

621
П79

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ ПРОФЕССОРА А.А. ЖОЛОВОВА

Допущено Учебно-методическим объединением вузов России по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Утверждено Министерством образования Республики Беларусь в качестве учебника для студентов машиностроительных специальностей учреждений, обеспечивающих получение высшего образования



МИНСК ООО «НОВОЕ ЗНАНИЕ» 2005

УДК 621(075.8)
ББК 34.5я73
П79

Серия основана в 2005 году

Авторы:

А.А. Жолобов, В.А. Лукашенко, И.С. Сазонов, А.Н. Рязанцев

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения»
Белорусского национального технического университета
(доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии Республики Беларусь *Ж.А. Мрочек*);

кафедра «Технология машиностроения»
Брестского государственного технического университета
(зав. кафедрой — кандидат технических наук, доцент *А.П. Акулич*)

Проектирование технологических процессов сборки машин :
П79 учебник / А.А. Жолобов, В.А. Лукашенко, И.С. Сазонов, А.Н. Рязанцев ; под общ. ред. проф. А.А. Жолобова. — Мн. : Новое знание, 2005. — 410 с. : ил. — (Техническое образование).
ISBN 985-475-099-X.

Системно изложены основы проектирования технологических процессов сборки машин и их типовых узлов. Подробно описаны средства и методы механизации и автоматизации сборочных работ. Приведены примеры технологических процессов сборки узлов машин. Приложения содержат характеристики и эскизы слесарно-сборочных инструментов и оборудования. Качественные иллюстрации значительно облегчают усвоение материала.

Для студентов машиностроительных специальностей технических высших учебных заведений. Может быть полезен для учащихся средних специальных учебных заведений, а также инженерно-технических и научных работников.

УДК 621.002.658.512.012.011.56(075.8)
ББК 34.5я73

ISBN 985-475-099-X

© Коллектив авторов, 2005
© Оформление. ООО «Новое знание», 2005

Предисловие

Процесс сборки является одним из заключительных этапов изготовления машины, результатом работы конструкторов и технологов.

Качество машины и трудоемкость сборки во многом зависят от того, как понято конструктором и воплощено в конструкции назначение машины, как установлены квалитеты (степени) точности, насколько удачно выбраны методы достижения требуемой точности машин и как они отражены в технологии изготовления.

Только общими усилиями конструктора и технолога возможно достижение требуемого качества продукции. Технолог, разрабатывающий процесс сборки машины, должен отчетливо представлять, для каких задач создается машина, понимать связи, посредством которых она должна выполнять предписанный процесс, и соответствующим построением технологического процесса изготовления обеспечить с необходимой точностью эти связи, установить требования к технологии изготовления деталей и контролю их точности.

Главная цель технологии машиностроения — изготовление машин, которые будут как можно дольше выполнять свои функции, отличаться надежностью и экономичностью как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации.

Условия достижения высоких эксплуатационных качеств машины не ограничиваются разработкой удачной конструкции и применением высококачественных материалов для изготовления деталей. Не гарантирует этих качеств и высокоточное изготовление деталей с обеспечением оптимального состояния поверхностных слоев их сопряжений. Процесс изготовления машины может гарантировать достижение всех требуемых эксплуатационных показателей, а также надежности и долговечности в эксплуатации лишь при условии высококачественного проведения всех этапов.

В процессе сборки изделий возможны погрешности взаимного расположения деталей, существенно снижающие точность и служебные качества собираемого объекта. Причинами их возникновения могут быть ошибки, допускаемые рабочими при ориентации и фиксации установленного положения собираемых деталей; погрешности установки калибров и измерительных средств, используемых при сборке; погрешности регулирования, пригонки и контроля точности положения детали в узле, достигнутого

при сборке, а также собственные погрешности измерительных средств; относительные сдвиги деталей в промежутке времени между их установкой в требуемое положение и фиксацией в этом положении; образование задиров на сопрягаемых поверхностях деталей; упругие деформации сопрягаемых деталей при их установке и фиксации; пластические деформации поверхностей сопряжения, нарушающие их точность и плотность соединений.

Выполнение сборочных работ требует больших временных затрат. В зависимости от типа производства временные затраты сборочных работ составляют для массового и крупносерийного производств 20–30 %, а для единичного и мелкосерийного — 35–45 % от общего времени выпуска изделия.

Следует отметить, что от 50 до 85 % слесарно-сборочных операций выполняется вручную. Это требует значительных физических усилий и экономических вложений, а также высокой квалификации рабочих.

Таким образом, проблема повышения качества и производительности сборки является одной из первоочередных и важнейших задач технического прогресса современного машиностроения. Создание современных машин, отличающихся высокой точностью, надежностью и долговечностью, основано на новейших достижениях науки и техники. В конструировании и изготовлении такой техники должны принимать участие высококвалифицированные инженерно-технические работники, обладающие глубокими теоретическими знаниями и новейшими приемами решения практических задач. Однако до настоящего времени отечественных учебников, посвященных этой области машиностроения, не было.

В данном учебнике изложен материал, предусмотренный программами машиностроительных специальностей вузов в области технологии сборки машин. Материал полностью соответствует программе курса «Проектирование технологических процессов сборки машин» специальности «Технология машиностроения» специализации «Технология механосборочных производств».

Авторы выражают благодарность рецензентам — лауреату Государственной премии и премии Совета Министров Республики Беларусь, доктору технических наук, профессору Жоржу Адамовичу Мрочеку и кандидату технических наук, доценту Антону Павловичу Акуличу за замечания и ценные советы.

1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН

1.1. Служебное назначение и конструкция машины

Под служебным назначением машины понимается максимально уточненная и четко сформулированная задача, для решения которой предназначена эта машина.

Структура составляющих служебного назначения объекта производства приведена на рис. 1.1.

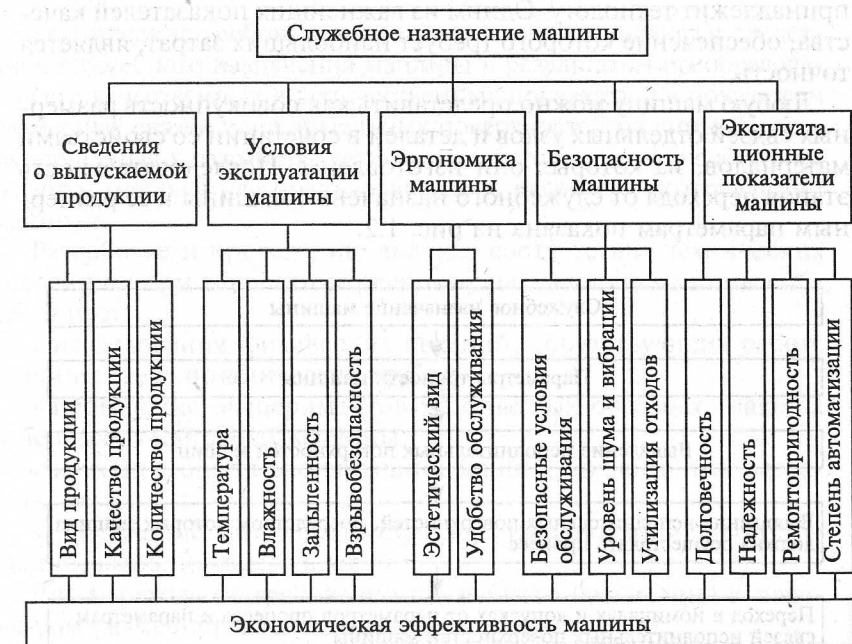


Рис. 1.1. Структура составляющих служебного назначения машины

Для конструктора служебное назначение машины является исходным документом, на основании которого разрабатывается ее проект. Наряду с конструктором активное участие в создании машины принимает технолог, который отвечает за качественное

изготовление и сдачу ее заказчику. Поэтому технолог должен досконально изучить служебное назначение объекта изготовления и технические требования к нему. При этом необходимо проверить правильность перехода от качественных и количественных показателей машины в целом к показателям ее отдельных узлов и деталей. Такой переход является достаточно трудоемкой задачей и иногда требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, изучения опыта эксплуатации аналогов, а также изготовления моделей или опытных образцов.

Большинство показателей качества машины обеспечивается в процессе ее изготовления, т.е. на этапе, когда решающая роль принадлежит технологу. Одним из важнейших показателей качества, обеспечение которого требует наибольших затрат, является точность.

Любую машину можно представить как совокупность размерных связей отдельных узлов и деталей в сочетании со свойствами материалов, из которых они изготовлены. Последовательность этапов перехода от служебного назначения машины к ее размерным параметрам показана на рис. 1.2.

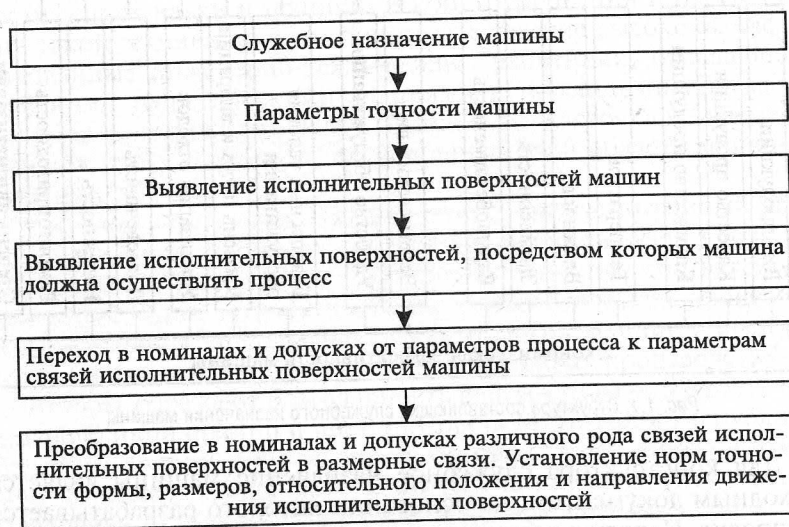


Рис. 1.2. Последовательность этапов переходов от служебного назначения машины к ее размерным параметрам

В описание конструкции машины входит:

- ♦ перечень узлов и деталей, из которых состоит машина;
- ♦ назначение и роль всех узлов в машине;
- ♦ описание связей узлов и деталей в машине;
- ♦ анализ технических требований к машине в целом.

При необходимости анализ конструкции машины сопровождается расчетом соответствующих размерных цепей.

В заключение приводится техническая характеристика машины или узла.

1.2. Изучение служебного назначения машины

Технические требования и нормы точности являются следствием служебного назначения машины и результатом преобразования его качественных и количественных показателей в показатели размерных связей исполнительных поверхностей машины. Поэтому, приступая к разработке технологического процесса, необходимо изучить требования, предъявляемые к качеству изготавливаемой машины.

Разработке и проведению анализа соответствия технических условий и норм точности служебному назначению машины способствуют:

- ♦ исследования физических явлений, сопутствующих работе машины (аэродинамическая труба);
- ♦ проведение экспериментов на опытных образцах, макетах и первых экземплярах машины;
- ♦ изучение опыта эксплуатации машин, аналогичных разрабатываемой;
- ♦ заключение логического характера на основании опыта технолога, выполняющего анализ.

Для перехода от требований служебного назначения к параметрам размерной точности машины следует:

- 1) выявить исполнительные поверхности машины;
- 2) установить виды связей исполнительных поверхностей, посредством которых машина будет осуществлять технологический процесс и производить продукцию;
- 3) осуществить переход в номиналах и допусках от параметров продукции и процесса к параметрам связей исполнительных поверхностей машины;

4) преобразовать в номиналах и допусках различного рода связи исполнительных поверхностей в размерные связи и установить нормы точности формы, размеров, относительного положения и направления движения исполнительных поверхностей машины.

Таким образом, проектирование машины начинается с выбора связей, при помощи которых она сможет выполнить свое служебное назначение. Эти связи устанавливаются между исполнительными поверхностями. В задачу проектировщиков входит выбор формы исполнительных поверхностей. Другими словами, конструктор с помощью технолога должен выбрать материал, придать ему форму и связать размерами.

1.3. Примеры изучения служебного назначения машин

1.3.1. Служебное назначение агрегатного станка

Для сверления, зенкерования и нарезания резьбы М8 в восьми отверстиях шестерни предназначен 24-шпиндельный четырехпозиционный агрегатный станок мод. А-ММИ (рис. 1,3 а).

Агрегатный станок должен обеспечить точность: диаметра отверстий ($\varnothing 7^{+0,16}$ мм), резьбы (по 8Н степени точности), радиального положения (в пределах $30'$), а также перпендикулярность осей отверстий относительно поверхности *К* (в пределах 0,15/100 мм) при обработке деталей из поковки с предварительно обработанными торцами *К*, *Г* и центральным отверстием $\varnothing 81,5^{+0,02}$ мм при схеме базирования детали, показанной на рис. 1,3, б. Материал детали — сталь 12ХН3А, твердость НВ 163–197, масса заготовки 1,95 кг. Температура заготовок 20^{+20}_{-30} °С, температура воздуха в цехе 20 ± 4 °С. Станок должен обрабатывать 150 деталей в час, требуемая долговечность станка — 8 лет.

Для соответствия агрегатного станка служебному назначению необходимо, чтобы:

- 1) сверла, направленные кондукторными втулками, обеспечивали диаметры отверстий с точностью 0,16 мм;
- 2) кондукторные втулки задавали правильное направление сверлам и обеспечивали радиальное положение отверстий в пределах 0,15 мм, угловое в пределах до $30'$, перпендикулярность отверстий установочной базе деталей 0,15/100 мм;
- 3) сверла при входе во втулки не деформировались.

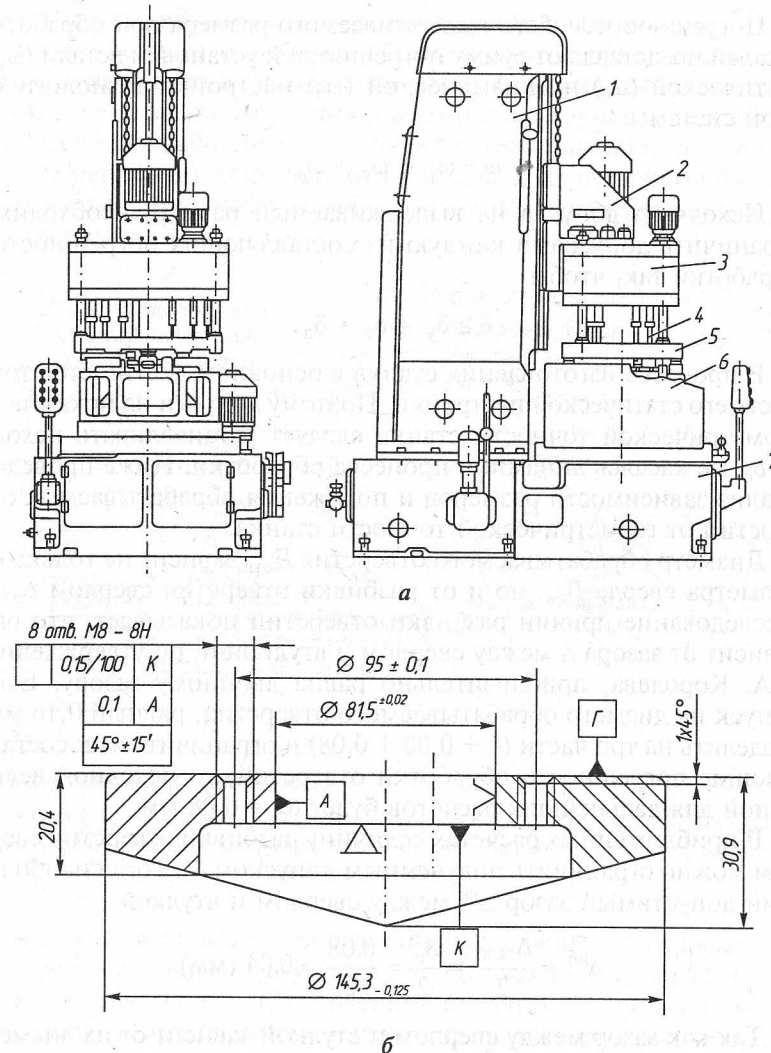


Рис. 1.3. 24-шпиндельный вертикальный сверлильно-резьбонарезной агрегатный станок: а — общий вид (1 — вертикальная станина; 2 — силовая головка; 3 — шпиндельная коробка; 4 — инструмент; 5 — кондукторная плита; 6 — приспособление; 7 — основание); б — схема базирования детали

Погрешности любого выдерживаемого размера при обработке деталей представляют сумму погрешностей установки детали (ω_y), статической (ω_c) и динамической (ω_d) настройки технологической системы:

$$\omega = \omega_y + \omega_c + \omega_d.$$

Исходя из допуска на выдерживаемый размер, необходимо ограничить допусками каждую из составляющих погрешностей обработки так, чтобы

$$\delta \geq \delta_y + \delta_c + \delta_d.$$

В процессе изготовления станка в основном достигается точность его статической настройки. Поэтому допуски на показатели геометрической точности станка следует устанавливать исходя из δ_c , не касаясь динамики процесса обработки. Ниже проведен анализ зависимости размеров и положения обрабатываемых отверстий от геометрической точности станка.

Диаметр обрабатываемого отверстия $D_{отв}$ зависит не только от диаметра сверла $D_{св}$, но и от разбивки отверстия сверлом $\Delta_{разб}$. Исследование причин разбивки отверстий показывает, что она зависит от зазора Δ между сверлом и втулкой и, по утверждению П.А. Королева, приблизительно равна двойному зазору. Если допуск на диаметр обрабатываемого отверстия, равный 0,16 мм, разделить на три части ($0 + 0,08 + 0,08$) и ограничить ими составляющие погрешности обработки отверстий, то исходной величиной для дальнейших расчетов будет $\delta_c = 0,08$ мм.

В приближенных расчетах величину разбивки отверстия сверлом можно ограничить полученным допуском δ_c . Тогда наибольший допустимый зазор $\Delta^{нб}$ между сверлом и втулкой:

$$\Delta^{нб} = \frac{\Delta_{разб}}{2} = \frac{\delta_c}{2} = \frac{0,08}{2} = 0,04 \text{ (мм)}.$$

Так как зазор между сверлом и втулкой зависит от их диаметров, то можно установить наибольшие допустимые отклонения диаметров сверла $\Delta_{св}$, отверстия во втулке $\Delta_{вт}$, а также нормы износа сверла $\Delta_{изн.св}$ и втулки $\Delta_{изн.вт}$, применив квадратичное суммирование отклонений:

$$\Delta^{нб} \geq \sqrt{\Delta_{св}^2 + \Delta_{вт}^2 + \Delta_{изн.св}^2 + \Delta_{изн.вт}^2}.$$

Точность радиального и углового положения каждого из отверстий в процессе обработки обеспечивают через размерные цепи технологической системы. На рис. 1.4 показаны размерные цепи A , β и γ , с помощью которых достигается точность расстояния одного из обрабатываемых отверстий от базировочного отверстия, его перпендикулярность относительно установочной базы детали и относительное угловое положение пары обрабатываемых отверстий.

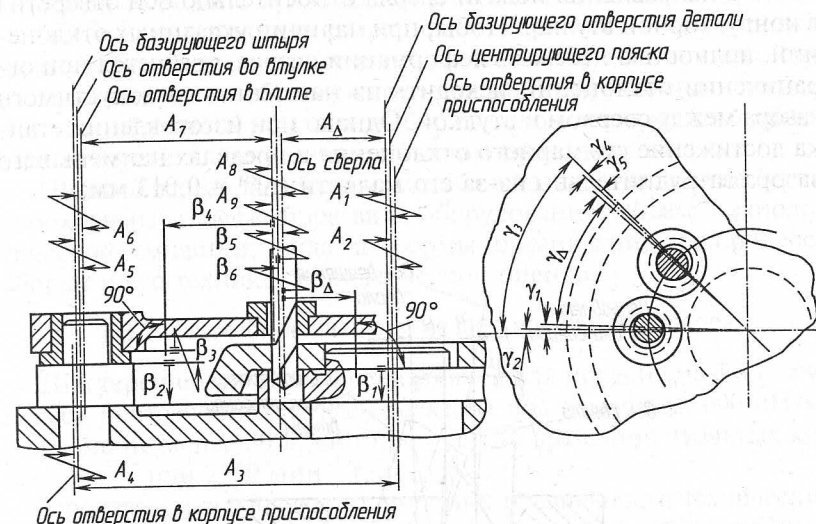


Рис. 1.4. Схема размерных цепей системы станок — приспособление — инструмент — заготовка агрегатного станка, с помощью которых достигается точность положения одного из обрабатываемых отверстий

Исходными звеньями этих размерных цепей являются выдерживаемое расстояние A_d и углы β_d , γ_d . Допуски следует рассчитывать, исходя из соответствующих величин δ_c , полученных в результате распределения допусков на параметры положения отверстий в детали между тремя составляющими погрешности обработки. Расчет должен определить:

- ♦ требуемую точность кондукторной плиты;
- ♦ точность базирования кондукторной плиты по приспособлению;
- ♦ точность базировочных элементов приспособления.

Чтобы сверла не деформировались при вхождении во втулки и для уменьшения трения между ними, необходимо обеспечить соосность сверл и втулок. В общем случае соосность сверла и втулки может быть нарушена по ряду причин (рис. 1.5), к числу которых следует отнести смещение B и поворот ρ оси вращения сверла относительно оси отверстия в кондукторной втулке, радиальное биение сверла, вызываемое смещением B и поворотом η сверла относительно оси его вращения, и непараллельность μ направления подачи сверла относительно оси отверстия в кондукторной втулке. Чтобы, при наличии указанных отклонений, полностью избежать деформации сверла, требуется при ограничении отклонений исходить из наименьшего допустимого зазора между сверлом и втулкой. Однако при изготовлении станка достижение суммарного отклонения в пределах наименьшего зазора затруднительно из-за его малости ($\Delta^{\text{нм}} = 0,013 \text{ мм}$).

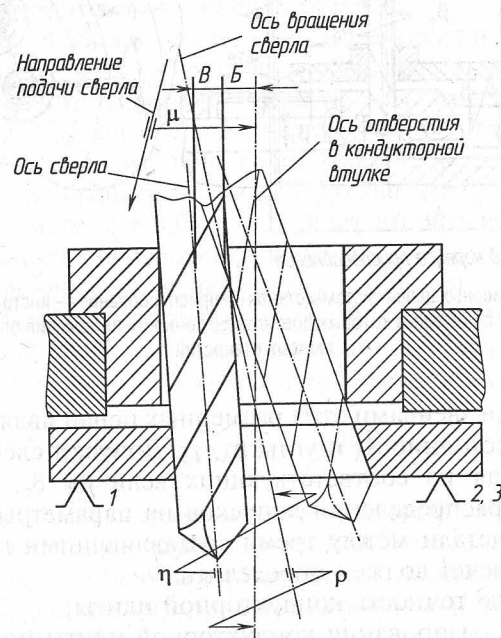


Рис. 1.5. Схема отклонений положения и направления подачи сверла относительно отверстия в кондукторной втулке

Поэтому сознательно приходится прибегать к деформации сверла при вхождении во втулку, что вызывает их повышенный износ, и ограничивать отклонения, приводящие к несоосности сверла и втулки, экономически приемлемыми допусками:

$$\delta_B = 0,02 \text{ мм}; \quad \delta_\rho = 0,02/150 \text{ мм}; \quad \delta_B = 0,04 \text{ мм}; \\ \delta_\eta = 0,04/150 \text{ мм}; \quad \delta_\mu = 0,03/150 \text{ мм}.$$

При разработке норм точности возникают задачи, которые необходимо решить в процессе изготовления машины.

Особое внимание при разработке техпроцесса сборки машин надо уделять намечаемому выпуску машин в единицу времени (объему выпуска и общему числу машин, выпускаемых по неизменным чертежам), так как выбор методов достижения требуемой точности тесно связан с объемом производства.

Помимо этого, данные о масштабе выпуска и величине серии необходимы и для выбора вида оборудования, объема технологической оснастки, вида и формы организации техпроцесса сборки и его технико-экономической оценки.

1.3.2. Служебное назначение шестеренчатого насоса

Шестеренчатый насос предназначен для подачи смазки к трущимся поверхностям деталей трактора под давлением 600 кН/м^2 в объеме не менее 30 л/мин при частоте вращения зубчатых колес 39 с^{-1} , или 2350 мин^{-1} (рис. 1.6).

Произведем анализ достаточности и правильности технических условий по производительности насоса, требуемой служебным назначением, задаваемых чертежом. Фактическая производительность насоса:

$$Q_\phi = nQ_T - Q_y - Q_{\text{вс}},$$

где Q_T — производительность (теоретическая) насоса за 1 оборот зубчатого колеса (в л/об); Q_y — суммарная утечка масла (в л/мин); $Q_{\text{вс}}$ — потери при всасывании (в л/мин); n — частота вращения зубчатых колес (в мин^{-1}).

При нагнетании масла возможны утечки трех видов:

$$Q_y = Q_{\text{ур}} + Q_{\text{уз}} + Q_{\text{ут}},$$

где $Q_{\text{ур}}$ — утечка из-за радиальных зазоров между зубьями и корпусом; $Q_{\text{уз}}$ — утечка из-за неплотности контакта зубьев; $Q_{\text{ут}}$ — утечка из-за торцовых зазоров между зубчатыми колесами.

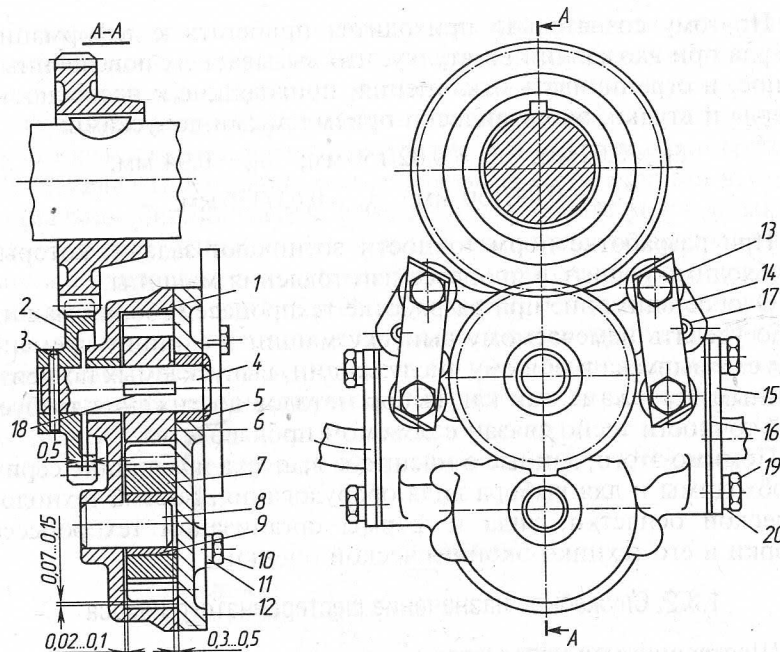


Рис. 1.6. Общий вид шестеренчатого насоса трактора: 1 — корпус; 2 — ведомое зубчатое колесо; 3, 17 — штифт; 4 — валик; 5, 9 — втулка; 6, 7 — зубчатое колесо; 8 — ось; 10, 19 — винт; 11, 20 — шайба; 12 — крышка; 13 — болт; 14 — стопорная пластина; 15 — труба приемника; 16 — прокладка; 18 — шпонка

В соответствии с приведенными зависимостями расчет насоса и разработка норм точности должны быть проведены по схеме, показанной на рис. 1.7.

Потери при всасывании, одной из главных причин которых является разрежение во всасывающей камере насоса и неполное заполнение межзубовых впадин, будут равны:

$$Q_{\text{вс}} = 4,83 \text{ (л/мин)}.$$

Учитывая, что теоретическая (геометрическая) производительность насоса при размерах колес и корпуса, указанных на чертежах, равна

$$60nQ_T = 0,01785 \cdot 60 \cdot 39 = 41,8 \text{ (л/мин)},$$

можно ожидать, что производительность насоса будет

$$Q_{\text{ожд}} = 41,80 - 6,73 - 4,83 = 30,24 \text{ (л/мин)}.$$

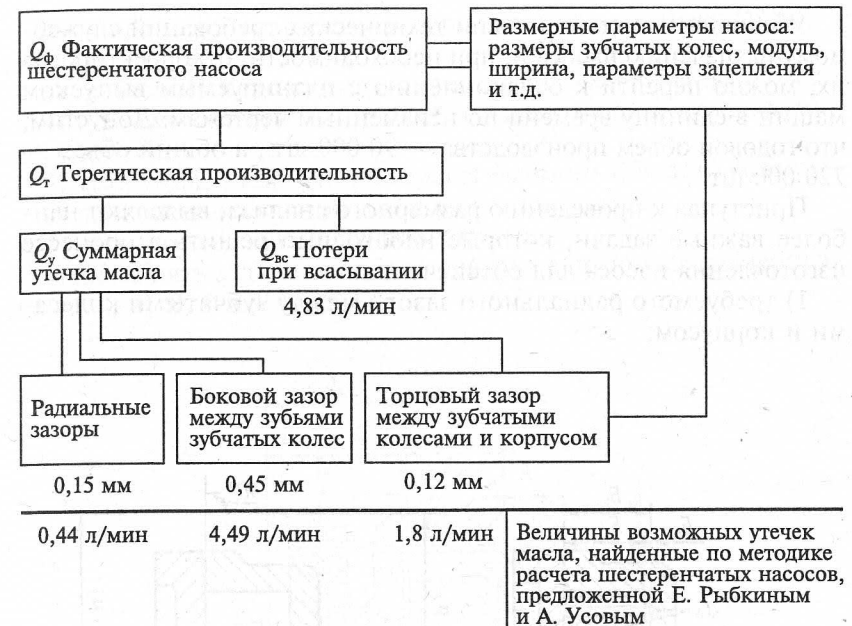


Рис. 1.7. Схема расчета производительности насоса

Следовательно, наибольшие допустимые зазоры установлены правильно.

Технические требования к насосу:

♦ в окончательно собранном насосе приводной вал должен свободно проворачиваться рукой; крутящий момент, требующийся для поворота приводного вала, не должен превышать 10–15 кН·м;

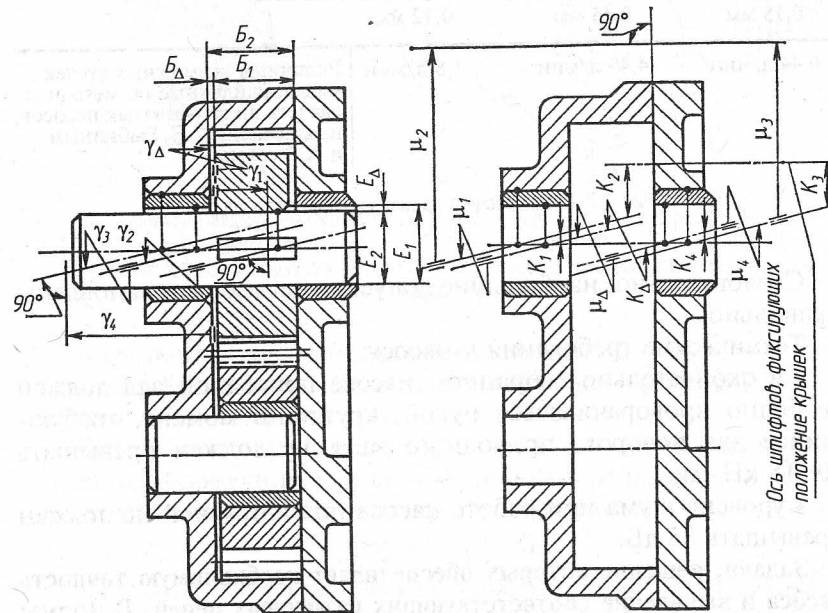
♦ уровень шума при работе насоса под нагрузкой не должен превышать 85 дБ.

Задачи, решение которых обеспечивает необходимую точность насоса и выявление соответствующих размерных цепей. В нормы точности насоса, задаваемые на чертеже, следует внести уточнение: допуск на зазор между корпусом и торцом ведомого зубчатого колеса привода следует установить в пределах 0,10–0,55 мм, поскольку для свободного вращения зубчатого колеса вполне достаточен зазор в 0,1 мм.

Убедившись в соответствии технических требований служебному назначению насоса и, при необходимости, откорректировав их, можно перейти к ознакомлению с планируемым выпуском машин в единицу времени по неизменным чертежам. Допустим, что годовой объем производства — 90 000 шт., а общий объем — 720 000 шт.

Приступая к проведению размерного анализа, выделяют наиболее важные задачи, которые необходимо решить в процессе изготовления насоса для обеспечения:

1) требуемого радиального зазора между зубчатыми колесами и корпусом;

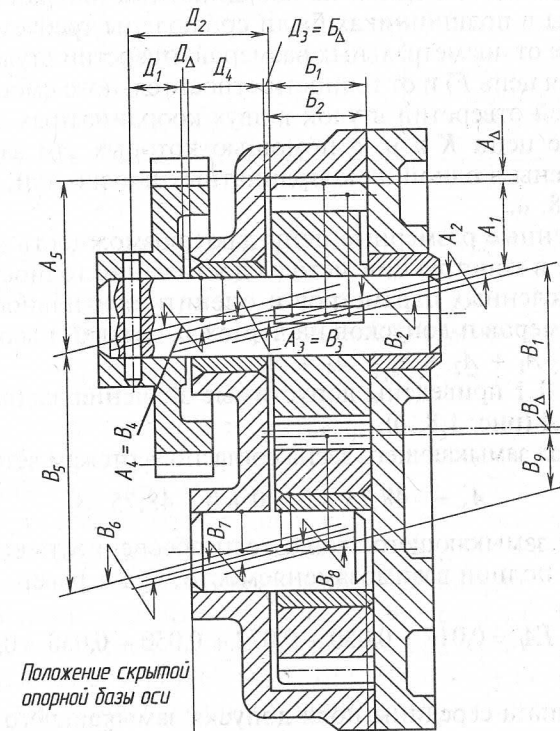


a

Рис. 1.8. Размерные цепи шестеренчатого насоса.

- 2) зазора между корпусом и торцами зубчатых колес (торцового зазора);
- 3) требуемого бокового зазора между зубьями зубчатых колес;
- 4) требуемого зазора между торцом оси ведомого колеса и крышкой корпуса;
- 5) зазора между корпусом и торцом ведомого зубчатого колеса;
- 6) плотности контакта зубьев зубчатого колеса;
- 7) легкости вращения зубчатых колес.

Первые пять задач могут быть решены с помощью размерных цепей А, В, В, Г и Д (рис. 1.8).

Положение скрытой
опорной базы оси

a — цепи Б, Е, К, γ, μ; б — цепи А, В, Г, Д

Плотность контакта зубьев зубчатых колес зависит от относительного поворота образующих эвольвентных поверхностей зубьев в двух координатных плоскостях.

Размерные цепи, обеспечивающие решение этих задач, приведены ниже.

Для легкого вращения зубчатых колес необходимо:

♦ чтобы между торцами колес, корпусом и крышкой был выдержан зазор не меньше толщины масляной пленки; для этого должны быть обеспечены с соответствующей точностью расстояние между торцами колес и дном корпуса и поворот торцов колес относительно дна корпуса; размерные цепи B и γ дают решение этих задач в одной из координатных плоскостей;

♦ чтобы в подшипниках были соблюдены требуемые зазоры, зависящие от диаметральных размеров отверстий втулок и валика (размерная цепь E) и от точности относительного смещения и поворота осей отверстий втулок в двух координатных плоскостях; размерные цепи K и μ , с помощью которых эти задачи могут быть решены в одной из координатных плоскостей, приведены на рис. 1.8, a .

Выявленные размерные цепи дают возможность вскрыть заложенные в конструкции методы достижения точности каждого из перечисленных параметров и оценить правильность простановки размеров и допусков на чертежах деталей насоса. Например, $A_\Delta = -A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$.

В табл. 1.1 приведены допустимые значения звеньев размерной цепи A (рис. 1.8, b).

Номинал замыкающего звена согласно чертежам деталей равен

$$A_\Delta = -48,75 + 0 + 0 + 0 + 48,75 = 0.$$

Допуск замыкающего звена, если обеспечивать его точность по методу полной взаимозаменяемости, будет равен

$$TA_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i = 0,017 + 0,030 + 0,072 + 0,050 + 0,050 = 0,219 \text{ (мм)}.$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена

$$EсA_\Delta = -EсA_1 + EсA_2 + EсA_3 + EсA_4 + EсA_5$$

или

$$EсA_\Delta = 0,008 + 0 + 0 + 0 + 0,1 = 0,108 \text{ (мм)}.$$

Таблица 1.1

Допустимые значения звеньев размерной цепи A

Звено	Номинал A_i , мм	Допуск TA_i , мм	Координаты середины поля допуска $EсA_i$, мм	Сущность допустимого отклонения
A_1	48,75	0,017	-0,008	—
A_2	0	0,03	0	Предельное допустимое значение биения поверхности выступов зубьев относительно отверстия
A_3	0	0,072	0	Верхнее предельное значение зазора в подшипнике
A_4	0	0,05	0	Предельное допустимое значение биения наружной поверхности втулки относительно ее отверстия
A_5	48,75	0,05	0,1	—

Верхнее (ES) и нижнее (EI) предельные отклонения замыкающего звена:

$$ESA_\Delta = 0,108 + 0,219/2 = 0,218 \text{ (мм)};$$

$$EIA_\Delta = 0,108 - 0,219/2 = -0,002 \text{ (мм)}.$$

Техническими же условиями зазор задан в пределах 0,07–0,15 мм.

Таким образом, при допусках на размеры деталей, заданных чертежами, рассчитывать на достижение требуемого радиального зазора методом полной взаимозаменяемости не следует.

Проверим возможность достижения радиального зазора методом неполной взаимозаменяемости при риске 0,27 % ($t = 3$) и условии, что рассеяние погрешностей составляющих звеньев подчиняется закону Гаусса ($\chi^2_{A_i} = 1/9$). При этом целесообразно несколько уменьшить зазор в подшипниках скольжения, который обычно для насосов среднего давления назначается в пределах 0,002–0,003 от диаметра вала. Это значит, что для вала диаметром 15 мм в подшипниках можно считать допустимым зазор от 0,030 до 0,045 мм. Изменив в соответствии с этим значение TA_3 , при достижении точности радиального зазора по методу

неполной взаимозаменяемости можно ожидать погрешности A_Δ в пределах:

$$TA_\Delta = t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_{A_i}^2 TA_i^2} =$$

$$= 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} (0,017^2 + 0,03^2 + 0,045^2 + 0,05^2 + 0,05^2)} = 0,09 \text{ (мм)},$$

причем

$$ESA_\Delta = 0,108 + 0,09/2 = 0,153 \text{ (мм)},$$

$$EIA_\Delta = 0,108 - 0,09/2 = 0,063 \text{ (мм)}.$$

Итак, при условии, что допуск на зазор в подшипниках изменен, необходимый радиальный зазор в насосе можно рассчитать по методу неполной взаимозаменяемости при риске 0,27 %. При заданном масштабе выпуска такой риск вполне приемлем.

Таким образом, должны быть найдены методы решения каждой из сформулированных выше задач и, если это требуется, внесены соответствующие коррективы в чертежи деталей.

Кроме нахождения метода решения каждой из возникших задач, размерный анализ помогает разобраться в последовательности сборки узла.

Например, последовательность сборки насоса рассматриваемой конструкции зависит от того, каким методом удастся обеспечить соосность отверстий подшипников скольжения валика.

Рассмотрим этот метод подробнее.

Минимальный зазор в подшипниках, как было установлено выше, должен быть 0,03 мм, наименьшая допустимая толщина масляного слоя в любой точке касания валика должна быть не меньше 0,01 мм, следовательно, для компенсации несоосности отверстий втулок остается 0,02 мм (0,03 – 0,01).

Несоосность отверстий втулок складывается из относительного смещения и поворота их осей в двух координатных плоскостях (см. рис. 1.8). Даже если использовать полностью зазор, имеющийся в подшипниках, для компенсаций погрешностей двух видов только в одной из координатных плоскостей, то и тогда допуски замыкающих звеньев размерных цепей K и μ будут:

$$\delta K_\Delta = 0,01 \text{ (мм)} \quad \text{и} \quad \delta \mu_\Delta = 0,01/45 \text{ (мм)}.$$

Согласно допускам на размеры деталей, заданным в чертежах и приведенным в табл. 1.2, погрешности замыкающих звеньев K_Δ и μ_Δ могут находиться в более широких пределах:

$$K_\Delta = -K_1 - K_2 + K_3 - K_4, \quad \mu_\Delta = -\mu_1 - \mu_2 + \mu_3 + \mu_4.$$

$$TK_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} TK_i = 0,05 + 0,07 + 0,15 + 0,05 = 0,32 \text{ (мм)},$$

$$T\mu_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} T\mu_i = 0,02 + 0,10 + 0,07 + 0,02 = 0,21 \text{ (мм)}.$$

Таблица 1.2

Допуски звеньев K и μ , указанные на чертежах деталей

Звено	K_1	K_2	K_3	K_4
Допуск, мм	0,05	0,07	0,15	0,05
Звено	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Допуск, мм	0,02–45	0,10–45	0,07–45	0,02–45

Очевидно, что при таких пределах, в которых могут находиться ожидаемые погрешности K_Δ и μ_Δ , нельзя использовать ни один из методов взаимозаменяемости для обеспечения требуемого зазора в подшипниках. Нельзя пойти и на ужесточение допусков, так как оно должно быть значительным, а это очень усложнит изготовление деталей.

Обеспечить соосность отверстий втулок методом регулирования, перемещая крышку относительно корпуса и штифтуя ее по достижении требуемого положения, также нельзя. Такой прием не компенсирует погрешности относительного поворота осей отверстий, которые, как показал расчет, могут быть значительными. Следовательно, возникшую задачу, даже при заданном масштабе выпуска, приходится решать методом пригонки. Наиболее целесообразно растачивание отверстий в запрессованных втулках «в линию», позволяющее достичь необходимой точности размеров, формы и шероховатости, повысить точность относительного положения отверстий. Растачивание производится после сборки крышки с корпусом с запрессованными втулками и фиксации взаимного положения корпусных деталей штифтами. После растачивания этот комплект надо разобрать, чтобы начать окончательную сборку насоса.

Таким образом, принятая методология «от служебного назначения машины к ее деталям» на приведенном примере подтвердила свою состоятельность.

1.4. Классификация процессов сборки

Сборка — это образование разъемных или неразъемных соединений составных частей заготовки или изделия. Сборка может осуществляться простым соединением деталей, их запрессовкой, свинчиванием, сваркой, пайкой, клеей и т.д. По объему разделяют общую сборку, результатом которой является изделие в целом, и узловую сборку, результатом которой является составная часть изделия, т.е. сборочная единица или узел.

В условиях единичного и мелкосерийного типов производств основная часть сборочных работ выполняется на общей сборке и лишь малая их доля осуществляется над отдельными сборочными единицами. С увеличением серийности производства сборочные работы все больше разделяются на отдельные сборочные единицы, а в условиях массового и крупносерийного типов производств объем узловой сборки становится равным или даже превосходит объем общей сборки. Это в значительной мере способствует механизации и автоматизации сборочных работ и повышению их производительности. По стадиям процесса сборка подразделяется на предварительную, промежуточную, сборку под сварку, окончательную и др.

Предварительная сборка, т.е. сборка заготовок, составных частей или изделий, которые в последующем подлежат разборке. Например, предварительная сборка узла с целью определения размера неподвижного компенсатора.

Промежуточная сборка, т.е. сборка заготовок, выполняемая для дальнейшей их совместной обработки. Например, предварительная сборка корпуса редуктора с крышкой для последующей совместной обработки отверстий под подшипники, предварительная сборка шатуна с крышкой шатуна для обработки отверстия под шатунные шейки коленчатого вала и т.п.

Сборка под сварку, т.е. сборка заготовок для их последующей сварки. Процесс соединения деталей при помощи сварки в большинстве случаев является сборочным и может быть введен непосредственно в поток узловой или общей сборки. Большой объем

сборочных работ с использованием сварки выполняется при изготовлении, например, кузовов и кабин различных транспортных машин. В процессе сварки основание, кабина и другие элементы кузова удерживаются в специальных приспособлениях фиксаторами или конвекторами, что обеспечивает правильное положение элементов относительно друг друга.

Окончательная сборка, т.е. сборка изделия или его составной части, после которой не предусмотрена его последующая разборка при изготовлении.

Следует отметить, что после окончательной сборки некоторых изделий может следовать их демонтаж, который включает работы по частичной разборке собранного изделия для его подготовки к транспортированию потребителю.

1.5. Анализ технологичности конструкции машины

1.5.1. Требования к оформлению конструкции машины

Анализ технологичности изделия производится как на стадии его проектирования, так и при его изготовлении. Под технологичностью конструкции изделия понимается совокупность свойств конструкции, обуславливающих возможность оптимизации затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения.

Правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц предусматривают следующие требования к оформлению конструкции:

- 1) возможность сборки машин из обособленных сборочных единиц без повторной разборки;
- 2) максимальное применение стандартных и унифицированных сборочных единиц и деталей;
- 3) сокращение объема пригоночных работ;
- 4) сокращение длительности цикла узловой и общей сборки и снижение их себестоимости.

При разработке технологических процессов сборки для автоматических сборочных систем (гибких производственных систем, автоматических сборочных линий, роботизированных технологических комплексов, станков-автоматов) дополнительно про-

водится анализ технологичности собираемого изделия. В общем случае сборочная единица и детали должны соответствовать следующим требованиям:

1) деталям необходимо придавать простые и симметричные формы, что позволяет упростить ориентацию деталей;

2) если деталь имеет слабовыраженные признаки асимметрии, то их в ряде случаев следует усиливать, предусматривая уступы, срезы или дополнительные отверстия;

3) конструкция деталей должна быть такой, чтобы при выдаче их из бункерно-ориентирующих устройств они не сцеплялись в двух- или многозвеньевые цепочки, образование которых приводит к прекращению выдачи деталей из бункеров (спиральные пружины, разрезные кольца, пружинные шайбы с большим зазором в замке и др.);

4) детали, сопрягающиеся с зазором или натягом, следует выполнять с заходными фасками или направляющими заточками для лучшего направления сопрягаемых деталей на сборочной позиции;

5) базовые детали изделий должны просто и надежно устанавливаться и закрепляться в сборочном приспособлении манипулятора (робота);

6) детали изделия должны иметь точно выполненные базы для надежного захвата их рабочим органом манипулятора (робота);

7) конструкция изделия в целом должна быть такой, чтобы при сборке детали подавались по простым прямолинейным траекториям;

8) конструкция изделия должна быть удобной для подвода и отвода сборочных инструментов, а также для выполнения сборки с одной стороны без применения поворотного приспособления;

9) в конструкции изделия следует избегать таких соединений, которые трудно осуществить автоматически (заклепочных, шпоночных, шплинтуемых, штифтуемых, замыкаемых разжимными и пружинными кольцами, использующих пружины кручения и растяжения, закрепляемых проволокой), относительную неподвижность деталей целесообразно обеспечивать методами пластической деформации, точечной и холодной сваркой, склеиванием, пайкой;

10) наиболее технологичными для автоматической сборки являются изделия (сборочные единицы), содержащие не менее 4

и не более 15 деталей (однотипное число деталей в сборочной единице — 4–7).

В случае, когда исходная конструкция изделия недостаточно технологична для условий автоматической сборки, существуют различные способы ее совершенствования. Так, для облегчения соединения цилиндрических деталей на их сопрягаемых поверхностях предусматривают возможно большие по размерам заходные фаски с малыми углами. Фаски необходимы и на базовой детали, так как ее используют для установки многих деталей изделия. Оптимальный угол заходной фаски при соединении металлических деталей составляет 10–15°. На подшипниках, тонкостенных втулках, кольцах или на сопрягаемых с ними деталях заходные фаски выполняют ступенчатыми вначале с углом 30–45° для облегчения установки детали в отверстие корпуса или на вал, а затем с углом 10–15° для уменьшения силы запрессовки и деформаций кольца или втулки.

1.5.2. Расчет показателей технологичности

При проектировании технологического процесса сборки вместе с качественной производится количественная оценка технологичности, которая включает расчет и сопоставление численных значений показателей технологичности с их базовыми значениями.

Базовые показатели определяют для изделия-аналога, они отражают уровень технологичности, достигнутый при изготовлении аналогичных изделий на момент проектирования.

С этой целью в соответствии с ГОСТ 14.203–73 рассчитывают следующие показатели технологичности:

1) коэффициент сборности

$$K_{сб} = \frac{E}{E + D}, \quad (1.1)$$

где E — число сборочных единиц в изделии; D — число деталей в изделии, не вошедших в сборочные единицы;

2) коэффициент применяемости унифицированных сборочных единиц в изделии

$$K_y = \frac{E_y}{E}, \quad (1.2)$$

где E_y — число унифицированных сборочных единиц в изделии (подшипники, муфты, двигатели, переключатели и т.п.);

3) коэффициент применяемости унифицированных деталей в изделии (кроме крепежных)

$$K_{уд} = \frac{D_y}{D}, \quad (1.3)$$

где D_y — число унифицированных деталей (оси, пробки, рукоятки, скобы, петли, опоры и т.п.); D — общее число деталей;

4) коэффициент повторяемости составных частей изделия

$$K_{повт} = 1 - \frac{Q}{E + D}, \quad (1.4)$$

где Q — число различных наименований составных частей в спецификации (сборочных единиц и деталей); $E + D$ — общее число составных частей в изделии (сборочных единиц и деталей);

5) коэффициент применяемости стандартных изделий

$$K_{ст} = \frac{D_{ст}}{D}, \quad (1.5)$$

где $D_{ст}$ — число стандартных деталей;

6) коэффициент повторяемости материалов в изделии

$$K_{мат} = 1 - \frac{Q_m}{D}, \quad (1.6)$$

где Q_m — число различных марок материалов, применяемых при изготовлении изделия.

В заключение на основе анализа технологичности излагаются предложения по усовершенствованию конструкции изделия.

1.6. Структура и содержание технологического процесса сборки

Технологическая подготовка сборочного производства включает разработку технологических процессов, проектирование и изготовление специальной оснастки и нестандартного оборудования, выполнение необходимых расчетов, планировок и других работ. Основной и наиболее важной частью технологической подготовки сборочного производства является проектирование технологического процесса сборки.

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным соединением, взаимной ориентацией и фиксацией деталей и узлов для получения готового изделия, удовлетворяющего установленным требованиям.

Технологический процесс сборки в качестве технологических операций или переходов включает различные сборочные работы, например соединение сопрягаемых деталей посредством приведения в соприкосновение их сборочных баз; проверка точности взаимного расположения собираемых деталей и узлов и внесение, если это необходимо, соответствующих исправлений путем регулировки, пригонки или подбора; фиксация положения деталей и узлов, обеспечивающего правильность выполнения ими целевого назначения при работе машины. К технологическому процессу сборки относят также операции, связанные с проверкой правильности действия отдельных механизмов и узлов и машины в целом (точность, плавность движений, бесшумность, надежность функционирования смазочной системы и т.п.), и все операции по очистке, промывке, окраске и отделке изделия или составляющих его сборочных соединений и деталей. В табл. 1.3 приводятся данные о соотношении трудоемкости различных видов сборочных работ.

Технологическая операция сборки представляет собой законченную часть этого процесса, выполняемую непрерывно над одной сборочной единицей или над совокупностью одновременно собираемых единиц (узлов, деталей) одним или группой (бригадой) рабочих на одном рабочем месте.

Сборочная операция — это технологическая операция установки и образования соединений составных частей заготовки или изделия.

Сборочная операция, так же как и при механической обработке, является важной единицей производственного планирования, однако следует иметь в виду, что при некоторых организационных формах проведения сборки (в частности, при стационарной однобригадной сборке) сборочный процесс может в явной форме на операции не расчленяться.

Переход сборочного процесса — это законченная часть операции сборки, выполняемая над определенным участком сборочного соединения (узла) неизменным методом выполнения работы при использовании одних и тех же инструментов и приспособлений.

Таблица 1.3

Виды работ, входящих в процесс сборки

Вид работ	Краткая характеристика	Удельный вес в общей трудоемкости сборки, %	
		мелкосерийное производство	массовое производство
Подготовительные	Работы по приведению деталей, а также покупных изделий в состояние, требуемое условиями сборки: деконсервирование, мойка, сортирование на размерные группы, укладка в тару и др.	5-7	8-10
Пригоночные	Работы, связанные с обеспечением собираемости соединений и технических требований к ним: опилование и зачистка, притирка, полирование, шабрение, сверление, развертывание, правка	20-25	—
Собственно сборочные	Работы по соединению двух или большего числа деталей для получения сборочных единиц и изделий основного производства: свинчивание, запрессовывание, клепка и др.	44-47	70-75
Регулировочные	Работы, проводимые в процессе сборки или после ее с целью достижения требуемой точности во взаиморасположении деталей в сборочных единицах и изделии	7-9	6-7
Контрольные	Работы, выполняемые в процессе сборки и после ее с целью проверки соответствия сборочных единиц и изделий параметрам, установленным чертежом и техническими условиями на сборку	10-12	8-10
Демонтажные	Работы по частичной разборке собранного изделия для подготовки его к упаковке и транспортированию потребителю	6-8	3-4

Приемом (элементом) сборочного процесса называется отдельное законченное действие рабочего в процессе сборки или подготовки к сборке изделия или узла.

Пример построения сборочной операции из отдельных переходов.

Операция: установить заднюю бабку токарного станка. Переходы: установить бабку на станину и закрепить; проверить правильность положения бабки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (по калиброванной контрольной оправке, закрепленной в центрах с помощью двух индикаторов, которые закреплены в суппорте); пригнать бабку по высоте (пришабриванием мостика); отрегулировать положение бабки в горизонтальной плоскости путем ее перемещения в поперечном направлении (подвижной компенсатор).

Содержание операций и переходов технологического процесса сборки определяется конструкцией изделия, совершенством технологии механической обработки деталей, организационно-техническими условиями сборочного производства и размерами программного задания. Одной из важных задач разработки технологического процесса сборки является выбор степени его дифференциации.

Технологический процесс сборки обычно разрабатывают в следующей последовательности:

- ♦ в зависимости от программного задания устанавливают целесообразную организационную форму сборки, определяют ее такт и ритм;
- ♦ производят технологический анализ сборочных и рабочих чертежей деталей для отработки технологичности конструкций;
- ♦ производят размерный анализ конструкций собираемых изделий с выполнением соответствующих размерных расчетов и устанавливают рациональные методы обеспечения требуемой точности сборки. Определяют число деталей и узлов, которые не взаимозаменяемы при сборке (при сборке по методу неполной взаимозаменяемости), размеры регулирования и пригонки;
- ♦ определяют целесообразную в данных условиях производства степень дифференциации проектируемого процесса сборки;
- ♦ устанавливают последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия и составляют схемы общей и узловых сборок;
- ♦ определяют наиболее производительные, экономичные и технически целесообразные способы соединения, проверки поло-

жений и фиксации всех составляющих изделие сборочных единиц и деталей. Составляют содержание технологических операций сборки, задают методы контроля и окончательных испытаний изделия;

- ♦ разрабатывают оснастку, необходимую для выполнения технологического процесса;
- ♦ производят техническое нормирование сборочных работ и рассчитывают экономические показатели процесса сборки;
- ♦ оформляют техническую документацию процесса сборки.

1.7. Деление машин на сборочные единицы

Сборку любой машины и ее отдельных механизмов нельзя осуществлять в произвольной последовательности. Очередность соединений деталей определяется, прежде всего, конструкцией изделия или его частей, а также степенью дифференциации сборочных работ.

Проектированию технологического процесса сборки предшествует деление изделия на ряд сборочных единиц и деталей. Такое деление производится на стадии конструкторской подготовки производства при разработке конструкции изделия в соответствии с ГОСТ 2.101–68.

Деталь — это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций (например, вал, винт, литой корпус). В технологии сборки есть понятие «базовая деталь» — это деталь с базовыми поверхностями, выполняющая в сборочном соединении (узле) роль соединительного звена, которое обеспечивает при сборке соответствующее относительное положение других деталей.

Сборочная единица — это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе путем сборочных операций (свинчиванием, опрессовкой, клепкой, сваркой, пайкой, развальцовкой и т.п.). Например, станок, автомобиль, редуктор, сварной корпус.

В литературе вместо термина «сборочная единица» чаще используют термин «узел». Кроме того, для удобства разработки и нормирования технологического процесса сборки узлы условно разделяют на подузлы, узлы первого, второго и более высоких порядков. Обычно узел более высокого порядка включает в себя

один или несколько узлов более низкого порядка, комплекты и отдельные детали.

Комплекс — два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для взаимосвязанных эксплуатационных функций. В комплекс, кроме изделий, выполняющих основные функции, могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например детали и сборочные единицы для расширения технологических возможностей станка, монтажа изделия на месте эксплуатации.

Комплект — два и более изделия, соединенные на предприятии сборочными операциями, или набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (например, комплект запасных частей, комплект инструмента, комплект измерительных инструментов).

Составные части (сборочные единицы) могут быть спроектированы с учетом конструкторских и технологических требований (ГОСТ 3.1108–82), в соответствии с которыми различают конструктивные сборочные единицы, технологические сборочные единицы и узлы.

Конструктивная сборочная единица — это единица, спроектированная лишь по функциональному принципу без учета особого значения условий независимой и самостоятельной сборки. Примером конструктивных сборочных единиц являются механизмы газораспределения, системы топливо- и маслопроводов двигателей.

Технологическая сборочная единица, или узел — это сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями (ГОСТ 23887–79). Например, головки блоков цилиндров.

Наилучшим вариантом конструкции является сборочная единица, которая отвечает условию ее функционального назначения в изделии и условию самостоятельной независимой сборки. Это так называемая конструктивно-технологическая единица. К таким единицам относят насосы, клапаны, вентили, коробки скоростей, коробки передач и т.п.

Из конструктивно-технологических сборочных единиц формируют агрегаты.

Агрегат — это сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно. Сборка изделия или его составной части из агрегатов называется агрегатной.

Изделие, спроектированное по агрегатному (модульному) принципу, имеет лучшие технико-экономические показатели как в изготовлении, так и в эксплуатации и ремонте: цикл сборки при этом значительно сокращается. Повышается и качество сборки, потому что каждая сборочная единица после ее сборки может быть испытана независимо от других сборочных единиц. Значительно улучшаются условия эксплуатации такого изделия, особенно при замене отдельных составных частей. Агрегатная конструкция позволяет производить ремонт каждой составной части отдельно, исходя из ее состояния. При этом уменьшается количество изделий, находящихся в резерве. Примером агрегатного изделия может служить автомобиль, металлорежущий станок.

Установленная последовательность ввода деталей и групп в технологический процесс сборки изделия характеризует систему его комплектования.

Последовательность комплектования может быть одновариантной в случае простых сборочных единиц и многовариантной для комплексных групп и изделий. Примером одновариантной последовательности комплектования могут быть сборочные единицы, приведенные на рис. 1.9. В первом случае (рис. 1.9, а) в гнездо крышки 1 устанавливается подшипник 2, а затем стопорное кольцо 3; во втором (рис. 1.9, б) — шарикоподшипник 2 устанавливается на вал-шестерню 1 и стопорится кольцом 3; в третьем (рис. 1.9, в) — после напрессовки шарикоподшипника 2 на шлицы вала-шестерни 1 устанавливают вторую шестерню 3. Другие последовательности комплектования здесь невозможны.

Однако в сложных сборочных единицах и изделиях, когда комплектуют десятки и сотни деталей, возможен ряд вариантов в последовательности сборки. При большом числе деталей в изделии таких вариантов может быть очень много. Конструкции машин все более усложняются, и количество деталей и их соеди-

нений неуклонно растет. В этом случае ставится задача использования оптимального варианта, обеспечивающего наилучшее выполнение установленных технических требований к объекту сборки при минимальных затратах труда и средств.

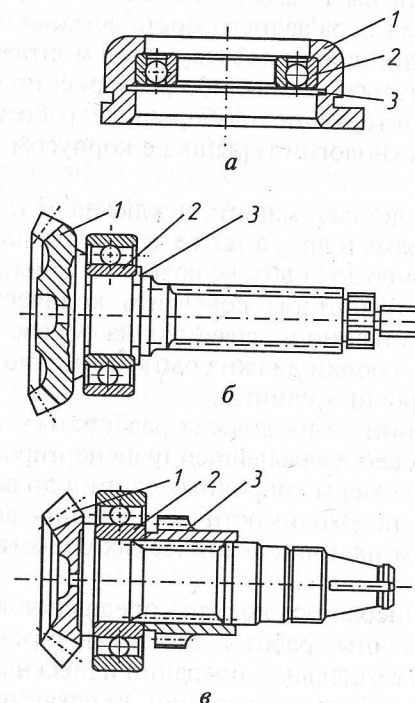


Рис. 1.9. Сборочные единицы одновариантного комплектования: а — сборка подшипника с крышкой; б — сборка подшипника с валом-шестерней; в — сборка подшипника с валом-шестерней и шестерней

При делении изделия на сборочные единицы и детали целесообразно руководствоваться следующими рекомендациями:

- ♦ сборочная единица не должна быть слишком большой по габаритным размерам и массе или состоять из большого числа деталей и сопряжений. В то же время излишнее «дробление» машины на сборочные единицы нерационально, так как это усложняет процесс комплектования при сборке, создает дополнительные

трудности при организации сборочных работ (снабжение сборки узлами и деталями);

- ♦ если в процессе сборки требуется проведение испытаний, обкатки или специальной слесарной пригонки сборочной единицы, то она должна быть выделена в особую сборочную единицу (например, зубчатая пара заднего моста легкового автомобиля);

- ♦ сборочная единица при последующем монтаже ее в машине не должна подвергаться какой-либо разборке, но если это неизбежно, то соответствующие разборочные работы необходимо предусмотреть в технологии (крышка с корпусом шестеренчатого насоса);

- ♦ большинство деталей машин, исключая ее главные базовые детали (станина, рама и др.), а также детали крепления и резьбовые соединения, должны быть включены в те или иные сборочные единицы, с тем чтобы сократить количество отдельных деталей, непосредственно подаваемых на общую сборку;

- ♦ трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц;

- ♦ сборочная единица не должна разбираться как в процессе сборки, так и в процессе дальнейшей транспортировки и монтажа;

- ♦ габаритные размеры сборочных единиц должны устанавливаться исходя из необходимости обеспечения возможности их сборки и с учетом наличия технических средств для их транспортирования;

- ♦ сборочным операциям должны предшествовать подготовительные и пригоночные работы, связанные с резанием металла, которые сводятся в отдельные операции и должны производиться на специальном рабочем месте или в механическом цехе на станках;

- ♦ изделие следует разбивать таким образом, чтобы конструктивные условия позволили осуществлять сборку наибольшего числа сборочных единиц независимо одна от другой и без ущерба для эксплуатационных характеристик машин, что обеспечивает лучшую ремонтпригодность.

Деление на сборочные единицы сложных машин с большой номенклатурой деталей требует особого внимания и навыка. В этих случаях часто используют систему карточек, составляемых на каждую деталь. Карточки группируют в порядке последовательности сборки для каждой конструктивно-технологической сборочной единицы.

1.8. Выбор методов достижения точности машин. Расчет размерных цепей

Вопрос о выборе метода достижения точности машины решается на основе технико-экономических расчетов и должен соответствовать типу производства. Выбор метода начинается с тщательного изучения сборочных чертежей и установления связей и взаимодействия всех сборочных единиц и деталей машины. При этом необходимо четко сформулировать задачи, которые требуется решать в процессе достижения ее точности. Исходя из поставленных задач находят исходные (замыкающие) звенья и выявляют соответствующие им размерные цепи.

Размерная цепь — это совокупность функционально связанных размеров, образующих замкнутый контур и участвующих в решении поставленной задачи.

Каждый из размеров, образующих размерную цепь, называют **звеном размерной цепи**. Звенья размерной цепи обозначают прописными буквами русского алфавита. Любая размерная цепь имеет одно исходное (замыкающее) звено и два или больше составляющих звена.

Исходным звеном называется звено, к которому предъявляется основное требование точности, определяющее качество изделия в соответствии с техническими требованиями. Понятие исходного звена используется при решении прямой задачи, т.е. при проектном расчете.

Если исходное звено в процессе сборки изделия получается последним, замыкая размерную цепь, оно называется **замыкающим звеном**.

Все остальные звенья размерной цепи называются составляющими. Среди них различают увеличивающие и уменьшающие звенья. **Увеличивающим звеном** называется звено, при увеличении которого замыкающее звено увеличивается. **Уменьшающим звеном** называется звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается.

Обычно исходными звеньями являются расстояния между поверхностями или осями, их относительные повороты, которые требуется обеспечить при конструировании машины и достичь в процессе ее изготовления.

В качестве составляющих звеньев размерной цепи могут быть приняты:

- ♦ расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующих исходное звено;
- ♦ расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных баз деталей.

Соблюдая эти положения, для выявления цепи необходимо идти от поверхностей или осей деталей, образующих исходное звено, к поверхностям (осям) деталей, размеры которых оказывают влияние на исходное звено, до образования замкнутого контура. Замкнутость контура размерной цепи является одним из условий правильности ее построения. Следует иметь в виду, что правильность выявленной размерной цепи зависит от четкости формулировки задачи, а поставленная задача может быть решена с помощью единственной правильно построенной размерной цепи. Все задачи вытекают из требований к точности машины.

При размерном анализе встречаются два типа задач: прямая и обратная.

Прямая задача. По определенному из служебного назначения машины номинальному размеру и допуску (предельным отклонениям) исходного звена определяют номинальные размеры, допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи. Задача решается на стадии проектных расчетов.

Обратная задача. По установленным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев определяют номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена. Задача решается на стадии проверочных расчетов. Решением обратной задачи проверяется правильность решения прямой задачи.

При разработке конструкции машины конструктор предусматривает методы достижения точности ее параметров. Задача технолога — выяснить эти методы и с позиции реальных условий производства оценить их. Известны следующие методы достижения точности замыкающего звена:

- 1) метод полной взаимозаменяемости;
- 2) метод неполной взаимозаменяемости;
- 3) метод групповой взаимозаменяемости;
- 4) метод регулирования;
- 5) метод пригонки.

1.8.1. Метод полной взаимозаменяемости

Сущность метода полной взаимозаменяемости заключается в том, что точность замыкающего звена обеспечивается у всех без исключения изделий без какого-либо подбора звеньев или их пригонки.

При этом прямая и обратная задачи решаются методом максимума и минимума, основанным на том, что при расчетах учитываются максимальные и минимальные размеры составляющих звеньев и их самые неблагоприятные сочетания в одной сборочной единице.

Преимущества метода полной взаимозаменяемости:

- ♦ простота и экономичность сборки;
- ♦ возможность автоматизации сборочных процессов;
- ♦ возможность кооперирования предприятий;
- ♦ упрощение системы изготовления запасных частей и снабжения ими потребителей.

К недостаткам метода следует отнести относительно небольшие по сравнению с другими методами допуски составляющих звеньев. Поэтому метод применяют в случаях небольшого числа составляющих звеньев.

Метод полной взаимозаменяемости основан на:

- 1) уравнении размерной цепи в номиналах

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_{ув} - \sum_{j=1}^n A_{ум}, \quad (1.7)$$

где A_{Δ} — номинальное значение замыкающего звена; $\sum A_{ув}$ — сумма номинальных значений увеличивающих звеньев; $\sum A_{ум}$ — сумма номинальных значений уменьшающих звеньев; m, n — число увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

- 2) определении допуска замыкающего звена

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^m T_{ув} + \sum_{j=1}^n T_{ум} \quad \text{или} \quad T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m+n} T_i, \quad (1.8)$$

где $\sum T_i$ — сумма допусков всех составляющих звеньев; $m + n$ — число всех составляющих звеньев.

Решение прямой задачи в методе полной взаимозаменяемости проводят в следующей последовательности:

1) записывают параметры исходного (замыкающего) звена: номинальный размер A_Δ , предельные отклонения ESA_Δ и EIA_Δ , допуск $T_\Delta = ESA_\Delta + EIA_\Delta$, координату середины поля допуска

$$Ec_\Delta = \frac{ESA_\Delta + EIA_\Delta}{2}; \quad (1.9)$$

2) по сборочному чертежу изделия выявляют составляющие звенья A_i , строят размерную цепь и по ней определяют увеличивающие и уменьшающие звенья;

3) с учетом масштаба чертежа изделия определяют номинальные размеры составляющих звеньев A_i ;

4) проверяют по уравнению (1.7) правильность определения номинальных значений составляющих звеньев;

5) определяют среднее значение допусков составляющих звеньев (существует способ назначения допусков одного качества точности):

$$T_i^{cp} = \frac{T_\Delta}{m + n}, \quad (1.10)$$

6) по номинальным размерам составляющих звеньев с учетом полученного среднего значения на все составляющие звенья, кроме одного (на одно звено может быть установлен нестандартный допуск), назначают стандартные допуски по ГОСТ 25347-82;

7) проверяют правильность определения допусков составляющих звеньев по формуле (1.8);

8) задают расположение допусков всех составляющих звеньев, кроме одного звена (для охватываемых поверхностей допуски задают «в плюс», для охватываемых — «в минус», для остальных — симметрично);

9) определяют координаты середин полей допусков всех составляющих, кроме одного, звеньев:

$$Ec_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}, \quad (1.11)$$

где ESA_i и EIA_i — верхнее и нижнее отклонение размера звена A_i соответственно;

10) определяют координату середины поля допуска звена, оставшегося неизвестным, из уравнения

$$Ec_\Delta = \sum^m Ec_{ув} - \sum^n Ec_{ум}, \quad (1.12)$$

где $\sum Ec_{ув}$ — сумма координат середин полей допусков увеличивающих звеньев; $\sum Ec_{ум}$ — сумма координат середин полей допусков уменьшающих звеньев;

11) определяют предельные отклонения оставшегося неизвестным звена:

$$ESA_i = Ec_i + 0,5T_i, \quad EIA_i = Ec_i - 0,5T_i; \quad (1.13)$$

12) выполняют проверку правильности расчетов по формулам

$$ESA_\Delta = \sum^m Ec_{ув} - \sum^n Ec_{ум} + 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{m+n} T_i, \\ EIA_\Delta = \sum^m Ec_{ув} - \sum^n Ec_{ум} - 0,5 \cdot \sum_{i=1}^{m+n} T_i. \quad (1.14)$$

Проверка правильности расчетов может быть выполнена и по другим уравнениям:

$$ESA_\Delta = \sum^m ESA_{ув} - \sum^n EIA_{ум}, \\ EIA_\Delta = \sum^m EIA_{ув} - \sum^n ESA_{ум}, \quad (1.15)$$

где $\sum ESA_{ув}$ — сумма верхних предельных отклонений увеличивающих звеньев; $\sum EIA_{ум}$ — сумма нижних предельных отклонений уменьшающих звеньев; $\sum EIA_{ув}$ — сумма нижних предельных отклонений увеличивающих звеньев; $\sum ESA_{ум}$ — сумма верхних предельных отклонений уменьшающих звеньев.

Допуски составляющих звеньев могут быть назначены по одному качеству точности вместо определения среднего допуска.

Допуски качеств точности от IT5 до IT17 для размеров от 1 до 500 мм определяют по формуле

$$T = ai, \quad (1.16)$$

где a — количество единиц допуска данного качества точности (табл. 1.4); i — значение единицы допуска данного интервала размеров (табл. 1.5).

Таблица 1.4

Количество единиц допуска в допуске качества точности (ГОСТ 25347-82)

Квалитет точности	Количество единиц допуска	Квалитет точности	Количество единиц допуска
5	7	12	160
6	10	13	250
7	16	14	400
8	25	15	640
9	40	16	1000
10	64	17	1600
11	100		

Таблица 1.5

Значения единиц допуска i для размеров от 1 до 500 мм (ГОСТ 25347-82)

Интервал размеров, мм	i , мкм	Интервал размеров, мм	i , мкм
До 3	0,55	Св. 80 до 120	2,17
Св. 3 до 6	0,73	Св. 120 до 180	2,52
Св. 6 до 10	0,90	Св. 180 до 250	2,90
Св. 10 до 18	1,08	Св. 250 до 315	3,23
Св. 18 до 30	1,31	Св. 315 до 400	3,54
Св. 30 до 50	1,53	Св. 400 до 500	3,89
Св. 50 до 80	1,86		

Значение единицы допуска для указанных квалитетов точности рассчитывают по формуле

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001D, \quad (1.17)$$

где D — среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала.

Через значение единицы допуска и ее количество уравнение (1.8) можно записать в следующем виде:

$$T_{\Delta} = a_1 i_1 + a_2 i_2 + \dots + a_{m+n} i_{m+n}. \quad (1.18)$$

Учитывая, что все звенья размерной цепи могут быть выполнены по одному квалитету точности, можно записать:

$$a_1 = a_2 = \dots = a_{m+n} = a_{\text{ср}}. \quad (1.19)$$

Тогда уравнение (1.18) примет вид

$$T_{\Delta} = a_{\text{ср}} \sum_{i=1}^{m+n} i. \quad (1.20)$$

Из уравнения (1.20) может быть определен средний квалитет точности по $a_{\text{ср}}$:

$$a_{\text{ср}} = \frac{T_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m+n} i}. \quad (1.21)$$

Как правило, при расчетах $a_{\text{ср}}$ принимает промежуточное значение между двумя какими-либо квалитетами (см. табл. 1.4). Поэтому с учетом технологических возможностей производства деталей на одни звенья размерной цепи назначают допуски по более низкому квалитету, на другие — по более высокому. На одно звено размерной цепи может быть назначен нестандартный допуск. Правильность назначения допусков проверяют по формуле (1.8). Далее расчеты выполняют по приведенной выше последовательности (п. 8–12) решения прямой задачи.

Пример 1. Методом полной взаимозаменяемости обеспечить осевой зазор между торцами шкива и подшипника в пределах $S = 0,2 - 0,6$ мм (рис. 1.10).

Задача решается с помощью размерной цепи A . При этом замыкающим (исходным) звеном является зазор, т.е. $A_{\Delta} = S = 0,2 - 0,6$ мм. Запишем параметры замыкающего звена в удобном для дальнейших расчетов виде:

♦ номинальный размер $A_{\Delta} = 0^{+0,6}_{+0,2}$ мм;

♦ верхнее отклонение $ESA_{\Delta} = +0,6$ мм;

♦ нижнее отклонение $EIA_{\Delta} = +0,2$ мм;

♦ допуск $T_{\Delta} = 0,6 - 0,2 = 0,4$ мм;

♦ координата середины поля допуска [формула (1.9)]

$$Es_{\Delta} = \frac{+0,6 + 0,2}{2} = +0,4 \text{ (мм)}.$$

На сборочном чертеже (рис. 1.10, а) выявляем все звенья размерной цепи A ($A_1 - A_4$), участвующие в решении поставленной задачи, т.е. влияющие на величину замыкающего звена, и отдельно вычертим размерную цепь (рис. 1.10, б).

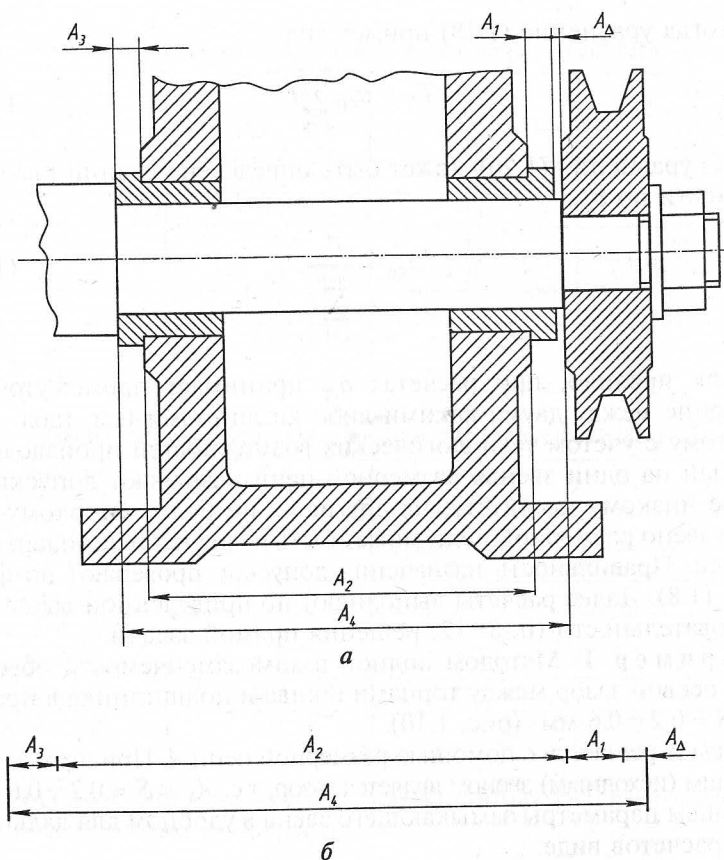


Рис. 1.10. Вал привода транспортера (а) и его размерная цепь А (б)

Выявляем увеличивающие и уменьшающие звенья: A_4 — увеличивающее звено; A_1, A_2, A_3 — уменьшающие звенья.

По сборочному чертежу устанавливаем номинальные размеры составляющих звеньев (см. табл. 1.7, графа 2). Проверяем правильность определения номинальных размеров по уравнению (1.7):

$$A_\Delta = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3),$$

$$0 = 130 - (5 + 120 + 5) = 0.$$

Задачу сначала решаем способом назначения равных допусков. Поэтому определяем средний допуск составляющих звеньев по формуле (1.10):

$$T_i^{\text{cp}} = \frac{400}{1+3} = 100 \text{ (мкм)}.$$

С учетом полученного значения T_i^{cp} и номинальных размеров составляющих звеньев по табл. 1.6 назначаем стандартные допуски (табл. 1.7, графа 3). Звено A_2 имеет нестандартный допуск.

Проверяем правильность назначения допусков по формуле (1.8):

$$T_\Delta = T_1 + T_2 + T_3 + T_4,$$

$$T_\Delta = 75 + 150 + 75 + 100 = 400.$$

Устанавливаем предельные отклонения размеров составляющих звеньев на основе рекомендаций, изложенных в п. 8 (табл. 1.7, графа 5). На звено A_2 предельные отклонения не устанавливаем.

Рассчитаем координаты середин полей допусков составляющих звеньев по формуле (1.11), кроме звена A_2 (табл. 1.7, графа 6).

Координату середины поля допуска звена A_2 определим из уравнения (1.12):

$$E_{c\Delta} = E_{c4} - (E_{c1} + E_{c2} + E_{c3}),$$

$$E_{c2} = -E_{c\Delta} + E_{c4} - E_{c1} - E_{c3},$$

$$E_{c2} = -0,4 + 0,05 + 0,0375 + 0,0375 = -0,275 \text{ (мм)}.$$

Определим предельные отклонения звена A_2 по формулам (1.13):

$$ESA_2 = -0,275 + 0,5 \cdot 0,15 = -0,2 \text{ (мм)},$$

$$EIA_2 = -0,275 - 0,5 \cdot 0,15 = -0,35 \text{ (мм)}.$$

Проверим правильность расчетов по формулам (1.15):

$$ESA_\Delta = ESA_4 - (EIA_1 + EIA_2 + EIA_3),$$

$$+0,6 = 0,1 - (-0,075 - 0,35 - 0,075) = +0,6;$$

$$EIA_\Delta = EIA_4 - (ESA_1 + ESA_2 + ESA_3),$$

$$+0,2 = 0 - (0 - 0,2 + 0) = +0,2.$$

Все результаты расчетов размерной цепи А сведены в табл. 1.7.

Таблица 1.6

Допуски для размеров от 1 до 500 мм (ГОСТ 25347-82)

Интервал номинальных размеров, мм		Квалитет точности														
		мкм							мм							
свыше	до	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	3	6	10	14	25	40	60	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,60	2,50	4,00
3	6	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,80	2,80	4,50
6	10	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,20	3,50	5,50
10	18	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,80	4,50	7,50
18	30	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,50	5,50	9,00
30	50	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	4,00	6,50	10,00
50	80	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,80	7,50	11,00
80	120	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,50	8,50	13,00
120	180	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,50	10,00	15,00
180	250	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,50	11,00	18,00
250	315	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,00	12,00	19,00
315	400	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,50	13,00	20,00
400	500	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30	10,00	15,00	25,00

Таблица 1.7

Результаты расчетов размерной цепи А методом максимума-минимума

Обозначение звена	Номинальный размер A_i , мм	Допуск T_i , мкм	Квалитет точности	Предельные отклонения $ES A_i, EI A_i$, мм	Координата середины поля допуска ES_i , мм	Окончательные размеры звена A_i , мм
1	2	3	4	5	6	7
A_A	0	400	—	+0,6 +0,2	+0,4	$0^{+0,6}_{+0,2}$
A_1	5	75	11	0 _{-0,075}	-0,0375	$5_{-0,075}$
A_2	120	150	—	-0,20 -0,35	-0,275	$120_{-0,20}^{-0,35}$
A_3	5	75	11	0 _{-0,075}	-0,0375	$5_{-0,075}$
A_4	130	100	9	0 _{+0,1}	+0,05	$130^{+0,1}_{+0,05}$

Рассмотрим решение этой задачи способом назначения допусков одного качества точности. С этой целью выпишем из табл. 1.5 значения единиц допуска для каждого звена размерной цепи: $i_1 = 0,73$; $i_2 = 2,17$; $i_3 = 0,73$; $i_4 = 2,52$. Определим среднее количество единиц допуска по формуле (1.21)

$$a_{\text{ср}} = \frac{400}{0,73 + 2,17 + 0,73 + 2,52} = 65.$$

Такое количество единиц допуска соответствует примерно 10-му качеству точности (см. табл. 1.4). В 10-м качестве точности 64 единицы допуска.

Для звеньев A_1 , A_3 и A_4 назначаем допуски по 10-му качеству (см. табл. 1.6), для звена A_2 устанавливаем нестандартный допуск. Все остальные расчеты выполнены так же, как при решении задачи назначением равных допусков, результаты вычислений сведены в табл. 1.8.

1.8.2. Метод неполной взаимозаменяемости

Сущность метода неполной взаимозаменяемости заключается в том, что точность замыкающего звена обеспечивается не для всех изделий, а только у заранее установленной их части, т.е. устанавливается процент риска — процент изделий, у которых точность замыкающего звена может не обеспечиваться. Следует заметить, что процент риска — это вероятность получения бракованных изделий. Расчет параметров составляющих звеньев выполняют теоретико-вероятностным методом, основанным на:

1) уравнении размерной цепи в номиналах

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^m A_{\text{ув}} - \sum_{j=1}^n A_{\text{ум}}; \quad (1.22)$$

2) определении допуска замыкающего звена

$$TA_{\Delta} = t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 TA_i^2}, \quad (1.23)$$

где t — коэффициент, зависящий от процента риска (табл. 1.9); λ_i — коэффициент, характеризующий закон распределения размеров.

Таблица 1.8
Результаты расчета размерной цепи 4 методом максимума-минимума

Обозначение звена	Номинальный размер A_i , мм	Допуск T_i , мкм	Качество точности	Предельные отклонения $ES A_i, EI A_i$, мм	Координата середины поля Es_i , мм	Окончательные размеры звена A_i , мм
1	2	3	4	5	6	7
A_{Δ}	0	400	—	+0,6 +0,2	+0,4	0 ^{+0,6} _{+0,2}
A_1	5	48	10	0 -0,048	-0,024	5 _{-0,048}
A_2	120	144	—	-0,200 -0,344	-0,272	120 ^{-0,200} _{-0,344}
A_3	5	48	10	0 -0,048	-0,024	5 _{-0,048}
A_4	130	160	10	+0,160 0	+0,08	130 ^{+0,160} ₀

Таблица 1.9

Значения коэффициента t							
Процент риска P	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
t	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

При нормальном законе распределения размеров $\lambda_i^2 = 1/9$, при неизвестном законе распределения принимают $\lambda_i^2 = 1/3$, при законе треугольника — $\lambda_i^2 = 1/6$.

Решение прямой задачи в методе неполной взаимозаменяемости выполняют в следующей последовательности:

1) записывают параметры исходного (замыкающего) звена: номинальный размер A_Δ , предельные отклонения ESA_Δ и EIA_Δ , допуск T_Δ , координату середины поля допуска Ec_Δ ;

2) по сборочному чертежу изделия выявляют составляющие звенья A_i , строят размерную цепь, определяют по ней увеличивающие и уменьшающие звенья;

3) с учетом масштаба чертежа изделия определяют номинальные размеры составляющих звеньев A_i ;

4) проверяют правильность определения номинальных значений составляющих звеньев по уравнению (1.22);

5) задают процент риска, определяют значение коэффициента t (см. табл. 1.9), устанавливают законы распределения составляющих звеньев и коэффициенты λ_i ;

6) определяют среднее значение допусков составляющих звеньев (согласно способу назначения допусков одного качества точности):

$$T_i^{cp} = \frac{T_\Delta}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2}}; \quad (1.24)$$

7) по номинальным размерам составляющих звеньев и с учетом полученного среднего значения на все составляющие звенья, кроме одного (на одно звено может быть установлен нестандартный допуск), назначают стандартные допуски по ГОСТ 25347-82;

8) проверяют правильность определения допусков составляющих звеньев по формуле (1.23);

9) задают расположение допусков всех составляющих звеньев, кроме одного (для охватывающих поверхностей допуски задают

«в плюс», а для охватываемых — «в минус», для остальных — симметрично);

10) определяют координаты середин полей допусков всех составляющих звеньев, кроме одного, по формуле (1.11);

11) определяют координату середины поля допуска оставшегося неизвестным звена из уравнения (1.12);

12) определяют предельные отклонения оставшегося неизвестным звена по формулам (1.13);

13) выполняют проверку правильности расчетов по формулам

$$\begin{aligned} ESA_\Delta &= \sum_{i=1}^m Ec_{ув} - \sum_{i=1}^n Ec_{ум} + t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}, \\ EIA_\Delta &= \sum_{i=1}^m Ec_{ув} - \sum_{i=1}^n Ec_{ум} - t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 (0,5TA_i)^2}. \end{aligned} \quad (1.25)$$

Допуски составляющих звеньев могут быть назначены по одному качеству точности вместо определения среднего допуска по формуле (1.24).

Среднее количество единиц допуска при расчете размерной цепи теоретико-вероятностным методом рассчитывается по формуле

$$a_{cp} = \frac{T_\Delta}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m+n} \lambda_i^2 \cdot i^2}}, \quad (1.26)$$

где i — значение единицы допуска размеров составляющих звеньев (см. табл. 1.5).

Для сравнения результатов расчетов, полученных методами полной и неполной взаимозаменяемости, решим размерную цепь A (см. рис. 1.10) методом неполной взаимозаменяемости.

Пример 2. Методом неполной взаимозаменяемости обеспечить осевой зазор между торцами шкива и подшипника в пределах $S = 0,2 - 0,6$ мм. Параметры замыкающего звена размерной цепи: $A_\Delta = 0_{+0,2}^{+0,6}$, т.е. $ESA_\Delta = +0,6$ мм, $EIA_\Delta = +0,2$ мм, $T_\Delta = 0,4$ мм, $Ec_\Delta = +0,4$ мм.

Принимаем, что $P = 1\%$, тогда $t = 2,57$ (см. табл. 1.9), $\lambda_i^2 = 1/9$. Номинальные значения составляющих звеньев были определены в примере 1: $A_1 = 5$, $A_2 = 120$, $A_3 = 5$, $A_4 = 130$ мм.

Сначала задачу решаем способом назначения равных допусков. Определяем по формуле (1.24) средний допуск составляющих звеньев:

$$T_i^{\text{ср}} = \frac{400}{2,57 \cdot \sqrt{1/9 + 1/9 + 1/9 + 1/9}} = 233 \text{ (мкм)}.$$

Заметим, что при принятом значении процента риска ($P = 1\%$) среднее значение допусков составляющих звеньев в 2,33 раза больше, чем в методе полной взаимозаменяемости ($T_i^{\text{ср}} = 100 \text{ мкм}$).

На основе полученного значения $T_i^{\text{ср}}$ по табл. 1.6 устанавливаем стандартные допуски и записываем в табл. 1.10 (графа 3). На звено A_2 установлен нестандартный допуск.

Проверяем правильность определения допусков на составляющие звенья по формуле (1.23)

$$TA_\Delta = 2,57 \cdot \sqrt{\frac{1}{9}(180^2 + 300^2 + 180^2 + 250^2)} = 400.$$

Устанавливаем предельные отклонения размеров составляющих звеньев на основе рекомендаций, изложенных в п. 9 (табл. 1.10, графа 5). На звено A_2 предельные отклонения не устанавливаются.

Рассчитываем координаты средин полей допусков всех составляющих звеньев по формуле (1.11), кроме звена A_2 (табл. 1.10, графа 6).

Координату середины поля допуска звена A_2 определяем из уравнения (1.12)

$$Ec_\Delta = Ec_4 - (Ec_1 + Ec_2 + Ec_3),$$

$$Ec_2 = -Ec_\Delta + Ec_4 - Ec_1 - Ec_3,$$

$$Ec_2 = -0,4 + 0,125 + 0,09 + 0,09 = -0,095 \text{ (мм)}.$$

Определяем предельные отклонения звена A_2 по формулам (1.13)

$$ESA_2 = -0,095 + 0,5 \cdot 0,3 = +0,055 \text{ (мм)},$$

$$ELA_2 = -0,095 - 0,5 \cdot 0,3 = -0,245 \text{ (мм)}.$$

Окончательные результаты расчетов размерной цепи A даны в табл. 1.10.

Таблица 1.10
Результаты расчета размерной цепи A теоретико-вероятностным методом по среднему допуску

Звено	Номинальный размер A_i , мм	Допуск T_i , мкм	Качество точности	Предельные отклонения $ES A_i, EI A_i$, мм	Координата середины поля допуска Ec_i , мм	Окончательные размеры звена A_i , мм
1	2	3	4	5	6	7
A_Δ	0	400	—	+0,6 +0,2	+0,4	$0^{+0,6}_{-0,2}$
A_1	5	180	13	0 -0,18	-0,09	$5_{-0,18}^{+0,09}$
A_2	120	300	—	-0,055 -0,245	-0,095	$120_{-0,245}^{+0,055}$
A_3	5	180	13	0 -0,18	-0,09	$5_{-0,18}^{+0,09}$
A_4	130	250	11	0 +0,125	+0,125	$130_{+0,125}^{+0,09}$

Рассмотрим решение этой же задачи способом назначения допусков одного качества точности. Для этого выпишем из табл. 1.5 значения единиц допусков всех составляющих звеньев (табл. 1.11, графа 3). Для определения качества точности, по которому могут быть выполнены составляющие звенья, рассчитываем среднее число единиц допуска по формуле (1.26)

$$a_{\text{ср}} = \frac{400}{2,57 \cdot \sqrt{1/9 \cdot (0,73^2 + 2,17^2 + 0,73^2 + 2,52^2)}} = 134.$$

Такое значение $a_{\text{ср}}$ находится (см. табл. 1.4) между 11-м ($a = 100$) и 12-м ($a = 160$) качествами точности. Поэтому допуски звеньев A_1 и A_3 назначаем по 11-му, а звена A_4 — по 12-му качеству точности. На звено A_2 устанавливаем нестандартный допуск (табл. 1.11, графа 4). Далее расчеты выполняем по формулам (1.11)–(1.13), их результаты сведены в табл. 1.11.

Сравнение результатов расчетов одной и той же размерной цепи методом максимума и минимума (табл. 1.7 и 1.8) и теоретико-вероятностным методом (см. табл. 1.10 и 1.11) показывает, что даже при небольшом проценте риска ($P = 1\%$) допуски составляющих звеньев во втором методе в 2,3 раза больше, чем в первом. Следовательно, стоимость механической обработки деталей при использовании теоретико-вероятностного метода расчета меньше, хотя в этом случае и возможно получение 1% бракованных изделий.

1.8.3. Метод групповой взаимозаменяемости

Метод групповой взаимозаменяемости — это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы. Сущность метода заключается в том, что детали собираемого изделия обрабатывают по расширенным экономически достижимым допускам и сортируют по их действительным размерам на группы таким образом, чтобы при соединении деталей, входящих в одноименные группы, была обеспечена точность замыкающего звена, установленная требованиями сборочного чертежа. Метод групповой взаимозаменяемости применяется, в основном, для размерных цепей, состоящих из небольшого

Таблица 1.11

Результаты расчета размерной цепи А теоретико-вероятностным методом по среднему качеству точности

Звено	Номинальный размер A_i , мм	Единица выпуска i , мкм	Допуск T_i , мкм	Квалитет точности	Предельные отклонения $ES A_i$, $EL A_i$, мм	Координата середины поля допуска ES_i , мм	Окончательные размеры A_i , мм
1	2	3	4	5	6	7	8
A_3	0	—	400	—	+0,6 +0,2	+0,4	$0^{+0,6}_{+0,2}$
A_1	5	0,73	75	11	0 -0,075	-0,0375	$5_{-0,075}^{0,01}$
A_2	120	2,17	380	—	-0,01 -0,39	-0,200	$120_{-0,39}^{0,01}$
A_3	5	0,73	75	11	0 -0,075	-0,0375	$5_{-0,075}^{0,01}$
A_4	130	2,52	250	12	0 -0,25	+0,125	$130_{+0,25}^{0,075}$

числа звеньев (обычно трех, иногда четырех). Он используется при сборке соединений особо высокой точности, практически недостижимой методами полной и неполной взаимозаменяемости (шариковые подшипники, плунжерные пары, резьбовые соединения с натягом, соединения пальца с шатуном и поршнем и др.). Сборка соединений по методу групповой взаимозаменяемости называется селективной сборкой.

При этом методе расчеты сводятся к определению групповых допусков деталей n групп, на которые должны быть рассортированы сопрягаемые детали, а также предельных групповых размеров. Расчетная схема показана на рис. 1.11, где TA_1 и TA_2 — расширенные (производственные) допуски вала и отверстия; $TA_1^{гр}$ и $TA_2^{гр}$ — групповые допуски вала и отверстия; S_{min} и S_{max} — минимальный и максимальный производственные зазоры; $S_{min}^{гр}$ и $S_{max}^{гр}$ — минимальный и максимальный групповые зазоры.

Из расчетной схемы видно, что

$$S_{min}^{гр} = S_{min} + TA_1 - \frac{TA_1}{n}, \quad (1.27)$$

$$S_{max}^{гр} = S_{max} - TA_2 + \frac{TA_2}{n}. \quad (1.28)$$

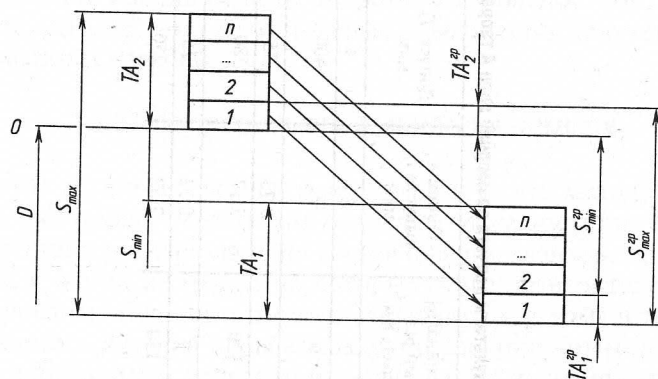


Рис. 1.11. Схема полей допусков соединения с зазором

Для обеспечения постоянства предельных зазоров во всех группах необходимо, чтобы $TA_1 = TA_2$, и тогда $TA_1^{гр} = TA_2^{гр}$.

Метод групповой взаимозаменяемости позволяет значительно повысить точность сборки без существенного повышения требований к точности механической обработки деталей или расширить допуски на механическую обработку без снижения точности сборки. Этот метод целесообразно использовать в массовом и крупносерийном производствах, где дополнительные затраты на сортировку, маркировку, сборку и хранение деталей по группам окупаются высоким качеством изделий. К недостаткам метода следует отнести:

- ♦ усложнение контроля деталей;
- ♦ увеличение незавершенного производства за счет разного числа деталей в одноименных группах;
- ♦ невозможность поставки отдельных деталей в качестве запасных частей (запасные части поставляются только в виде полных комплектов).

Пример 3. В соединении «плунжер — отверстие» в корпусе гидропанели обеспечить зазор $S = 3-13$ мкм. Номинальный диаметр соединения 15 мм.

Согласно заданию $S_{min} = 3$ мкм, $S_{max} = 13$ мкм. Допуск посадки (допуск зазора)

$$TS = S_{max} - S_{min}, \quad (1.29)$$

$$TS = 13 - 3 = 10 \text{ (мкм)}.$$

С другой стороны допуск посадки

$$TS = TD + Td, \quad (1.30)$$

где TD — допуск на диаметр отверстия; Td — допуск на диаметр плунжера (вала).

Принимаем, что $TD = Td$ (одно из условий селективной сборки). Тогда

$$TD = Td = \frac{TS}{2}, \quad (1.31)$$

$$TD = Td = \frac{10}{2} = 5 \text{ (мкм)}.$$

Из полученного результата следует, что для обеспечения зазора в установленных пределах обе детали должны быть изготовлены с допуском $T = 5$ мкм. Такой допуск для $d = 15$ мм соответствует

4-му качеству точности. Изготовление плунжера и отверстия с такой высокой точностью представляет достаточно сложную задачу, и в современных производственных условиях ее решение может быть даже невозможно. Поэтому увеличиваем допуски на плунжер и отверстие в 4 раза, т.е. устанавливаем производственные допуски на изготовление деталей. Тогда $TD' = Td' = 20$ мкм.

Такой допуск для $d = 15$ мм соответствует примерно 7-му качеству точности ($IT7 = 18$ мкм). Изготовление деталей с такой точностью возможно обычными методами. После изготовления детали должны быть рассортированы на четыре группы. Для расчета размеров деталей в группах вычерчиваем схему полей допусков соединения (рис. 1.12) и составляем карту сортировки деталей (табл. 1.12).

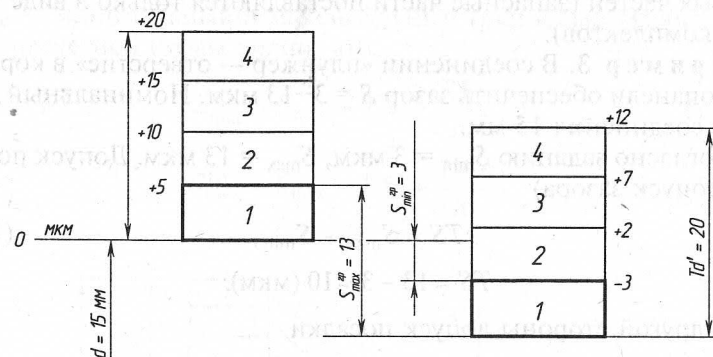


Рис. 1.12. Схема полей допусков соединения «плунжер — отверстие»

Карта сортировки деталей на группы

Номер группы	Интервал размеров	Размеры, мм	
		отверстия	плунжера
1	От	15,000	14,992
	До	15,005	14,997
2	Свыше	15,005	14,997
	До	15,010	15,002
3	Свыше	15,010	15,002
	До	15,015	15,007
4	Свыше	15,015	15,007
	До	15,020	15,012

1.8.4. Методы регулирования и пригонки

Метод регулирования — это метод, при котором точность замыкающего звена достигается изменением размера или положения компенсирующего звена без снятия слоя металла. При использовании этого метода в конструкцию изделия вводится специальная деталь — компенсатор. Компенсаторы могут быть неподвижными (рис. 1.13–1.17), подвижными (рис. 1.18–1.27) и упругими (рис. 1.28–1.30). Неподвижные компенсаторы обычно выполняют в виде прокладок, колец, втулок, плит и т.п. Собираемые детали в этом случае изготавливаются по расширенным, экономически целесообразным производственным допускам. Тогда производственный допуск замыкающего звена

$$TA'_\Delta = \sum_{i=1}^{m-2} TA'_i, \quad (1.32)$$

где TA'_i — производственные (увеличенные) допуски составляющих звеньев; m — число звеньев в размерной цепи.

Величина компенсации определяется по формуле

$$T_K = TA'_\Delta - TA_\Delta + T_{MK}, \quad (1.33)$$

где TA_Δ — допуск замыкающего звена, установленный сборочным чертежом; T_{MK} — допуск на изготовление компенсатора.

Необходимую величину осевого зазора в конических роликовых подшипниках обеспечивают за счет установки необходимого числа прокладок (рис. 1.13).

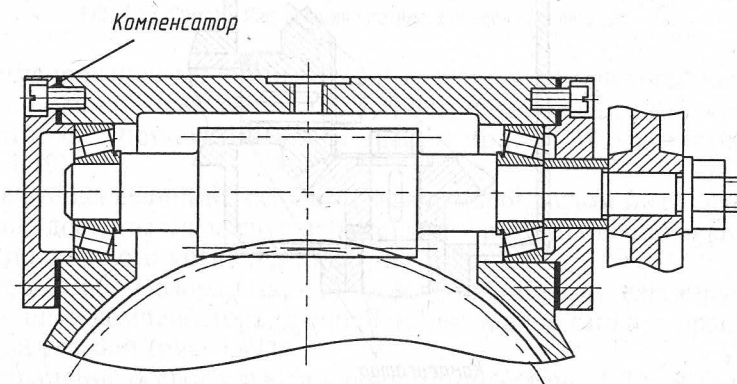


Рис. 1.13. Способ регулировки осевого зазора в коническом роликовом подшипнике

Радиальный зазор между валом и вкладышами подшипника скольжения регулируют установкой необходимого числа прокладок между корпусом и крышкой (рис. 1.14).

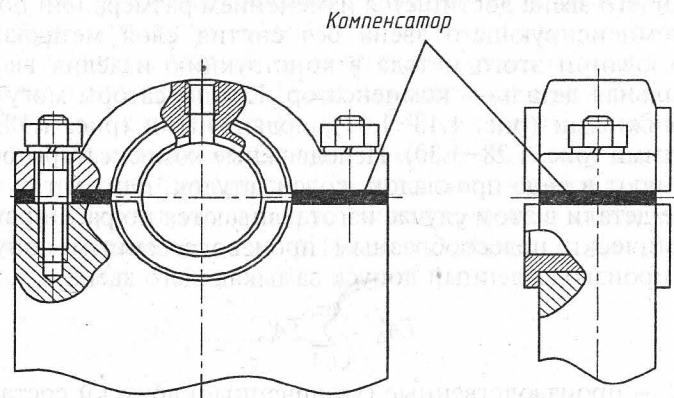


Рис. 1.14. Способ регулировки радиального зазора в подшипнике скольжения

Совмещение начальных конусов конических зубчатых колес достигается установкой необходимого числа прокладок (рис. 1.15). Осевой зазор между зубчатым колесом и стенкой корпуса (рис. 1.16) обеспечивают установкой компенсатора в виде кольца необходимой толщины.

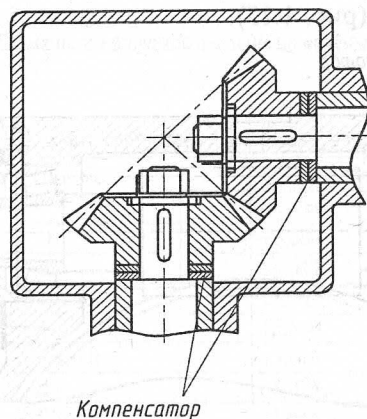


Рис. 1.15. Способ совмещения начальных конусов конических зубчатых колес

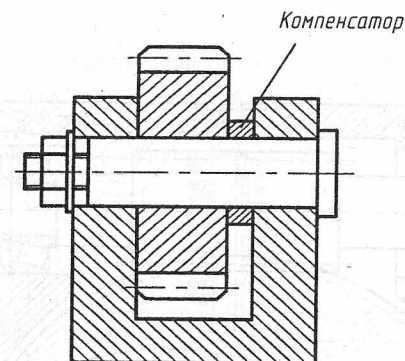


Рис. 1.16. Способ обеспечения осевого зазора между торцом зубчатого колеса и стенкой корпуса

Плотность соединения двух деталей (рис. 1.17) обеспечивают установкой шайбы с канавками различной глубины.

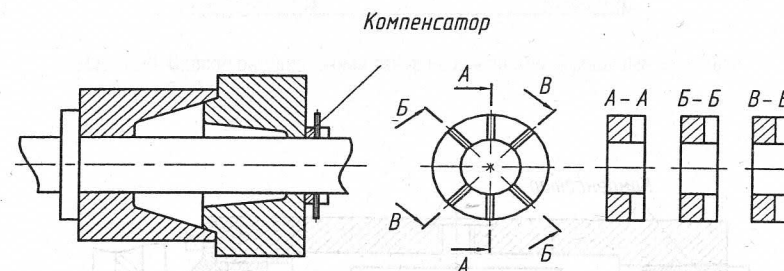


Рис. 1.17. Способ обеспечения плотности соединения деталей

Регулирование величины осевого зазора в конических роликовых подшипниках выполняют с помощью подвижных компенсаторов: упорного винта и шайбы (рис. 1.18) или гайки (рис. 1.19).

Требуемая величина зазора A_d между коромыслом и головкой клапана достигается за счет перемещения регулировочного винта — подвижного компенсатора (рис. 1.20).

Расстояние (зазор, натяга) между шарнирами регулируют с помощью компенсатора, выполненного в виде гайки с правой и левой резьбой (рис. 1.21).

Устранение осевого зазора в подшипниках (рис. 1.22) обеспечивают перемещением гайки.

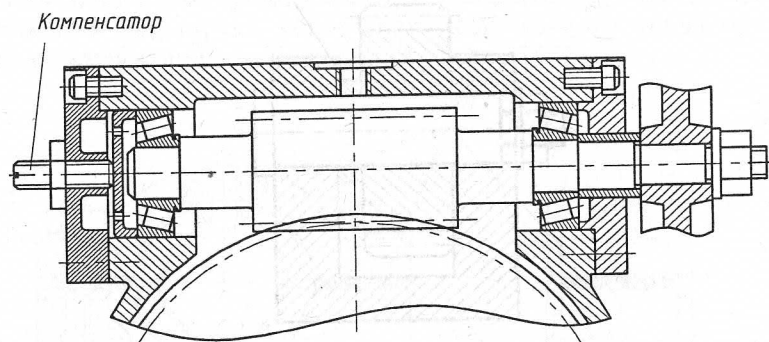


Рис. 1.18. Способ регулирования величины осевого зазора в конических роликовых подшипниках с помощью винта

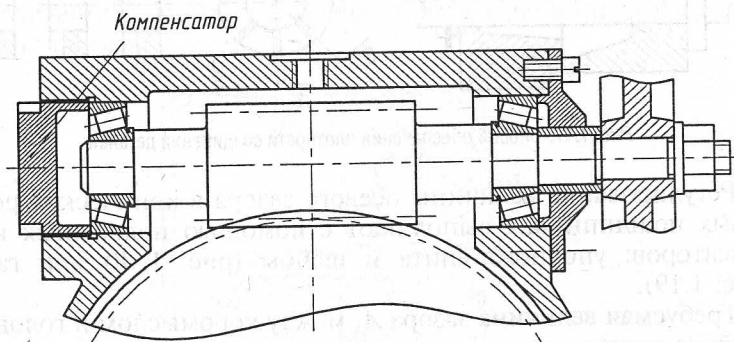


Рис. 1.19. Способ регулирования величины осевого зазора в конических роликовых подшипниках с помощью гайки

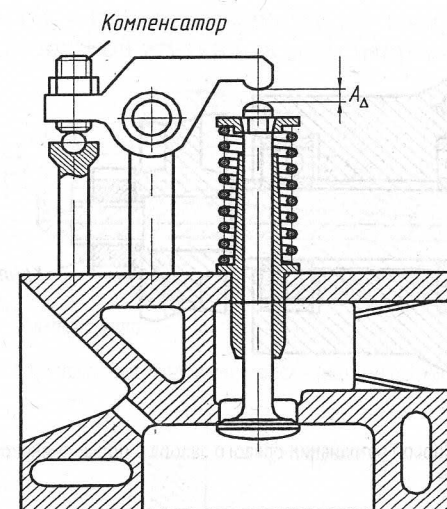


Рис. 1.20. Способ регулирования зазора в клапанном механизме двигателя

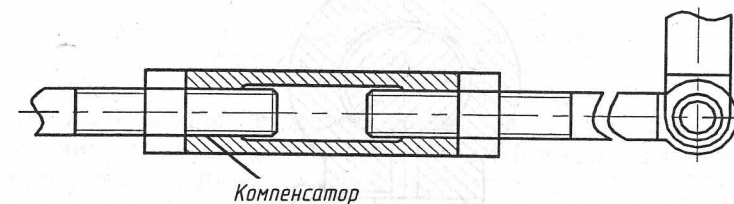


Рис. 1.21. Способ регулирования расстояния между элементами конструкции с помощью гайки

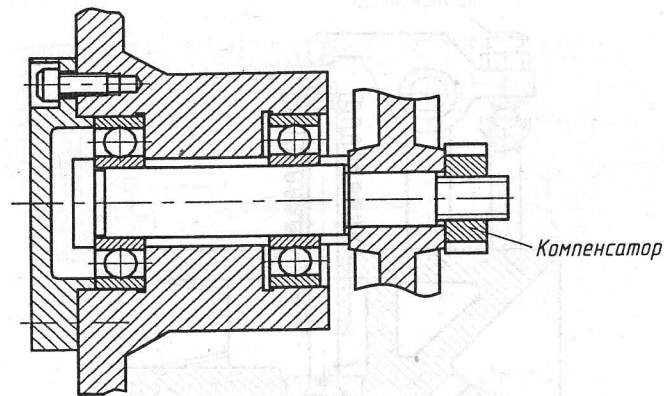


Рис. 1.22. Способ устранения осевого зазора в подшипниковом узле

Радиальный зазор (натяг) в клеммовом соединении (рис. 1.23) регулируют с помощью болта. Роль компенсатора выполняет скоба.

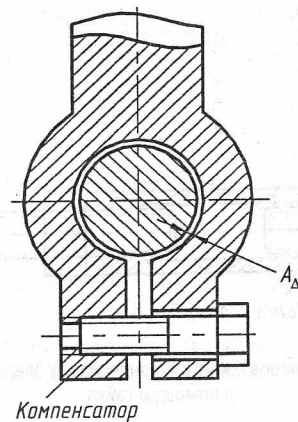


Рис. 1.23. Способ регулирования зазора (натяга) в клеммовом соединении

Точность замыкающего звена обеспечивают перемещением клина (рис. 1.24), а величину радиального зазора — перемещением конусной разрезной втулки в осевом направлении (рис. 1.25).

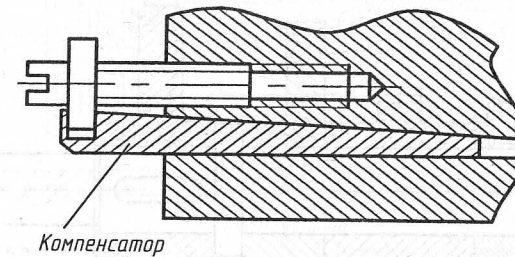


Рис. 1.24. Способ регулирования зазора (натяга) с помощью клина

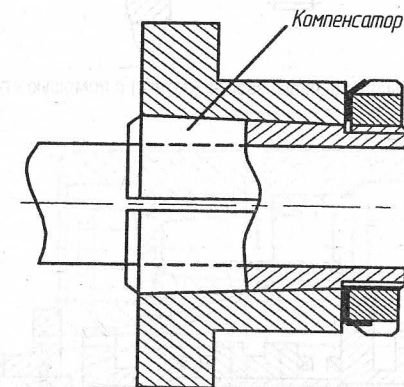


Рис. 1.25. Способ регулирования радиального зазора (натяга) с помощью конусной разрезной втулки

Точность зазоров в осевом направлении (рис. 1.26 и 1.27) обеспечивают перемещением и фиксацией подвижных компенсаторов, выполненных в виде кольца и втулки.

Диаметральный зазор обычно обеспечивают включением в размерную цепь звена (кольца) из эластичного материала (рис. 1.28).

Несовпадение и частичный перекося осей соединяемых валов компенсируют за счет использования упругих элементов в муфте (рис. 1.29).

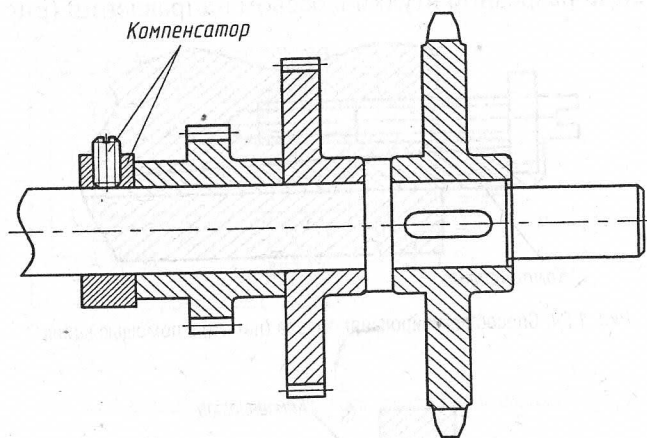


Рис. 1.26. Способ регулирования осевого зазора (натяга) с помощью втулки и винта

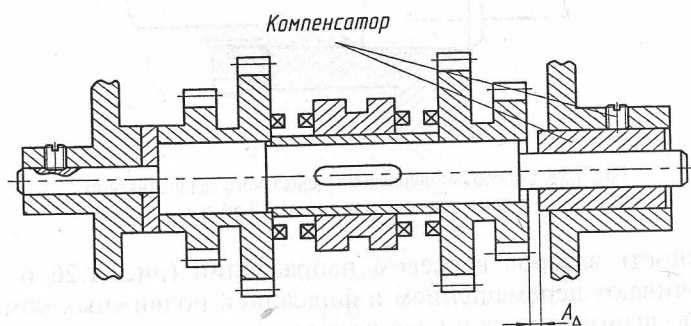


Рис. 1.27. Способ регулирования осевого зазора в зубчатом механизме

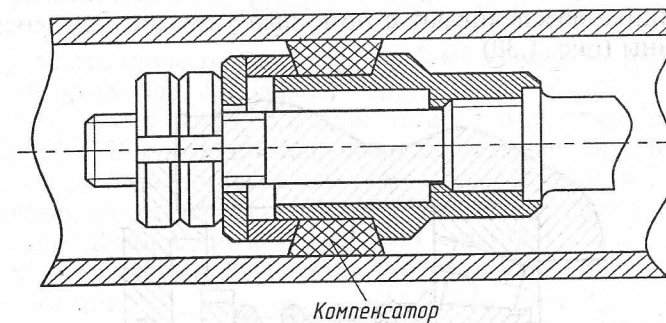


Рис. 1.28. Способ регулирования диаметального зазора (натяга) с помощью кольца из эластичного материала

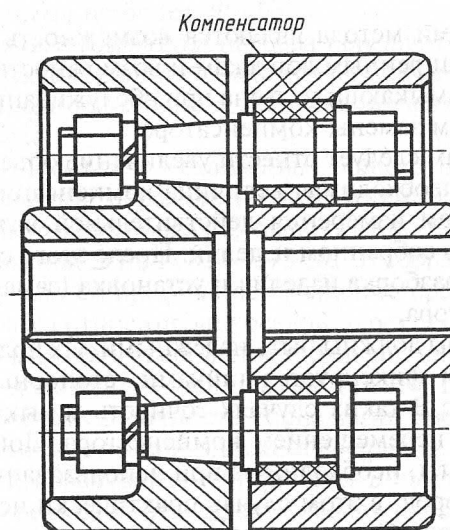


Рис. 1.29. Способ компенсации перекоса осей соединяемых валов

Необходимую величину осевого зазора в коническом ролико-подшипнике обеспечивают с помощью упругого компенсатора в пружины (рис. 1.30).

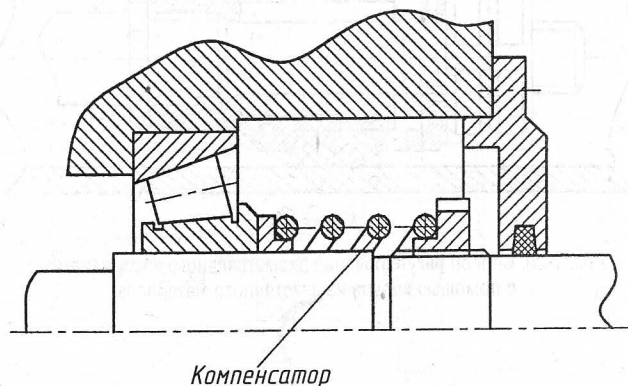


Рис. 1.30. Способ использования пружины в качестве компенсатора

Достоинствами метода являются возможность изготовления деталей по расширенным допускам и возможность восстановления точности замыкающего звена при обслуживании или ремонте изделия путем замены компенсатора.

К недостаткам следует отнести увеличение объема сборочных работ, так как необходимая величина компенсации может быть определена путем измерения действительной величины замыкающего звена в собранном изделии. После этого следует полная или частичная разборка изделия и установка (замена) необходимого компенсатора.

Компенсаторы должны быть надежными. Их положение в собранном изделии фиксируется гайками, стопорными винтами, клиньями и т.п. В таких случаях точность замыкающего звена обеспечивается перемещением компенсатора. Дополнительные сборочные работы, необходимые при использовании неподвижных компенсаторов, в этом случае практически исключаются.

Метод пригонки. Сущность метода такая же, как и метода регулирования. Отличие состоит в том, что на компенсирующем звене оставляют дополнительный слой металла TA_{Δ} . После сборки и установления действительной величины замыкающего звена с компенсатора снимают требуемый слой металла.

1.8.5. Пример расчета размерной цепи

В качестве примера рассмотрен расчет размерной цепи B червячного редуктора, сборочный чертеж которого представлен на рис. 1.31, a и b (спецификация деталей редуктора приведена в табл. 1.14). Редуктор предназначен для передачи крутящего момента от электродвигателя, соединенного с червяком 14, на вал червячного колеса 10. Редуктор имеет следующие характеристики:

- 1) передаточное число редуктора $i = 36$ ($Z_{\text{ч}} = 1$, $Z_{\text{к}} = 36$);
- 2) частота вращения тихоходного вала (вала червячного колеса) $n = 20 \text{ мин}^{-1}$;
- 3) крутящий момент на тихоходном валу $M_{\text{кр}} = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- 4) высота расположения оси червяка от основания

$$h_{\text{ч}} = (63,0 \pm 0,1) \text{ мм};$$

- 5) высота расположения оси тихоходного вала

$$h_{\text{т}} = (330,0 \pm 0,1) \text{ мм};$$

- 6) уровень шума не более 20 дБ;
- 7) допустимая температура нагрева передачи $t_{\text{д}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 8) условия эксплуатации: температура окружающей среды от -30 до $+30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность не выше 90 %, взрывобезопасная среда.

Редуктор относится к механизмам общего назначения. Поэтому для червячной передачи в соответствии с действующими рекомендациями целесообразно выбрать 8-ю степень точности с видом сопряжения D по ГОСТ 3675–81. В собранной червячной передаче допускается предельное смещение средней плоскости червячного колеса относительно осевой плоскости червяка в пределах $f_x = \pm 53 \text{ мкм}$. Это требование определяет содержание задачи, которую необходимо решить на стадии проектирования: обеспечить требуемую точность совпадения средней плоскости червячного колеса и осевой плоскости червяка.

Замыкающим звеном размерной цепи B на рис. 1.31, с помощью которой решается эта задача, является расстояние между средней плоскостью червячного колеса и осевой плоскостью червяка B_{Δ} . Номинальное значение B_{Δ} равно нулю, так как указанные плоскости номинально совпадают, допуск замыкающего звена $TB_{\Delta} = 106 \text{ мкм} = 0,106 \text{ мм}$, координата середины поля допуска $EcB_{\Delta} = 0$.

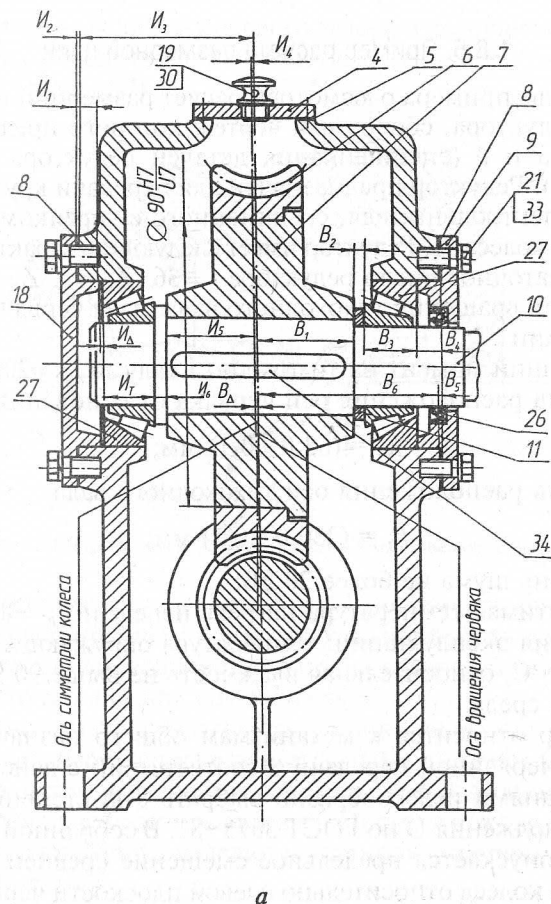
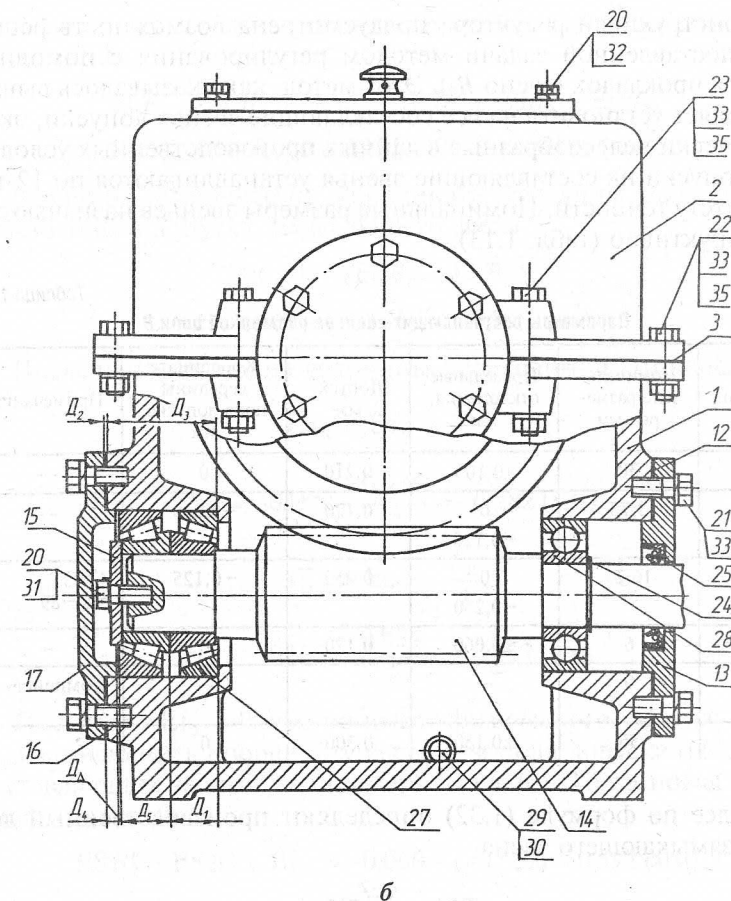
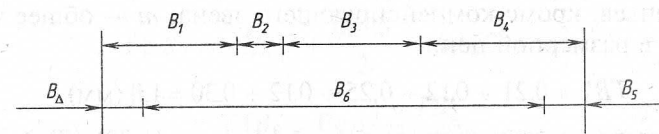


Рис. 1.31. Сборочный

Составляющие звенья размерной цепи B (рис. 1.32): B_1 — расстояние от базового торца червячного колеса до его средней плоскости; B_2 — ширина кольца 11 ; B_3 — монтажная высота подшипника 27 ; B_4 — длина буртика крышки подшипника; B_5 — толщина набора прокладок 8 ; B_6 — расстояние от оси отверстия под опоры червяка до торца правого отверстия в корпусе под опоры вала колеса.



чертеж червячного редуктора

Рис. 1.32. Схема размерной цепи B

Конструкцией редуктора предусмотрена возможность решения поставленной задачи методом регулирования с помощью набора прокладок (звено B_5). Этот метод, как указывалось выше, позволяет установить на все составляющие звенья допуски, экономически целесообразные в данных производственных условиях. Допуски на составляющие звенья устанавливаются по 12-му качеству точности. Номинальные размеры звеньев назначаются конструктивно (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Параметры составляющих звеньев размерной цепи В

Звено	Номинальные размеры, мм	Предельные отклонения, мм	Допуск, мм	Координата середины поля допуска, мм	Примечания
B_1	30	$\pm 0,105$	0,210	0	—
B_2	3,75	0 $-0,120$	0,120	$-0,060$	—
B_3	16,25	0 $-0,250$	0,250	$-0,125$	ГОСТ 520-89
B_4	6	$\pm 0,060$	0,120	0	—
B_5	0	—	—	—	Компенсатор
B_6	56	$\pm 0,150$	0,300	0	—

Далее по формуле (1.32) определяют производственный допуск замыкающего звена

$$TB'_\Delta = \sum_{i=1}^{m-2} TB'_i,$$

где TB'_i — производственные (увеличенные) допуски составляющих звеньев, кроме компенсирующего звена; m — общее число звеньев в размерной цепи.

$$TB'_\Delta = 0,21 + 0,12 + 0,25 + 0,12 + 0,30 = 1,0 \text{ (мм)}.$$

Величина компенсации согласно формуле (1.33) ($T_{\text{МК}}$ принят по 10-му качеству точности, $T_{\text{МК}} = 0,04$ мм) равна

$$T_K = 1,0 - 0,106 + 0,04 = 0,934 \text{ (мм)}.$$

Координата середины производственного допуска замыкающего звена

$$EcB'_\Delta = EcB'_1 + EcB'_2 + EcB'_3 + EcB'_4 - EcB'_6;$$

$$EcB'_\Delta = 0 - 0,060 - 0,125 - 0 - 0 = -0,185 \text{ (мм)}.$$

Величина компенсации координаты середины поля производственного допуска замыкающего звена

$$Ec_K = -(EcB_\Delta - EcB'_\Delta),$$

$$Ec_K = -(0 - (-0,185)) = -0,185 \text{ (мм)}.$$

Предельные значения величины необходимой компенсации

$$ES_K = Ec_K + \frac{T_K}{2}, \quad (1.34)$$

$$ES_K = -0,185 + \frac{0,934}{2} = +0,282 \text{ (мм)};$$

$$EI_K = Ec_K - \frac{T_K}{2}, \quad (1.35)$$

$$EI_K = -0,185 - \frac{0,934}{2} = -0,652 \text{ (мм)}.$$

Поскольку $EI_K < 0$, что не имеет физического смысла, необходимо изменить координату середины поля допуска одного из составляющих звеньев (например, звена B_2). Тогда новая координата звена B_2 :

$$ESB''_2 = ESB'_2 - EI_K = -0,060 - (-0,652) = 0,592 \text{ (мм)}.$$

Для звена B_2 определяют новые предельные отклонения:

$$ESB''_2 = EcB'_2 + \frac{TB'_2}{2}, \quad (1.36)$$

$$ESB''_2 = +0,592 + \frac{0,120}{2} = +0,652 \text{ (мм)};$$

$$EIB''_2 = EcB'_2 - \frac{TB'_2}{2}, \quad (1.37)$$

$$EIB''_2 = +0,592 - \frac{0,120}{2} = +0,532 \text{ (мм)}.$$

При $EI_k > 0$ новые предельные отклонения звена B_2 не рассчитывают.

По условию $S \leq TB_\Delta$, поэтому принимаем толщину S одной прокладки равной 0,106 мм.

Тогда необходимое число прокладок определяется по формуле

$$N = \frac{T_k}{S}, \quad (1.38)$$

$$N = \frac{0,934}{0,106} = 8,8, \text{ т.е. } N = 9.$$

Таким образом, для обеспечения точности замыкающего звена B_Δ (совпадение средней плоскости червячного колеса и осевой плоскости червяка) при сборке необходимо иметь девять прокладок толщиной 0,106 мм, изготовленных с допуском 0,04 мм. При этом составляющие звенья, как было установлено выше, могут быть изготовлены по 12-му качеству точности.

С помощью представленных на рис. 1.31 размерных цепей I и D аналогично решаются задачи обеспечения точности вращения конических подшипников, на которых установлены червяк и вал червячного колеса.

1.9. Исходные данные и последовательность разработки технологического процесса сборки

Исходными данными для разработки технологического процесса сборки являются:

- ♦ годовой объем выпуска изделий и условия осуществления технологического процесса;
- ♦ сборочные чертежи изделия и узлов, спецификации деталей;
- ♦ технические условия сборки и испытания изделия;
- ♦ рабочие чертежи деталей, входящих в изделие;
- ♦ объем кооперирования;
- ♦ каталоги и справочники по сборочному оборудованию и технологической оснастке;
- ♦ образец собираемого изделия (в серийном и массовом производстве);
- ♦ данные о сборочном производстве, где предполагается собирать изделие.

Разработка технологического процесса сборки производится на основе исходных данных и с учетом основных правил, изложенных в ГОСТ 14.307–73, и включает комплекс взаимосвязанных работ, обычно осуществляемых в следующем порядке.

1. В зависимости от годового объема выпуска устанавливается целесообразная организационная форма сборки. При этом общую трудоемкость сборки изделия ориентировочно определяют методом сравнения с трудоемкостью сборки аналогичных машин.

2. Производят технологический анализ сборочных и рабочих чертежей деталей с позиции отработки технологичности конструкций. Сборочные чертежи при этом должны содержать все необходимые виды и разрезы, спецификации, размеры, выдерживаемые при сборке, зазоры в соединениях, которые должны быть обеспечены при сборке, технические условия.

3. Производят размерный анализ конструкций собираемых изделий с выполнением соответствующих расчетов, устанавливают рациональные методы достижения точности замыкающих звеньев.

4. Выполняют разбивку изделия на сборочные единицы с учетом следующих обстоятельств: выделение того или иного соединения в сборочную единицу должно быть целесообразным как в конструктивном, так и в технологическом отношении; должна быть обеспечена правильная технологическая связь и последовательность сборочных операций; на общую сборку должно подаваться возможно большее число предварительно скомплектованных сборочных единиц и возможно меньшее — отдельных деталей; общая сборка должна быть максимально освобождена от выполнения мелких сборочных соединений и различных вспомогательных работ.

5. Устанавливают последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия, составляют схемы общей сборки и узловых сборок изделия.

6. Определяют целесообразную в данных производственных условиях степень концентрации (дифференциации) проектируемого процесса сборки.

7. Определяют наиболее производительные, экономичные и технически целесообразные способы соединения, проверки положений и фиксации всех составляющих изделие сборочных единиц и деталей. Формируют структуру и содержание техноло-

гических операций сборки и задают методы контроля и окончательных испытаний изделия.

8. Разрабатывают необходимую для выполнения технологического процесса нестандартную технологическую оснастку.

9. Производят техническое нормирование сборочных работ и рассчитывают экономические показатели процесса сборки.

10. Оформляют техническую документацию процесса сборки.

1.10. Составление технологической схемы и циклограммы сборки машины

Последовательность сборки, в основном, определяется конструкцией изделия, компоновкой деталей, методами достижения требуемой точности и может быть представлена в виде **технологической схемы сборки** — наглядного изображения порядка сборки машины и входящих в нее деталей сборочных единиц или комплектов. На таких схемах каждый элемент изделия обозначают прямоугольником, в котором указывают наименование составной части, позицию на сборочном чертеже изделия, количество. Деталь или собранная ранее сборочная единица, с которой, присоединяя к ней другие детали и сборочные единицы, начинают сборку изделия, называется **базовой деталью** или **базовой сборочной единицей**. Процесс сборки изображается на схеме горизонтальной (вертикальной) линией, направленной от прямоугольника с изображением базовой детали к прямоугольнику, изображающему готовое изделие. Сверху и снизу от горизонтальной (справа и слева от вертикальной) линии показывают прямоугольниками, условно обозначающие детали и сборочные единицы в соответствии с последовательностью их присоединения к базовой детали. На схеме сборки также условными значками (кружками, треугольниками с буквами) показывают места регулировки, пригонки и другие операции.

Использование технологических схем сборки целесообразно в любом производстве. В массовом и серийном производствах они позволяют быстрее освоить сборку сложных машин, когда еще не налажено ритмичное поступление деталей. При единичном производстве тяжелых машин наличия схемы обычно достаточно для осуществления сборочного процесса.

В дополнение к схемам сборки составляют типовые технологические инструкции с указаниями по выполнению специальных

операций, например, при посадке шарико- и роликоподшипников, по гидравлическому испытанию узлов и деталей, запрессовке и распрессовке деталей с применением масла под высоким давлением, посадке деталей нагревом или охлаждением хладагентом, сборке узлов с использованием пластмассовой прослойки, балансировке, испытанию машины. При наличии сложных и ответственных сборочных операций схема сборки должна сопровождаться указаниями по их выполнению. К схеме прилагают нормировочную ведомость.

Технологическая схема сборки разрабатывается технологом. Он должен определить сборочные единицы изделия, выделив базовые элементы и количество разъемов, проверить возможность обеспечения требуемой точности сборки, установить шифр или индекс каждой сборочной единицы для разработки технологической документации.

Одним из основных условий выделения сборочной единицы является возможность ее сборки независимо от других сборочных единиц. Кроме сборочных единиц определяют детали и составные части изделия, которые поступают в готовом виде. В результате должна быть составлена схема сборочной связи отдельных деталей и составных частей данного изделия, которая определяет сборочный состав изделия.

Подготовка схем сборки значительно облегчается, если имеется образец, пробная разборка которого упрощает определение этапов сборки.

Технологическая схема сборки является основной для проектирования технологического процесса сборки. Для сложного изделия иногда целесообразно вначале разработать общую схему его сборки, а затем — схему узловых сборок, т.е. сборок узлов 1-го, 2-го и более высоких порядков.

Условная схема сборки червячного редуктора (см. рис. 1.31) дана на рис. 1.33. Наименования деталей и изделий взяты из спецификации (табл. 1.14).

Таблица 1.14

Спецификация деталей червячного редуктора

Позиция	Наименование	Количество мест
Документация		
Сборочный чертеж		
<i>Детали</i>		
1	Корпус	1
2	Крышка	1
3	Прокладка	1
4	Крышка	1
5	Прокладка	1
6	Венец колеса	1
7	Ступица колеса	1
8	Прокладка	2
9	Крышка	1
10	Вал червячного колеса	1
11	Кольцо	1
12	Прокладка	1
13	Крышка	1
14	Червяк	1
15	Шайба	1
16	Прокладка	1
17	Крышка	1
18	Крышка	1
19	Пробка	1
Стандартные изделия		
<i>Болты ГОСТ 7798-70</i>		
20	М6-6gx10	5
21	М8-6gx15	24
22	М8-6gx18	4
23	М8-6gx40	4
24	Кольцо А20 ГОСТ 13942-68	1
25	Манжета 1-20x35-3 ГОСТ 8752-79	1
26	Манжета 1-25x35-3 ГОСТ 8752-79	1
27	Подшипник 7205 ГОСТ 333-71	4
28	Подшипник 204 ГОСТ 8338-89	1
29	Пробка М10х1,0 ГОСТ 12202-66	1
30	Прокладка II 10х14х1 ГОСТ 3138-62	1
31	Шайба стопорная 6,5 ГОСТ 3693-81	1
32	Шайба 6 65Г ГОСТ 6402-70	4
33	Шайба 8 65Г ГОСТ 6402-70	32
34	Шпонка 8х7х35 ГОСТ 23360-78	1
35	Гайка М8-6Н ГОСТ 3915-70	8

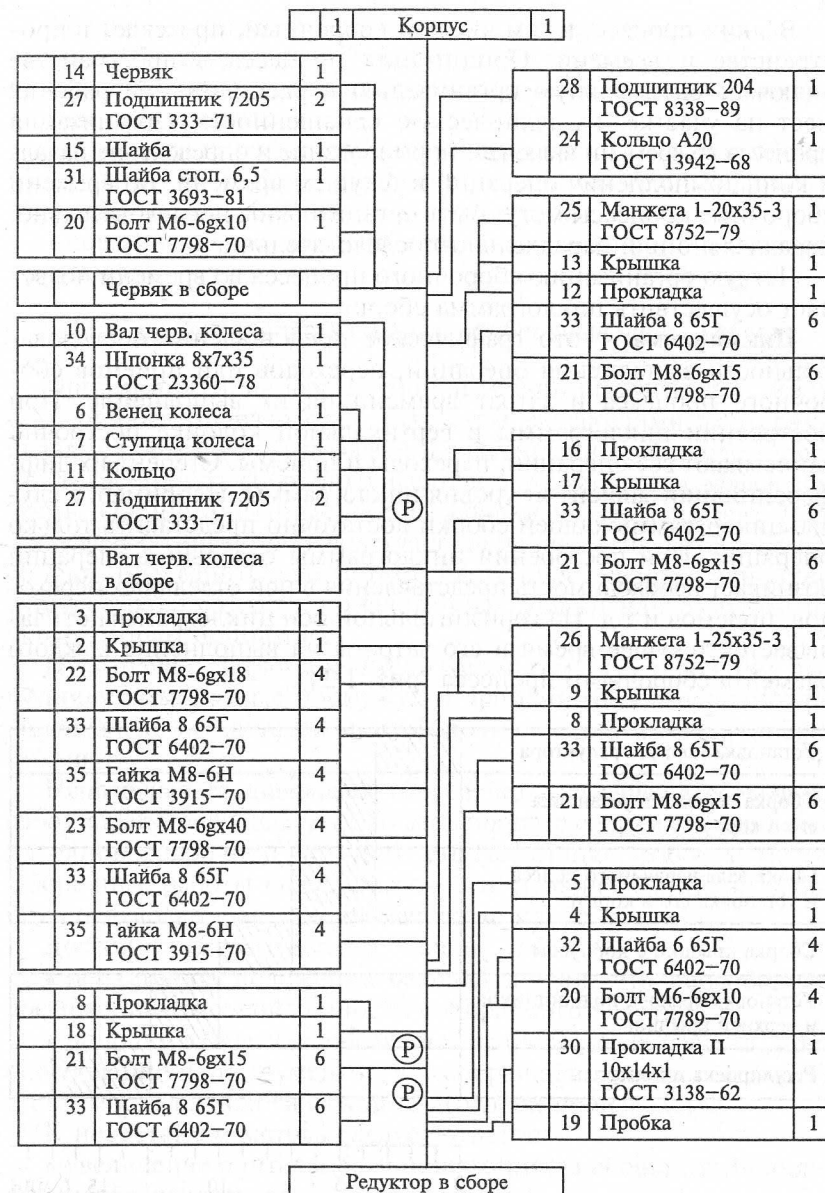


Рис. 1.33. Схема сборки червячного редуктора

Всякий процесс, в том числе и сборочный, протекает в пространстве и времени. Организация процесса в пространстве включает оптимальную организацию и расположение рабочих мест на участке, их техническую оснащенность. Организация процесса во времени включает нормирование и определение начала и конца выполнения операций в текущем времени. Во времени сборочные процессы могут быть организованы последовательно, параллельно или параллельно-последовательно.

Четкую организацию сборочного процесса во времени позволяет осуществить циклограмма сборки.

Циклограмма — это графическое представление последовательности выполнения операций, переходов или приемов сборочного процесса и затрат времени на их выполнение. При построении циклограммы в вертикальной колонке построчно записывают все операции, переходы и приемы. Степень их дифференциации зависит от уровня циклограммы. Например, в случае циклограммы общей сборки достаточно представить только операции. При построении циклограммы отдельных операций возникает необходимость представления в ней отдельных переходов, приемов и т.д. На горизонтальной оси циклограммы откладывается текущее время и его затраты на выполнение каждого элемента сборочного процесса (рис. 1.34).

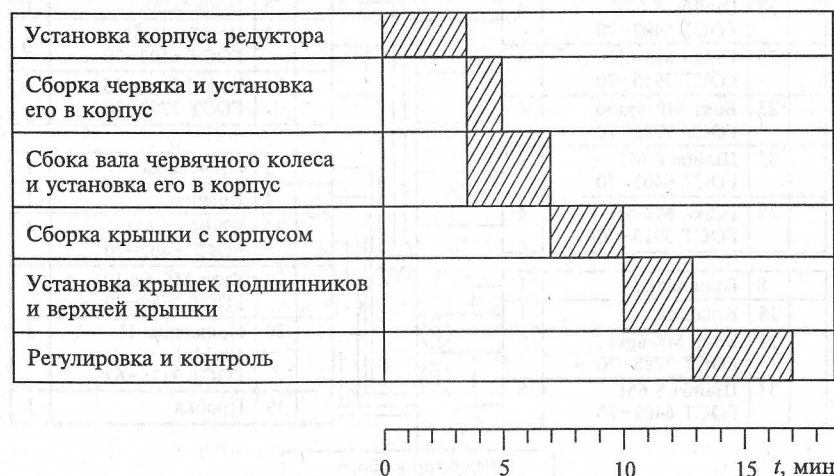


Рис. 1.34. Циклограмма сборки червячного редуктора

Анализ циклограммы позволяет не только определить общее время цикла сборки, но и наметить пути его сокращения, среди которых можно выделить два основных, наиболее часто используемых на практике:

- ♦ сокращение затрат времени на выполнение отдельных операций (переходов, приемов) за счет изменения режимов работы сборочного оборудования;
- ♦ совмещение во времени отдельных операций (переходов, приемов).

1.11. Типы производства и организационные формы сборки

Организационная форма сборки машин определяется типом и условиями производства. При этом решающими факторами являются объем выпуска изделий в календарном периоде времени, трудоемкость сборочных работ и экономическая эффективность. Организационные формы сборки указаны на рис. 1.35, а их связь с типом производства дана на рис. 1.36. Трудоемкость сборки предварительно может быть определена сравнением с трудоемкостью сборки аналогичных машин или расчетом по укрупненным нормативам.

Непоточная сборка характеризуется тем, что операции выполняются за разные промежутки времени, поэтому возможно «пролеживание» деталей или сборочных единиц между операциями.

Непоточная стационарная сборка без расчленения сборочных работ характеризуется тем, что весь процесс сборки выполняется на одной сборочной позиции: стенде, станке, рабочем месте. Сборочные работы выполняются, как правило, бригадой рабочих последовательно, т.е. от начала до конца.

Достоинства этого метода сборки:

- ♦ неизменное положение базовой детали, что способствует достижению высокой точности собираемого изделия;
- ♦ использование универсальных транспортных средств, приспособлений и инструментов, что сокращает продолжительность и стоимость технологической подготовки производства.

К недостаткам метода следует отнести:

- ♦ увеличение длительности общего цикла сборки, выполняемой последовательно;
- ♦ требование высокой квалификации рабочих.

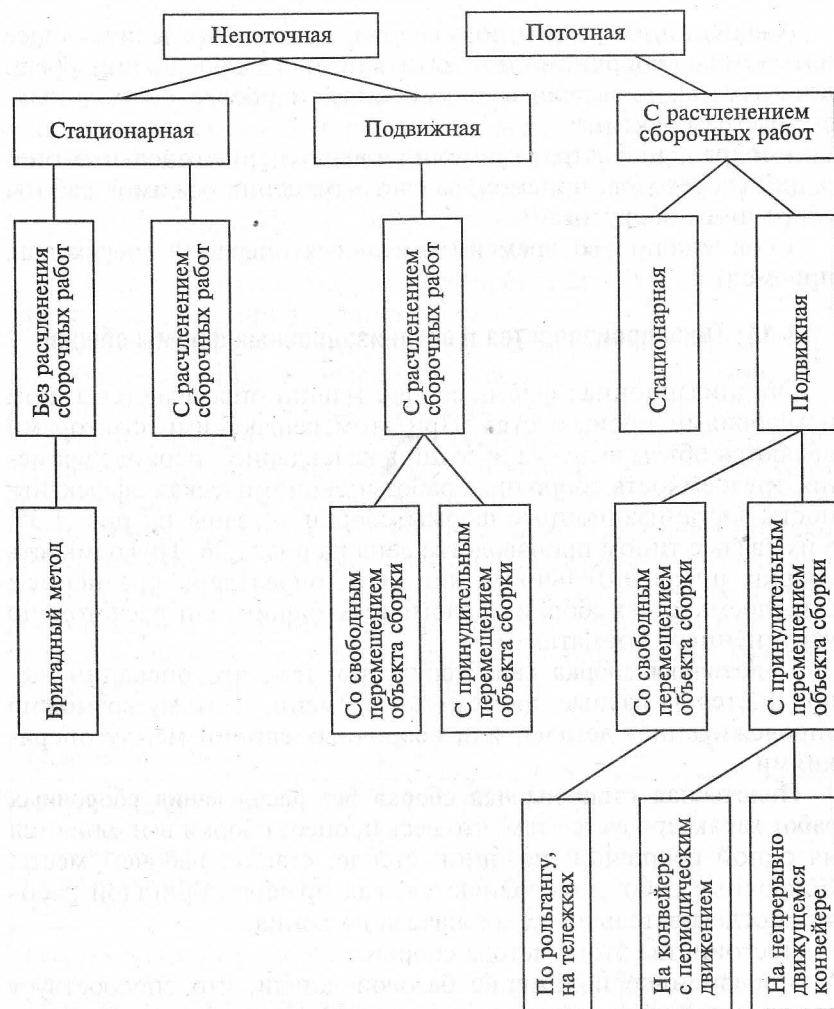


Рис. 1.35. Организационные формы сборки

Областью применения такой организационной формы сборки является единичное и мелкосерийное производство крупногабаритных изделий.

Непоточная стационарная сборка с расчленением сборочных работ предполагает дифференциацию процесса на узловую и общую

Тип производства

Единичное		Мелкосерийное		Серийное		Крупносерийное		Массовое	
1. Объем выпуска изделий									
Трудоёмкость сборки изделия, ч	Средне-месячный выпуск, шт.	Трудоёмкость сборки изделия, ч	Средне-месячный выпуск, шт.	Трудоёмкость сборки изделия, ч	Средне-месячный выпуск, шт.	Трудоёмкость сборки изделия, ч	Средне-месячный выпуск, шт.	Трудоёмкость сборки изделия, ч	Средне-месячный выпуск, шт.
Св. 2500	До 1	Св. 2500	2-4	Св. 2500	Св. 5	Св. 2500	—	Св. 2500	—
250-2500	До 3	250-2500	3-8	250-2500	9-60	250-2500	Св. 60	250-2500	—
25-250	До 5	25-250	8-30	25-250	31-350	25-250	351-1500	25-250	Св. 1500
2,5-25	До 8	2,5-25	9-50	2,5-25	51-600	2,5-25	601-3000	2,5-25	Св. 3000
0,25-2,50	—	0,25-2,50	До 80	0,25-2,50	81-800	0,25-2,50	801-4500	0,25-2,50	Св. 4500
До 0,25	—	До 0,25	—	До 0,25	—	До 0,25	1000-6000	До 0,25	Св. 6000
2. Номенклатура									
Различная	Состоит из изделий, выпускаемых мелкими партиями или сериями, систематически не повторяющимися	Состоит из изделий, выпускаемых мелкими партиями или сериями, систематически повторяющимися	Состоит из изделий, выпускаемых крупными партиями или сериями, систематически повторяющимися	Постоянная					
3. Организационная форма									
Стационарная непоточная сборка без расчленения процесса	Стационарная непоточная сборка без и с расчленением процесса	Стационарная непоточная сборка без расчленения процесса	Подвижная поточная сборка с расчленением процесса на операции и передачей собираемого объекта от одной позиции к другой посредством механических транспортирующих устройств; такт сборки строго регламентирован	Подвижная поточная сборка с расчленением процесса на операции и передачей собираемого объекта от одной позиции к другой посредством механических транспортирующих устройств; такт сборки строго регламентирован					

Рис. 1.36. Связь типа производства и организационной формы сборки

сборку. Сборка каждой единицы и общая сборка выполняются в одно и то же время разными бригадами (сборщиками). Собираемая машина остается неподвижной на одном стенде. В результате такой организации длительность процесса сборки сокращается.

Расчетное число рабочих позиций или стендов для параллельной сборки одинаковых объектов определяется по формуле

$$\gamma_0 = \frac{T_0 - T_c}{T}, \quad (1.39)$$

где T_0 — расчетная трудоемкость всех переходов одного объекта; T_c — расчетная трудоемкость переходов, выполнение которых совмещено во времени с выполнением других объектов; T — расчетный такт сборки.

Расчетный такт выпуска определяется по формуле

$$T = \frac{60\Phi}{N}, \quad (1.40)$$

где Φ — действительный фонд рабочего времени, ч; N — годовой объем выпуска изделий.

Непоточная подвижная сборка характеризуется последовательным перемещением собираемого изделия от одной позиции к другой, которое может быть свободным или принудительным. Технологический процесс при этом разбивается на отдельные операции, выполняемые одним или несколькими рабочими.

При сборке со свободным перемещением рабочих, закончив свою операцию, с помощью средств механизации или вручную перемещает собираемую сборочную единицу на следующую рабочую позицию.

При сборке с принудительным перемещением объект сборки передвигается при помощи конвейера или тележек, имеющих общий привод.

Расчетное число рабочих позиций, которые должен пройти собираемый объект в процессе сборки, определяется по формуле

$$q_1 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_n)\gamma_1}, \quad (1.41)$$

где t_n — расчетное время, необходимое для перемещения одного собираемого объекта с рабочей позиции на следующую; γ_1 —

число параллельных потоков, необходимых для выполнения производственной программы параллельной сборки одинаковых собираемых объектов.

Число параллельных потоков определяется по формуле

$$\gamma_1 = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{max}}}{T}, \quad (1.42)$$

где $T_{\text{оп}}^{\text{max}}$ — продолжительность наиболее длительной сборочной операции (трудоемкость всех несовмещенных переходов, составляющих наиболее длительную операцию).

Поточная сборка характеризуется тем, что операции выполняются за одинаковый промежуток времени — такт или за промежуток времени, кратный такту. Одной из форм поточной сборки является *поточная стационарная сборка*. При такой организации сборки все собираемые объекты остаются на рабочих позициях в течение всего процесса сборки. Рабочие или бригады последовательно переходят от одних собираемых объектов к следующим через промежутки времени, равные такту. Каждый рабочий или бригада выполняет закрепленную за ними одну и ту же операцию.

Расчетное число рабочих или бригад, необходимых для одного потока, определяется по формуле

$$q_2 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t'_p)\gamma_2}, \quad (1.43)$$

где t'_p — расчетное время для перехода рабочих (бригады) от одного собираемого объекта к другому; γ_2 — число параллельных потоков.

Значение γ_2 рассчитывается по формуле

$$\gamma_2 = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{max}} + t'_p}{T}. \quad (1.44)$$

Поточная стационарная сборка применяется при сборке крупных и громоздких изделий, неудобных для транспортирования.

Основные преимущества такого вида сборки — равномерный выпуск продукции, короткий цикл сборки, высокая производительность. Область использования — серийное производство.

Поточная подвижная сборка может быть со свободным или с принудительным ритмом. В первом случае рабочий передает собираемое изделие на следующую операцию по мере выполнения своей, во втором случае (работе с принудительно регулируемым ритмом) момент передачи на следующую операцию определяется сигналом (световым или звуковым) или скоростью непрерывно или периодически движущегося конвейера.

Поточная сборка сокращает длительность производственного цикла, уменьшает межоперационные заделы деталей, повышает специализацию сборщиков и возможности механизации и автоматизации сборочных операций, что в конечном счете приводит к снижению трудоемкости сборки на 35–50 %.

Главным условием организации поточной сборки является обеспечение взаимозаменяемости собираемых узлов и отдельных деталей. В случае необходимости пригоночных работ они должны производиться за пределами потока при предварительной сборке. Конструкция собираемого на потоке изделия должна быть хорошо отработана на технологичность.

Организация поточной сборки экономически целесообразна при выпуске большого объема изделий.

Расчетное число рабочих позиций, которые должен пройти собираемый объект, определяют по следующим формулам:

♦ при сборке с непрерывным движением объекта

$$q_3 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_p'')\gamma_3}, \quad (1.45)$$

♦ при сборке с периодическим движением собираемого объекта

$$q_4 = \frac{T_o - T_c}{(T - t_n)\gamma_2}, \quad (1.46)$$

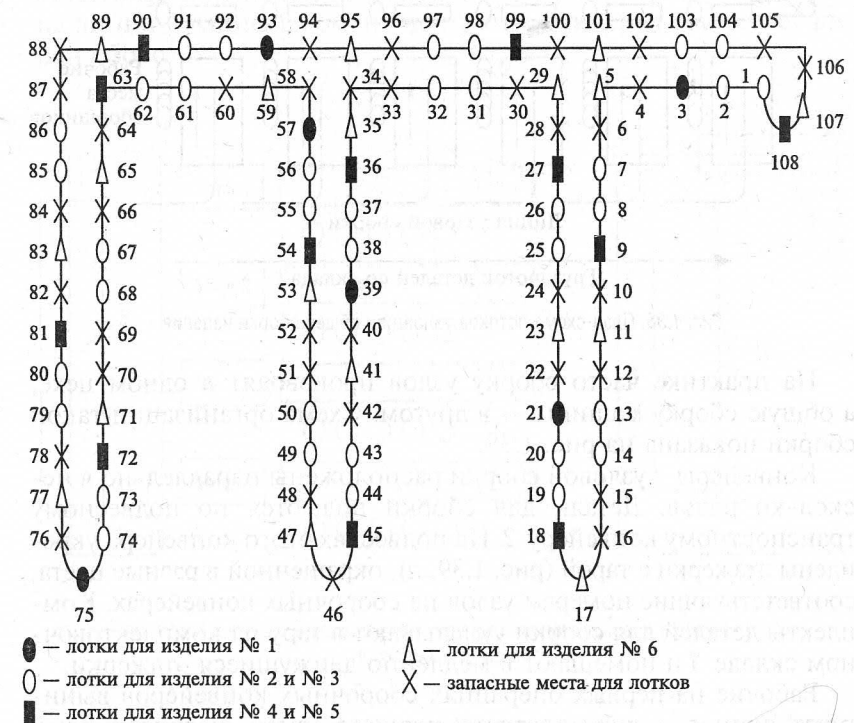
где t_p'' — расчетное время, необходимое рабочему для возвращения в исходное положение после выполнения операции; γ_3 — число параллельных потоков, необходимых для выполнения программы при параллельной поточной подвижной сборке объектов:

$$\gamma_3 = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{max}} + t_p''}{T}. \quad (1.47)$$

Особый интерес представляет поточный принцип сборки в условиях производств, выпускающих одновременно несколько

изделий. Институт Оргстанкинпром (РФ) совместно с ведущими заводами разработана организация сборочных процессов на переменнo-поточном конвейере с регламентированным ритмом. Благодаря этому удалось успешно провести на одном конвейере одновременно сборку нескольких изделий с различными темпами.

Практически такой процесс сборки осуществляется следующим образом: ряд штырей, укрепленных на конвейерной цепи, увлекает при своем движении лотки с комплектами деталей для сборки определенных изделий. Эти комплекты помещают в лотки в комплектовочном отделении до начала сборки. За каждым изделием закреплено определенное число лотков, расположенных на линии в соответствии с ритмом сборки этого изделия (рис. 1.37).



Для удобства комплектования и опознавания лотки для различных изделий окрашены в разные цвета, а для распределения лотков на дублирующих рабочих местах они снабжены нумерацией. В конце сборочной линии находится приемный пункт, где собранные изделия осматривают и затем отправляют по транспортеру в упаковочное отделение.

При поточной сборке узловую сборку целесообразно располагать перпендикулярно линии общей сборки изделия таким образом, чтобы конечная операция сборки узла завершалась вблизи места его установки на линии общей сборки (рис. 1.38).

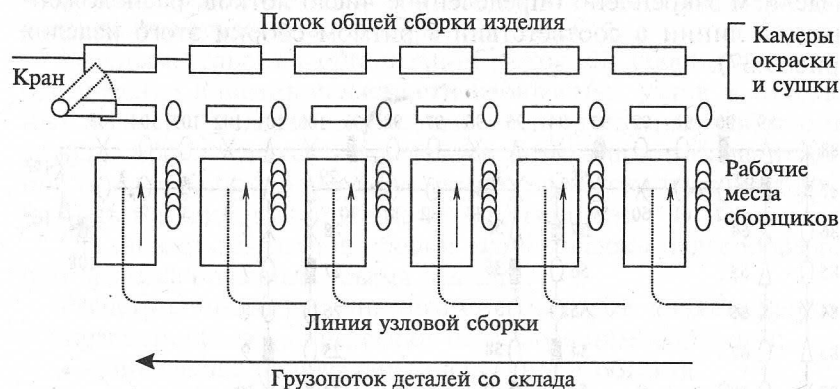


Рис. 1.38. План-схема потоков узловой и общей сборки изделия

На практике часто сборку узлов производят в одном цехе, а общую сборку машины — в другом. Схема организации такой сборки показана на рис. 1.39.

Конвейеры 1 узловой сборки расположены параллельно в несколько рядов. Детали для сборки подаются по подвесному транспортному конвейеру 2. На подвесках этого конвейера укреплены этажерки с тарой (рис. 1.39, а), окрашенной в разные цвета, соответствующие номерам узлов на сборочных конвейерах. Комплекты деталей для сборки укладывают в тару на комплектовочном складе 3 и помещают в медленно движущиеся этажерки.

Рабочие на первых операциях сборочных конвейеров вынимают ящики — тару соответствующего цвета, перекалывают комплект деталей в тару, укрепленную на конвейере 1, а пустой ящик вставляют обратно в этажерку (эту же или другую). Этот

комплект деталей обеспечивает все рабочие места конвейера узловой сборки. На последнем рабочем месте собранный узел устанавливают в тару (того же цвета, что и в начале сборки), которую сборщик вдвигает в одну из этажерок подвешенного транспортного конвейера 4, а он подает эти узлы на общую сборку 6 (рис. 1.39, б). Отдельные детали, которые должны поступать на общую сборку не в виде узлов, помещают в тару в комплектовочной кладовой 5. Транспортный конвейер 4 проходит вдоль линии общей сборки 6 и требуемые на соответствующих рабочих местах узлы и детали (имеют определенный цвет тары) извлекают из этажерок, а освободившаяся тара снова отправляется на загрузку. Строгое соблюдение ритма транспортных конвейеров 2 и 4 и сборочных конвейеров узловой и общей сборки обязательно. Если по какой-либо причине детали или собранные узлы на линии в данный момент не нужны, этажерка совершает второй оборот.

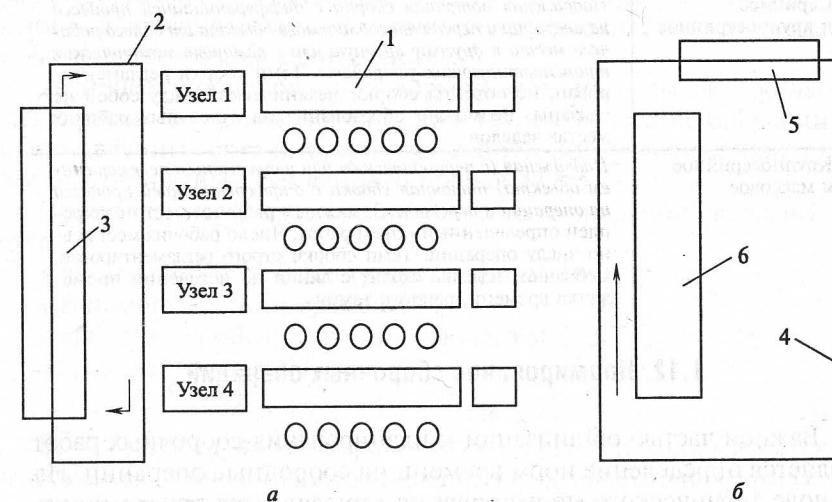


Рис. 1.39. Схема организации работ при выполнении узловой и общей сборки в разных помещениях

В табл. 1.15 приведены основные организационные формы сборочных работ в машиностроении, в зависимости от типа производства.

Таблица 1.15

Основные организационные формы сборочных работ в машиностроении

Тип производства	Организационные формы сборочных работ
Единичное и мелкосерийное	Стационарная сборка без расчленения процесса. Объект сборки один, неподвижен. Все работы выполняются одной бригадой высококвалифицированных сборщиков, заранее виды работ между ними не распределены
Мелкосерийное	Стационарная сборка с расчленением работ. Объект сборки один, он неподвижен. Весь объем сборочных работ заранее разделен на комплексы и закреплен за отдельными рабочими бригадами, специализирующимися на выполнении соответствующих видов работ
Серийное	Стационарная поточная сборка с расчленением работ и регламентированным темпом при большом оперативном времени. Объектов сборки несколько, они расставлены на стендах в линию. Объем сборочных работ разбит на комплексы, число которых равно числу одновременно собираемых изделий. Число бригад на сборке равно числу объектов. Каждая бригада специализируется на одном комплексе работ. Выполнив свой комплекс на одном объекте, она переходит на новый объект
Серийное и крупносерийное	Подвижная поточная сборка с дифференциацией процесса на операции и передаче собираемого объекта от одного рабочего места к другому вручную или с помощью механических транспортирующих устройств. Темп сборки регламентирован, но объекты сборки механически между собой не связаны. Возможно образование на отдельных рабочих местах заделов
Крупносерийное и массовое	Подвижная (с периодическим или непрерывным перемещением объекта) поточная сборка с дифференциацией процесса на операции и переходы. За каждым рабочим местом закреплен определенный объем работ. Число рабочих мест равно числу операций. Темп сборки строго регламентирован. Собранный изделие сходит с линии по истечении промежутка времени, равного темпу

1.12. Нормирование сборочных операций

Важной частью организации и планирования сборочных работ является определение норм времени на сборочные операции. На основе технического нормирования определяется трудоемкость сборочных работ, производительность рабочих мест, устанавливают расценки, осуществляют календарное планирование производства, реконструируют действующие и проектируют новые сборочные цехи.

Норма времени по ГОСТ 3.1109–82 — это регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных

производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

В машиностроении и, в частности при сборке, норма времени устанавливается на технологическую операцию.

При сборке машин, как и при механической обработке заготовок деталей, различают три метода нормирования времени:

- ♦ технический расчет норм по нормативам;
- ♦ расчет норм на основе установления затрат рабочего времени наблюдением (хронометраж и фотографирование);
- ♦ определение норм по укрупненным нормативам (опытно-статистический метод).

Техническое нормирование — это установление обоснованных норм расхода производственных ресурсов (ГОСТ 3.1109–82). Под производственными ресурсами понимаются энергия, сырье, материалы, инструмент, рабочее время и т.д.

Задачи технического нормирования — выявление резервов рабочего времени, улучшение организации труда на предприятии и, в конечном счете, повышение производительности труда и увеличение объема производства.

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационных технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

Норма штучного времени на сборочные операции складывается:

- ♦ из основного (технологического) времени T_o ;
- ♦ вспомогательного времени T_v ;
- ♦ времени на обслуживание рабочего места $T_{обсл}$;
- ♦ времени на отдых $T_{отд}$, т.е.

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обсл} + T_{отд}. \quad (1.48)$$

Время на обслуживание рабочего места и отдых нормируется в процентах от оперативного времени, определяемого по формуле

$$T_{оп} = T_o + T_v, \quad (1.49)$$

тогда

$$T_{шт} = T_{оп} \left(1 + \frac{A_{отд} + A_{обсл}}{100} \right) K, \quad (1.50)$$

где $A_{отд}$ — процент оперативного времени для отдыха; $A_{обсл}$ — процент оперативного времени для обслуживания рабочего места;

K — поправочный коэффициент на оперативное время, учитывающий число приемов, выполняемых рабочим.

Нормирование сборочных работ ведется по нормативам времени на слесарно-сборочные работы.

При сборке изделий партиями определяется штучно-калькуляционное время:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n}, \quad (1.51)$$

где $T_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время на партию изделий; n — размер партии изделий.

При поточной сборке в штучное время включается время на перемещение собираемого изделия (при периодически движущемся конвейере) или на возвращение рабочего в исходную позицию (при непрерывно движущемся конвейере). Если это время перекрывается другими элементами штучного времени, то оно не учитывается.

Обеспечение синхронизации операций в условиях поточного производства часто требует корректировки: изменения содержания операций путем их совмещения или разбивки, применения более производительных средств оснащения и т.п.

Сокращению времени выполнения сборочных операций в значительной степени способствует высокая технологичность конструкций изделий.

Анализ технологичности изделия производят как на стадии проектирования, так и при его изготовлении. Под технологичностью конструкции изделия понимают совокупность свойств конструкции, позволяющих оптимизировать затраты труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения.

Правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц установлены ГОСТ 14.203–73 и предусматривают следующие требования к оформлению конструкции:

- ♦ возможность сборки машин из обособленных сборочных единиц без повторной разборки;
- ♦ максимальное использование стандартных и унифицированных сборочных единиц и деталей;

- ♦ сокращение объема пригоночных работ;
- ♦ сокращение длительности цикла узловой и общей сборки и снижение ее себестоимости.

1.13. Разработка плана сборочного участка

1.13.1. Выбор принципиальной схемы расположения оборудования

Сборочные цехи, как правило, располагаются в одном здании с механическими. В этом случае сокращаются расстояния перемещения деталей, упрощаются транспортно-погрузочные операции и возможно совместное использование промежуточных складских помещений.

Расположение сборочного цеха по отношению к механическому, а также компоновка всех вспомогательных помещений цеха должны соответствовать прямоточности производственного процесса. Сборочный цех может быть расположен в одном здании с механическим цехом либо в пролете, параллельном пролетам механического цеха (рис. 1.40, а), либо в продолженных пролетах механического цеха (рис. 1.40, б).

Расположение оборудования и рабочих мест в сборочном цехе должно соответствовать последовательности выполнения сборочного процесса. Такое расположение обеспечивает наиболее короткий путь перемещения деталей и сборочных единиц.

В общем случае рабочие места в цехе (на участке) должны располагаться в следующем порядке:

- 1) слесарная обработка деталей (в случаях, когда она необходима);
- 2) сборка подузлов и узлов;
- 3) общая сборка машины;
- 4) регулировка и обкатка машины;
- 5) испытание машины;
- 6) окраска и консервация машины.

Согласно приведенному перечню выполняемых сборочных работ располагают сборочное оборудование:

- ♦ верстаки для слесарной обработки;
- ♦ верстаки, столы, рольганги, конвейеры и специальные устройства для сборки узлов, подузлов, агрегатов машины;
- ♦ специальные стенды, рельсовые и безрельсовые тележки, рельсовые пути, подвесные монорельсовые пути, карусельные столы для общей сборки машины.

K — поправочный коэффициент на оперативное время, учитывающий число приемов, выполняемых рабочим.

Нормирование сборочных работ ведется по нормативам времени на слесарно-сборочные работы.

При сборке изделий партиями определяется штучно-калькуляционное время:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{n}, \quad (1.51)$$

где $T_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время на партию изделий; n — размер партии изделий.

При поточной сборке в штучное время включается время на перемещение собираемого изделия (при периодически движущемся конвейере) или на возвращение рабочего в исходную позицию (при непрерывно движущемся конвейере). Если это время перекрывается другими элементами штучного времени, то оно не учитывается.

Обеспечение синхронизации операций в условиях поточного производства часто требует корректировки: изменения содержания операций путем их совмещения или разбивки, применения более производительных средств оснащения и т.п.

Сокращению времени выполнения сборочных операций в значительной степени способствует высокая технологичность конструкций изделий.

Анализ технологичности изделия производят как на стадии проектирования, так и при его изготовлении. Под технологичностью конструкции изделия понимают совокупность свойств конструкции, позволяющих оптимизировать затраты труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения.

Правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц установлены ГОСТ 14.203–73 и предусматривают следующие требования к оформлению конструкции:

- ♦ возможность сборки машин из обособленных сборочных единиц без повторной разборки;
- ♦ максимальное использование стандартных и унифицированных сборочных единиц и деталей;

- ♦ сокращение объема пригоночных работ;
- ♦ сокращение длительности цикла узловой и общей сборки и снижение ее себестоимости.

1.13. Разработка плана сборочного участка

1.13.1. Выбор принципиальной схемы расположения оборудования

Сборочные цехи, как правило, располагаются в одном здании с механическими. В этом случае сокращаются расстояния перемещения деталей, упрощаются транспортно-погрузочные операции и возможно совместное использование промежуточных складских помещений.

Расположение сборочного цеха по отношению к механическому, а также компоновка всех вспомогательных помещений цеха должны соответствовать прямоточности производственного процесса. Сборочный цех может быть расположен в одном здании с механическим цехом либо в пролете, параллельном пролетам механического цеха (рис. 1.40, а), либо в продолженных пролетах механического цеха (рис. 1.40, б).

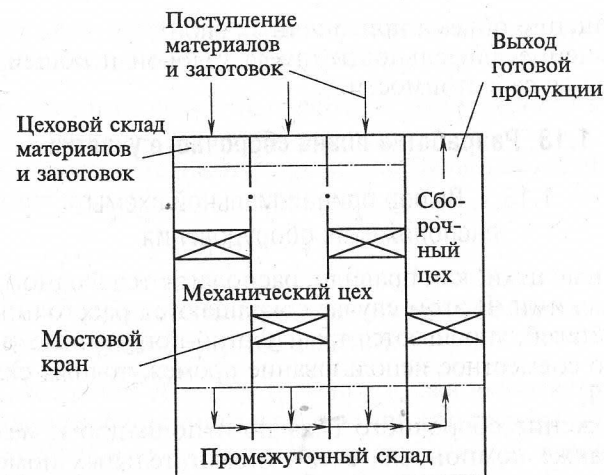
Расположение оборудования и рабочих мест в сборочном цехе должно соответствовать последовательности выполнения сборочного процесса. Такое расположение обеспечивает наиболее короткий путь перемещения деталей и сборочных единиц.

В общем случае рабочие места в цехе (на участке) должны располагаться в следующем порядке:

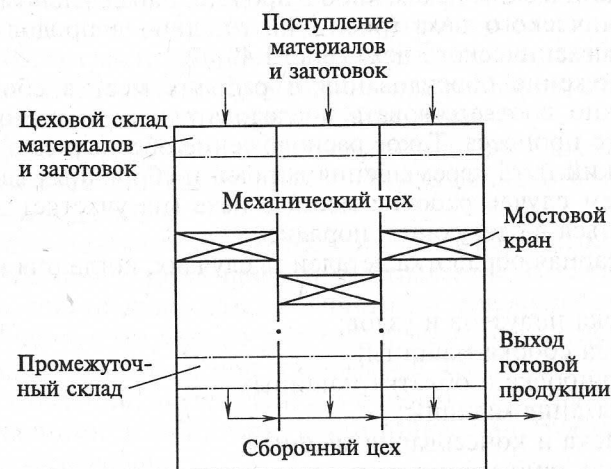
- 1) слесарная обработка деталей (в случаях, когда она необходима);
- 2) сборка подузлов и узлов;
- 3) общая сборка машины;
- 4) регулировка и обкатка машины;
- 5) испытание машины;
- 6) окраска и консервация машины.

Согласно приведенному перечню выполняемых сборочных работ располагают сборочное оборудование:

- ♦ верстаки для слесарной обработки;
- ♦ верстаки, столы, рольганги, конвейеры и специальные устройства для сборки узлов, подузлов, агрегатов машины;
- ♦ специальные стенды, рельсовые и безрельсовые тележки, рельсовые пути, подвесные монорельсовые пути, карусельные столы для общей сборки машины.



а



б

Рис. 1.40. Схема расположения сборочного цеха

Расположение верстаков для слесарных работ и узловой сборки может быть продольным или поперечным для одно- или двусторонних верстаков (рис. 1.41).

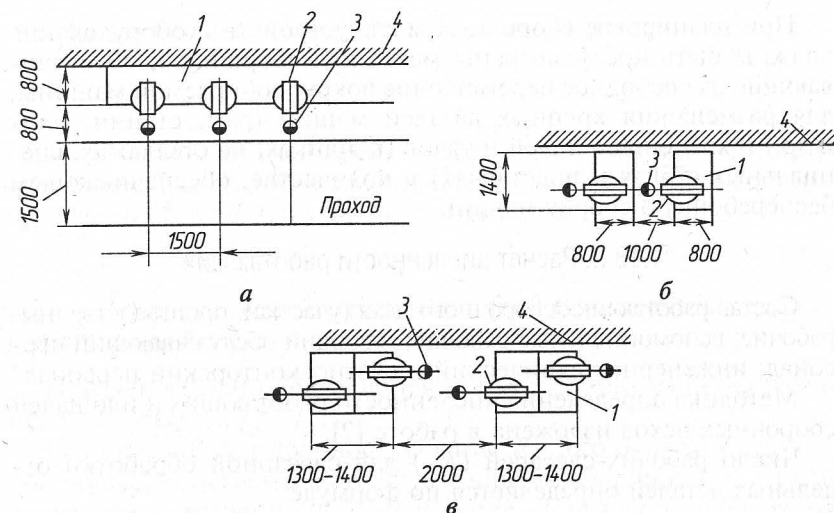


Рис. 1.41. Схема расположения слесарных верстаков: а — продольное; б — поперечное; в — поперечное двусторонних верстаков; 1 — верстак; 2 — тиски; 3 — рабочее место; 4 — стена

Вдоль верстаков оставляют проход, минимальная ширина которого 1,5 м. В случае необходимости движения транспорта по проходу его ширина устанавливается в зависимости от размеров применяемых транспортных средств.

Варианты расположения проходов и проездов между верстаками представлены на рис. 1.42.

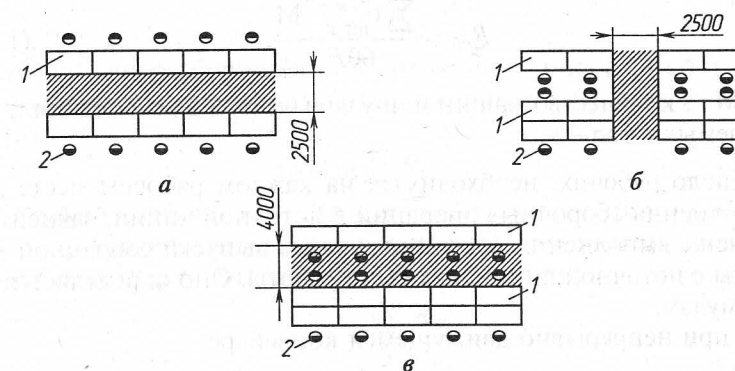


Рис. 1.42. Схема расположения проходов и проездов между верстаками: 1 — верстаки; 2 — рабочие места

При планировке сборочных мест, устройств и оборудования должны быть предусмотрены места для сборщиков, обеспечивающие их свободное перемещение вокруг собираемой машины, для размещения крупных деталей машин (рам, станин, плит и др.) и хранения деталей и узлов (в ящиках, на стеллажах, специальных столах и подставках) в количестве, обеспечивающем бесперебойную сборку машин.

1.13.2. Расчет численности работающих

Состав работающих сборочного цеха (участка): производственные рабочие; вспомогательные рабочие; младший обслуживающий персонал; инженерно-технический и счетно-конторский персонал.

Методика определения численности работающих и площадей сборочных цехов изложена в работе [2].

Число рабочих-слесарей ($R_{сл}$) для слесарной обработки отдельных деталей определяется по формуле

$$R_{сл} = \frac{\sum t_{шт-к} \cdot N}{60 F_d}, \quad (1.52)$$

где $t_{шт-к}$ — штучно-калькуляционное время на слесарную обработку одной детали, мин; N — количество деталей одного наименования, обрабатываемых в год; F_d — действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочего, ч.

Число рабочих-сборщиков ($R_{сб}$) для стационарной сборки узлов и машин определяется по формуле

$$R_{сб} = \frac{\sum t_{шт-к} \cdot M}{60 F_d}, \quad (1.53)$$

где M — количество машин или узлов одного наименования, собираемых в год.

Число рабочих, необходимых на каждом рабочем месте для выполнения сборочных операций в поточной линии, зависит от времени выполнения операции и такта выпуска собранной машины с поточной линии или такта работы. Оно определяется по формулам:

- ♦ при непрерывно движущемся конвейере

$$R_{сб} = \frac{t_{шт}}{t_b}, \quad (1.54)$$

- ♦ при периодически движущемся конвейере

$$R_{сб} = \frac{t_{шт}}{t_p}, \quad (1.55)$$

где $t_{шт}$ — время на выполнение сборочной операции, мин; t_b — такт выпуска собранной машины, мин; t_p — такт работы линии при периодически движущемся конвейере:

$$t_p = t_b + t_{ост}, \quad (1.56)$$

где $t_{ост}$ — продолжительность остановки периодически движущегося конвейера.

При непрерывно движущемся конвейере такт выпуска равен такту работы, т.е. $t_b = t_p$.

Если расчет дает дробное значение $R_{сб}$, его округляют до целого числа, называемого принятым числом сборщиков $R_{пр}$. Если округленное значение $R_{пр} = 2$ и более, а между тем операция в силу ее технологического характера не может быть выполнена двумя или большим числом рабочих, то во избежание нарушения такта выпуска операцию разбивают на несколько операций или, если это невозможно, ведут на параллельных рабочих местах.

Отношение расчетного числа сборщиков к принятому называется коэффициентом загрузки рабочего места ($\eta_{р.м}$) в поточной линии. Он определяет использование времени рабочих и выражается формулой

$$\eta_{р.м} = \frac{R_{сб}}{R_{пр}}. \quad (1.57)$$

Общее число сборщиков на поточной линии ($R_{п}$) получают суммированием принятого числа сборщиков на всех рабочих местах:

$$R_{п} = \sum R_{пр}. \quad (1.58)$$

Средний коэффициент загрузки рабочих мест сборочной линии ($\eta_{ср.п}$) равен отношению суммы расчетного числа сборщиков к сумме $R_{пр}$ по отдельным рабочим местам:

$$\eta_{ср.п} = \frac{\sum R_{сб}}{\sum R_{пр}}. \quad (1.59)$$

Для поточной линии приемлемым является $\eta_{ср.п} \geq 0,95$.

Средняя по цеху квалификация производственных рабочих в серийном производстве выражается разрядом 3,5–4,0, в массовом производстве — 3,0–3,5.

Число вспомогательных рабочих (крановщики, кладовщики, транспортные рабочие и др.) в серийном производстве составляет примерно 20–25 %, в массовом — 15–20 % от числа производственных рабочих.

Младший обслуживающий персонал (уборщики цеховых и бытовых помещений, курьеры и т.п.) составляет 1–3 % от общего числа работающих, инженерно-технический персонал — 8–10 %, счетно-конторский персонал (нормировщики, учетчики, кассиры и т.п.) — обычно 4–5 %.

При определении числа работающих каждой категории следует иметь в виду возможность совмещения профессий.

1.13.3. Расчет площади участка

Предварительно площадь сборочного участка может быть определена по удельной площади, приходящейся на одного производственного рабочего, и количеству рабочих, занятых в наиболее многочисленную смену по формуле

$$F = fR_{\text{см}}, \quad (1.60)$$

где f — удельная площадь на одного производственного рабочего, м^2 ; $R_{\text{см}}$ — число рабочих наиболее многочисленной смены.

Примерные значения удельных площадей приведены в табл. 1.16.

Таблица 1.16

Примерные значения удельных площадей в сборочных цехах
для разных видов машиностроения

Вид машиностроения	Удельная площадь, м^2
Металло- и деревообрабатывающие станки, насосы, компрессоры, текстильные машины	18–25
Автомобилестроение (грузовые автомобили грузоподъемностью 3,5–4,0 т):	
сборка двигателя и коробки передач	18–20
общая сборка автомобиля	26–28
Тракторостроение (гусеничные тракторы):	
сборка двигателя	18–20
общая сборка трактора	22–25

Окончание табл. 1.16

Вид машиностроения	Удельная площадь, м^2
Дизелестроение (двигатели мощность 5–40 л.с.)	32–35
Краностроение (тележки и механизмы передвижения)	35–40
Локомотивостроение (локомотивы средних размеров)	60–65

Удельная площадь для одного слесаря-верстачника (без сборочных площадей) 5–6 м^2 .

Соотношение площадей механического и сборочного цехов зависит от вида производства: в единичном и мелкосерийном производствах площадь сборочного цеха в среднем составляет 50–60 % от площади механического цеха; в серийном производстве — 30–40 %, в массовом — 20–30 %.

После разработки плана участка (цеха) точно устанавливают его площадь.

1.14. Оформление технологической документации

После разработки технологического процесса сборки заполняют технологические документы, которые определены ГОСТ 3.1119–83 и ГОСТ 3.1121–84. В общем случае технологическая документация содержит следующие документы:

- ♦ маршрутную карту (МК), в которой дают описание операций сборки и указывают сопутствующие операции (процессы) в технологической последовательности выполнения;
- ♦ операционную карту (ОК) для описания отдельных операций по переходам с указанием соответствующих технологических режимов;
- ♦ карту типового (группового) технологического процесса (КТТП);
- ♦ карту эскизов (КЭ) для графических иллюстраций к документам на процессы и операции (выбор форм КЭ устанавливает разработчик документов);
- ♦ карту технологической информации (КТИ) для указания переменной информации к типовому (групповому) технологическому процессу;
- ♦ ведомость технологических документов (ВТД) для указания состава сборочных единиц (изделий) к типовому (групповому) технологическому процессу для ускорения поиска и нахождения соответствующих документов и данных;

♦ комплектуючную карту (КК) для указания данных по комплектующим составным частям изделия или сборочной единицы, а также для указания данных по основным и вспомогательным материалам на технологический процесс (операцию);

♦ ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (ВТП) операции (ВТО).

Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции) сборки содержит ГОСТ 3.1407–86. Ниже приведены образцы МК и ОК форм 1, 1а и 2, 2а и примеры их заполнения. В табл. 1.17 дано содержание граф приведенных форм. При описании операций в приведенных формах запись информации следует выполнять в следующем порядке с привязкой к служебным символам: К/М, О, Т, Р для форм 1, 1а (с горизонтальным расположением поля подшивки); Л/М, Н/М, О, Т, Р для форм 2, 2а (с вертикальным расположением поля подшивки).

Описание содержания переходов в операциях следует выполнять с привязкой к служебному символу «0» по всей длине строки с переносом информации на последующие строки. Запись переходов и операций начинают с ключевых слов, перечень которых дан в табл. 1.18.

Указание данных по технологической оснастке следует выполнять с привязкой к служебному символу Т в следующей последовательности: стапели, приспособления, вспомогательный инструмент, слесарный и слесарно-монтажный инструмент, режущий инструмент, специальный инструмент, средства измерений. Запись выполняют по всей длине строки. Для внесения изменений следует оставлять незаполненными одну-две строки между информацией о комплектующих составных частях изделия и данными об основных и вспомогательных материалах, а также перед описанием содержания первого перехода. При подготовке форм 1 и 1а ОК допускается предусматривать в формах документов зоны для внесения графических иллюстраций к процессам и операциям. Зоны следует располагать в нижней части форм документов. Размеры этих зон устанавливает разработчик документов. Перечни сборочных и слесарных операций регламентированы ГОСТом.

Таблица 1.17

Содержание граф операционных карт

Номер графы	Номер формы ОК	Наименование (словное обозначение графы)	Содержание графы
1	1, 1а; 2, 2а	—	Обозначение служебного символа и порядковый номер строки. Запись выполняют на уровне одной строки, например К06, М04. Допускается при указании номера строки в пределах от 01 до 09 применять вместо знака «0» знак «Ø», например М04
2	1, 2	Код, наименование операции	Код операции по технологическому классификатору операций, наименование операции, допускается код операции не указывать
3	1, 2	Обозначение документа	Обозначение документов, применяемых при выполнении данной операции, например технологическая инструкция. Состав документов следует указывать через разделительный знак «;»
4	1, 2	МИ	Масса изделия по конструкторскому документу
5	1	—	Резервная графа. Заполняется по усмотрению разработчика. Графу можно использовать для записи информации об оборудовании
6	1, 2	Код, наименование оборудования	Код, краткое наименование оборудования, его инвентарный номер. Информацию следует указывать через разделительный знак «;». Допускается вместо краткого наименования оборудования указывать модель, не указывать инвентарный номер
7	1, 2	T_a	Вспомогательное время на операцию
8	1, 2	T_o	Основное время на операцию
9	1, 1а; 2, 2а	Наименование детали, сборочных единиц, материалов, применяемых для выполнения операции. Допускается давать в графе информацию о толщине материала	
10	1, 1а; 2, 2а	Обозначение (код) детали, сборочных единиц по конструкторскому документу или материала по классификатору	

Окончание табл. 1.17

Номер графы	Номер формы ОК	Наименование (условное обозначение графы)	Содержание графы
11	1, 1а; 2, 2а	ОПП	Обозначение подразделения (склада, кладовой и т.п.), откуда поступают комплектующие детали, сборочные единицы или материалы; при разборке — куда поступают
12	1, 1а; 2, 2а	ЕВ	Код единицы величины (массы, длины и т.п.) детали, заготовки, материала по классификатору СОЕИ. Можно указывать единицы измерения величины
13	1, 1а; 2, 2а	ЕН	Единица нормирования, на которую установлена норма расхода материала, например 1, 10, 100
14	1, 1а; 2, 2а	КИ	Количество деталей, сборочных единиц, применяемых при сборке изделия, при разборке — получаемых
15	1, 1а; 2, 2а	Н _{расх}	Норма расхода материала

Таблица 1.18

Ключевые слова и их условные коды по ГОСТ 3.1703-79

Условный код	Ключевое слово	Условный код	Ключевое слово
01	Балансировать	20	Притереть
02	Базировать	30	Пломбировать
05	Гнуть	19	Полировать
04	Гравировать	31	Разметить
03	Завить	21	Разрезать
06	Застегнуть	24	Развернуть
81	Закрепить	32	Развинтить
08	Запрессовать	25	Развальцевать
07	Зачистить	33	Распрессовать
12	Застопорить	34	Расшплинтовать
10	Зенковать	35	Разобрать
09	Калибровать	36	Распломбировать
14	Кернить	37	Расштифтовать
22	Контрить	29	Сверлить
18	Клепать	89	Смазать
23	Маркировать	39	Свинтить
13	Нарезать	40	Склеить
11	Навить	41	Собрать
26	Нанести	91	Установить
15	Опилить	38	Центровать
27	Отрубить	42	Шабрить
28	Очистить	43	Шплинтовать
16	Отрезать	44	Штифтовать
17	Править	45	Довести

Примечание. В описании перехода или операции ключевое слово записывают на первом месте. Например, «Опилить заготовку, выдерживая размеры 1 и 2».

Перечень сборочных операций по ГОСТ 3.1703-79

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Сборка | 13. Свинчивание |
| 2. Базирование | 14. Установка |
| 3. Балансировка | 15. Центровка |
| 4. Застегивание | 16. Штифтование |
| 5. Закрепление | 17. Шплинтование |
| 6. Запрессовывание | 18. Разборка |
| 7. Клепка | 19. Распрессовывание |
| 8. Контровка | 20. Расшплинтовывание |
| 9. Маркирование | 21. Расштифтовывание |
| 10. Пломбирование | 22. Распломбирование |
| 11. Склеивание | 23. Развинчивание |
| 12. Стопорение | |

Перечень слесарных операций по ГОСТ 3.1703–79

1. Слесарная
2. Гибка
3. Гравировка
4. Доводочная
5. Зачистка
6. Зенковка
7. Завивка
8. Калибровка
9. Керновка
10. Нарезка
11. Навивка
12. Отрубка
13. Отрезка
14. Опиловочная
15. Очистка
16. Полирование
17. Правка
18. Разметка
19. Разрезка
20. Развертывание
21. Развальцовка
22. Сверлильная
23. Смазывание
24. Шабровка

Примечания:

1. Наименование операций в документах записывают в сокращенной или полной форме. 2. При использовании сокращенной формы записи наименование операции дают как имя существительное в именительном падеже. Исключение составляют наименования таких операций, как слесарная, сверлильная и т.п. 3. Полная запись наименования операций должна содержать сокращенную форму с указанием предметов производства, обрабатываемых поверхностей или конструктивных элементов, например шабровка направляющих поверхностей, запрессовывание шпилек.

На следующих страницах приведены примеры оформления
операционной и маршрутной карт.

Пример оформления операционной карты процесса сборки (первый лист)

[illegible]

Пример оформления операционной карты процесса сборки (второй лист)

								ГОСТ 1407-86 Ø 1а					
Дубл.													
Взам.													
Подг.													
K/M	Наименование детали, сб. единицы или материала							Обозначение, код					
0 01	<i>4. Нагреватель подшипник до температуры 100 °C</i>												
T 02	<i>Ванна масляная нагреваемая</i>												
0 03	<i>5. Установка подшипника на вал</i>												
T 04	<i>Подставка печь, шпилька спец.</i>												
0 05	<i>6. Установить кольца статорные</i>												
T 06	<i>Подставка печь</i>												
07													
08													
09													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
ОК													

Пример оформления маршрутной карты процесса сборки

[illegible]

2. СБОРКА ТИПОВЫХ УЗЛОВ МАШИН

Операции сборки машин выполняют с использованием ручных (молотки, коловороты, ключи гаечные и т.п.) и механизированных (гайковерты, шпильковерты, шлифовальные и сверлильные машины и т.п.) инструментов. В качестве оборудования используют пневматические или гидравлические прессы, камеры для нагрева или охлаждения деталей и др.

Основные размеры и технические характеристики слесарно-сборочных инструментов и оборудования приведены в приложениях к данному учебнику.

2.1. Расчет зазоров (натягов) в соединениях

Разработка технологического процесса сборки машины (изделия) требует внимательного изучения характера соединений сопрягаемых деталей. На сборочном чертеже обозначены все посадки сопрягаемых деталей и предельные значения зазоров и натягов в соединениях. Такая информация необходима для определения условий (режимов) сборки и выбора инструментов, сборочных приспособлений и оборудования. Пример оформления сборочного чертежа и схем полей допусков приведен на рис. 2.1.

В соединениях с зазором предельные (максимальный и минимальный) зазоры рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} S_{\max} &= ES - ei, \\ S_{\min} &= EI - es, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где ES и EI — верхнее и нижнее предельные отклонения охватываемой поверхности (отверстия); es и ei — верхнее и нижнее предельные отклонения охватываемой поверхности (вала).

В соединениях с натягом предельные (максимальный и минимальный) натяги рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} N_{\max} &= es - EI, \\ N_{\min} &= ei - ES. \end{aligned} \quad (2.2)$$

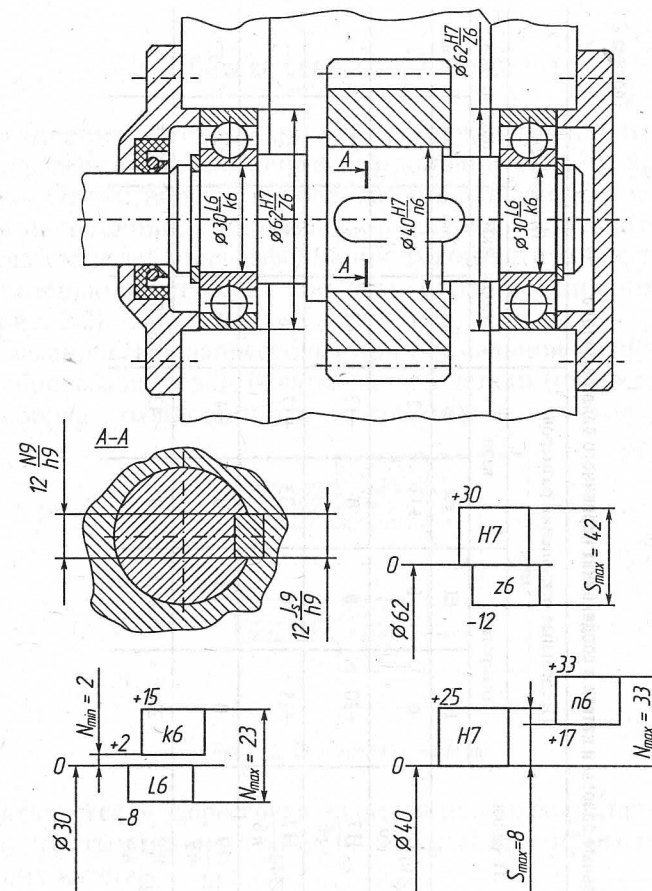


Рис. 2.1. Первичный вал редуктора в сборе и схемы полей допусков соединений

В соединениях с переходными посадками максимальные зазор и натяг рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} S_{\max} &= ES - ei, \\ N_{\max} &= es - EI. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Результаты расчетов зазоров и натягов оформляют в виде таблицы (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Предельные зазоры и натяги в соединениях первичного вала редуктора

Сопрягаемые детали	Посадка	Предельные отклонения размеров, мкм				Предельные			
		отверстия		вала		зазоры, мкм		натяги, мкм	
		ES	EI	es	ei	$S_{\max}$	$S_{\min}$	$N_{\max}$	$N_{\min}$
Подшипник — вал	$\varnothing 30 \frac{L6}{k6}$	0	-8	+15	+2	—	—	23	2
Подшипник — корпус	$\varnothing 62 \frac{H7}{z6}$	+30	0	0	-12	42	0	—	—
Колесо зубчатое — вал	$\varnothing 40 \frac{H7}{n6}$	+25	0	+33	+17	8	—	33	—
Шпонка — вал	$12 \frac{N9}{h9}$	0	-43	0	-4	43	—	43	—
Шпонка — колесо зубчатое	$12 \frac{J9}{h9}$	+21,5	-21,5	0	-43	64,5	—	21,5	—

2.2. Сборка соединений с натягом

Соединения с натягом применяют для получения неподвижных неразъемных соединений без дополнительного крепления деталей. Относительная неподвижность деталей обеспечивается за счет напряжений, возникающих в материале сопрягаемых деталей вследствие действия деформаций их контактных поверхностей.

Применяют следующие способы сборки соединений с натягом (рис. 2.2):

- 1) механическая запрессовка при нормальной температуре;
- 2) сборка с нагревом охватывающей детали (отверстия);
- 3) сборка с охлаждением охватываемой детали (вала).

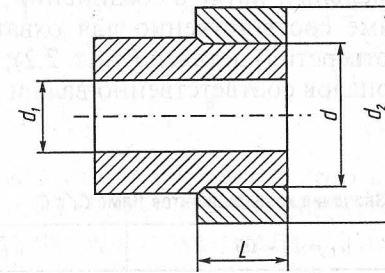


Рис. 2.2. Соединение с натягом

Механическая запрессовка является наиболее распространенным и простым процессом. Ее применяют при относительно небольших натягах:

$$N_{\max} \leq 0,001d, \quad (2.4)$$

где d — номинальный диаметр соединения.

При таком способе сборки микронеровности частично сминаются и фактический натяг в соединении уменьшается. Поэтому шероховатость посадочных поверхностей назначают в пределах $Ra \leq 1,25$ мкм.

К недостаткам способа следует отнести:

- ♦ неравномерность деформации тонкостенных деталей;
- ♦ возможность повреждения сопрягаемых деталей;
- ♦ потребность в прессах значительной мощности.

Необходимое усилие запрессовки рассчитывают по формуле

$$P = f \pi d L p, \quad (2.5)$$

где f — коэффициент трения на контактных поверхностях ($f = 0,08 - 0,10$); d — номинальный диаметр соединения, м; L — длина сопрягаемых поверхностей, м; p — давление на поверхности контакта, МПа.

Давление на поверхности контакта рассчитывают по формуле

$$p = \frac{N_{\max} \cdot 10^{-6}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (2.6)$$

где $N_{\max}$ — максимальный натяг в соединении, мкм; C_1 и C_2 — коэффициенты Ляме соответственно для охватываемой (вала) и охватывающей (отверстия) деталей (табл. 2.2); E_1 и E_2 — модули упругости материалов соответственно вала и отверстия, Н/м² (табл. 2.3).

Таблица 2.2

Значения коэффициентов Ляме C_1 и C_2

$\frac{d_1}{d}$ или $\frac{d}{d_2}$	$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$		$\mu_1 = \mu_2 = 0,25$	
	C_1	C_2	C_1	C_2
0,00	0,7	~1,3*	0,75	~1,25*
0,1	0,72	1,32	0,77	1,27
0,2	0,78	1,38	0,83	1,33
0,3	0,89	1,49	0,95	1,45
0,4	1,08	1,68	1,13	1,63
0,5	1,37	1,97	1,42	1,92
0,6	1,83	2,43	1,88	2,37
0,7	2,62	3,22	2,67	3,17
0,8	4,25	4,85	4,30	4,80
0,9	9,23	9,83	9,28	9,78

* При $d_2 \geq d$.

Таблица 2.3

Значения модулей упругости E и коэффициентов Пуассона μ

Материал	E , Н/м ²	μ
Сталь и стальное литье	$(1,96-2,00) \cdot 10^{11}$	0,3
Чугунное литье	$(0,74-1,05) \cdot 10^{11}$	0,25
Бронза	$0,84 \cdot 10^{11}$	0,35
Латунь	$0,78 \cdot 10^{11}$	0,38
Пластмассы	$(0,005-0,35) \cdot 10^{11}$	

Коэффициенты Ляме C_1 и C_2 можно рассчитать по формулам

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2, \quad (2.7)$$

где d_1 — диаметр отверстия пустотелого вала; d_2 — наружный диаметр втулки; μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона соответственно для охватываемой и охватывающей деталей (см. табл. 2.3).

Для сплошного вала $d_1 = 0$ и $C_1 = 1 - \mu_1$. При запрессовке втулки в массивный корпус $d_2 \rightarrow \infty$, а $C_2 = 1 + \mu_2$.

По рассчитанному значению усилия запрессовки P подбирают пресс с учетом коэффициента запаса $k = 1,5$.

Деформации, возникающие в процессе запрессовки, приводят к увеличению диаметра охватывающей детали (Δd_2) и уменьшению внутреннего диаметра (Δd_1):

$$\Delta d_2 = \frac{2\rho d_2 d^2}{E_2(d_2^2 - d^2)}; \quad \Delta d_1 = \frac{2\rho d_1 d^2}{E_1(d^2 - d_1^2)}. \quad (2.8)$$

Если изменения диаметров существенны и размеры собранных деталей выходят за пределы установленных допусков, то в технологическом процессе необходимо предусмотреть операции по их восстановлению.

Пример 1. Расчет усилия запрессовки. Исходные данные: втулку запрессовывают на сплошной вал, диаметр соединения