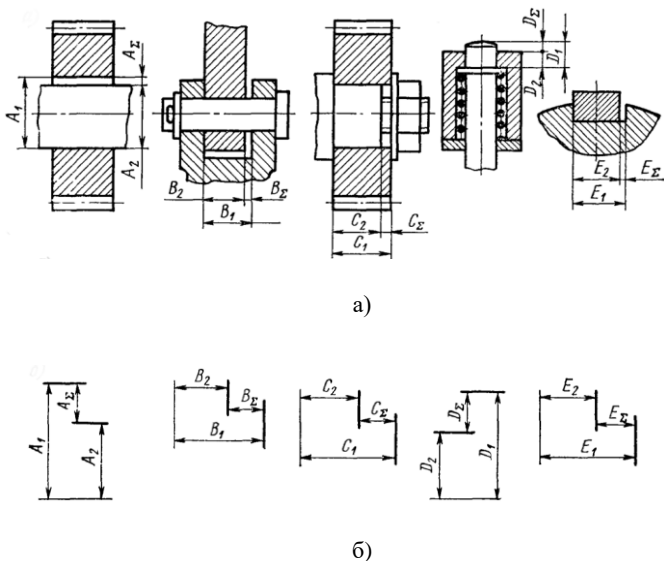


Рис. 2.2. Примеры сборочных размерных цепей:
 а) сборочные размерные цепи на эскизах сборок;
 б) соответствующие схемы сборочных размерных цепей

На основе изучения конструкторской документации и с учетом директивных технологических материалов перед сборкой проводится размерный анализ изделия, при котором выявляются и фиксируются все требования к точности, которые должны быть выполнены при изготовлении изделия, т.е. выявляются все исходные (замыкающие) звенья и составляются размерные цепи, в которые они входят.

При составлении размерной цепи следует руководствоваться следующими замечаниями [4]:

1) Должна быть четко сформулирована задача, для решения которой составляется размерная цепь.

2) В каждой размерной цепи может быть только одно исходное (замыкающее) звено.

3) Для выявления исходного звена необходимо установить требования к точности, которые можно разделить на две группы:

а) точность взаимного расположения деталей и сборочных единиц, обеспечивающая качественную работу изделия при эксплуатации;

б) точность, обеспечивающая собираемость изделия.

По чертежам общих видов и сборочных единиц выявляются и фиксируются все требования к точности, которые должны быть выполнены при изготовлении и сборке изделия, т.е. выявляются все исходные (замыкающие) звенья. В качестве исходных звеньев можно, например, назвать угол между осями вращения конических зубчатых колес, зазор между крышкой и торцом наружного колеса подшипника, который должен обеспечивать компенсацию теплового расширения вала и др.

4) При выявлении исходных звеньев их номинальные размеры и допускаемые отклонения устанавливаются по стандартам, техническим условиям на основании опыта эксплуатации аналогичных изделий, путем теоретических расчетов и специально поставленных экспериментов. Допуск исходного звена устанавливается:

- в конструкторских размерных цепях исходя из функционального назначения изделия или его механизма;

- в технологических размерных цепях в соответствии с допуском на расстояние или относительный поворот поверхностей (осей) детали (деталей), которые необходимо получить при осуществлении технологического процесса обработки или сборки изделия;

- в измерительных размерных цепях исходя из требуемой точности измерения для ограничения погрешности измеряемого размера.

5) Для нахождения составляющих звеньев после определения исходного звена следует идти от поверхностей (осей) деталей, образующих исходное звено, к основным базам (осям базирующих поверхностей) этих деталей, от них – к основным базам деталей, базирующих первые детали, и т.д., вплоть до образования замкнутого контура. Таким образом, можно выявить, последовательно связывая сопряженные размеры деталей, все составляющие звенья цепи, непосредственно влияющие на исходное звено. Все выявленные исходные (замыкающие) составляющие звенья должны образовать замкнутый контур.

Для удобства определения размерной цепи следует поверхности или оси деталей, образующие исходное звено (например, зазор), мысленно закрепить, сделать их как бы базами отсчета, хотя в эксплуатации это звено может изменяться.

6) В качестве составляющих звеньев могут быть линейные или угловые зазоры, из-за которых может происходить относительное смещение деталей.

7) Произвольно расположенные в одной или нескольких параллельных плоскостях звенья плоской цепи проектируются на направление, совпадавшее с направлением замыкающего звена, т.е. плоская цепь приводится к линейной. При расчете плоских цепей следует учитывать не только погрешности (отклонения) линейных размеров, но и погрешности углов между ними, если последними нельзя пренебречь. Погрешности углов приводятся к линейному размеру замыкающего звена в виде дополнительных звеньев.

С помощью размерных цепей могут быть решены следующие конструкторские, технологические и метрологические задачи в процессе конструкторско-технологической отработки изделия.

Решение этих задач окажет влияние при принятии решений, в том числе, в процессе проектирования технологий сборки и испытаний, а также при разработке сборочного оснащения, испытательного оборудования и оснащения:

1) установление геометрических и кинематических связей между размерами деталей, расчет номинальных значений, отклонений и допусков размеров звеньев;

2) расчет норм точности и разработка технических условий на изделия и их составные части;

3) анализ правильности простановки размеров и отклонений на рабочих чертежах деталей;

4) расчет межоперационных размеров, припусков и допусков, пересчет конструктивных размеров на технологические (при несовпадении конструктивных и технологических баз);

5) обоснование последовательности технологических операций при изготовлении деталей и сборке изделий;

6) обоснование и расчет необходимой точности приспособлений;

7) выбор средств и методов измерений, расчет достигаемой точности измерений [4].

Для проведения размерного анализа кроме размерной схемы составляется уравнение размерной цепи (вытекающее из условия замкнутости):

$$\xi_1 \cdot A + \xi_2 \cdot A_2 + \dots + \xi_{m+n} \cdot A_{m+n} = 0,$$

где A_1, A_2, \dots, A_{m+n} – номинальные значения всех звеньев размерной цепи; $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{m+n}$ – коэффициенты, характеризующие расположение звеньев по величине и направлению, или передаточные отношения.

В размерных цепях с параллельными звеньями (линейные цепи):

$$|\xi_1| = |\xi_2| = \dots = |\xi_{m+n}| = 1.$$

В плоских и пространственных размерных цепях (общий случай):

$$\xi_i = \frac{\partial A_\Sigma}{\partial A_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, m + n),$$

где A_Σ – исходное звено.

Для линейных размерных цепей номинальное значение замыкающего звена представляет собой разность между суммами номинальных значений увеличивающих и уменьшающих звеньев:

$$A_\Sigma = \sum^m A_{y^в} - \sum^n A_{y^м}, \quad (2.1)$$

где m – число увеличивающих звеньев; n – число уменьшающих звеньев.

В общем случае номинальное значение замыкающего звена равно

$$A_\Sigma = \sum_1^{m+n} \xi_i A_i = \sum^m \xi_{y^в} A_{y^в} - \sum^n \xi_{y^м} A_{y^м}. \quad (2.2)$$

Выражения (2.1) и (2.2) являются основными уравнениями линейных и плоских размерных цепей.

Размерные цепи используются для решения прямой и обратной задач, отличающихся последовательностью расчетов.

После составления основного уравнения размерной цепи (2.2) и решения его относительно A_Σ , т.е. после определения или проверки номинального значения замыкающего звена, его предельные размеры максимальные (с индексом «max») и минимальные (с индексом «min») можно определить по уравнениям:

$$A_{\Sigma \max} = \sum^m A_{y^в \max} - \sum^n A_{y^м \min}, \quad (2.3)$$

$$A_{\Sigma \min} = \sum^m A_{y^в \min} - \sum^n A_{y^м \max}. \quad (2.4)$$

Почленно вычитая из выражения (2.3) выражение (2.4) получаем:

$$A_{\Sigma \max} - A_{\Sigma \min} = \left(\sum^m A_{y^{\circ} \max} - \sum^m A_{y^{\circ} \min} \right) + \left(\sum^n A_{y^{\text{м}} \max} - \sum^n A_{y^{\text{м}} \min} \right). \quad (2.5)$$

Обозначая из выражения (2.5):

$$\begin{aligned} A_{\Sigma \max} - A_{\Sigma \min} &= T_{\Sigma}, \\ \sum^m A_{y^{\circ} \max} - \sum^m A_{y^{\circ} \min} &= \sum^m T_{y^{\circ}}, \\ \sum^n A_{y^{\text{м}} \max} - \sum^n A_{y^{\text{м}} \min} &= \sum^n T_{y^{\text{м}}}, \end{aligned}$$

где T_{Σ} – допуск замыкающего звена; $T_{y^{\circ}}$ – допуск увеличивающегося составляющего звена; $T_{y^{\text{м}}}$ – допуск уменьшающего составляющего звена.

Тогда из выражения (2.5) найдем:

$$T_{\Sigma} = \sum^{m+n} T_i,$$

где T_i – допуск i -го составляющего звена размерной цепи (увеличивающие и уменьшающие звенья).

Таким образом, *допуск замыкающего звена в линейных размерных цепях равен сумме допусков всех (увеличивающих и уменьшающих) звеньев.*

Расчеты размерных цепей могут производиться:

а) методом максимума-минимума, при котором учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев;

б) вероятностным методом, при котором учитываются законы рассеяния размеров деталей и случайный характер их сочетания на сборке. Совпадение действительных размеров деталей в цепи, выполненных равными предельным размерам, маловероятно. Поэтому, задаваясь некоторым допустимым процентом риска (процентом изделий, размеры замыкающих звеньев которых вый-

дут за установленные пределы), определяют возможное расширение полей допусков составляющих размеров.

Размерные цепи используются для решения прямой и обратной задач, отличающихся последовательностью расчётов.

Прямая задача. По заданным номинальному размеру и допуску (отклонениям) исходного звена определить номинальные размеры, допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи. Такая задача относится к проектному расчету размерной цепи.

Обратная задача. По установленным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев определить номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена. Такая задача относится к поверочному расчету размерной цепи.

Решением обратной задачи проверяется правильность решения прямой задачи.

2.3.2. Методы достижения заданной точности исходного звена

При разработке машин и механизмов, а также проектировании технологий изготовления деталей с последующей сборкой, необходимо выбрать метод достижения заданной точности исходного звена.

Применение того или иного метода достижения точности замыкающего звена в дальнейшем окажет влияние на себестоимость входящих деталей, на трудоемкость технологического процесса сборки, отработки и т.п., и в итоге скажется на конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Существуют следующие методы достижения заданной точности исходного звена (решения размерных цепей): метод полной взаимозаменяемости; вероятностный метод; метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки); метод пригонки; метод регулирования.

Метод полной взаимозаменяемости

Детали соединяются на сборке без пригонки, регулирования и подбора. При любом сочетании на сборке размеров деталей, из-

готовленных в пределах расчетных допусков, значения замыкающего звена не выходят за установленные пределы. Расчет размерной цепи производится методом максимума-минимума.

Преимущества – простота и экономичность сборки; упрощение организации поточности сборочных процессов; возможность широкого кооперирования заводов; упрощение системы изготовления запасных частей и снабжения ими потребителей и др.

Недостатки – допуски составляющих звеньев получаются меньшими (при прочих равных условиях), чем при всех остальных методах, что может оказаться неэкономичным.

Обычно применяется в индивидуальном и мелкосерийном производствах; при малой величине допуска на исходное звено и небольшом числе составляющих звеньев размерной цепи; при большой величине допуска на исходное звено.

Вероятностный метод

Детали соединяются на сборке, как правило, без пригонки, регулировки, подбора, при этом у небольшого (заранее принятого) количества изделий (обычно 3 изделия на 1000, процент риска 0,27) значения замыкающих звеньев могут выйти за установленные пределы. Расчет размерной цепи производится вероятностным методом.

Преимущества те же, что и у метода полной взаимозаменяемости плюс экономичность изготовления деталей за счет расширенных полей допусков (по сравнению с методом полной взаимозаменяемости).

Недостатки возможны, хотя и маловероятны, дополнительные затраты на замену или подгонку некоторых деталей тех изделий, у которых значения замыкающего звена вышли за установленные пределы.

Применяется обычно в серийных и массовых производствах; при малой величине допуска исходного звена и относительно большом числе составляющих звеньев.

Метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки)

Детали соединяются на сборке без пригонки и регулировки. Расчетное значение допуска ($T_{zp\ i}$) размера составляющего звена увеличивается в несколько раз до экономически целесообразного производственного допуска $T_i \times T_i = n_{zp} \times T_{zp\ i}$. После изготовления детали рассортировываются по значениям действительных разме-

ров на ряд групп в пределах расчетного допуска. При сборке соединяют детали соответствующих (одинаковых) групп для получения размера замыкающего звена в заданных пределах. Расчет размерной цепи ведется обычно методом максимума-минимума.

Преимущества – возможность достижения высокой точности замыкающего звена при экономически целесообразных производственных допусках размеров составляющих звеньев.

Недостатки – увеличение незавершенного производства; дополнительные затраты на проверку и сортировку деталей; некоторое усложнение сборки и хранения деталей до сборки; усложнение снабжения запасными частями.

Применяется обычно в массовых и крупносерийных производствах для малозвенных (3-4 звена) размерных цепей. Например подбор шариков и колец шарикоподшипников; подбор поршневых колец и поршней; в размерных цепях: палец – отверстие, поршня – зазор, палец – отверстие верхней головки шатуна двигателя внутреннего сгорания, компрессора и др.

Метод пригонки

Требуемая точность исходного звена достигается при сборке за счет пригонки заранее намеченной детали (компенсатора), на которую при механической обработке (под сборку) устанавливают определенный припуск. Величина необходимого съема припуска компенсатора определяется после предварительной сборки деталей и измерений. Расчет размерной цепи производится методом максимума-минимума или вероятностным методом.

Преимущества: на составляющие звенья могут быть установлены экономически целесообразные допуски.

Недостатки: значительное удорожание сборки и удлинение ее сроков; усложнение планирования производства; усложнение снабжения запасными частями.

Применяется чаще в индивидуальном и мелкосерийном производстве, например, достижение совпадения центров передней и задней бабок некоторых токарных станков в вертикальной плоскости.

Метод регулирования

Требуемая точность исходного звена достигается при сборке за счет изменения размера компенсирующего звена без снятия стружки. Изменение размера в сборке обеспечивается или специальными конструкциями (компенсаторов) с помощью непрерывных

или периодических перемещений деталей по резьбе, клиньям, коническим поверхностям и т.д., или подбором сменных деталей типа прокладок, колец, втулок. Расчет размерной цепи производится методом максимума-минимума или вероятностным методом.

Преимущества: на составляющие звенья назначаются экономически целесообразные допуски; возможность регулировки размера замыкающего звена не только при сборке, но и в эксплуатации (для компенсации износа); возможность обеспечения (в некоторых случаях) автоматичности регулирования точности.

Недостатки: возможное усложнение конструкции изделия; увеличение (в некоторых случаях) количества деталей в размерной цепи; усложнение сборки из-за необходимости регулировки и измерений.

Метод весьма широко распространен во всех производствах, особенно для цепей, отличающихся высокой точностью. Например при достижении параллельности оси вала плоскости; при обеспечении малых осевых перемещений вращающихся деталей (шпинделей станков, червяков, валов с зубчатыми колесами), а также минимального зазора между опорами и шейками шпинделей при работе станка и т.п.

2.3.3. Выбор метода достижения точности исходного звена

При выборе метода достижения точности необходимо учитывать функциональное назначение изделия (машины, механизма, аппарата, прибора и т.д.), его конструктивные и технологические особенности, стоимость изготовления и сборки, эксплуатационные требования, тип производства, его организацию и другие факторы.

Заданная точность исходного звена должна достигаться с наименьшими технологическими и эксплуатационными затратами.

При прочих равных условиях рекомендуется выбирать в первую очередь такие методы достижения точности (решения размерных цепей), при которых сборка производится без подбора, пригонки и регулирования и собранные изделия отвечают всем требованиям взаимозаменяемости, т.е. использовать метод полной взаимозаменяемости или вероятностный метод.

Если применение указанных методов экономически нецелесообразно или технически невозможно, следует перейти к применению одного из методов неполной взаимозаменяемости (метода регулирования, или метода пригонки, или метода групповой взаимозаменяемости).

При исследовании вопроса о том, каким методом следует обеспечивать заданную точность исходного звена, можно ориентироваться на среднюю величину допуска составляющих звеньев или среднюю степень точности (кавалитет) составляющих звеньев, последовательно проверяя возможность применения метода полной взаимозаменяемости, вероятностного метода, методов неполной взаимозаменяемости.

Метод полной взаимозаменяемости

Среднее значение допуска T_c составляющих звеньев при заданном допуске исходного звена $[T_\Sigma]$ (метод полной взаимозаменяемости) для линейных цепей.

$$T_c = \frac{[T_\Sigma]}{m+n},$$

где $m+n$ – число составляющих звеньев.

Средняя степень точности (кавалитет) составляющих звеньев (метод полной взаимозаменяемости) в числах единиц допуска a_c (коэффициент точности) может быть подсчитана по выражению:

$$a_c = \frac{[T_\Sigma]}{\sum_1^{m+n} i} = \frac{[T_\Sigma]}{\sum_1^{m+n} (0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001D_u)},$$

где $[T_\Sigma]$ – допуск исходного звена, мкм; $D_u = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}}$ – среднее геометрическое интервала размеров, мм.

В таблице 2.3 приведены значения единицы допуска $i = 0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001D_u$ для диапазона размеров до 500 мм в ЕСДП СЭВ (5-16-й квалитеты).

Сопоставляя затем вычисленное значение a_c с коэффициентами точности квалитетов допусков ЕСДП, приближенно

определяют средний квалитет допусков составляющих звеньев цепи (9, 10, 11-й и т.д.).

Таблица 2.3. Значения единицы допуска $i = 0,45\sqrt[3]{D_u} + 0,001D_u$
для диапазона размеров до 500 мм в ЕСДП СЭВ

Интервалы диаметров, мм	до 3	от 3 до 6	от 6 до 10	от 10 до 18	от 18 до 30	от 30 до 50	от 50 до 80
i	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86
Интервалы диаметров, мм	от 80 до 120	от 120 до 180	от 180 до 250	от 250 до 315	от 315 до 400	от 400 до 500	
i	2,17	2,52	2,89	3,22	3,54	3,89	

Метод полной взаимозаменяемости может оказаться экономически целесообразным лишь для цепей малой точности или цепей с небольшим количеством звеньев. При других данных необходимая точность изготовления деталей может выйти не только за пределы экономической точности, но и за пределы достижимой точности. В этом случае следует проверить возможность использования вероятностного метода.

Вероятностный метод

В случае использования вероятностного метода средняя величина допуска T_c , при условии равных допусков всех звеньев, может быть приближенно определена по формуле

$$T_c = \frac{[T_\Sigma]}{t\lambda_c\sqrt{m+n}},$$

где λ_c – среднее значение коэффициентов относительного рассеивания составляющих звеньев; t – коэффициент, зависящий от процента риска (принимается по табл. 2.4).

Таблица 2.4. Значения коэффициента t , зависящего от процента риска

P, %	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
t	3,89	3,48	3,29	3,00	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1

Средний квалитет допусков a_c при условии равных допусков составляющих звеньев определяют по выражению:

$$a_c = \frac{[T_\Sigma]}{t \sqrt{\sum_1^{m+n} \lambda_i^2 \cdot i^2}} .$$

Как правило, допуски составляющих звеньев при вероятном методе (по сравнению с методом полной взаимозаменяемости) получаются значительно большими (для малозвенных цепей на 30-40%, для многозвенных цепей – в 2 раза и более), что снижает стоимость изготовления деталей и удешевляет изделие.

Возможное расширение шлей допусков составляющих размеров тем значительней, чем больше число звеньев и больше принимаемый процент риска.

Полученный средний допуск или средняя степень точности (квалитет) составляющих звеньев оценивается с точки зрения выполнения его в производстве. При этом учитывается сложность и габаритные размеры деталей, предполагаемый технологический процесс изготовления и др.

Если же требуемая по расчету точность изготовления (средний допуск) деталей не соответствует условиям экономического производства, то для достижения заданной точности исходного звена необходимо использовать методы неполной взаимозаменяемости.

2.3.4. Конструкторско-технологические рекомендации по выбору метода сборки

При проектировании технологий механической сборки необходимо определить рациональный метод сборки, который обеспечит минимум производственных издержек при выпуске продукции (п. 2.3.2). В большинстве случаев, метод сборки соответствует методу достижения заданной точности исходного звена.

При применении метода достижения заданной точности исходного звена по принципу полной взаимозаменяемости известно два способа сборки:

- способ равных допусков;
- способ допусков одного класса точности.

Метод сборки по принципу полной взаимозаменяемости с применением способа равных допусков

Данный способ применяют, если составлявшие размеры являются величинами одного порядка (например, входят в один интервал диаметров) и могут быть выполнены с примерно одинаковой экономической точностью. В этом случае можно условно принять допуски:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_{p-1} = T_{i \text{ ср}} .$$

Тогда из уравнения (1.7) получаем:

$$T_{\Sigma} = (p-1) T_i ,$$

или

$$T_{i \text{ ср}} = \frac{T_{\Sigma}}{p-1} ,$$

где p – сумма всех составляющих звеньев размерной цепи.

Полученный средний допуск $T_{i \text{ ср}}$ корректируют для некоторых составляющих размеров в зависимости от их величины, конструктивных требований и технологических трудностей изго-

товления, но так, чтобы удовлетворялось уравнение (2.1). При этом, как правило, надо использовать только стандартные поля допусков, желательно предпочтительного применения.

Способ равных допусков прост, но недостаточно точен, так как корректировка допусков составляющих размеров произвольна.

Он рекомендуется только для предварительного назначения допусков составляющих размеров.

Метод сборки по принципу полной взаимозаменяемости с применением способа допусков одного класса точности

Применение данного способа при применении принципа полной взаимозаменяемости предполагает, что все составляющие цепь размеры могут быть выполнены по какому-либо одному классу точности, а допуски составляющих размеров зависят от их номинального значения, к тому же предполагается, что номинальные размеры всех звеньев цепи и предельные отклонения исходного звена известны. Требуемый класс точности определяют следующим образом.

Величина допуска каждого составляющего размера равна:

$$T = a \times i,$$

где i – единица допуска.

Для размеров от 1 до 500 мм:

$$i = 0,5\sqrt[3]{A_{i\text{cp}}},$$

где $A_{i\text{cp}}$ – средний размер для интервала диаметров по ОСТу, к которому относится данный линейный размер, тогда

$$A_i = a_i 0,5\sqrt[3]{A_{i\text{cp}}},$$

где a_i – число единиц допуска, содержащееся в допуске данного i -го размера.

Далее можно написать:

$$A_{\Sigma} = a_1 0,5\sqrt[3]{A_{1\text{cp}}} + a_2 0,5\sqrt[3]{A_{2\text{cp}}} + \dots + a_{p-1} 0,5\sqrt[3]{A_{p-1\text{cp}}}.$$

Принимая по условию задачи $a_1 = a_2 = \dots = a_{p-1} = a_{cp}$, получаем:

$$T_{\Sigma} = a_{cp} \sum_{i=1}^{p-1} 0,5^3 \sqrt{T_{i\,cp}},$$

откуда

$$a_{cp} = \frac{T_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^{p-1} 0,5^3 \sqrt{T_{i\,cp}}}, \quad (2.6)$$

где A_{Σ} – допуск замыкающего звена в миллиметрах, $A_{i\,cp}$ – средний размер в размерной цепочке в миллиметрах.

По a_{cp} выбирают ближайший класс точности.

Число единиц допуска a_{cp} , полученное по формуле (2.6), в общем случае не будет равняться какой-либо из величин a , определяющих класс точности по ОСТу. Поэтому, выбрав ближайший класс точности и найдя по таблице ОСТа величины допусков составляющих размеров в соответствии с их номинальной величиной, корректируют их значение, учитывая конструктивно-эксплуатационные требования и возможность применения такого процесса изготовления, экономическая точность которого близка к требуемой точности размеров.

После нахождения величин допусков размеров A_1, A_2, \dots, A_{p-1} устанавливают величину и знак верхних и нижних отклонений размеров замыкающего звена так, чтобы они удовлетворяли уравнениям, написанным с учётом выражения (2.1):

$$\left. \begin{aligned} BOA_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^m BOA_{y_{\phi}} - \sum_{j=1}^n BOA_{y_{\psi}} \\ HOA_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^m HOA_{y_{\phi}} - \sum_{j=1}^n HOA_{y_{\psi}} \end{aligned} \right\}.$$

Сборка по вероятностному методу

Этот метод основан на учете вероятностей отклонений размеров, составляющих размерную цепь, причем возможно получение

ние некоторого количества сборочных единиц, выходящих за установленные пределы точности. Сборка вероятностным методом благодаря расширению допусков на все звенья размерной цепи позволяет снизить себестоимость изготовления деталей, и как следствие повысить эффективность изделия.

Предполагая, что все отклонения размеров составляющих звеньев являются случайными и независимыми, подсчет допуска замыкающего звена T_{Σ} можно произвести по формуле:

$$A_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{p-1} A_i^2},$$

где A_i – допуски звеньев размерной цепи.

В данном случае суммирование допусков производится не арифметически, а по правилу квадратного корня. Следовательно, чем больше допусков суммируется, тем больше становится разность между арифметической и квадратической суммами.

Если рассеивание действительных размеров цепи подчиняется одной и той же закономерности – закону нормального распределения и кривая совпадает значениями $\pm 3\sigma$ с границами допуска, то на основании теории вероятностей можно определить коэффициент сужения φ_{χ} допуска зазора (или натяга) при переходе от полной взаимозаменяемости к взаимозаменяемости по вероятностному методу в зависимости от процента возможного получения сборочных единиц, выходящих за установленные пределы точности:

$$\varphi_{\chi} = \frac{A_{\chi}}{A_0},$$

где A_{χ} характеризует повышенный допуск замыкающего звена при χ сборочных единиц, а A_0 – допуск при условии полной взаимозаменяемости.

В таблице 2.5 приведены значения коэффициента φ_{χ} .

Таблица 2.5. Значения коэффициентов φ_{χ} в зависимости от процента сборочных единиц, выходящих за пределы точности

Возможный процент сборочных единиц, выходящих за пределы точности	Значение коэффициента φ_{χ}	Возможный процент сборочных единиц, выходящих за пределы точности	Значение коэффициента φ_{χ}
0,3	1	10,0	0,64
1,0	0,82	15,0	0,56
3,0	0,79	20,0	0,43
5,0	0,69		

Метод сборки с применением компенсаторов

При большом числе звеньев размерной цепи и малом допуске замыкающего звена необходимая для полной взаимозаменяемости точность изготовления деталей может в значительной степени усложнить производство и далеко выйти за пределы экономической целесообразности точности. В таких случаях приходится либо отказаться от полной взаимозаменяемости, допуская пригонку деталей по месту, либо вводить в конструкцию механизма тот или другой вид компенсатора, позволяющего регулировать в определенных пределах один из размеров. Такую регулировку называют компенсацией, а деталь, подбираемую в размерной цепи или специально вводимую в цепь для уменьшения допуска замыкавшего звена – компенсатором.

Характерная особенность всех компенсаторов состоит в том, что сборка с их применением позволяет выдерживать установленные пределы точности в размерной цепи путем изменения величины одного из ранее намеченных звеньев. Обработка же всех остальных звеньев цепи осуществляется по допускам, наиболее приемлемым для данных производственных условий.

Величину компенсирующего звена можно регулировать двумя способами: введением в размерную цепь специальной детали – прокладки, шайбы, промежуточного кольца и т.п. (неподвижные компенсаторы) и изменением положения одной из деталей,

например, клина, втулки, эластичной или пружинной муфты, эксцентрика и т.п. (подвижные компенсаторы).

Величину компенсации δ_K , т.е. изменение компенсационного размера, которая должна перекрывать разницу между суммой принятых допусков для составлявших звеньев и допуском исходного звена можно определить из уравнения:

$$\delta_K = \left(\sum_{i=1}^{p-1} T_i \right) - T_\Sigma,$$

где T_i – величина расширенных допусков составлявших звеньев.

Данное уравнение определяет границы наименьшего поля, в пределах которого должна быть обеспечена возможность изменения компенсационного размера. Если компенсатор позволяет изменять размер не непрерывно, а ступенями (например, сменные шайбы, прокладки, кольца и т.п.), то к наименьшему размеру компенсации нужно прибавить еще и допуск на компенсатор.

Более подробно с методикой решения технологических задач с помощью теории размерных цепей можно ознакомиться в работе [4].

2.3.5. Пример анализа исходной информации с помощью анализа размерных цепей

2.3.5.1. Постановка задачи расчёта

В начале выполнения анализа размерных цепей рассматриваемого изделия необходимо сформулировать задачи расчёта и анализа. Типовые формулировки задач расчёта и анализ приведены в п. 2.3.1 настоящего пособия.

В качестве примера для изделия «мембрана прорыва» сформулируем задачи расчёта и анализа:

- 1) определить предельные значения габаритов изделия;
- 2) определить предельные значения зазора 8 – ловитель 4 – тарель крышки.

Решение первой задачи необходимо для того, чтобы вычислить возможные значения габарита сборки по длине, а решение второй задачи необходимо для того, чтобы установить возможность выполнения процесса сборки изделия.

2.3.5.2. Исходные данные для расчёта

Исходные данные для расчёта определяют в процессе изучения конструкторской документации на изделие – по сборочному чертежу и по чертежам входящих в изделие деталей. Исходные данные можно взять из 3-D модели изделия.

Для удобства определения исходных данных разрабатывают схемы расположения компонент размерных цепей в соответствии с задачами расчёта. При этом определяют уменьшающие и увеличивающие компоненты цепей и в соответствии с задачами расчета определяют замыкающие звенья. По конструкторской документации определяют номинальные значения входящих в цепи размеров, а также их допуски. При этом учитывают тот факт, что для аэрокосмических отраслей неуказанные предельные отклонения соответствуют H12 – для охватываемых поверхностей (отверстия), h12 – для охватывающих поверхностей (валы), а для остальных – $\pm It12$ (It – величина допуска).

Пример схемы расположения компонент размерных цепей для изделия «мембрана прорыва» представлены на рисунке 2.3 а) и 2.3 б).

Далее рекомендуется разработать схемы размерных цепей, по которым можно определить какие размеры увеличивающие, а какие – уменьшающие, а также учесть их влияние на замыкающее звено.

Пример схем размерных цепей для изделия «мембрана прорыва» представлен на рисунке 2.4 а) и б).

Для удобства проведения расчётов данные для расчёта по сформулированным задачам рекомендуется приводить в табличном виде.

Пример исходных данных для расчёта представлен в таблицах 2.6 и 2.7.

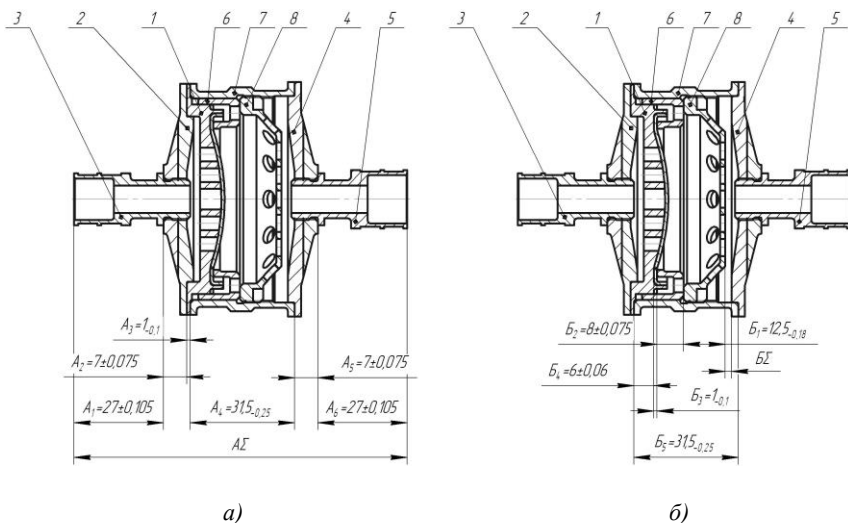


Рис. 2.3. Схема расположения компонент размерных цепей мембраны прорыва: а) для определения предельных габаритов изделия, б) для определения предельных значений зазора между деталями; 8 – ловитель и 4 – тарель крышки; 1 – мембранный узел; 2 – тарель крышки; 3 – наконечник крышки; 4 – тарель крышки; 5 – наконечник крышки; 6 – нож; 7 – стакан; 8 – ловитель

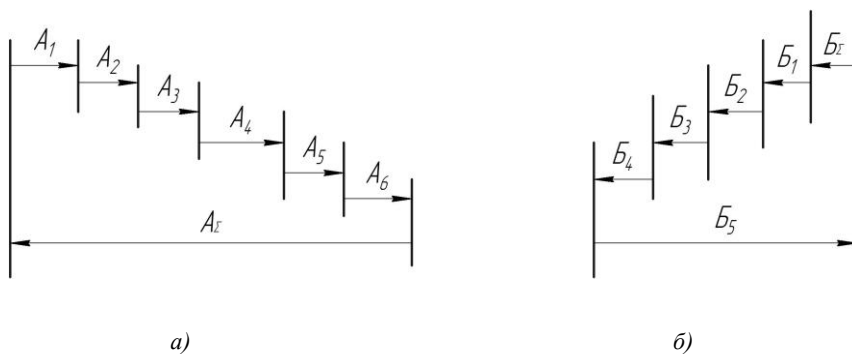


Рис. 2.4. Схема размерных цепей мембраны прорыва: а) – для определения предельных габаритов изделия, б) – для определения предельных значений зазора между деталями 8 – ловитель и 4 – тарель крышки

Таблица 2.6. Исходные данные для расчета предельных габаритов изделия

Позиция детали	Наименование детали	Размеры		
		Условное обозначение	Номинал размера, мм	Отклонения, мм (обозначение допуска)
3	Наконечник крышки	A ₁	27	± 0,105 (js12)
2	Тарель крышки	A ₂	7	± 0,075 (js12)
1.1	Мембранный узел	A ₃	1	0 -0,1
7	Стакан	A ₄	31,5	0 -0,25 (h12)
4	Тарель крышки	A ₅	7	± 0,075 (js12)
5	Наконечник крышки	A ₆	27	± 0,105 (js12)

Таблица 2.7. Исходные данные для расчета предельных значений зазора между деталями 8 – ловитель и 4 – тарель крышки

Позиция детали	Наименование детали	Размеры		
		Условное обозначение	Номинал размера, мм	Отклонения, мм (обозначение допуска)
8	Ловитель	B ₁	12,5	0 -0,18 (h12)
6	Нож	B ₂	8	± 0,075 (js12)
1.1	Мембранный узел	B ₃	1	0 -0,1
1.2	Мембранный узел	B ₄	6	± 0,06 (js12)
7	Стакан	B ₅	31,5	0 -0,25 (h12)

2.3.5.3. Определение предельных значений габаритов изделия и предельных значений зазора

В соответствии с поставленными задачами расчёта определение предельных значений габаритов изделия и предельных значений зазора между деталями 8 – ловитель и 4 – тарель крышки можно выполнить, найдя предельные размеры замыкающих звеньев

ев размерных цепей. Для этого можно воспользоваться выражениями (2.3) и (2.4). В соответствии с данными таблицы 2.6, руководствуясь схемами (рис. 2.4), вычисляем:

$$A_{\Sigma \max} = A_{y\phi \max}^1 + A_{y\phi \max}^2 + A_{y\phi \max}^3 + A_{y\phi \max}^4 + A_{y\phi \max}^5 + A_{y\phi \max}^6 = \\ = 27,105 + 7,075 + 1,0 + 31,5 + 7,075 + 27,105 = 100,86 \text{ мм},$$

$$A_{\Sigma \min} = A_{y\phi \min}^1 + A_{y\phi \min}^2 + A_{y\phi \min}^3 + A_{y\phi \min}^4 + A_{y\phi \min}^5 + A_{y\phi \min}^6 = \\ = 26,895 + 6,925 + 0,9 + 31,25 + 6,925 + 26,895 = 99,79 \text{ мм}.$$

Исходя из данных таблицы 2.7 предельные размеры зазора между деталями 8 – ловитель и 4 – тарель по формулам (2.3) и (2.4) составят:

$$B_{\Sigma \max} = B_{y\phi \max}^5 - B_{y\phi \min}^1 - B_{y\phi \min}^2 - B_{y\phi \min}^3 - B_{y\phi \min}^4 = \\ = 31,5 - 12,32 - 7,925 - 0,9 - 5,94 = 4,415 \text{ мм},$$

$$B_{\Sigma \min} = B_{y\phi \min}^5 - B_{y\phi \max}^1 - B_{y\phi \max}^2 - B_{y\phi \max}^3 - B_{y\phi \max}^4 = \\ = 31,25 - 12,5 - 8,075 - 1,0 - 6,06 = 3,615 \text{ мм},$$

В результате расчётов можно сделать следующие выводы:

1) Максимальная длина собранного узла не будет превышать 100,86 мм, минимальная длина собранного узла составит не менее 99,79 мм.

2) Максимальная величина зазора между деталями 8 – ловитель и 4 – тарель не превысит 4,415 мм, и зазор между этими деталями будет не менее 3,615 мм, величина зазора (замыкающего звена) всегда будет величина положительная, следовательно, установка всех комплектующих в сборочное положение произойдет успешно.

2.4. Разработка схемы технологического членения

На основе изучения и анализа конструкции изделия устанавливается его сборочный состав, определяются поверхности сопряжения и проекционные связи соединяемых элементов. Для визуа-

лизации этого разрабатывается схема технологического членения. Как правило она изображается в аксонометрии. Изделие изображается расчленённым на отдельные сборочные единицы, сборочные единицы смещаются по проекционным осям или по осям крепёжных элементов, определяются источники комплектования элементов, выделяют базовые детали и сборочные единицы.

Пример схемы членения изделия «мембрана прорыва» представлен на рисунке 2.5. Изделие расчленено на отдельные детали, детали изображены в проекционной связи, выделены сборочные единицы, выделена базовая деталь.

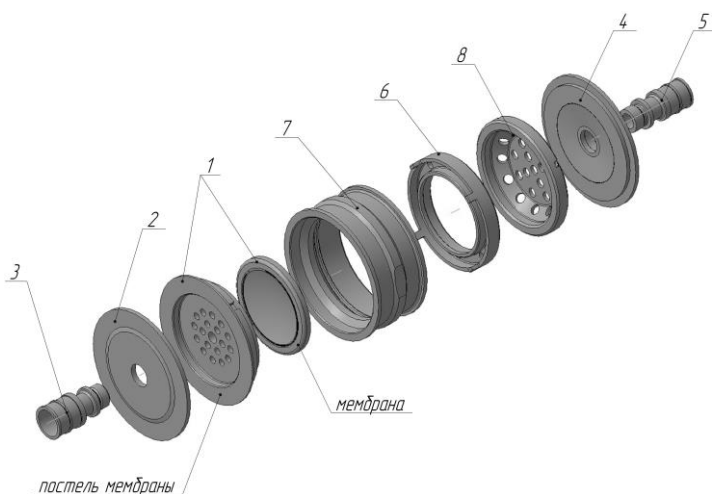


Рис. 2.5. Схема членения мембраны прорыва:

- 1 – мембранный узел; 2 – тарель крышки; 3 – наконечник крышки;
- 4 – тарель крышки; 5 – наконечник крышки; 6 – нож; 7 – стакан;
- 8 – ловитель

В результате анализа разработанной схемы технологического членения в конструкции изделия выделены следующие под сборки:

- подборка 01 – тарель крышки 2 и наконечник крышки 3;
- подборка 02 – тарель крышки 4 и наконечник крышки 5;
- подборка 03 – постель крышки и мембрана;
- подборка 04 – стакан 7, ловитель 8, нож 6, подборка 03 и подборка 01.

2.5. Разработка схемы сборки

На основе схемы технологического членения составляется схема сборочного состава, на которой показывают все элементы, входящие в состав изделия и основные этапы (ступени сборки). В геометрических фигурах в виде прямоугольников указывается наименование элемента, номер его по спецификации, а также количество этих элементов. На схеме указываются также источники поступления элементов и сроки готовности различных ступеней сборки и изделия в целом. Следует отметить, что необходимость расчленения изделия на сборочные единицы определяется в первую очередь условиями работы и эксплуатации, а также возможностью изготовления и расчленения деталей. Количество сборочных единиц в изделии определяется возможностью сокращения трудоемкости и длительности цикла сборки за счет разделения процесса на параллельные потоки. Поэтому, изделие разделяется на сборочные единицы еще по технологическим соображениям. При этом, введение дополнительных сборочных единиц целесообразно, если расширяется фронт сборки, а затраты на дополнительно введенные разъемы меньше экономии, получаемой от параллельной сборки. Схема сборочного состава имеет важное значение для работы над технологическим процессом; кроме того, на ее основе заполняются комплектовочные карты.

Схема сборочного состава не дает представления о последовательности сборки и способе обеспечения соединений. Последовательность сборки, способы обеспечения соединений, периодичность и содержание процессов контроля и испытаний дает технологическая схема сборки. Сборка любого изделия – это дискретный во времени процесс, который состоит из отдельных операций. Каждая операция состоит из ряда переходов. Переход – это наименьшая законченная часть технологического процесса, выполняемая без перерыва во времени. Процесс сборки сложного изделия состоит из переходов, выполняемых не только последовательно, но и параллельно. Маршрут такого процесса можно представить графически в виде схемы. На этой схеме процесс обозначается линией, т.е. осью процесса во времени, а точки – это

отдельные переходы на этой линии. При построении схемы сборки рекомендуются придерживаться следующих правил:

1) материалы изображают полукругом, внутри которого указывается наименование, марка, ГОСТ, характерный параметр;

2) детали изображаются в виде круга, разделенного на две части, в нижней части указывается номер позиции детали на спецификации сборочного чертежа, в который она входит;

3) сборочная единица на схеме изображается квадратом, в верхней части которого указывается степень сложности, а в нижней части – номер позиции для сборочного чертежа;

4) детали и сборочные единицы, получаемые с других предприятий, изображаются с заштрихованными верхними частями круга или квадрата;

5) схема сборки начинается с изображения базовой детали или сборочной единицы, а заканчивается изображением готового изделия. Базовой деталью считают основную деталь, с которой начинается общая сборка изделия. В качестве базовой рекомендуется выбирать ту деталь, поверхности которой будут в последствии использованы при установке готового изделия или при креплении сборочной единицы к ранее собранной;

6) сборочные единицы или детали, собираемые между собой, и с собранными ранее составляющими компонентами изделия одновременно присоединяются к сборочной линии в одной точке;

7) детали, и сборочные единицы, которые не могут быть собраны одновременно без перерыва во времени или одновременная сборка которых не является технической необходимостью, присоединяются к линии сборки в разных точках;

8) детали, соединяемые между собой сборочной операцией, образуют сборочную единицу первой степени сложности, которая изображается квадратом на одной линии с ее базовой деталью;

9) присоединение хотя бы одной детали к собранной ранее сборочной единице образует новую сборочную единицу следующей степени сложности;

10) несколько деталей или сборочных единиц, устанавливаемых после их предварительной сборки, но без образования сборочной единицы, изображаются на схеме условными значками и присоединяющей к дополнительной линии сборки в последова-

тельности (слева направо) их присоединения; дополнительная линия сборки подводится к основной в точке выполнения установки и крепления этих составляющих компонент;

11) детали, образующие сборочную единицу до установки их в собранную ранее, обозначаются условными обозначениями и образуют дополнительную линию сборки, заканчивающуюся сборочной единицей, которая присоединяется к основной линии сборки;

12) несколько одинаковых деталей или сборочных единиц обозначаются одним условным обозначением, а количество указывается цифрой около знака;

13) приспособления, применяемые вместо деталей или сборочных единиц, без которых не может быть выполнена сборка, указываются на схеме как детали или сборочная единица пунктиром;

14) работы, связанные с частичной разборкой объекта, указывается на схемах изображением снимаемых деталей, сборочных единиц или приспособлений со стрелкой, направленной от линии сборки;

15) переходы сборки, связанные с применением материалов (клея, припоя, спирта, бензина, масла, изоляции и т.п. в переходах намотки, электромонтажа, заливки и т.п.), указываются на схемах с присоединением к линии сборки условного обозначения материала;

16) порядок установки одновременно нескольких составляющих компонент определяется обходом по часовой стрелке, начиная с крайнего левого над линией сборки детали или сборочной единицы.

При выполнении индивидуального задания схему сборки начинают с базовой детали (узла) и заканчивают готовым изделием (узлом). Между ними проводят осевую линию, сверху которой показывают присоединяемые детали, снизу – сборочные единицы.

Последовательность установки и снятия составных частей изделия определяют при решении задачи формирования технологических операций сборки и разборки.

При необходимости на схемах сборки показывают расстановку контрольных операций, делают дополнительные надписи, определяющие содержание сборочных и контрольных операций, например «приварить», «сверлить совместно с...», «отрегулировать зазор...» и т.п.

Таким образом, схема сборки наглядно показывает последовательность или маршрут сборки.

На основе результатов предыдущих этапов изучения конструкции изделия, а также на основе анализа схемы членения изделия предлагается следующая схема сборки (рис. 2.6).

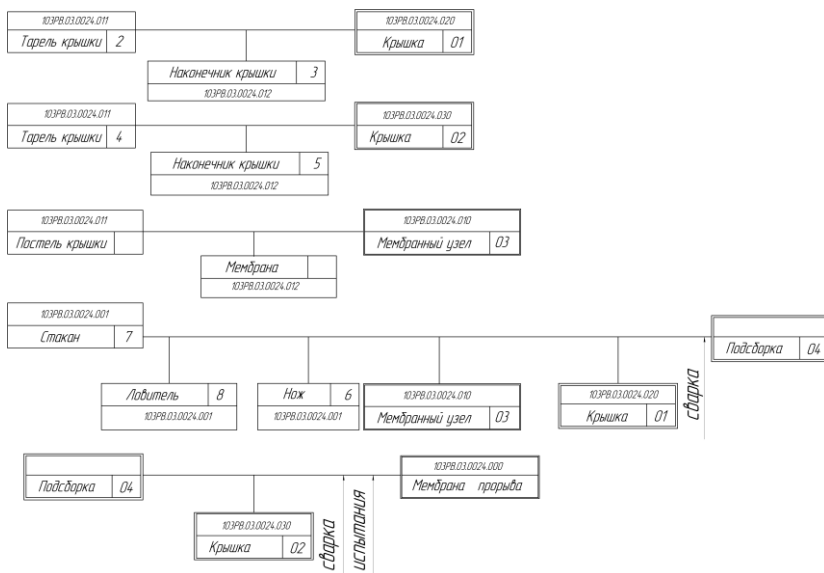


Рис. 2.6. Схема сборки узла «Мембрана прорыва»

По схеме членения видно, что сборка первых трех подборок это попарное соединение двух деталей. Предложено, что первые три под сборки можно предварительно собрать, что позволяет для повышения надёжности проконтролировать качество их сборки. Далее необходимо собрать четвертую под сборку, для этого в стакан 7 по резьбе установить ловитель 8, потом установить нож 6, затем мембранный узел и окончательно по расточке стакана 7 установить под сборку 01 ориентируясь по проточке тарели крышки 01. Далее весь пакет необходимо закрепить приспособлением и выполнить сварочный шов между деталями 7 стакан и тарель крышки 01. Потом необходимо зафиксировать нож 6 и мембранный узел путем затяжки резьбового соединения между стаканом 7

и ловителем 8. И окончательно устанавливают подборку 03 на стакан 7, затем закрепляют приспособлением и выполняют сварочный шов между деталями 7 – стакан и 02 – тарель крышки. Подобная схема сборки повысит надежность изделия, сократит цикл сборки, а также повысит производительность труда.

2.6. Разработка схемы технологического процесса сборки

При разработке рабочего технологического процесса руководствуются директивными документами на изделие, в которое входит узел или агрегат, типовыми технологическими процессами, техническими требованиями согласно конструкторской документации.

Технологический процесс сборки механических узлов и агрегатов имеет ряд специфических особенностей. При этом одновременно следует формально руководствоваться определениями «операция» и «переход» согласно нормативному документу.

С учетом вышесказанного операция – это комплекс переходов в технологическом процессе, выполняемых при данной организации производства одним или группой рабочих. Для всех видов производств существует аксиома – операция начинается и заканчивается вспомогательным переходом. С учетом специфики механического производства слесарно-сборочная операция состоит из основных переходов установки и крепления элементов, регулирования их взаимного расположения и контроля соединения. При разработке перечня операций не следует объединять в одну операцию переходы, относящиеся к различным технологическим процессам соединения, например, переходы склеивания и пайки, переходы электромонтажа и сборки, переходы регулирования и испытаний. Это к тому же противоречит определению «операция» согласно «ГОСТ». Такой комплекс переходов более правильно называть рабочим заданием, состоящим из нескольких отдельных операций. Как правило, такие комплексы переходов используются в единичном производстве. Объем операции определяется масштабом производства. Для крупносерийного и массового производства характерна дифференциация технологического процесса, т.е. уменьшение объема работы. Поэтому число переходов в этом случае в каждой операции уменьшается и, естественно, увеличивается

ется число самих операций. Для мелкосерийного производства характерно укрупнение операций по их объему и, соответственно, уменьшение их числа. При определенных условиях на объем операции влияет принятая организационная форма сборки. При сборке на конвейере технологический процесс разделяется на операции так, чтобы время выполнения каждой операции было равно или кратно темпу выпуска изделий. Каждая последующая операция должна быть логическим продолжением предыдущей.

Перечень операций в их технологической последовательности заносится в маршрутные карты технологических процессов сборочных, слесарно-сборочных и электромонтажных работ. Содержание операций технологического процесса оформляется в виде технологических операционных карт, в которых указывается, что и как делать, с помощью какого оборудования, приспособления и инструментов. В картах указывается классификация и специальность исполнителя, норма времени на выполнение операции, сборочные единицы и вспомогательные материалы, которые должны быть поданы на рабочие места.

Содержание операции заносится в маршрутные, маршрутно-операционные и операционные карты. Помимо операционных карт, заполняются комплектовочные карты, ведомости материалов и ряд других документов. Комплектовочная карта предназначена для записи данных о деталях, сборочных единицах и покупных изделиях, входящих в комплект собираемого изделия. Составляется комплектовочная карта на основе спецификации и схемы сборочного состава. Ведомость материалов составляется на материалы, применяемые при составлении данного технологического процесса [5].

Типовой маршрутный технологический процесс сборки по базовой детали содержит следующие операции:

1) Комплектовочная. Подбирается деталекомплект по спецификации.

2) Расконсервационная. Все детали промываются в специальных растворах.

3) Сборочная. Для каждого изделия и в зависимости от типа производства присуща своя маршрутная и операционная технология.

4) Настройка, регулировка.

5) Контрольная – выполнение проверки на функционирование с последующим проведением испытаний.

б) Упаковочная.

План сборки рекомендуется оформлять в табличной форме.

Пример плана сборки для изделия «мембрана прорыва» представлен в таблице 2.8.

Таблица 2.8. Технологический план сборки изделия «мембрана прорыва»

№ опер.	Наименование операции и содержание переходов	Оборудование и приспособление	Инструмент
1	2	3	4
005	Комплектовочная 1. Скомплектовать детали, указанные в спецификации 103РВ.03.7526.000.СП 2. Отразить результаты в техническом паспорте	Стол технологический	
010	Контрольная 1. Проверить комплектацию сборки по спецификации 103РВ.03.7526.000.СП 2. Отразить результаты в техническом паспорте	Стол технологический	
015	Обезжиривание приспособлений и инструмента 1. Проверить комплектность приспособлений и инструмента, исправность инструмента 2. Обезжирить сборочное приспособление по ТТП 3. Обезжирить инструмент по ТТП 4. Отразить результаты в техническом паспорте	Стол технологический Мойка ультразвуковая	
020	Обезжиривание 1. Обезжирить детали, указанные в спецификации 103РВ.03.7526.000.СП по ТТП 2. Отразить результаты в техническом паспорте	Стол технологический Мойка ультразвуковая	
025	Контрольная 1. Проверить качество обезжиривания деталей по спецификации 103РВ.03.7526.000.СП 2. Отразить результаты в техническом паспорте	Стол технологический	
030	Сборочная 1. Установить приспособление для сборки в тиски и закрепить 2. Установить тарель крышки поз. 2 в приспособление и закрепить 3. Установить наконечник крышки поз. 3 в резьбовое отверстие тарели крышки поз. 2 4. Затянуть наконечник крышки поз. 3 5. Снять подсорбку 01 крышка и уложить в тару	Верстак Тиски Приспособление для сборки	Ключи гаечные накидные Головки торцовые Ключ моментный предельный

Продолжение табл. 2.8

1	2	3	4
035	<p>Сборочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить приспособление для сборки в тиски и закрепить 2. Установить тарель крышки поз. 4 в приспособление и закрепить 3. Установить наконечник крышки поз. 5 в резьбовое отверстие тарели крышки поз. 4 4. Затянуть наконечник крышки поз. 5 5. Снять подборку 02 крышка и уложить в тару 	<p>Верстак Тиски Приспособле- ние для сборки</p>	<p>Ключи гаечные накидные Головки торцовые Ключ момент- ный пре- дельный</p>
040	<p>Сварочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить подборку 01 крышка в приспособление для сварки 2. Варить 3. Снять подборку 01 крышка из приспособления для сварки и уложить в тару 4. Повторить переходы 1-3 для подборки 02 крышка 	<p>Сварочный пост Приспособле- ние для сварки</p>	
045	<p>Сборочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить приспособление для сборки в тиски и закрепить 2. Установить постель мембраны в приспособление и закрепить 3. Установить мембрану на посадочное место постели мембраны с помощью оправки для установки мембраны и молотка 4. Снять мембранный узел поз. 1 из приспособления и уложить в тару 	<p>Верстак Тиски Приспособле- ние для сборки Оправка для установки мембраны</p>	<p>Молоток</p>
050	<p>Сборочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить внешние поверхности и внутренние полости стакана поз. 7, подборок 01 и 02, ловителя 8, ножа 6 мембранного узла 03 на чистоту и отсутствие посторонних частиц визуально 2. Установить приспособление для сборки изделия в тиски и закрепить 3. Установить стакан поз. 7 в приспособление и закрепить 	<p>Верстак Тиски Приспособле- ние для сборки мембраны прорыва</p>	<p>Специальная головка для затяжки ловителя Ключ момент- ный пре- дельный</p>

Окончание табл. 2.8

1	2	3	4
050	<p>Сборочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить внешние поверхности и внутренние полости стакана поз. 7, подборок 01 и 02, ловителя 8, ножа 6 мембранного узла 03 на чистоту и отсутствие посторонних частиц визуально 2. Установить приспособление для сборки изделия в тиски и закрепить 3. Установить стакан поз. 7 в приспособление и закрепить 4. Установить ловитель 8 в стакан 7 по резьбе 5. Установить нож 6 в стакан 7 6. Установит мембранный узел 03 в стакан 7 7. Установить крышку 01 в стакан 7 8. Установить приспособление для сборки мембраны прорыва на подборку и зафиксировать входящие детали и подборки 9. Снять подборку и уложить в тару 	<p>Верстак Тиски Приспособление для сборки мембраны прорыва</p>	<p>Специальная головка для затяжки ловителя Ключ моментный предельный</p>
055	<p>Сварочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить подборку 04 в приспособление для сварки 2. Варить 3. Снять подборку 04 из приспособления для сварки и уложить в тару 4. Снять приспособление для сборки. 	<p>Сварочный пост Приспособление для сварки</p>	
060	<p>Сборочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить приспособление для сборки в тиски и закрепить. 2. Установить подборку 04 в приспособление и закрепить. 3. Установить крышку поз. 2 на подборку 04. 4. Установить приспособление для сборки мембраны прорыва на подборку и зафиксировать входящие детали и узлы подборки. 5. Снять мембрану прорыва и уложить в тару 	<p>Верстак Тиски Приспособление для сборки</p>	<p>Ключи гаечные накидные Головки торцовые Ключ моментный предельный</p>
065	<p>Сварочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Установить мембрану прорыва с приспособлением для сборки в приспособление для сварки 2. Варить 3. Снять мембрану прорыва из приспособления для сварки и уложить в тару 4. Снять приспособление для сборки. 	<p>Сварочный пост Приспособление для сварки</p>	

2.7. Расчет технологических параметров процессов сборки

В данном разделе необходимо выполнить расчёт параметров процессов выполнения соединений в изделии. Количественные значения параметров процессов необходимы для подбора оборудования и инструмента для операций сборки.

2.7.1. Расчет предельных значений зазоров в сопряжениях деталей изделия

Предельные зазоры и натяги в посадке в этом случае могут быть рассчитаны как по разности предельных размеров отверстия вала, так и по разности их предельных отклонений. Для решения технологических задач необходимо установить факт наличия в сопряжении со 100%-й гарантией наличие минимального зазора или максимального натяга. Если гарантирован зазор – соединение может быть выполнено без дополнительного оборудования. Если в соединении возможен натяг, необходимо вычислить максимально возможную величину, и данное значение будет использовано для определения усилия запрессовки. Для выполнения соединения с натягом требуется прессовая операция. В дальнейшем по значению усилия запрессовки подбирается оборудование для этой операции – пресс.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различают посадки трех топов: с зазором, натягом и переходные [7].

Посадкой с зазором называется посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении. В посадке с зазором поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала. Для посадок с зазором минимальная величина зазора S_{min} и максимальная величина зазора S_{max} определяется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_{min} &= D_{min} - d_{max} = EI - es \\ S_{max} &= D_{max} - d_{min} = ES - ei \end{aligned} \right\},$$

где D_{max} – максимальное предельное значение диаметра отверстия, D_{min} – минимальное предельное значение диаметра отверстия, d_{max} – максимальное предельное значение диаметра вала, d_{min} – минимальное предельное значение диаметра вала, ES – верхнее отклонение диаметра отверстия, EI – нижнее отклонение диаметра отверстия, es – верхнее отклонение диаметра вала ei – нижнее отклонение диаметра вала.

Значение S_{min} иногда называют «гарантированным зазором». К посадкам с зазором относятся также и так называемые скользящие посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала. Для них $S_{min} = 0$.

Посадкой с натягом называется посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении. В такой посадке поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала. Для посадок с натягом минимальная величина натяга N_{min} и максимальная величина натяга N_{max} определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} N_{min} &= d_{min} - D_{max} = ei - ES \\ N_{max} &= d_{max} - D_{min} = es - EI \end{aligned} \right\}. \quad (2.7)$$

Переходной посадкой называется посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. В такой посадке поля допусков отверстия и вала полностью или частично перекрывают друг друга. Переходные посадки характеризуются наибольшими значениями натяга N_{max} и зазора S_{max} , и их величины определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} N_{max} &= d_{max} - D_{min} = es - EI \\ S_{max} &= D_{max} - d_{min} = ES - ei \end{aligned} \right\}. \quad (2.8)$$

Значение N_{max} иногда называют «максимальным возможным натягом». Возможность существования N_{max} обуславливает необходимость прессовой операции для выполнения соединения.

2.7.2. Расчет параметров выполнения резьбовых соединений

2.7.2.1 Выбор величины силовых параметров затяжки гаек

Непременным условием правильной сборки соединения является обеспечение такой силы затяжки, действующей по оси болта или шпильки, при которой выполняется условие плотности соединения (нераскрытия стыка).

$$Q_3 = \nu P(1 - \chi),$$

где Q_3 – сила затяжки; P – внешняя нагрузка, приходящаяся на один болт (шпильку); χ – коэффициент внешней нагрузки (обычно $\chi = 0,2 \dots 0,4$); ν – запас по плотности, обеспечивающий нераскрытие стыка при увеличении внешней нагрузки в ν раз. Значение запаса по плотности для постоянных нагрузок принимают $\nu = 1,25 \dots 2,0$ для переменных $\nu = 2,5 \dots 4$. По условиям герметичности $\nu = 1,25 \dots 2,5$ – при мягких прокладках, $\nu = 2,5 \dots 3,5$ – при плоских металлических прокладках.

Из условия прочности крепежных деталей верхний предел напряжения затяжки принимают в пределах $\sigma_3 = (0,5 \dots 0,7) \sigma_m$, где σ_m – предел текучести материала болта (шпильки).

Для ответственных резьбовых соединений силу затяжки обязательно контролируют путем замера одного из следующих параметров: крутящего момента при затяжке гайки, угла поворота гайки, удлинения болта (шпильки).

Затяжка неотчетственных резьбовых соединений производится обычными гаечными ключами; в этом случае во избежание разрушения крепежных деталей ограничивают длину рукоятки ключа величиной $L = (15 \dots 20) d$, где d – диаметр болта.

В групповом резьбовом соединении затяжка гаек или болтов должна производиться в определенной последовательности, исключающей перекося и коробление стягиваемых деталей. Рекомендуется производить затяжку сначала средних гаек, затем пару соседних справа и пару соседних слева и т.д., постепенно приближаясь к краям. Гайки, расположенные по кругу, следует затягивать крест-накрест. Затяжку следует производить постепенно, т.е. в два-три приема.

Затяжка резьбовых соединений по моменту получила наиболее широкое применение благодаря относительной простоте осуществления и возможности механизации. Связь между моментом затяжки $M_{кл}$ и силой затяжки устанавливается, с достаточной для практических расчетов точностью, зависимостью:

$$M_{кл} = Q_3 \left[\left(\frac{s}{\pi d_3} + \frac{\mu}{\cos \beta} \right) \frac{d_2}{2} + 0,25 \mu_T (D + d_0) \right], \quad (2.9)$$

где s – шаг резьбы; d_2 – средний диаметр резьбы; μ – коэффициент трения в резьбе; β – половина угла профиля резьбы; μ_T – коэффициент трения на торце гайки; D и d_0 – диаметры окружностей, ограничивающих поверхность трения торца гайки.

Для предварительной оценки значения момента затяжки можно пользоваться формулой:

$$M_{кл} = 0,2 Q_3 d .$$

При назначении момента затяжки по формуле (2.9) следует иметь в виду, что коэффициенты трения μ и μ_m могут находиться в широких пределах (0,05...0,5) в зависимости от наличия и вида металлического покрытия резьбы, состояния ее трущихся поверхностей, числа повторных затяжек и т.п. (табл. 2.9).

Таблица 2.9. Средние значения коэффициентов трения в резьбе (μ) и на торце гайки (μ_m)

Характер покрытия	Вид смазки	μ		μ_m	
		Первая затяжка	Повторные затяжки	Первая затяжка	Повторные затяжки
Без покрытия	Без смазки	0,18	0,28	0,16	0,22
	Масло МК	0,13	0,16	0,13	0,11
Кадмирование	Без смазки	0,25	0,21	0,05	0,14
	Масло МК	0,15	0,15	0,06	0,05
Меднение	Без смазки	0,28	0,42	0,12	0,18
	Масло МК	0,16	0,15	0,08	0,09
Цинкование	Без смазки	0,23	0,34	0,10	0,26

Затяжка болтов и гаек резьбовых соединений по моменту производится динамометрическими или предельными ключами.

2.7.2.2. Постановка шпилек

Основным требованием, предъявляемым к постановке шпилек в корпусные детали, является обеспечение устойчивого сопряжения шпильки с корпусом, при котором исключается страгивание и поворот шпильки при затяжке или отвертывании гайки, а также произвольное вывертывание ее из корпуса в процессе работы соединения. Это требование обеспечивается при условии, когда

$$M_{pz} = Q_3 \left[\left(\frac{s}{\pi d_3} + \frac{\mu}{\cos \beta} \right) \frac{d_2}{2} \right] \leq M_{кр},$$

$$M_{po} = Q_3 \left[\left(\frac{s}{\pi d_3} - \frac{S}{\pi d_2} \right) \frac{d_2}{2} \right] \leq M_{кр},$$

где M_{pz} и M_{po} – моменты трения в резьбе, действующие на шпильку при затяжке и отвертывании гайки; $M_{кр}$ – момент стопорения шпильки в корпусе, достигаемый постановкой шпильки с натягом или другим каким-либо способом.

Постановка шпилек с натягом по среднему диаметру резьбы получила наибольшее распространение. В этом случае посадка шпилек в корпусе оговаривается ГОСТ 4608-65. Выбор посадок производится в зависимости от их назначения и материала корпуса. Для шпилек с диаметром резьбы 10...30 мм при установке их в стальные корпуса натяг находится в пределах 0,02...0,06 мм, в чугунные или алюминиевые – в пределах 0,04...0,12 мм.

При постановке шпилек с натягом по среднему диаметру резьбы наблюдается значительный разброс значений $M_{кр}$ вследствие погрешностей геометрических параметров резьбы шпильки и корпуса, а также непостоянства значений коэффициента трения. Поэтому в ответственных резьбовых соединениях устойчивость сопряжения контролируется по крутящему моменту, с которым шпилька вывинчивается из корпуса.

Верхнее значение этого момента ограничивается прочностью шпильки при ее ввертывании $M_{кр} = 0,2[\tau]d_1^3$ (где $[\tau]$ – допустимое напряжение кручения материала шпильки, d_1 – диаметр шпильки), нижнее – условием устойчивости сопряжения.

Зависимость крутящего момента от геометрических параметров резьбы, материала деталей, состояния трущихся поверхностей может быть приближенно выражена формулой:

$$M_{кр} \approx 3,76 \Delta \mu l d \frac{E_2}{1,3 + 0,7 \frac{E_2}{E_1}}, \quad (2.10)$$

где Δ – натяг по среднему диаметру резьбы; μ – коэффициент трения в тугой резьбе; l – длина свинчивания шпильки с корпусом; d – диаметр резьбы; E_1 и E_2 – модули упругости материала шпильки и корпуса.

С учетом погрешностей шага и угла профиля резьбы, а также смятия неровностей поверхности резьбы в практических расчетах в формуле (2.10) рекомендуется принимать значение расчетного натяга.

Коэффициенты трения для тугой резьбы зависят от величины натяга, материала шпильки и корпуса, вида металлического покрытия и смазки ($\mu = 0,02 \dots 0,09$).

Ввертывание шпильки в корпус производится как вручную, так и с помощью специализированного инструмента (шпильковертов) или станков-автоматов. При ввертывании шпилька захватывается за резьбовую или гладкую часть и удерживается от проворота за счет упора шпильки или за счет радиального обжатия в резьбовой или гладкой части шпильки с помощью специальных устройств.

2.7.3. Расчет усилий запрессовки при сборке прессовых соединений

Прочность и относительная неподвижность неразъемных соединений двух деталей с натягом обеспечивается силами трения,

которые зависят от удельного давления, определяемого величиной натяга. Такие соединения способны препятствовать как осевому, так и угловому смещению одной детали относительно другой.

Наибольшее распространение имеет сборка под прессом. Этому способствует универсальность оборудования и относительно низкая трудоемкость сборочных операций. При сборке под прессом детали соединения взаимно перемещаются по продольной оси. Возникающие при этом на сопрягаемых поверхностях удельные давления и силы трения могут достичь значительных величин и затруднить сборку. В первую очередь это относится к соединениям с большими диаметрами и натягами.

Поперечная сборка выполняется после предварительного нагрева втулки или охлаждения вала до изменения их диаметра на величину, превышающую натяг. При последующем монтаже деталей удельные давления от натяга отсутствуют, а скрепление происходит в результате радиального смыкания сопряженных поверхностей после взаимного теплообмена деталей и теплообмена со средой. Практически поперечная сборка выполняется без применения технологических силовых воздействий. В полученных соединениях прочность скрепления деталей в 1,5... 2,5 раза выше, чем в прессовых при прочих равных условиях. Поперечная сборка (с нагревом) применяется для дисков турбин, бандажей и венцов, облицовочных втулок гребных валов и других крупных соединений с большими натягами. Однако, как особенности поперечной сборки, так и качество получаемых соединений способствуют все большему ее распространению на другие виды соединений с натягом.

2.7.3.1 Расчет усилий запрессовки при сборке продольно-прессовых соединений и усилий выпрессовки при разборке поперечно-прессовых соединений

Для подбора прессового оборудования, применяемого в прессовой операции необходимо вычислить максимально возможное усилие запрессовки или выпрессовки (разборка при ремонте) F_{max} .

Максимально возможное усилие запрессовки F_{max} при продольной сборке зависит от максимально возможного натяга в соединении N_{max} . Данный натяг обуславливает действие контактного

давления p_{max} , на поверхностях контакта соединяемых деталей. Величина максимального натяга N_{max} , определяется по выражению (2.7) или (2.8) и зависит от характера посадки сопряжения.

Величина усилия запрессовки при продольной сборке и величина усилия выпрессовки или разборке является функцией величины истинного натяга δ_{max} , которая меньше величины максимального натяга N_{max} .

Эта разница объясняется сглаживанием вершин микронеровностей при продольной сборке и их частичным перекрытием и деформацией при поперечной сборке. Величину δ_{max} находят из выражения:

$$\delta_{max} = N_{max} - 2k(R_{z1} + R_{z2}),$$

где R_{z1} и R_{z2} – высоты микронеровностей на сопрягаемых поверхностях, коэффициент $k = 0,54 \dots 0,7$ при продольной и $k = 0,3 \dots 0,5$ при поперечной сборке.

Контактное давление можно вычислить по формуле

$$p_{max} = \frac{\delta_{max}}{d} \frac{1}{\left[\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right]},$$

где δ_{max} – максимально возможный натяг; d – диаметр поверхности контакта; E_1 и E_2 – модули упругости материала вала и втулки, коэффициенты C_1 и C_2 определяются по формулам:

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu; \quad C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu,$$

где d_1 и d_2 – наружный диаметр вала и внутренний диаметр втулки соответственно, μ – коэффициент Пуассона материала соединяемых деталей.

Максимальное усилие запрессовки или выпрессовки определяется по формуле:

$$P_{\max} = p_{\max} \pi d l f ,$$

где l – длина поверхности контакта; f – коэффициент трения на поверхностях контакта.

Коэффициент трения на поверхностях контакта можно определить по табл. 2.10.

Таблица 2.10. Значения коэффициента трения при различных посадках

Вид трения	Продольные прессовые посадки					Поперечные прессовые посадки					
	Материал охватываемой детали – сталь марок 30-50										
	Материал охватывающей детали										
	Сталь 30-50	Чугун СЧ48-28	Сплавы АМг	Латунь	Пласт масса	Сталь марок 30-50		Чугун СЧ48-28	Сплавы АМг	Латунь	
Только при											
нагре- ве						охлажде- нии					
Коэффициент трения											
	Мас ло	Всухую				Мас ло	Всухую				
При срыве	0,08 0,2	0,09 0,17	0,03 0,09	0,04 0,10	0,33	0,13 0,24	0,35 0,40	0,16 0,40	0,13 0,18	0,10 0,15	0,17 0,25
При движении	0,06 0,13	0,07 0,12	0,02 0,06	-		0,06 0,19	0,14 0,16	0,07 0,16	0,07 0,09	0,05 0,06	0,05 0,14
При запрессовке	0,06 0,22	0,06 0,14	0,02 0,08	0,05 0,10	0,54	-					

2.7.3.2. Расчет параметров сборки поперечно прессовых соединений

В большинстве случаев сборку поперечно прессовых соединений выполняют с использованием процессов сборки с термовоздействием. Прочность соединений, собранных с термовоздействи-

ем, контролируют приложением нагрузки в 1,25...1,5 раза большей, чем расчетное усилие относительного перемещения деталей при осевом сдвиге или проворачивании. Контрольную нагрузку можно фиксировать диаграммой.

Сборка с термовоздействием выполняется путём нагрева охватывающей детали или путём охлаждения охватываемой детали. В итоге процесс сборки сводится к процессу сборки с зазором. Для выполнения данного процесса необходимо обеспечить зазор не менее 1% от номинала диаметра сопрягаемой поверхности. Для этого процесса не требуется использование прессового оборудования. Следует учитывать, что для сборки с термовоздействием необходимо оборудование, позволяющее нагревать или охлаждать одну из деталей, образующих соединение.

Среднюю температуру, до которой следует нагревать или охлаждать одну из соединяемых деталей рассчитывают по формуле:

$$t = \frac{N_{\max} + i}{k_{\alpha} d} \pm t_0,$$

где N_{\max} – максимально возможный натяг в соединении; i – термический сборочный зазор, определяемый из выражения $i = 0,01\sqrt{d} \cdot i$ мм; k_{α} – коэффициент линейного расширения материала, $1/^{\circ}\text{C}$; t_0 – температура окружающей среды, которую принимают со знаком плюс при нагреве и со знаком минус при охлаждении, $^{\circ}\text{C}$, d – номинальный диаметр поверхности сопряжения.

Коэффициент линейного расширения материала можно определить по таблице 2.11.

Сборка с нагревом – тепловая сборка – применима практически во всех случаях, при которых необходимая температура нагрева обеспечивает сохранение физико-механических свойств металла детали. В зависимости от вида производства (индивидуальное, серийное и т.д.) детали нагревают в масляных ваннах, электропечах сопротивления, индукционных установках и др.

Таблица 2.11. Коэффициент линейного расширения материалов

Материал	Сталь и стальное литьё	Чугунное литьё	Чугун ковкий	Медь	Бронза	Латунь	Алюминиевые сплавы	Магниеые сплавы
$k_{\alpha} \cdot 10^6$ $1/^{\circ}\text{C}$	8,5	8,6	8,5	14,4	14,2	16,7	18,69	21,0

При индукционном нагреве тепло генерируется непосредственно в теле детали или ее части. Это позволяет нагревать изделие с высокой скоростью, исключая появление на посадочной поверхности окалины.

В серийном и массовом производствах целесообразно применять специальные индукционные нагреватели. Такие нагреватели просты, компактны и могут встраиваться в автоматические сборочные системы.

Мощность (кВт) индукционного нагревателя W определяют из выражения:

$$W = \nu \frac{mc(t-t_0)}{10^3 \tau \eta},$$

где m – масса детали, кг; c – удельная теплоемкость материала в интервале температур $t-t_0$; τ – время нагрева, сек; η – общий к.п.д. индуктора (обычно 0,3...0,5); ν – коэффициент, учитывающий величину зоны нагрева. В зависимости от отношения массы детали к массе нагретой ее части $\nu = 0,2...1,0$.

По вычисленному значению мощности индукционного нагревателя проектируют данный нагреватель и подбирают согласованную с ним установку ТВЧ.

Сборка с охлаждением применяется главным образом при установке в корпусе мелких деталей: втулок, пальцев, гильз и др.

Охлаждают детали перед сборкой в холодильных камерах хладоносителем. Холодильные камеры просты по устройству и в изготовлении, являясь в большинстве своем контейнерами. Как

правило, хладоноситель в них находится в непосредственном контакте с охлаждаемой деталью.

В качестве хладоносителей обычно применяют твердый углекислый газ (сухой лёд) и жидкий азот. Реже – жидкий воздух и кислород, поскольку они взрывоопасны.

При проектировании технологических процессов подбирают хладоноситель, исходя из выполнения условия по достижению требований сборочного зазора с использованием формулы 1.29, и данных по температуре хладоносителя (табл. 2.10), где указана температура хладоносителя. Далее для проектирования технологий вычисляют необходимое количество хладоносителя, в соответствии с партией запуска. Нормы расхода некоторых хладоносителей приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12. Нормы расхода хладоносителей на 1 кг металла

Хладоноситель	Температура, °С	Алюминий	Латунь	Бронза	Чугун	Медь	Никель	Сталь
Жидкий азот	-195,8	0,86	0,4	0,41	0,48	0,36	0,41	0,41
Сухой лёд	-78,5	0,12	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,06

Согласно нормам расхода хладоносителя и объёма партии запуска (с учётом массы и габаритов охлаждаемых деталей) вычисляют объём холодильной камеры и подбирают конкретную модель для выполнения данной операции.

2.8. Подбор оборудования и инструмента для процесса сборки

Для выполнения каждой сборочной операции необходимо соответствующее технологическое оборудование, сборочный инструмент и контрольно-измерительный инструмент [5].

Технологическое оборудование – подъёмные устройства, прессы, механизированный инструмент (сверлильные и шлифовальные машины, устройства для подвешивания сборочного инструмента и др.), сборочные столы, верстаки, конвейеры, моечные машины, установки и т.п. так же выбираются в зависимости от объёма выпуска собираемых изделий.

Технологическое оснащение для выполнения сборочных операций подразделяется на оснащение для закрепления или (и) кантования, разделочное, установочное, регулировочное и комбинированное. Желательно использовать стандартизованное или унифицированное оснащение, например, тиски слесарные и т.п.

Сборочный инструмент выбирается в зависимости от типа соединения деталей. К сборочному инструменту относятся ключи, молотки, отвертки, предельные ключи и другой инструмент, необходимый для выполнения сборочной операции. Сборочный инструмент выбирается в зависимости от объёма выпуска изделий – массовый, крупносерийный, серийный, единичный. Соответственно и инструмент, применяемый в сборочных операциях, может быть автоматизированный, механизированный и ручной.

Контрольно-измерительный инструмент необходим для контроля действительных значений сборочных параметров, обеспечивающих требуемые эксплуатационные показатели изделия. К контролируемым сборочным параметрам относятся зазоры, биения, соосности, герметичности, неуравновешенности и другие параметры. При разработке последовательности сборки контроля сборочных операций очень важно определить численные значения этих параметров, иметь представление как их обеспечить, проконтролировать и регулировать в процессе эксплуатации

Следовательно, такая подробная разработка содержания сборочных операций делается для представителя каждого сборочного соединения.

Кроме непосредственно сборочных операций, связанных с образованием соединений в разделе предусматривается описание операций, связанных с возможной механической обработкой деталей непосредственно в процессе сборки. Такие операции, как правило, механические, применяются, в том случае, когда нужно обеспечить точное взаимное расположение по-

верхностей отдельных деталей, которое невозможно выполнить при их раздельной обработке.

В пояснительной записке к дипломному (курсовому) проекту для подбора технологического оборудования, технологического оснащения, сборочного и контрольно-измерительного инструмента выделяется отдельная глава, где перечисляются технологические операции, разработанные по п. 2.5 и по справочной литературе [5,6] или др. и для каждой операции выбираются и перечисляются конкретные марки, модели и типы оборудования, оснащения и инструмента с наименованием и обозначением по ГОСТ.

2.9. Нормирование технологического процесса сборки

Нормирование сборочных переходов и операций следует производить по принятым в машиностроении нормативам времени на слесарно-сборочные работы для соответствующего типа производства [5].

Нормативы времени на слесарно-сборочные работы содержат нормы основного, технологического и вспомогательного времени выполнения наиболее распространенных сборочных переходов.

Технологические нормы времени в условиях массового и крупносерийного производства устанавливаются расчетно-аналитическим методом.

При массовом производстве норма штучного времени $T_{шт}$ на выполнение одной операции сборочной единицы определяется по формуле:

$$T_{шт} = t_0 + t_e + t_{об} + t_{пер} ,$$

где t_0 - основное технологическое время в мин; t_e - вспомогательное время в мин; $t_{об}$ - время обслуживания рабочего места в мин; $t_{пер}$ - время перерывов на отдых и физические потребности рабочего в мин.

Время обслуживания рабочего места устанавливается в зависимости от вида сборочных работ в пределах 2...6% от опера-

тивного времени, представляющего собой сумму основного технологического и вспомогательного времени.

Время для перерывов на отдых и физические потребности рабочего устанавливаются в пределах 4...6 % оперативного времени. При конвейерной сборке рекомендуется устанавливать перерыв по 10 мин через каждые 1 час 40 минут работы.

Расчетная формула штучного времени на выполнение сборочной операции в массовом производстве имеет вид:

$$T_{ум} = (t_0 + t_е) + \left(1 + \frac{\beta + \gamma}{100}\right),$$

где t_0 - основное технологическое время в мин; $t_е$ - вспомогательное время в мин; β и γ - процент от оперативного времени, соответствующий времени на обслуживание рабочего места и времени на отдых в физические потребности рабочего.

Общее время на сборку сборочной единицы $T_{сб}$ равно:

$$T_{сб} = \sum_{i=1}^n T_{ум},$$

где n - число сборочных операций.

При серийном производстве дополнительно определяется подготовительно-заключительное время $T_{пз}$ на партию сборочных единиц и штучно-калькуляционное время $T_{ум.к}$:

$$T_{ум.к} = T_{ум} + \frac{T_{пз}}{q},$$

где q - количество сборочных единиц в партии.

Общая трудоемкость сборки сборочной единицы дает возможность определить количество необходимых рабочих мест или позиций, коэффициент трудоемкости сборочного процесса и другие технико-экономические показатели спроектированного технологического процесса.

2.10. Разработка технического задания на проектирование сборочного оснащения

В целях достижения комплексной механизации сборочных работ целесообразно для всего технологического процесса сборки составить данные для определения типов оснастки по каждой сборочной операции. После этого необходимо составить сводную ведомость, предусмотрев в ней следующие графы:

- 1) наименование и марка узла;
- 2) количество узлов на машину;
- 3) параметры, характеризующие операцию (прием);
- 4) количество одинаковых операций (приемов);
- 5) как выполняется операция в настоящее время;
- 6) наименование требуемых приспособлений;
- 7) ориентировочная предполагаемая эффективность от применения приспособлений (нормы времени на операцию до применения приспособления и после его внедрения).

В соответствии со сводной ведомостью составляется техническое задание на проектирование каждого приспособления. В задании указывается наименование требуемого приспособления или инструмента, краткая характеристика условий его работы и необходимая производительность. К заданию должен быть приложен чертеж готовой детали и узла со всеми проекциями, разрезами и размерами, включая и габаритные. Чертеж должен давать полное представление о детали (узле), что особенно необходимо при проектировании зажимных приспособлений, определении возможности прохода инструмента, размещения дополнительных опор и пр.

На чертеже должны быть указаны установочные базы с обозначением поверхностей и их положение, точность и чистота обработки, допуски на размеры, допускаемые отклонения от параллельности, перпендикулярности и прочие технические условия выполнения заданных операций.

Пример технического задания приведен ниже.

Техническое задание на изготовление специального приспособления

Наименование заказываемого приспособления: *Гайковерт пневматический угловой.*

Краткая характеристика: *Диаметр завинчиваемой резьбы наибольший – 20 мм, число оборотов шпинделя 300 в минуту, вес до 10 кг. Длина угловой части не более 150 мм. Угловая часть под углом 90°.*

Требуемое количество приспособлений: 50.

Содержание работ, подлежащих выполнению заказываемым приспособлением: *Завертывание и затяжка гаек М20 в рамах плугов.*

Требуемая производительность (количество штук в час): 500.

Производительность при существующем способе выполнения работ: *200 штук в час.*

Данные, характеризующие условия работы: *Предварительно все гайки, рамы наворачиваются на 1-2 нитки от руки. Дальнейшее их завертывание и затяжка должны осуществляться гайковертом.*

Намечается ли повторение заказа на это приспособление и когда: *Намечается в 2021 г.*

Прочие данные: *Во время работы гайковерт должен быть подвешен на балансирной подвеске.*

3. Проектирование сборочной оснастки

Сборочными приспособлениями называются устройства, введенные в технологический процесс для сокращения времени, повышения качества и облегчения сборки машин или их элементов. Сборочные приспособления представляют собой обычно изделия вспомогательного производства, предназначенные для изготовления изделий основного производства [8].

Слесарно-сборочные приспособления подразделяются на следующие виды: установочно-зажимные, запрессовочные и разборочные; захватывающие, зажимные и опорные; пригоночные и доводочные; ударные, разметочные, маркировочные; балансировочные; регулировочные; контрольные.

По характеру применения сборочные приспособления могут быть разделены на универсальные и специальные.

Примером универсального приспособления являются тиски, которые могут широко применяться при сборке, для закрепления деталей и узлов, запрессовки, распрессовки и пр. Применяются на сборке изделий в мелкосерийном и индивидуальном производстве.

Специальные приспособления, применяются для выполнения определенной операции с определенным объектом сборки и потому могут быть использованы лишь на том узле и той операции, для которых они предназначены.

В зависимости от характера действия приспособления для сборки могут быть ручными, механическими и автоматическими.

Проектирование сборочного приспособления выполняется в следующем порядке:

а) по сборочному чертежу узла устанавливаются базовые поверхности, которые могут быть использованы для крепления или фиксации сборочного приспособления или его деталей при выполнении данной операции;

б) разрабатывается принципиальная схема приспособления;

в) проводится (если не проведён) анализ размерных цепей собираемого узла (необходим также при проектировании технологического процесса сборки) и определяется исходная информация для расчёта приспособления на точность и жесткость;

- г) разрабатывается эскизный чертёж приспособления;
- д) определяются усилия, которые будут действовать на приспособление в процессе его эксплуатации (силовой расчёт);
- е) определяются сечения конструктивных элементов приспособления путем расчета на прочность или жесткость и определяются размеры основных деталей, подбираются стандартные комплектующие (прочностной расчёт);
- ж) окончательно оформляется сборочный чертёж приспособления и спецификация;
- з) производится расчет приспособления на экономичность (по согласованию с руководителем);
- и) оформляется комплект конструкторской документации по ЕСКД (по согласованию с руководителем).

Выбор баз. Под базой в данном случае подразумевается поверхность детали или узла, обеспечивающая, при установке их в приспособлении, необходимое, для данной сборочной операции, определенное положение объекта сборки.

Эта база называется установочной. В отличие от нее может быть еще измерительная база, представляющая собой поверхность, линию или точку, находящуюся на поверхности узла, от которой производятся замеры при контроле качества сборки. Выбор измерительной базы необходим при разработке схем и конструкций контрольных приспособлений.

Разработка схемы приспособления. При разработке схемы приспособления необходимо исходить из важнейшей задачи – максимальной замены ручного труда и там, где позволяют условия, возможно шире применять механический, электрический, гидравлический или пневматический приводы.

Схема приспособления обычно оформляется в виде простейшего чертежа, отражающего основную идею приспособления. Схема должна быть представлена так, чтобы эта идея была ясна не только ее автору, но и тому, кто должен проектировать приспособление по данной схеме, а также руководству.

При составлении принципиальной схемы приспособления изображение узлов и деталей производится в виде условных обозначений. Такие условные обозначения для кинематических схем, деталей арматуры, болтовых, заклепочных, сварных со-

единений и других элементов конструкций предусматриваются нормативной документацией.

Анализ размерных цепей. Многие размеры деталей находятся во взаимосвязи друг с другом и образуют так называемую размерную цепь. Звенья этой замкнутой цепи представляют собой составляющие размеры детали или узла. Чем больше звеньев в размерной цепи, тем большая ошибка может быть у замыкающего звена.

В сопряжениях замыкающим звеном часто является зазор, причем, если величина этого зазора не должна выходить за определенные пределы, то допуски на составляющие звенья размерной цепи определяются исходя из допустимых изменений величины этого зазора, и они будут значительно меньше допуска на зазор. В конструкциях с многозвенными размерными цепями точность изготовления деталей в таких случаях резко повышается и значительно возрастает трудоемкость и стоимость обработки. Во избежание этого при большом количестве звеньев в размерной цепи одно из них, называемое компенсатором, делают регулируемым, что позволяет уменьшить точность остальных размеров цепи. Необходимые размеры (диапазон регулировки) компенсатора достигаются путем пригонки или регулировки его в процессе сборки узла.

В результате анализа размерных цепей также получаем информацию о точности выполнения и монтажа фиксаторов приспособления.

Эскизный чертёж приспособления. Основанием для выполнения эскизных чертежей и компоновок приспособления являются разработанные ранее схемы. Этот этап конструирования называется эскизной компоновкой потому, что многие размеры деталей и их форма задаются конструктором по интуиции, без расчета.

Приступая к эскизной компоновке, конструктор должен изучить условия работы будущего приспособления, а также знать конструкции существующих аналогичных приспособлений. Эскизная компоновка осуществляется в натуральную величину. При этом узел или агрегат, для сборки которого проектируется приспособление, должен быть вычерчен в положении, соответствующем данной сборочной операции, с соблюдением

всех действительных геометрических размеров. При этом узел или агрегат вычерчивается штрих-два-пунктир линиями.

Делая эскизную компоновку, конструктор должен всегда стараться достигнуть того, чтобы приспособление, безусловно, обеспечивало требуемое качество сборки, и в то же время было наиболее простым по конструкции. Простое приспособление имеет небольшое количество деталей, изготовленных из обычных материалов. Такое приспособление несложно в наладке и ремонте. Отсутствие выступающих отдельных частей, которые могут быть легко повреждены, малые габариты конструкции делают ее более удобной в пользовании, разгружают рабочее место сборщика и сокращают длину сборочного конвейера.

При выполнении эскизной компоновки приспособления необходимо придерживаться следующих основных положений.

1. Приспособление должно быть прочным, устойчивым, иметь минимальные габариты. Основные органы его кинематически и конструктивно должны быть оформлены так, чтобы обеспечивалось необходимое удобство обслуживания, т.е. простота сборки приспособления, наладки и регулировки его, закрепления и открепления собираемого узла, удобство подхода.

2. Расположение узлов в приспособлении по отношению к корпусу и друг к другу должно обеспечивать минимальные высоты, вылеты, пролеты между опорами, что повышает жесткость конструкции и снижает расход материала.

3. Детали и узлы приспособления, которые могут вызвать повреждения рук рабочего, должны быть надежно изолированы.

4. Основным деталям приспособления в зависимости от условий их работы должны быть приданы такие конструктивные формы и размеры, которые обеспечили бы наибольшую сопротивляемость и минимальную деформацию. При этом желательно, чтобы деформации различных деталей в узлах компенсировали друг друга.

Суммарные напряжения в деталях сборочных приспособлений обычно бывают очень небольшими. Повышению этих напряжений за счет уменьшения размеров сечений деталей, как правило, препятствует резкое уменьшение жесткости конструкции. Поэтому, делая эскизную компоновку приспособления, конструктор

должен обеспечить необходимую жесткость будущей конструкции. Последнее целесообразно достигать путем:

а) устранения консольных нагрузок, а там, где это невозможно, уменьшением вылетов консолей и усилением их подпорками, кронштейнами и т.п.;

б) сокращения количества плоскостей разреза и надлежащего конструктивного оформления стыков;

в) уменьшения деформаций изгиба и (для пластических материалов) замены их сжатием и растяжением;

г) применения, где это возможно, материалов с большим модулем упругости (например, стали вместо чугуна);

д) уменьшения возможных перекосов подвижных частей приспособления за счет удлинения направляющих, крепежных элементов и т.п.

Силовой расчёт приспособления. Кинематические и силовые расчеты при конструировании сборочных приспособлений обычно несложны. Они легко выполняются методами, изложенными в курсах теоретической механики, а также теории механизмов и машин [9].

Прочностной расчёт приспособления. Большую сложность представляют расчеты деталей и узлов на прочность и работоспособность. Основными условиями, определяющими работоспособность деталей сборочных приспособлений, являются:

а) достаточная прочность при действии постоянных нагрузок или однократном их приложении (крепежные болты, корпуса приспособлений, силовые винты, детали опор, зажимы и т.д.);

б) сопротивляемость механическому износу (направляющие, зубья передач, сцепления, подшипники, опорные части и т.д.);

Допускаемые нормальные напряжения при расчетах тяжело нагруженных деталей, например, силовых деталей прессов и пр. на статическую прочность для незакаленных сталей могут быть приняты примерно равными $0,7-0,8$ предела текучести σ_s .

В случае применения термической обработки допускаемые напряжения с учетом концентрации напряжений должны быть снижены. Допускаемые напряжения на изгиб для чугуна могут быть взяты в пределах $0,25-0,3$ от предела прочности σ_b . Если детали приспособ-

собления подвергаются тщательной механической обработке, то допускаемые напряжения могут быть повышены до 20%.

Если детали испытывают при работе переменные нагрузки, значение которых возрастает от нуля до какой-то величины, то напряжения в этих случаях выбираются в зависимости от предела усталости. Последний для сталей с достаточной точностью может быть принят равным $(0,35-0,55) \times \sigma_s$. Допускаемые же напряжения можно принимать равными $(0,4-0,5) \times \sigma_s$. Допускаемые касательные напряжения могут быть приняты для пластических материалов в пределах 0,5-0,6, а для хрупких материалов – в пределах 0,8-0,9 от допускаемых нормальных напряжений.

Если детали, находящиеся под действием сжимающих сил, соприкасаются в одной точке (шар на плоскости) или по линии (цилиндр на плоскости), то в месте контакта этих деталей возникают значительные напряжения.

Эти контактные напряжения могут вызвать при статических нагрузках смятие, а при переменных, длительно действующих нагрузках – выкрашивание материала.

Расчет таких элементов деталей с достаточной точностью производится по формулам Герца-Беляева. При определении статической прочности поверхностных слоев по формулам Герца-Беляева допускаемые удельные давления принимаются в 2-3 раза больше предела текучести для данного материала.

Стойкость поверхностей деталей приспособлений в отношении износа и выкрашивания гарантируется назначением соответствующих проверенных в аналогичных условиях удельных нагрузок.

Жесткость приспособления определяется и контролируется из условия не превышения перемещений элементов конструкции приспособления, с целью сохранить параметры точности данного приспособления при всех возможных эксплуатационных нагрузках [10].

В результате расчёта подбирают размеры конструктивных элементов приспособления и данные расчёта используют при конструировании приспособления.

Сборочный чертёж приспособления. Чертежи сборочных приспособлений в зависимости от назначения представляются в

виде технического проекта, рабочих чертежей деталей и сборочных чертежей составных частей приспособления. Технический проект состоит в основном из общих видов и сборочных чертежей, оформленных таким образом, чтобы по ним можно было разработать рабочие чертежи.

На основании технического проекта изготавливаются рабочие чертежи, содержащие (в совокупности с техническими условиями) все необходимые данные для изготовления приспособления в производстве.

Рабочими чертежами деталей называются чертежи, изображающие отдельные детали приспособления и содержащие необходимые данные для их изготовления и контроля в производстве. Сборочными чертежами называют чертежи, изображающие приспособление, или его составные части в сборе и содержащие (в совокупности с техническими условиями) необходимые данные для их комплектования, сборки, обработки и контроля.

Сборочные чертежи должны давать ясное представление о взаимном расположении и способах соединения деталей между собой и о возможных перемещениях деталей или узлов приспособления при работе.

Сборочные чертежи снабжаются спецификацией. Для составления спецификации все детали приспособления нумеруются либо по степени важности их в сборке, либо в порядке последовательности сборки приспособления.

Номера чертежей деталей, входящих в спецификацию, состоят из сокращенного номера проектируемого приспособления, номера узла, в который деталь входит и порядкового номера чертежа. В тех же случаях, когда конструкция приспособления проста и на узлы не разделяется, номер чертежа состоит из номера приспособления и порядкового номера чертежа. Сборочные чертежи составляются строго по размерам деталей, нанесенным на детальных рабочих чертежах. Благодаря этому составление сборочного чертежа представляет собой как бы дополнительную проверку и увязку размеров деталей приспособления. Кроме этих видов чертежей, конструктору по приспособлениям очень часто приходится пользоваться чертежами нормализованных компонентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамаркин М.А., Давыдова И.В., Тищенко Э.Э. Технология сборочного производства: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. 270 с.
2. Амиров Ю.Д., Алферова Т.К., Волков П.Н. Технологичность конструкции изделия: справочник / под общ. ред. Ю.Д. Амирова. 2-е изд., доп. Москва: Машиностроение, 1990. 768 с.
3. Рудман М.Д., Горячев А.С. Сборка и испытания гидрогазовых систем летательных аппаратов. Куйбышев: КуАИ, 1987. 24 с.
4. Палей М.А. Допуски и посадки: справочник: В 2-х ч. Ч. 2. 7-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Политехника, 1991. 607 с.
5. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. Москва: Издательство стандартов, 1992. 464 с.
6. Справочник металлиста. В 5 томах. Т. 4. / под ред. д-ра техн. наук, проф. М.П. Новикова и канд. техн. наук П.Н. Орлова. Москва: Машиностроение, 1977. 720 с.
7. Мягков В.Д., Палей М.А., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: справочник. В 2 ч. 6-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд., 1982. Ч. 1. 543 с.
8. Новиков М.П. Основы конструирования сборочных приспособлений: учебное пособие. Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1953. 344 с.
9. Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: учебник для машиностроит. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Высш. школа, 1983. 575 с.
10. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1993. 640 с.

Учебное издание

*Ломовской Олег Владиславович,
Шаров Андрей Алексеевич,
Громова Екатерина Георгиевна*

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ
СБОРКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Учебное пособие

Редактор И.П. Ведмидская
Компьютерная верстка И.П. Ведмидской

Подписано в печать 16.12.2020. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 5,25.
Тираж 120 экз. (1 з-д 1-25). Заказ . Арт. – 2(РЗУ)/2020.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.