

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ КЭДУ

## Литература:

1. Никитин А.Н. Технология сборки двигателей летательных аппаратов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1982. – 269с.
2. Ильянков А.И., Левит М.Е. Основы сборки авиационных двигателей: Учебник для средних профессионально-технических училищ. – М.: Машиностроение, 1987. – 288с.

# 1. Основные понятия и определения

## 1.1. Структура изделий

Технологический процесс сборки – это процесс последовательного соединения взаимоориентируемых составных частей изделия (деталей и сборочных единиц).

*Деталь* – это изделие, изготовленное из одного материала, без применения сборочных операций (изоляторы, электроды, крышки, корпуса, кронштейны, токоподводы, крепежные детали и т.п.).

*Сборочная единица* представляет собой изделие, детали и составные части которого соединяются между собой с помощью сборочной операции (сварки, свинчивания, пайки, запрессовки, металлизации, напыления и др.).

*Узел* – сборочная единица, состоящая из двух и более сборочных единиц предназначенная для выполнения определенной функции (магнитные катушки, системы подачи рабочего тела, ТВЭЛы, ЭГК и др.).

*Конструкторские узлы* части изделия, выделенные конструктором по функциональным признакам независимо от возможности самостоятельного изготовления (могут собираться только с другими сборочными единицами). *Технологические узлы* – сборочные единицы, собираемые независимо от других частей. В зависимости от технологичности конструкции изделия, в его составе должно быть большое количество узлов (блоков), участвующих в дальнейшей сборке как самостоятельная единица, что обеспечивает снижение затрат на сборку и ремонт и повышение производительности.

*Агрегат* – это сборочная единица, которая может работать автономно вне изделия, а также собираться независимо от других составных частей (катод-компенсатор в СПД, катод ИД, тепловые трубы и т.п.).

*Покупное изделие* – изделие, не изготавливаемое на данном предприятии, а получаемое в готовом виде, за исключением поставок по кооперации.

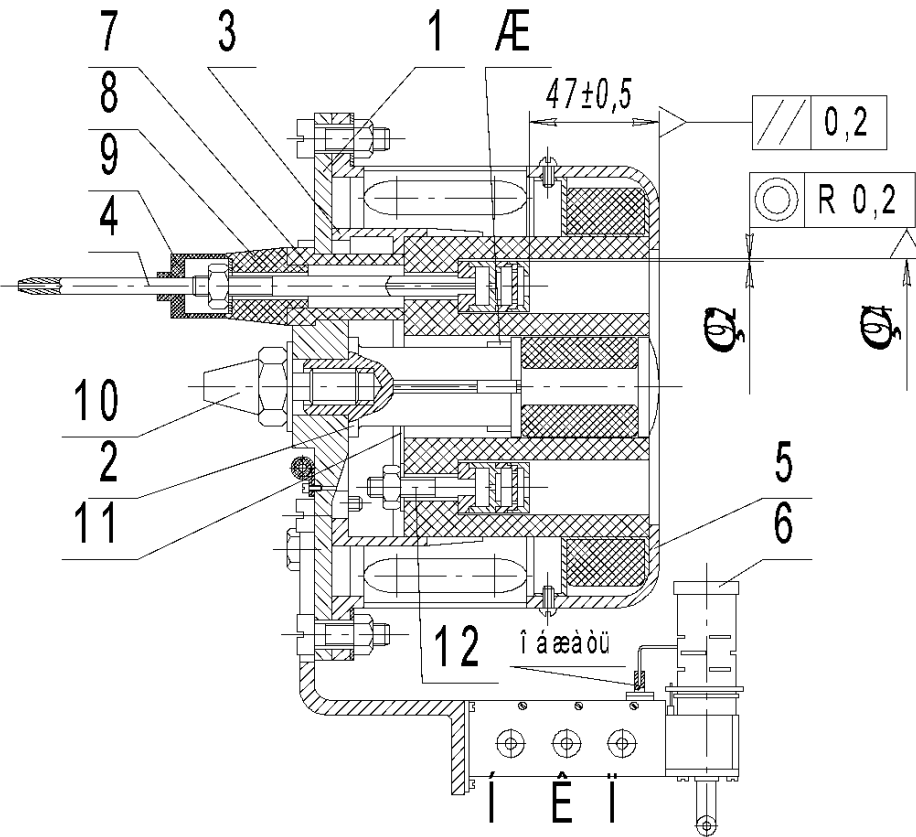


Рис. 1.1

## 1.2. Особенности ТП сборки КДУ

Технологический процесс сборки имеет ряд особенностей, отличающих его от других технологических процессов, поскольку уровень технологии сборки и качество сборки определяет все эксплуатационные параметры любого изделия.

Общие отличительные особенности ТП сборки и характерные для сборки КДУ.

1. Завершающий, наиболее ответственный этап изготовления изделия, который в значительной степени определяет надежность, долговечность и все его выходные параметры. При этом в процессе сборки выявляются многие дефекты предшествующих ТП, а также связанная со сборкой технологичность конструкции изделия. Отступления от основных требований технологии сборки, предусмотренных соответствующей документацией - причина выхода из строя изделия при испытаниях или при эксплуатации.
2. Одновременное обеспечение большого количества выходных параметров изделия (геометрических, кинематических, механических, электрических, физических и др.).
3. Сложность и недостаточная изученность сопутствующих сборке процессов (деформация, контактные напряжения, изменение структуры и свойств материала, коробление деталей и др.), затрудняющих проведение расчетов ожидаемой точности обеспечения этих параметров.
4. Многообразие рабочих движений при сборке, затрудняющее, а иногда и исключающее, их воспроизведение в автоматических сборочных системах. Поэтому сборка отстает по темпам автоматизации от других ТП.
5. Высокая трудоемкость ТП сборки - до 30% от общей трудоемкости изготовления, а в единичном - до 60%.
6. Более широкое применение методов механического и термомеханического соединения деталей и материалов (прессование через матрицу, прокатка, развальцовка и пр.)
7. Совмещение или чередование операций сборки с процессами механической, электрофизической и термомеханической обработки и нанесения покрытий (из газовой фазы, плазменным методом и др.).
8. Соблюдение режима вакуумной гигиены и технической стерильности на всех операциях ТП сборки от подготовительных до завершающих и контрольных.
9. Повышение надежности неразъемных и разъемных соединений как с точки зрения прочностных характеристик, так и герметичности, электропроводности, совместимости и т.п.

### 1. 3. Разновидности сборочных работ

Технологический процесс сборки обычно разделяют на узловую и общую сборку.

1. *Узловая сборка* - это сборка, на конечной стадии которой получают сборочные единицы и узлы определенного функционального назначения. Как правило, она проводится на сборочных участках механических (механосборочных) цехов.
2. *Общая сборка* – процесс составления любых составных частей: деталей, сборочных единиц, покупных изделий, в результате, которого получают законченное изделие. Она проводится в сборочных цехах.

В производственном цикле (рис. 1.2) общая сборка изделий, как правило, разделяется на первую и вторую.

*Первая сборка* выполняется после изготовления деталей и содержит подготовительные работы: проверяется собираемость изделия; регулируются геометрические и физические параметры (при регулировании приходится иногда разбирать и повторно собирать); маркируются и клеймятся сопрягаемые детали.

*Вторая сборка* производится на более позднем этапе производства, после проведения стендовых испытаний объекта и последующей его разборки и дефектации. Она осуществляется в соответствии с имеющимися маркировками и клеймами, а большинство подготовительных операций не повторяется.

Следует заметить, что при установившемся производстве ограничиваются одной первой сборкой, т.к. стендовым испытаниям подвергаются не все 100% изделий, а 1...3 изделия от партии.

По назначению сборка может быть экспериментальной, пробной (опытной) и рабочей.

*Экспериментальная сборка* производится для проведения технологических экспериментов и исследований.

*Пробная сборка* выполняется при получении опытных и даже серийных изделий на этапе разработки, доводки и совершенствования ТП, когда производится проверка новой технологии, внедряемой в существующую.

*Рабочая сборка* производится по отработанной технологии в серийном и массовом производстве. Она наиболее доведена и по ней изготавливают изделия для эксплуатации.

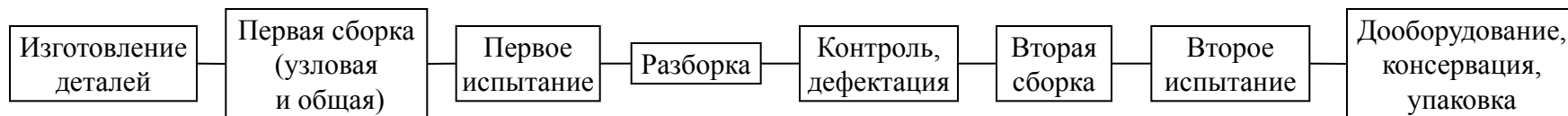


Рис. 1.2. Схема производственного цикла

## 1.4. Структура сборочной операции

Технологический процесс сборки, также как и любой другой ТП, расчленяется на операции, переходы и приемы.

*Операцией* называется часть технологического процесса сборки, выполняемая над определенными объектами (изделием, его составной частью) на определенном рабочем месте одним или несколькими рабочими, до перехода к сборке следующего объекта.

*Переходом* называется часть операции, выполняемая над определенным соединением без смены инструмента или оборудования.

*Прием* – часть перехода, представляющая собой цикл действий рабочего, связанных целевым назначением. Прием складывается из рабочих движений.

Например: Выполняется операция «Сборка МКУ в приспособлении». Первый переход (рис.1.3.а): «собрать манжеты с изоляторами в единый блок соосно» состоит из приемов: «постановка 1-ой манжеты в приспособление», «постановка изолятора», «постановка второй манжеты» и «закрепление блока». Во втором переходе (рис.1.3.б) «наложить припой на места спайки» содержатся приемы по наложению припоя, которые включают в себя рабочие движения: «взять припой», «поднести к блоку», «наложить припой на место спайки».

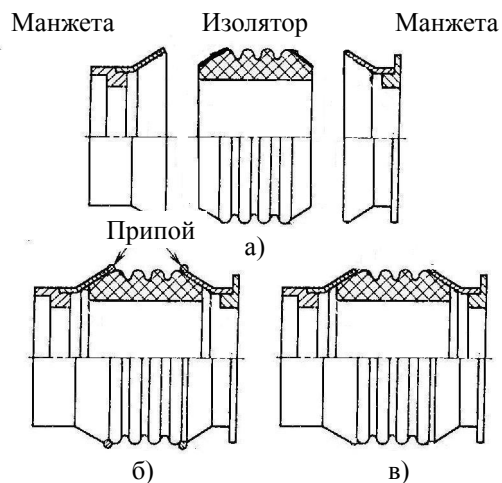


Рис. 1.3

Непосредственно сам процесс пайки МКУ (рис.1.4.в) будет выполняться уже в другой операции «Пайка МКУ», так как рабочим местом будет не верстак, а вакуумная печь.

В процессе сборки важное место отводится базам и базовым деталям. Любая деталь имеет основные (поверхности, создающие определенность положения детали относительно других) и вспомогательные (поверхности, при помощи которых к детали присоединяются другие детали) конструкторские базы.

В технологическом процессе сборки деталь, служащая исходной для начала сборочного процесса любого объекта, называется *базовой деталью*. Своей основной базой она совмещается с установочной базой сборочного приспособления или станда. Ось ее основной базы (если она симметрична) предопределяет положение всего изделия в процессе сборки и называется *основной базовой осью*.

## 1.5. Последовательность выполнения сборочной операции

*Цель сборочной операции* - получение требуемого расположения и соединения между собой основных сборочных элементов, обладающих определенными параметрами качества. Поэтому сборка, даже в объеме одной операции - процесс не простого механического “складывания” деталей, а сложный процесс, состоящий из ряда этапов, имеющих определенное назначение (рис.1.4).



Рис. 1.4

Подача сборочных элементов, их взаимная ориентация и сопряжение (стыкование) составляют установку. В результате установки, зависящей от способов взаимного центрирования и соединения деталей, создаются сопряжения, производятся стыкования или выполняются одновременно сопряжения одних поверхностей и стыкование других. При этом одна сборочная единица (в начале операции - базовая деталь) неподвижна, а другая перемещается к ней. Поэтому базовая деталь должна быть жесткой, крепиться к приспособлению, допускать большое число сборочных операций, обеспечивать высокое качество сборки и контроля.

Сопрягаемые поверхности деталей перед началом их установки должны быть соосны между собой, а стыкуемые — параллельны друг другу. Сопряжение предусматривает введение присоединяемого сборочного элемента в базовый, а стыкование — постановку их друг на друга. Сопряжение или стыкование является конечным результатом установки.

*Закрепление сборочных элементов* осуществляется различными способами фиксирования и соединения деталей. В результате сопряжения, стыкования и закрепления между деталями накладываются связи. Число связей, накладываемых между деталями, зависит от способа центрирования и крепления сборочных элементов, определяющих характер операции. *Контроль* производят для проверки параметров изделия, полученных при сборке, и их соответствия заданным техническим требованиям. Контроль позволяет определить качество выполнения операции. Его могут выполнять до и после снятия объекта сборки с приспособления сборщики и контролеры. *Снятие объекта сборки* производится после выполнения каждой, некоторых и последней операции, связанной с получением сборочной единицы, и выполняется в результате открепления его с приспособления. Стремятся к тому, чтобы снятие производилось в конце сборки объекта.

## 1.6. Способы соединения сборочных единиц

*Соединение* - это соединительная связь, создаваемая между деталями и предназначенная для передачи рабочих нагрузок от одного сборочного элемента к другому. Эта связь не только прочная, но иногда и прочноплотная. *Способы, используемые в процессе сборки*, зависят от типов соединений, заложенных в конструкцию изделия. И хотя количество типов соединений ограничено, в сочетании их друг с другом, а также с деталями различной конструкции, можно получать сборочные единицы любого типа и назначения (рис.1.5).

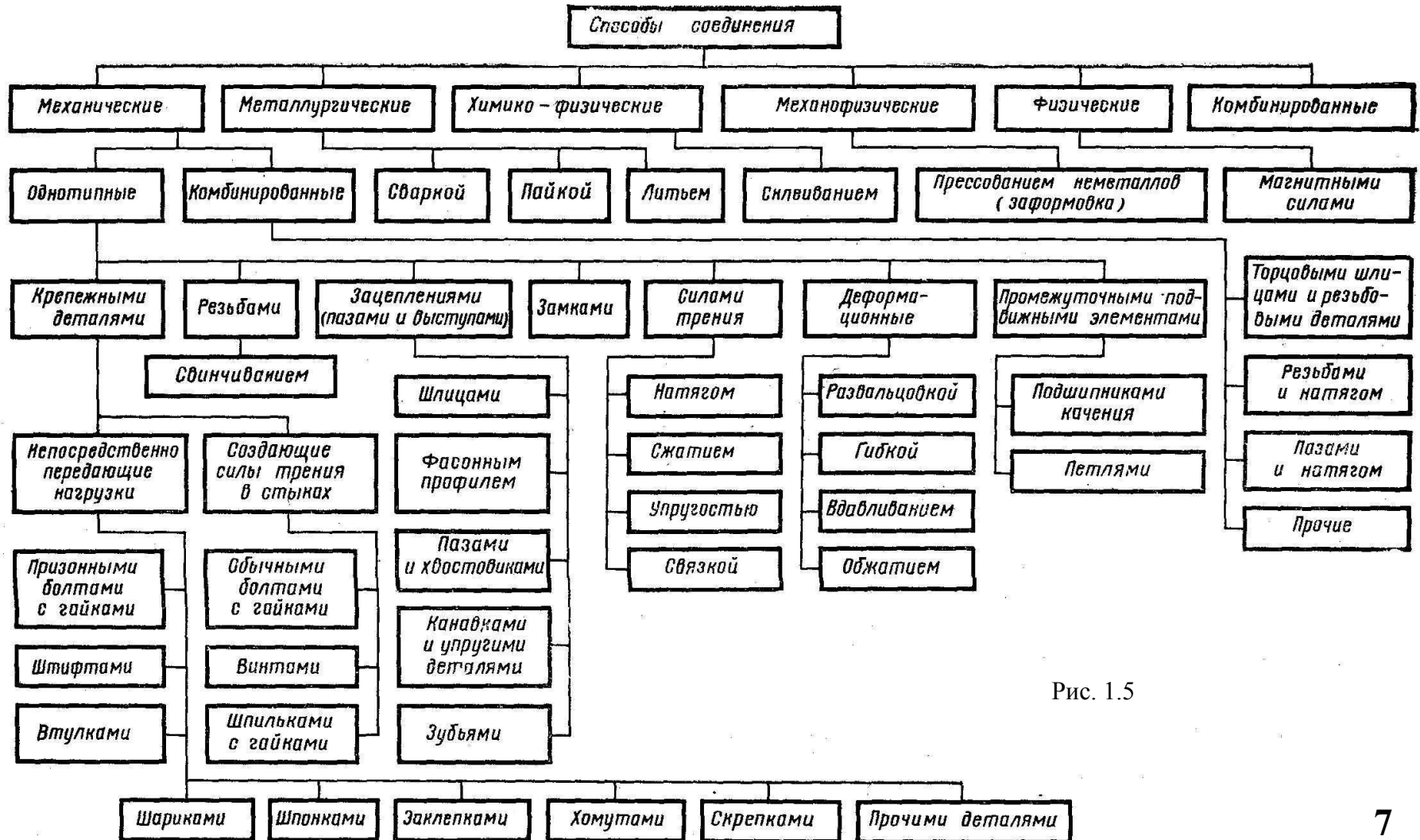


Рис. 1.5

## 2. Методы обеспечения точности при сборке

### 2.1. Расчеты точности

Точность сборки есть степень соответствия действительных значений параметров, получаемых при сборке, значениям, заданных сборочными чертежами и техническими требованиями. Т.е. любой сборочный параметр, получаемый при сборке : геометрический, кинематический, физико-механический, теплофизический, трибологический и пр., не должен выходить за пределы допуска.

Для обеспечения этого требования, проводятся предварительные расчеты на точность (определяется ожидаемая точность сборочного параметра) и по их результатам определяется метод сборки, наиболее приемлемый в

данных производственных условиях. В расчетах предполагается, что на сборку поступают только годные детали Однако, следует помнить, что суммарная погрешность сборочного параметра получается в результате совместного влияния накопленных допустимых погрешностей деталей, а также погрешностей процессов сборки и испытаний. Например, погрешность зазора  $h$  в ионно-оптической системе ИД (рис.2.1) может быть выражена в виде функции:

$$\omega_{\Sigma} = F(\omega_{\text{геом}}; \omega_{\text{сб}}; \omega_{\text{исп}}), \text{ где}$$

$\omega_{\text{геом}}$  - погрешности изготовления деталей, входящих в данный узел: размеров, формы, взаимного положения поверхностей, свойств материала и др.;

$\omega_{\text{сб}}$  - погрешности сборочного процесса: взаимной ориентации, смещений при деформации и контактных явлениях и др. от способов сборки.

$\omega_{\text{исп}}$  - погрешности технологических испытаний: вследствие смещения и пластической деформации деталей под действием динамических нагрузок, нагрева, релаксационных и других явлений.

Эти зависимости очень сложны и, как правило, величина этих погрешностей устанавливается по мере накопления статистических данных о них.

Наибольшее число расчетов при сборке КДУ и КЛА связано с геометрическими параметрами, которые определяются на основании теории размерных цепей.

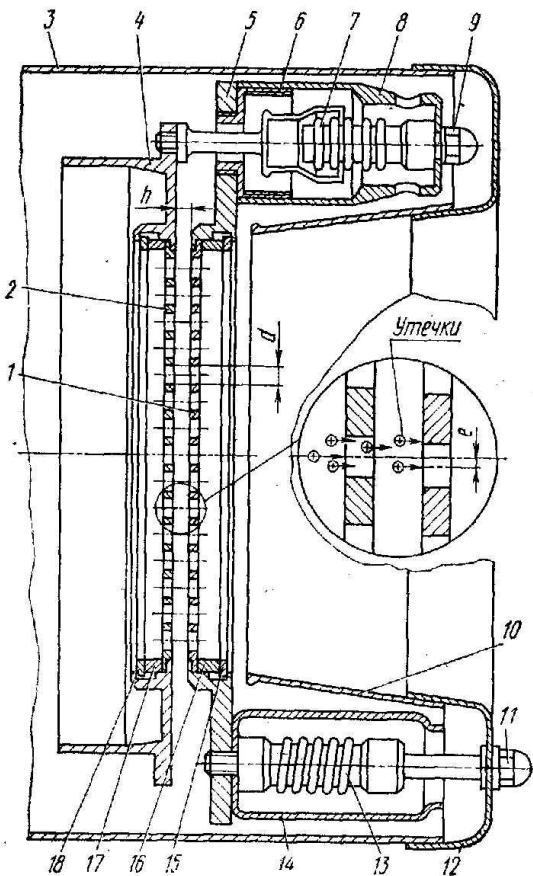


Рис. 2.1



## Продолжение 2.1. Расчеты точности

Размерной цепью называется совокупность размеров, координирующих взаимное положение поверхностей и осей деталей, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Размерные цепи могут быть: *линейные* (звенья - линейные размеры); *угловые* (угловые размеры); *плоские* (звенья - в нескольких параллельных плоскостях); *пространственные* (в непараллельных плоскостях).

В зависимости от этапа, на котором решается задача обеспечения точности изделия (проектирование, изготовление, контроль) различают конструкторские, технологические и измерительные размерные цепи.

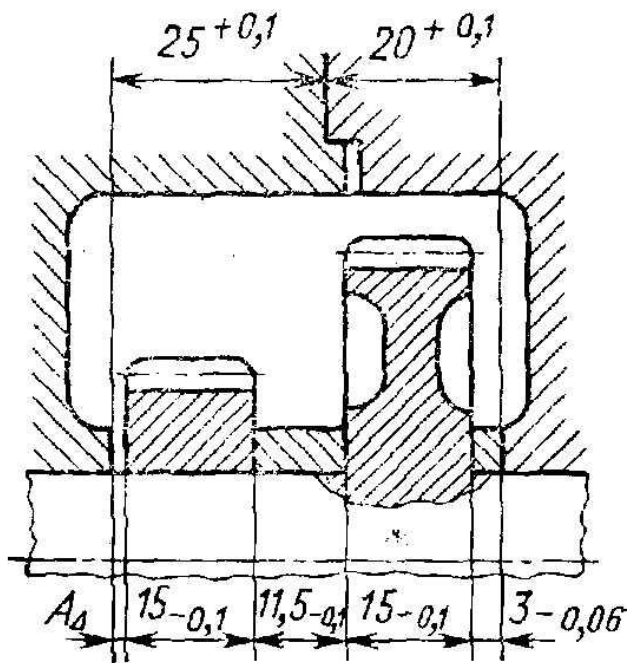


Рис. 2.2

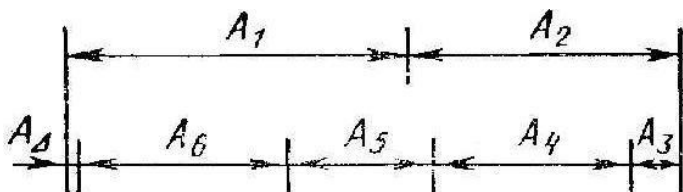


Рис. 2.3

Применительно к процессам сборки чаще всего рассматриваются плоские линейные технологические цепи, используя которые решается *обратная задача*: по известным (заданным или действительным) значениям составляющих звеньев определяют номинальный размер, величину и координату середины поля рассеяния замыкающего звена (зазора, натяга). В результате проверяется правильность решения прямой, проектной задачи, когда по заданному значению исходного (замыкающего) звена определяются и корректируются величины и координаты середины полей допусков всех составляющих звеньев.

Рассмотрим линейную технологическую цепь (рис.2.2) с параллельными звеньями. Из геометрической схемы цепи (рис.2.3) видно, что номинальная величина любого звена, например звена – зазора  $A_d$ , равна алгебраической сумме номинальных размеров увеличивающих и уменьшающих звеньев:

$$A_d = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4 + A_5 + A_6) = \sum_1^m A_i - \sum_{m+1}^{n-1} A_i = \sum_1^{n-1} \zeta_i A_i$$
 где  $m$ -число увеличивающих звеньев;  $n$  -уменьшающих, а  $\zeta_i$  -передаточное отношение, характеризующее степень влияния каждого звена.

Для расчета точности (величины и координат середины поля допуска и предельных отклонений замыкающего звена применяется два метода расчета: 1) метод максимума - минимума и 2) метод на основе теории вероятности.

## Продолжение 2.1. Расчеты точности

Расчет по методу максимума-минимума предполагает, что составляющие звенья выполнены с наименее выгодными предельными отклонениями, т.е. предполагаются два случая.

а) когда все увеличивающие звенья максимальны, а уменьшающие минимальны, тогда  $A_{\Delta}$  – максимально:

$$A_{\Delta \max} = \sum_1^m A_{\max} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{\min}$$

б) когда увеличивающие звенья минимальны, а уменьшающие максимальны:  $A_{\Delta \max}$  – минимально:

$$A_{\Delta \min} = \sum_1^m A_{\min} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{\max}$$

А так как разность предельных размеров представляет собой допуски соответствующих звеньев, то

$$\delta_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = \sum_1^m A_{\max} - \sum_1^m A_{\min} + \sum_{m+1}^{n-1} A_{\max} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{\min} = \sum_1^m \delta_i - \sum_{m+1}^{n-1} \delta_i = \sum_1^{n-1} \zeta_i \delta_i$$

т.е. расчетное значение допуска замыкающего звена равно арифметической сумме допусков всех увеличивающих и уменьшающих звеньев (без учета знака).

Полученное расчетное значение сильно завышено, т.к. вероятность появления при одной сборке наименее выгодных сочетаний предельных размеров деталей, входящих в размерную цепь, ничтожно мала. Поэтому по методу максимума-минимума допуски рассчитываются в тех размерных цепях, в которых должна быть установлена полная (100 %) взаимозаменяемость.

Вероятностный метод расчета учитывает случайный характер получения сборочных параметров при комплектовании деталей и сборке. Поэтому при нем оперируют не номинальными значениями размеров и допусками, а средними значениями радиусов и рассеянием их отклонений от номинального значения. Предположим, что поле рассеяния  $\omega_i$  деталей, поступающих на сборку (рис.2.4), подчиняется закону Гаусса и оно равно полу допуска  $\delta_i$ . Как известно, при этих условиях в интервал допуска  $\omega_i = 6\sigma$ , попадает 99,73% деталей. Рассеяние размеров замыкающего звена тогда также будет следовать закону Гаусса, а у 99,73% сборочных единиц замыкающее звено будет находиться в пределах допуска  $\delta_{\Delta} = 6\sigma$ .

Тогда для закона Гаусса, симметричного допуску середина поля рассеяния  $\Delta_{\omega \Delta}$  замыкающего звена находится по формуле:  $\Delta_{\omega \Delta} = \sum_1^{n-1} \zeta_i \Delta_{\omega i}$ , а совпадающая с ней координата  $\Delta_{O \Delta}$  середины поля допуска замыкающего звена  $\Delta_{O \Delta} = \sum_1^{n-1} \zeta_i \Delta_{O i}$ , где  $\Delta_{O i} = A_{icp} - A_i$ , а  $A_{icp} = 0,5(A_{imax} + A_{imin})$ .

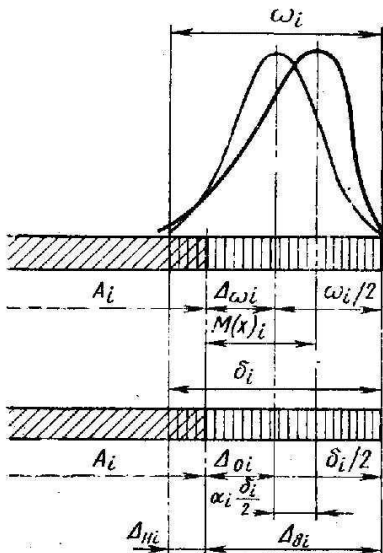


Рис. 2.4

## Продолжение 2.1. Расчеты точности

Следует иметь в виду, что поля допусков составляющих звеньев располагаются различно относительно номинальных размеров и величины  $\Delta_{oi}$  и  $\Delta_{oA}$ , могут иметь разные знаки, поэтому суммирование  $\Delta_{oi}$  – алгебраическое.

В общем случае, когда кривая закона рассеяния несимметрична относительно поля допуска (см. рис.1.8), координата середины поля допуска замыкающего звена находится по уравнению:

$$\Delta_{oA} = \sum_1^{n-1} \zeta_i (\Delta_{oi} + \alpha_i \delta_i / 2), \text{ где}$$

$\alpha_i$  - коэффициент относительной асимметрии. Для среднего уровня производства  $\alpha_i = 0 \dots 0,4$ .

Предельные отклонения замыкающего звена, выраженные через координату  $\Delta_{oA}$  середины его поля допуска,

$$\Delta_{eA} = \Delta_{oA} + \delta_A / 2 \quad \text{и} \quad \Delta_{нA} = \Delta_{oA} - \delta_A / 2 .$$

Величина допуска замыкающего звена в соответствии с теоремами о суммировании случайных величин определяется путем квадратичного суммирования. Когда законы рассеяния близки закону Гаусса:

$$\delta_A = (\sum_1^{n-1} \zeta_i \delta_i)^{0,5}$$

В общем случае, когда законы рассеяния отличаются от закона Гаусса и поля рассеяния не совпадают с полями допусков звеньев, допуск замыкающего звена определяется по формуле:

$$\delta_A = t(\sum_1^{n-1} \zeta_i \lambda_i \delta_i)^{0,5}, \text{ где}$$

$t$  - коэффициент риска, характеризующий процент выхода расчетных отклонений за пределы допуска;

$\lambda_i$  - коэффициент относительного рассеяния, характеризующий закон рассеяния случайной величины: для закона Гаусса -  $\lambda_i = 1/9$ ; закона Симпсона -  $\lambda_i = 1/6$ ; для неизвестного закона -  $\lambda_i = 1/3$  .

Отметим, что вероятностным методом рассчитываются те цепи, в которых экономически целесообразно назначать более широкие допуски на составляющие звенья. В этом случае в технических условиях на сборку должны быть указаны обоснованный процент риска и технологические методы исключаящие выпуск изделий с браком (с большими отклонениями замыкающего звена от заданного значения).

## 2.2. Методы обеспечения заданной точности при сборке

Обеспечение заданной точности сборочного параметра означает достижение тем или иным способом, чтобы суммарная погрешность замыкающего звена была меньше или равна допуску, т.е. выполнялось неравенство:

$$T_{\Delta} \geq 1,2 \delta_{\Delta}$$

Анализ уравнений для расчета допуска замыкающего звена для метода максимум-минимум:  $\delta_{\Delta} = \sum_1^{n-1} \zeta_i \delta_i$  и для вероятностного метода  $\delta_{\Delta} = (\sum_1^{n-1} \zeta_i^2 \delta_i^2)^{0,5}$  показывает, что уменьшить погрешность сборочного параметра можно тремя путями: 1) уменьшением полей допусков составляющих звеньев цепи  $\delta_i$  (что очевидно, но не лучше, т.к. стоимость резко возрастает); 2) уменьшением числа  $n$  составляющих звеньев (использование коротких размерных цепей - “принцип наикратчайшего пути”); 3) уменьшение передаточных отношений  $\zeta_i$ , в первую очередь тех, которые имеют большие абсолютные значения. При этом ужесточать допуски следует, прежде всего, для звеньев, имеющих такие коэффициенты.

В зависимости от конкретных производственных условий и степени реализации указанных путей заданная точность в процессе 1-ой сборки (рис. 2.5), когда причина появления погрешностей - изготовление деталей и сборка узлов, обеспечивается одним из пяти методов: 1. *полной взаимозаменяемости*; 2. *неполной взаимозаменяемости*; 3. *подбора (групповой взаимозаменяемости)*; 4. *компенсации или регулирования*; 5. *пригонки*.

При выполнении 2-ой сборки (или при ремонте) необходимо учитывать погрешности, которые возникают при общей 1-ой сборке, при технологических испытаниях и разборке, поэтому здесь также применяют методы *компенсации* и *пригонки*, а также используют: *восстановление*; *замену или установку в прежнее положение (по меткам)*.

### Методы достижения заданной точности при сборке

#### При первой сборке

#### При переборке (ремонте)

Полная взаимозаменяемость

Неполная взаимозаменяемость

Групповая взаимозаменяемость

Компенсация (регулировка)

Пригонка

Восстановление

Установка по меткам

Замена

Рис. 2.5

## Продолжение 2.2. Методы обеспечения заданной точности при сборке

Метод полной взаимозаменяемости применяется когда расчет точности по методу максимума-минимума показывает, что условие:  $T_A \geq 1,2 \delta_A = \sum_{i=1}^{n-1} \zeta_i \delta_i$  - выполняется.

То есть сборка может осуществляться из любых деталей данного типоразмера, и все они, включаясь в качестве звеньев в размерную цепь, обеспечивают заданную точность замыкающего звена без каких-либо дополнительных операций (выбора, подбора, изменения размера). Метод экономически более эффективен в случае короткозвенных цепей и в условиях крупносерийного и массового производства.

Например: Необходимо осуществить сборку соединения (рис.2.6.а) с натягом от 5 до 52 мкм. Для сборки по методу полной взаимозаменяемости требуется при обработке деталей 1 обеспечить допуск 8 мкм в минус для диаметра 30 мм (5-ый квалитет), а у отверстия деталей 2 - допуск в минус от 13 до 52 мкм (8-ой квалитет).

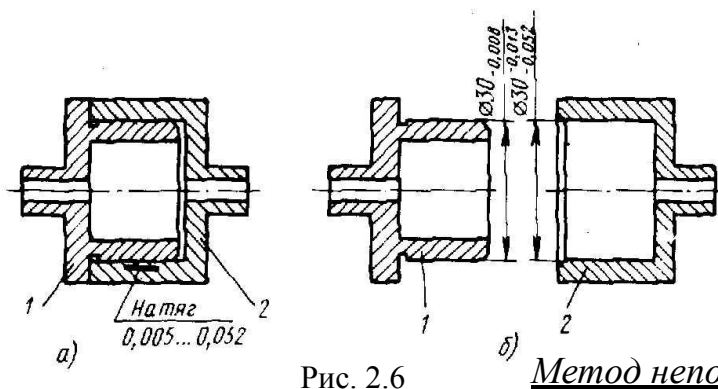


Рис. 2.6

*Преимущество метода:* простота и малая трудоемкость сборочных операций; низкая квалификация рабочих; упрощение нормирования, планирования и организации производства; возможность кооперирования между заводами; механизация и автоматизация сборочного процесса, перевод сборки на поток; удешевление и обеспечения ремонта изделий. *Недостатки:* повышенная точность изготовления деталей, входящих в размерные цепи, что не всегда экономически целесообразно.

Метод неполной взаимозаменяемости применяется когда, несмотря на нарушение условия обеспечения точности:  $T_A < 1,2 \delta_A$ , сборка осуществляется по методу полной взаимозаменяемости. Т.е. некоторый процент изделий, собранных без выбора и изменения размеров детали, может иметь значения замыкающего звена, не соответствующего заданному.

Например: Требуется выдержать допуск замыкающего звена  $\delta_A = \pm 0,03$  мм (рис.2.7, кривая 1). После увеличения допуска на 40% до экономически приемлемого значения  $\delta_A' = \pm 0,05$  мм (рис.2.7, кривая 2) при сборке по полной ВЗ появится некоторый (заштрихованные участки) процент брака, равный всего 7%. Если расходы на выявление брака, переборку и исправление будут меньше затрат на достижение допуска  $\delta_A = \pm 0,03$  мм, то применяется метод неполной ВЗ.

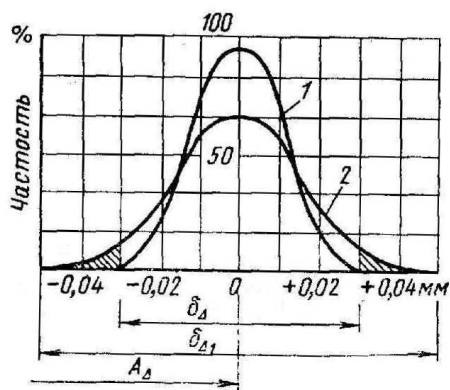


Рис. 2.7

## Продолжение 2.2. Методы обеспечения заданной точности при сборке

Метод подбора или групповой взаимозаменяемости также применяется при условии  $T_A < 1,2 \delta_A$ , однако риск получения некондиционных изделий исключается за счет проведения сборки из специально подобранных деталей. При этом различают попарный и групповой методы подбора.

При *попарном методе* сборщик непосредственно на рабочем месте путем обмера подбирает сопрягаемые детали друг к другу, добиваясь получения заданного значения замыкающего звена.

При *групповом методе* сопрягаемые детали предварительно рассортировываются на группы (рис.2.8) с более узкими пределами допуска, а затем изделия собираются из деталей соответствующей группы. Т.е. при этом методе как бы проводят сборку из деталей, имеющих допуск в  $m$  раз меньше, чем допуск на изготовление.

Число групп рассортировки  $m$  равно:  $m = (\delta_g - \delta_o) / \delta_A$ , с округлением до ближайшего целого.

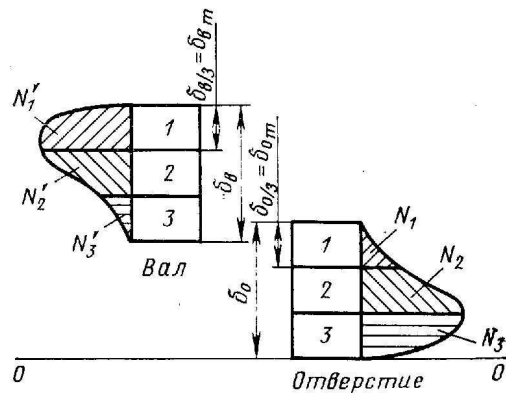


Рис. 2.8

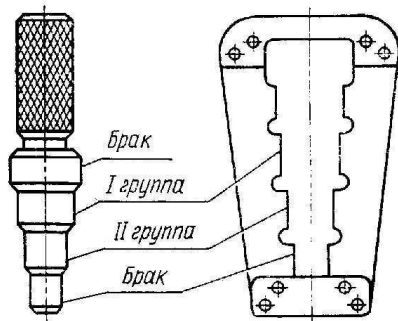


Рис. 2.9

Эффективность метода снижается, если распределение асимметрично или не совпадают координаты полей рассеяния. А также сложно осуществить подбор одновременно по нескольким параметрам. Однако метод широко распространен особенно при сборке малозвенных узлов высокой точности. Детали сортируются автоматами или вручную предельными калибрами (рис.2.9).

Метод пригонки обеспечивает требуемую точность замыкающего звена за счет изменения размера одной из деталей в размерной цепи с помощью слесарной или механической обработки. Другие детали этой размерной цепи изготавливаются с экономически целесообразной точностью.

Обычно обрабатываемая деталь изготавливается с припуском большим или равным допуску на компенсацию:  $\Delta_k = (\delta_A - T_A)$

*Достоинство:* высокая точность при сборке многозвенных сборочных единиц.

*Недостатки:* трудоемкость пригоночных операций; сложное нормирование; нарушение ритмичности производства; высокая квалификация сборщиков; загрязнение собираемых изделий стружкой или абразивом.

Применяется в основном в опытном производстве. В серийном иногда допускается притирка, соосное или обычное развертывание.

## Продолжение 2.2. Методы обеспечения заданной точности при сборке

Метод компенсации или регулировки при наличии неравенства  $T_{\Delta} < 1,2 \delta_{\Delta}$  заключается в том, что заданное значение допуска замыкающего звена при изготовлении остальных деталей с экономически приемлемой точностью достигается регулированием размера одной из деталей, специально для этой цели изготавливаемой и называемой компенсатором. Все другие детали при этом участвуют в сборке, как при полной ВЗ.

Чаще всего применяют *неподвижные компенсаторы*, выполненные в виде калиброванных колец, шайб и прокладок (рис.2.10). *Подвижные компенсаторы*, выполненные со ступенчатым (типа корончатых гаек) или с непрерывным (типа регулировочных винтов) перемещением, применяются реже.

Метод позволяет получать высокую точность замыкающего звена независимо от числа звеньев и поддерживать ее при эксплуатации. Но при этом увеличивается номенклатура изготавливаемых деталей, т.к. компенсатор изготавливается в нескольких вариантах с разными размерами.

Методы обеспечения точности при переборках или ремонте отличаются от методов при 1-ой сборке. Обычно допуски на сборочные параметры при ремонте несколько расширяют.

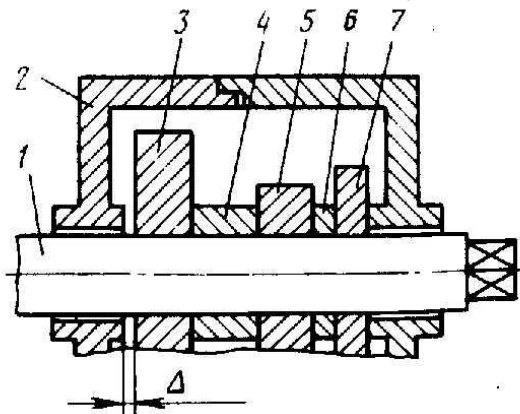
*Метод замены*: негодные сборочные элементы заменяются запасными частями или бывшими в употреблении. Введение новых сборочных единиц иногда требует компенсацию их несоответствия остальным деталям.

*Метод восстановления* применяется к сборочным единицам, имеющим устранимые дефекты. Для этой цели используют гальванические методы, напыление, сварку, наплавку, шлифование, полировку и т.п.

*Метод установки в прежнее положение* применяют в тех случаях, когда соединение в процессе работы не получило никаких дефектов. Точность, достигнутая любыми методами при 1-ой сборке, здесь обеспечивается установкой сборочных элементов на свои прежние места ( в соответствии с клеймением и маркировками).

*Метод пригонки* при ремонте применяют в случае изменения размеров других годных деталей за время эксплуатации. Обычно подгоняют восстановленные детали.

*Метод регулирования* применяют при ремонте и регламентных работах. В основном регулирование осуществляют подвижными компенсаторами.



1-вал; 2-корпус; 3,4,5,7-детали редуктора;  
6 - компенсатор

Рис. 2.10

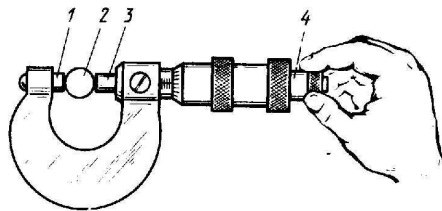
# 3. Контроль сборочных параметров

## 3.1. Контроль основных геометрических параметров

Высокая ответственность сборки как завершающего этапа производственного цикла требует гарантии безусловного обеспечения всех параметров в пределах их допусков. Это требование особенно важно, поскольку в процессе реализации процесса сборки воздействует множество случайных факторов, влияющих на точность сборки. Поэтому в процессе сборки проводится контроль действительных значений сборочных параметров. По результатам контроля методы сборки корректируются, и контроль проводится вновь.

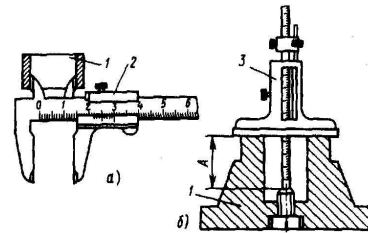
В процессе сборки не контролируются параметры самих деталей, т.к. это делается в цехе-изготовителе. Однако контроль точности взаимного положения поверхностей сопряженных деталей составляет одну из важнейших операций ТП сборки любого узла, агрегата или изделия в целом.

Контроль размеров деталей и узлов может осуществляться с помощью обычных универсальных или предельных средств измерения и способы их проведения не отличаются от принятых в машиностроении.



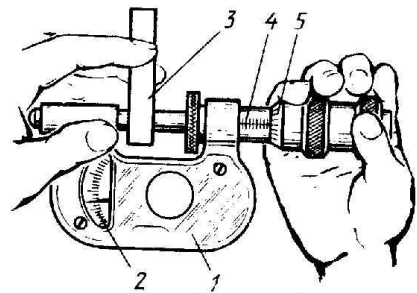
1,3 -наконечники; 2-деталь; 4- трещотка

Рис. 3.1



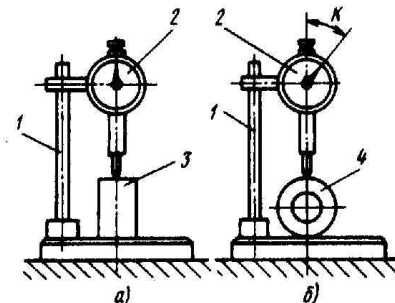
1-деталь; 2- штангенциркуль;  
3-штангенглубиномер

Рис. 3.3



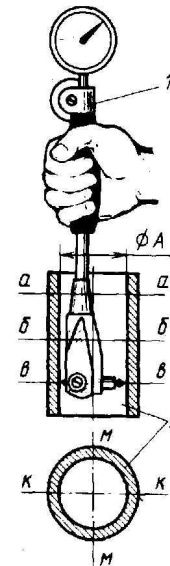
1-корпус; 2-шкала индикатора; 3-деталь;  
4-шкала на стебле; 5-шкала на барабане

Рис. 3.2



1-стойка; 2-индикатор; 3-эталон;  
4-деталь

Рис. 3.4



1-индикаторный  
нутромер; 2-деталь

Рис. 3.5

*Штангенциркули* (рис.3.3) применяются при невысокой точности сборки. Цена деления - 0,1; 0,05; 0,02 мм.

*Гладкие микрометры* (рис.3.1) более точны. Их изготавливают с пределами измерения от 0...25мм до 300 мм через каждые 25 мм. Цена деления - 0,01 мм.

*Рычажные микрометры* применяются для точного измерения небольших деталей (рис.3.2). Цена деления - 0,001...0,005 мм.

*Рычажно-механические* (рис.3.4 и 3.5) и оптико-механические приборы определяют отклонения измеряемого размера от эталона, по которому настраивают измерительный прибор.

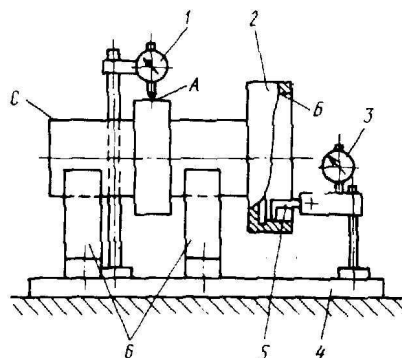


## Продолжение 3.1. Контроль основных геометрических параметров

Контроль взаимного положения поверхностей, деталей и узлов проводится в ТП сборки наиболее часто.

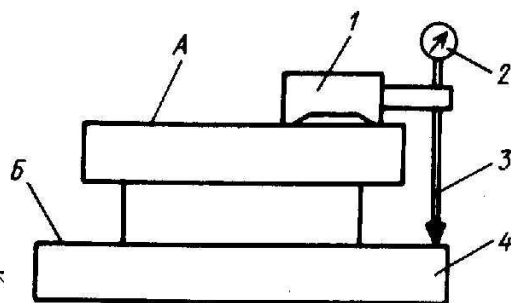
Взаимные биения, соосность, параллельность и перпендикулярность поверхностей одной детали узла относительно другой оказывают значительное влияние на выходные параметры и характеристики изделий.

*Радиальное биение* возникает из-за неправильной геометрической формы, из-за смещения осей сопрягаемых деталей или их комбинаций. Для определения биений поверхностей А и Б узла 2 относительно С (рис.3.6) его устанавливают на призмы 6 поверхностью С. При плавном повороте узла индикаторы 1 и 3, контактирующие с поверхностями А и Б, показывают их радиальное биение относительно С.



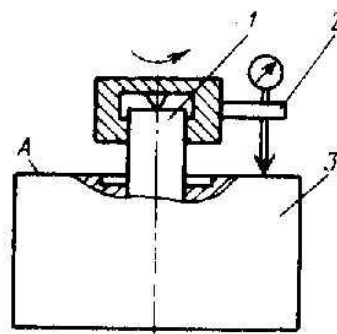
1, 3-индикаторы; 2- сборочная единица;  
4-основание; 5-рычаг; 6-призмы

Рис. 3.6



1-основание; 2-индикатор;  
3-наконечник; 4-сборочная единица

Рис. 3.8



1-вал; 2-индикатор;  
3-сборочная единица

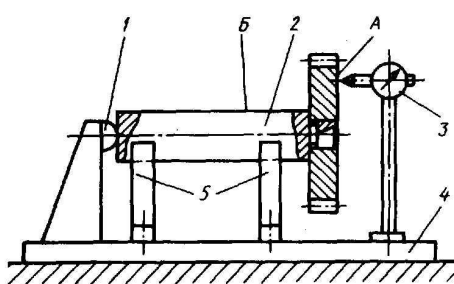
Рис. 3.9

*Торцевое биение* возникает из-за перекоса сопрягаемых деталей. Оно измеряется на таких же приспособлениях для радиального биения (рис.3.7) отдельно или одновременно.

*Параллельность поверхностей и осей* также производят индикаторными приспособлениями (рис.3.8).

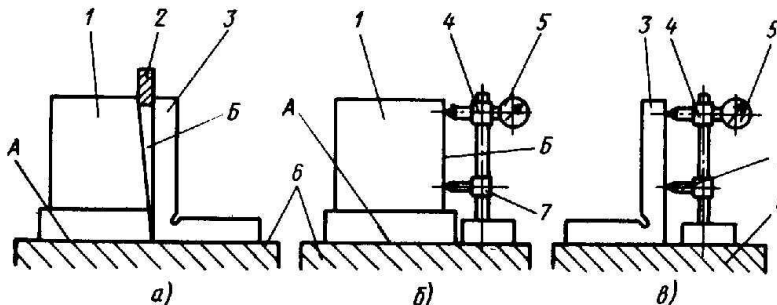
*Перпендикулярность поверхностей* контролируется (рис.3.9 и 3.10) жесткими угольниками и индикаторными приспособлениями.

*Контроль взаимного прилегания* поверхностей осуществляется методом краски, щупами и с использованием калибров - на просвет.



1-упор; 2-сборочная единица; 3-индикатор; 4 -основание; 5-призмы

Рис. 3.7



1-сборочная единица; 2-щуп; 3-угольник; 4-индикаторная стойка; 5-индикатор; 6-плита; 7-упор

Рис. 3.10

## Продолжение 3.1. Контроль основных геометрических параметров

**Контроль зазоров и натягов.** Зазоры измеряют непосредственно на узле и косвенным путем (измерение размеров деталей в размерной цепи и последующий расчет), а натяг - только косвенным путем. При непосредственном контроле зазоры измеряют в одной или нескольких точках: диаметральный и боковой зазоры - в одной точке, а осевой и радиальный - в четырех диаметральных точках, по которым судят о равномерности зазоров.

**Контроль щупами** проводится при наличии свободного доступа к зазору. Для этой цели используют наборы универсальных или специальных щупов (рис.3.11) различной толщины с шагом 0,01 мм, а там где это позволяет открытое пространство применяют индикаторные часы.

**Контроль зазора по отпечатку** применяют обычно для измерения большого числа радиальных и осевых зазоров в труднодоступных местах (чаще в лабиринтных уплотнениях). Для этой цели используют свинцовую проволоку или пластилин (воск), укладываемые в местах замеров (рис.3.12) перед сборкой узла. После сборки изделия на вязком материале остается вмятина, равная по величине зазору. Разобрав узел без повреждения слепка, определяют величину и равномерность зазора.

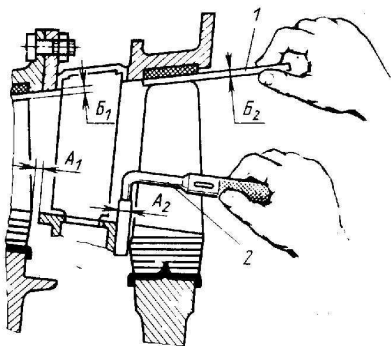
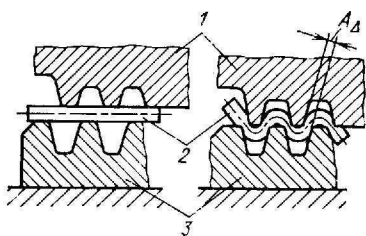
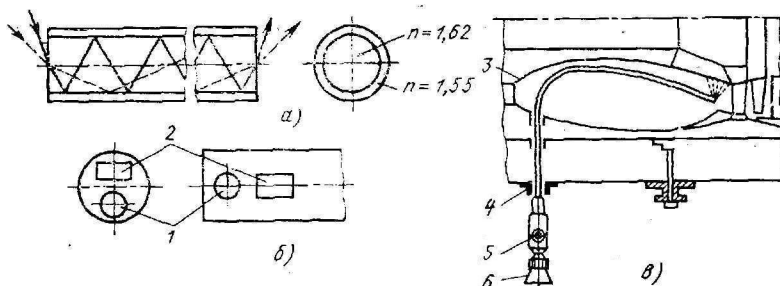


Рис. 3.11



1-лабиринт ротора; 2- свинцовые проволочки; 3-лабиринт статора

Рис. 3.12



1-объектив; 2-освещающая площадка; 3-сборочная единица;  
4- смотровой люк; 5-источник света; 6-окуляр

Рис. 3.13

**Бесконтактные методы** с использованием емкостных и индуктивных датчиков, эндоскопов, световодов, телевидения и др. позволяют вести измерения параметров, осуществлять контроль сварных швов, состояние поверхностей ответственных деталей в собранном изделии, при его испытаниях и эксплуатации.

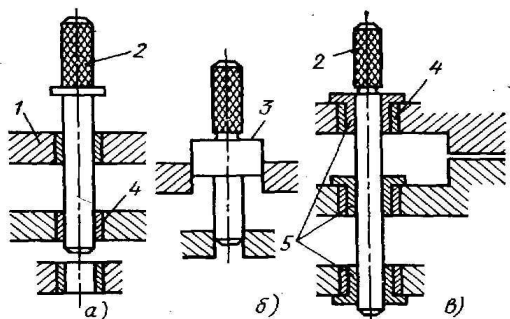
**Принцип действия эндоскопов** основан на использовании полного внутреннего отражения в стеклянном волокне (рис.3.13.а), изготовленного из двух материалов с

различным коэффициентом преломления света. Свет на границе отражается и передается в нужном направлении. Волокна  $\varnothing 10...30$  мкм собираются в жгуты, так чтобы на передающем конце на торце или сбоку (рис.3.13.б) располагался объектив и освещающая площадка.  $\varnothing$  жгутов - 6, 8 и 12 мм, длина - 2...3 м.

## Продолжение 3.1. Контроль основных геометрических параметров

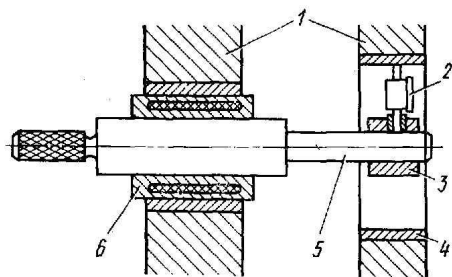
Контроль соосности в производстве ЭУ и ДУ диктуется тем, что несоосность, выходящая за пределы допуска, влечет за собой катастрофические последствия, практически в любом изделии КДУ: в плазматроне несоосность анода и катода вызывает привязку дуги к стенке анода, что вызывает его прогар; в ТЭП – соосность определяет равномерность межэлектродного зазора, а следовательно и характеристики всего генератора; в ТХД – соосность анода и катода влияет на тяговые характеристики и т.д. Поэтому контроль соосности обычно проводится на первых стадиях сборки объекта, когда открыт доступ с измерительными средствами к измеряемым поверхностям. Он осуществляется: жесткими калибрами; индикаторами; оптическим или пневматическим методом.

*Контроль жесткими калибрами* производится на изделиях, с небольшими расстояниями между проверяемыми посадочными поверхностями. При этом используют гладкие (рис.3.14а) или ступенчатые (рис.3.14б) калибры, или же вставляют технологические втулки с одинаковыми отверстиями (рис.3.14в) под калибр.



1-корпус; 2-гладкий калибр; 3-ступенчатый калибр; 4-втулки подшипников; 5- технологические втулки

Рис 3 14



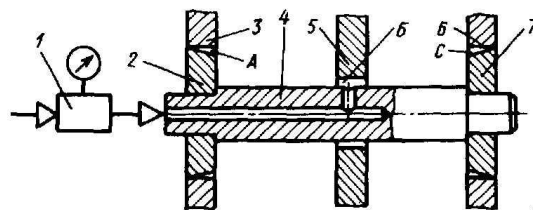
1-корпус; 2- индикатор; 3-втулка индикатора; 4-втулка подшипника; 5-оправка; 6-самоцентрирующая втулка

Рис. 3.15

Соосность считается удовлетворительной, если калибр проходит в отверстия при незначительном усилии или под собственным весом. Применение жестких калибров ограничено из-за невысокой надежности результатов измерений и громоздкости для крупногабаритных изделий.

*Индикаторные приспособления* при измерении соосности (рис.3.15) дают более надежные результаты

*Пневматический метод контроля* основан на измерении расхода воздуха при прохождении через щели переменной сечения. Для этого используется



1-расходомер; 2, 7-конические втулки; 3, 5, 6-корпусные детали; 4-оправка

Рис. 3.16

пустотелая оправка с жиклерами (рис.3.16), которую центрируют обычным способом или с помощью конусных втулок в крайних соосных отверстиях.

По изменению расхода воздуха через жиклер за один оборот оправки судят о несоосности измеряемого отверстия относительно базовых гнезд.

### Продолжение 3.1. Контроль основных геометрических параметров

Оптические методы контроля соосности чаще всего реализуются по двум схемам: 1) с помощью визирной трубы и марки; 2) с помощью визирной трубы и коллиматора.

В 1-ой схеме (рис.3.17а) визирная марка 2 (плоско-параллельная пластина с перекрестием нитей) вставляется в базовое отверстие (обычно крайнее). Для достоверного совмещения центра перекрестия с геометрической осью отверстия применяют самоцентрирующие втулки. На центр перекрестия настраивается оптическая визирная труба 1, устанавливаемая вне изделия. Настройка осуществляется по крайним положениям марки в базовом отверстии. Затем марки переставляются в следующее отверстие. Если центр марки не совпадает с центром перекрестия визирной трубы, то с помощью микрометрических винтов трубы совмещают перекрестия трубы и марки и определяют величину несоосности. Аналогичная процедура повторяется для следующих отверстий.

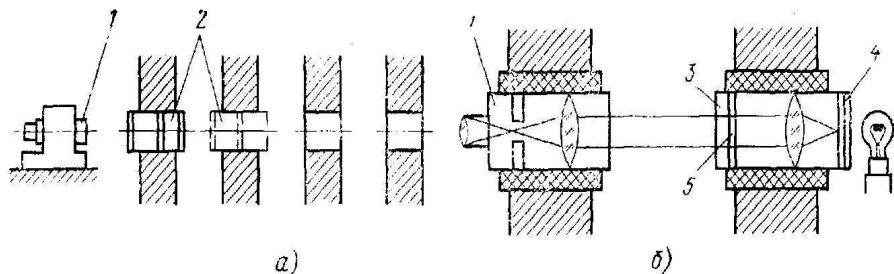
Этот способ позволяет с высокой точностью определять линейные смещения осей, но угловые отклонения при малой глубине отверстия определить нельзя.

Вторая схема позволяет проверить как линейное, так и угловое смещение осей отверстия с помощью двух оптических труб (рис.3.17б): визирной и коллиматора (устройства для получения параллельного пучка лучей) устанавливаемых в соосные отверстия с помощью самоцентрирующих втулок.

Визирную трубу 1 сначала фокусируют на бесконечность, получая изображение сетки 4 коллиматора 3. Измерив смещение этой сетки относительно центра визирной трубы, находят угол перекоса отверстий. Затем фокусируют визирную трубу на дополнительную сетку 5, очень похожую на визирную марку 2, и измеряют линейное

смещение ее оси относительно центра окулярного перекрестия визирной трубы. При этом измерения можно проводить в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Приборы, основанные на этом принципе (типа ППС-7) позволяют определять несоосность в пределах 15 мкм на длине 1 м.



1-визирная труба; 2- визирная марка; 3- коллиматор; 4- сетка коллиматора; 5- дополнительная сетка

Рис. 3.17

## 3.2. Контроль герметичности

*Герметичность* – способность оболочки (корпуса) и ее соединений препятствовать газовому или жидкостному обмену между средами, разделенными этой оболочкой.

Нарушение герметичности связано со сквозными дефектами (трещинами, щелями) в структуре материала или течами в соединениях. Через них непрерывно, в той или иной мере происходит утечка рабочего вещества при избыточном давлении в оболочке или натекании – при пониженном давлении. Поэтому представление о полной (абсолютной) герметичности - ошибочно и следует говорить о степени герметичности.

*Степень герметичности* – допустимая утечка (или натекание) вещества  $Q$ , при котором обеспечивается безотказная работа изделия в течение определенного времени:  $Q = \Delta p V_{\text{раб}} / \Delta t$ , где  $\Delta p$  - допустимое изменение давления в рабочем объеме [Па];  $V_{\text{раб}}$  - рабочий объем [л];  $\Delta t$  - время работы или хранения [с].

Степень герметичности – один из важных сборочных параметров любого изделия и тем более КДУ. Она оговаривается в технических условиях на сборку и в сборочных чертежах. В зависимости от функционального назначения изделий в их соединениях и оболочках могут допускаться три режима течения по каналу течи: *вязкостный* -  $Q \geq 13,3$  мПа л/с; *переходный* -  $13,3$  мПа л/с  $> Q > 13,3$  мкПа л/с; *молекулярный* -  $Q \leq 13,3$  мкПа л/с.

Естественно, что такие сборочные единицы, как тепловые трубы, корпуса ТЭП, баки и трубопроводы с рабочим телом (особенно, щелочными металлами) и многие другие, могут допустить только молекулярный режим течения и то в пределах нескольких нПа л/с или даже их долей. В то время как в уплотнениях (манжетных, сальниковых, лабиринтных), клапанных механизмах, в подвижных соединениях наблюдается вязкостный режим течения.

Это связано с тем, в первом случае значительное вытекание газообразной или жидкой среды может сопровождаться необратимыми последствиями: взрыв, пожар, прекращение функционирования, загрязнение окружающей среды и т.п. А во втором случае – отсутствуют опасные последствия, а могут только незначительно измениться рабочие параметры изделия.

*Цель контроля герметичности* - это выявление места нахождения и величины сквозных каналов (течей), имеющих в стыках и дефектных швах из-за недостаточного прилегания поверхностей и наличия сквозных трещин, а также определить их изменение под действием рабочей нагрузки (давления).

В производстве двигателей и КДУ применяются, в основном, шесть методов контроля герметичности:

1) керосиново-меловой; 2) цветная или люминесцентная дефектоскопия; 3) химическими реактивами; 4) сжатым воздухом; 5) течеискателями (масса-спектрометрический метод); 6) радиоактивным методом.

## Продолжение 3.2. Контроль герметичности

Керосино-меловой метод использует высокую гигроскопичность (капиллярные свойства) керосина. Наиболее прост и доступен. Применяется для контроля, прежде всего, сварных соединений в изделиях простой конструкции, позволяющей иметь доступ к обоим сторонам соединения.

Сторона, доступная для визуального осмотра покрывается меловым раствором (иногда с добавкой клея) и сушится. После сушки обратная сторона соединения обильно смачивается керосином. Появление темных керосиновых пятен на белом (меловом) фоне указывает на наличие течей.

Чувствительность метода  $Q \geq 1 \dots 10$  мПа л/с.

Люминесцентный метод основан на применении люминесцентных контрольных жидкостей (керосин + люминофор). Течи обнаруживаются по свечению проникающей жидкости при облучении поверхности изделия источниками ультрафиолетового или инфракрасного излучения.

Для повышения чувствительности метода применяется гидроопрессовка изделия люминесцентными жидкостями, что позволяет совместить контроль герметичности с контролем прочности в одной операции, т.е. метод проявляет поверхностные несквозные трещины и дефекты. Оценка герметичности преимущественно качественная. Для количественной оценки производят визуальное сравнение обнаруженной интенсивности свечения с эталонной.

Чувствительность метода  $Q \geq 0,1 \dots 10$  мПа л/с.

Химический метод основан на химической реакции проникающего контрольного газа с индикатором (вещество в консистенции краски), нанесенным тонким слоем на исследуемые участки. После химической реакции индикатор в местах течи резко изменяет свой цвет.

Разновидность этого метода – контроль индикаторными лентами. Тканевые (или состоящие из алюминиевой фольги и асбестовой бумаги) ленты, пропитанные индикатором, с помощью клейкого вещества накладывают на исследуемое место. Преимущество использования лент состоит в том, что отпадает операция смыва индикатора. К тому же некоторые ленты могут быть использованы многократно или оставлены как документ испытаний.

Чувствительность метода  $Q$  пределах 2 мПа л/с.

## Продолжение 3.2. Контроль герметичности

Контроль сжатым воздухом (пневматический метод) реализуется при подаче в полость изделия сухого воздуха под избыточным давлением 0,1 – 0,5 МПа (а иногда и при рабочем давлении в изделии). Все отверстия закрываются технологическими заглушками или завариваются технологическими швами. При этом обязательно перед контролем герметичности проводятся гидравлические испытания полостей на прочность.

Регистрация течей может проводиться методом аквариума, с помощью мыльной пены и по падению давления.

При *методе аквариума* изделие погружается в резервуар с водой – аквариум, и течи обнаруживаются по появлению воздушных пузырьков. Степень герметичности при этом определяется по количеству воздуха натекающей в объем пузырьков за время  $t$ :  $Q = (\pi d^3/6)(m/t)p_{атм}$ , где  $d$  - диаметр пузырьков;  $m$  - количество пузырьков;  $t$  - время регистрации пузырьков;  $p_{атм}$  - давление над поверхностью жидкости в аквариуме.

Чувствительность метода  $Q \geq 100$  мкПа л/с в обычном аквариуме, а в бароаквариуме (при вакуумировании объема натекания) чувствительность повышается на порядок. Недостаток - необходимость сушки изделия.

*Мыльная пена*, применяемая для регистрации течей, позволяет контролировать крупногабаритные изделия. При этом слой пены, приготовленный из мыльного корня или мыла (с добавками желатина (пенообразующего) и глицерина (для повышения вязкости), наносится на поверхность изделия. Течи обнаруживаются по появлению мыльных пузырьков, механизм образования которых аналогичен методу аквариума.

Чувствительность метода  $Q \geq 1$  мПа л/с.

*По падению давления* регистрируются течи в полостях крупногабаритных изделий с разъемными и неразъемными соединениями в труднодоступных местах. При этом степень герметичности  $Q$  определяется по величине изменения давления  $\Delta p$  за время  $\Delta t$  в известном объеме  $V_{раб}$ :  $Q = \Delta p V_{раб} / \Delta t$ . Место течи не определяется.

Чувствительность метода  $Q \geq 10$  мПа л/с.

## Продолжение 3.2. Контроль герметичности

Масс-спектрометрический метод контроля герметичности основан на избирательном улавливании ионов контрольного газа, которые внутри масс-спектрометра пролетают по строго определенной траектории в соответствии со своей массой (рис.3.18). Различают три основных разновидности метода с гелиевым течеискателем ПТИ: способ накопления; метод щупа и метод обдува.

*При способе накопления* изделие (рис.3.19) может помещаться в герметичную оболочку 4 и заполняется под давлением гелием. Между оболочкой 4 и изделием 5 образуется объем, в котором накапливается контрольный газ. Через некоторое время из этого объема отбирается проба. Для повышения чувствительности объем наполнения может вакуумироваться и непосредственно соединяться с масс-спектрометром. Чувствительность повышается на один-два порядка (до 10 нПа л/с).

*При способе щупа* в наконечнике прибора-щупа образована калиброванная течь. При перемещении наконечника вблизи изделия, наполненного гелием под давлением, проникающий через течи газ попадает в наконечник и проходит в течеискатель. Чувствительность метода  $Q \geq 1$  мкПа л/с с одновременным обнаружением места течи.

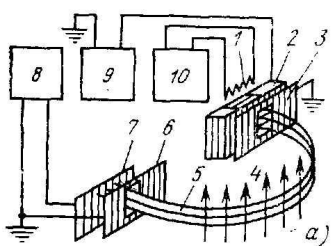
*Способ обдува.* Вакуумированию подвергается изделие, соединенное через вакуумную систему с течеискателем. места предполагаемых течей обдуваются гелием из баллона.

*Галоидный метод* использует галоидные течеискатели типа ГТИ. Чувствительность  $Q \geq 1$  мкПа л/с. В качестве контрольного газа используют галоидосодержащие газы: фреон, хлороформ, четырех хлористый углерод.

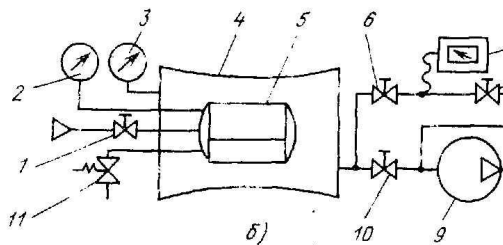
*Радиоактивный метод* основан на использовании газообразных радиоактивных изотопов ( $Kr85$ ), добавляемых в контрольный газ. Испытуемый объект в течении нескольких часов выдерживается в контейнере с избыточным

давлением радиоактивного газа в смеси с азотом или воздухом. Газ удаляют. По излучательной способности проникшего газа, регистрируемого детектором, определяют место и величину течей  $Q$  до 100 пПа л/с

Оптимальным является контроль герметичности в несколько этапов от грубых методов до более чувствительных, т.к. приборы высокой чувствительности быстро выходят из строя при больших течах.



1-катод; 2-корпус ионизатора; 3, 6-диафрагма;  
4-магнитное поле; 5-пучок ионов; 7-коллектор;  
8-усилитель ионного тока; 9-выпрямитель;  
10-стабилизатор эмиссии



1, 6, 8, 10-вентили; 2-манометр; 3-вакуумметр;  
4-камера вакуумная; 5- изделие;  
7- течеискатель; 9-насос вакуумный;  
11-клапан предохранительный

Рис. 3.18

Рис. 3.19



### 3.3. Выявление дефектов

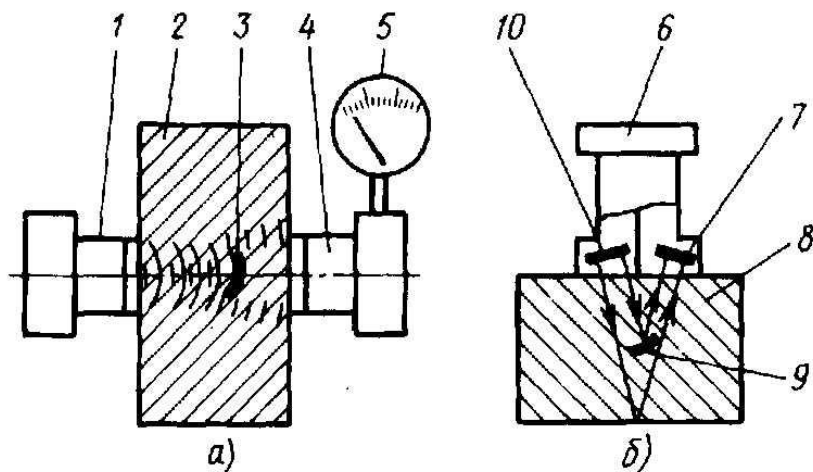
В процессе изготовления, сборки и эксплуатации на поверхности и в материальных сечениях деталей и узлов образуются дефекты в виде трещин, волосовин, раковин, пористости, расслоений и др., оказывающие на ресурс работы деталей и надежность изделия в целом. Поэтому При дефектации деталей перед второй сборкой и при ремонте применяют неразрушающие методы контроля: ультразвуковой, люминесцентный, магнитный и др. для обнаружения этих дефектов.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться вглубь материала контролируемых деталей и отражаться от поверхностей внутренних полостей в материале. Наибольшее распространение получили два варианта ультразвукового метода: теневого и зеркальный.

При *теновом* варианте (рис.3.20.а) ультразвуковые колебания направляются в материал с одной стороны проверяемой детали, а принимаются с другой стороны после прохода ее насквозь. Источником ультразвуковых колебаний является излучатель 1, который направляет эти колебания на исследуемую деталь 2. Если внутри детали дефектов нет, то ультразвук беспрепятственно проходит сквозь толщу детали и попадает на приемник 4 этих колебаний. Регистрирующий прибор 5 фиксирует в этом случае определенный уровень сигнала. Если же

ультразвуковые колебания, распространяясь в толще материала детали, встречают на своем пути дефект 3, то они частично отразятся от его поверхности дефекта и не попадут на приемник 4. Регистрирующий прибор 5 зафиксирует в этом случае сигнал меньшего уровня. Приборы, работающие по такому принципу, требуют предварительной градуировки по эталонной детали, не содержащей внутренних дефектов.

При *зеркальном* варианте (рис.20.б) ультразвуковой дефектоскоп оборудуют специальным экраном 11, на котором наблюдают все отраженные ультразвуковые колебания в виде импульсов. Появление на экране дефектоскопа промежуточных импульсов говорит о наличии внутренних дефектов проверяемой детали. Приборы, работающие по такому принципу настраиваются по эталонной детали с известным внутренним дефектом. **25**



1, 10-излучатели ультразвука; 2, 8-детали; 3,9 дефекты (раковины);  
4, 7-приемники ультразвука 4 5-регистрирующий прибор;  
6-ультразвуковая головка;

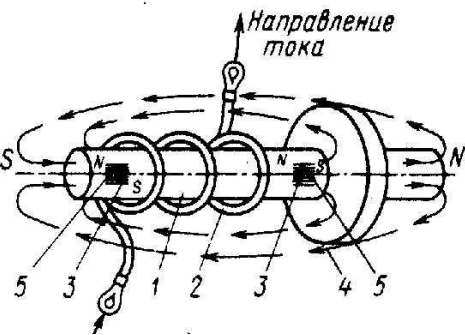
Рис. 3.20

### Продолжение 3.3. Выявление дефектов

Магнитный метод применяется для обнаружения дефектов на поверхности ответственных деталей. Он основан на разрыве дефектом (трещиной) магнитных силовых линий, что приводит к образованию полюсности на его границах. Мелкий магнитный порошок, насыпанный на поверхность намагниченной детали, притягивается к вновь образованным полюсам на краю трещины, четко проявляя место трещины.

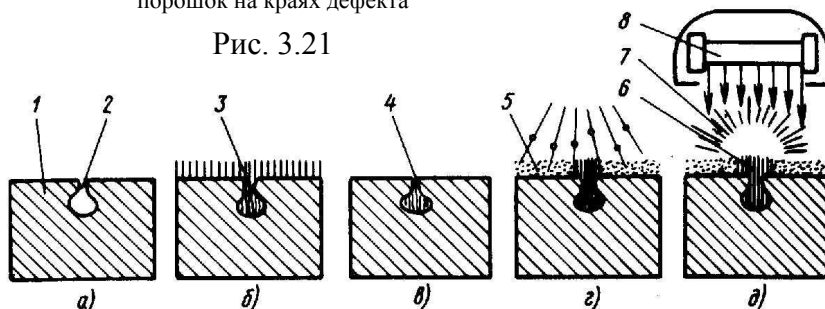
Магнитные дефектоскопы (рис.3.21) состоят из соленоида 2 или электромагнита, устройства для полива деталей суспензией с магнитным порошком и приспособления для размагничивания деталей после контроля.

При контроле магнитным методом детали различают по отношению материала к намагничиванию. Контроль деталей с остаточным магнетизмом состоит из следующих операций: намагничивания деталей, нанесения магнитной суспензии на поверхность деталей, визуального осмотра поверхности деталей с целью обнаружения дефектов в местах скопления магнитного порошка, размагничивания деталей. А детали, изготовленные из материала, в котором после снятия магнитного поля не сохраняется остаточный магнетизм, необходимо контролировать в приложенном извне магнитном поле. Для обнаружения трещин, имеющих различное направление (продольное и поперечное), применяют повторное намагничивание после поворота детали на  $90^\circ$  относительно полюсов электромагнита.



1-деталь; 2-соленоид; 3-дефекты ;  
4-магнитные силовые линии; 5-магнитный порошок на краях дефекта

Рис. 3.21



1-деталь; 2-дефект; 3-индикатор; 4-индикатор в дефекте;  
5-проявляющая краска; 6-выступивший индикатор;  
7-лучи от индикатора; 8-ультрафиолетовая лампа

Рис. 3.22

Люминесцентный метод контроля применяют для обнаружения внутренних дефектов, выходящих на поверхность детали малозаметными раковинами, трещинами и др. При данном методе контроля проверяемую деталь 1 (рис.3.22) смачивают индикаторной жидкостью 3, которая проникает внутрь дефекта 2. После этого поверхность детали протирают насухо и индикаторная жидкость остается лишь внутри дефекта. Затем поверхность покрывают сверху проявляющей краской 5, на поверхность которой выступает индикаторная жидкость. Наличие дефектов определяют визуальным осмотром деталей в затемненном помещении при ультрафиолетовом освещении лампой 8. Трещины, поры, раковины, выходящие на поверхность детали, обнаруживаются в виде светящихся пятен и линий.

## 4. Сборка основных соединений деталей и узлов

### 4.1. Подготовительные операции

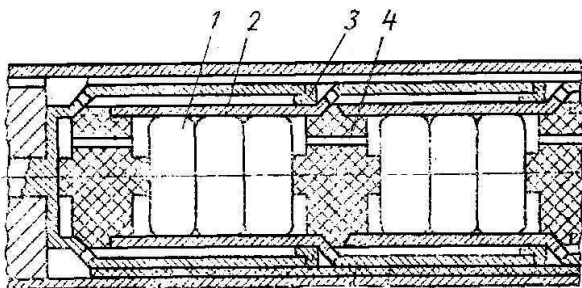
Входной контроль материалов, деталей, сборочных единиц и покупных изделий, поступающих на сборку, является важнейшим мероприятием ТП сборки, т.к., несмотря на то, что эти изделия уже проходили выходной контроль на предприятиях-изготовителях, возможны повреждения при упаковке, транспортировке, консервации и других операциях. При контроле *материалов* проверяется их качество, химический состав, свойства и другие параметры, влияющие на качество и надежность собираемого изделия. Особое внимание уделяется контролю таких материалов, как: щелочные металлы, используемые в качестве теплоносителя или рабочего тела; газов высокой очистки ( $H_2$ , He, Ar,  $O_2$  и др.), горючего, органических и неорганических жидкостей и т.п.

*Детали и сборочные единицы*, поступающие на сборку со склада готовой продукции или из цехов данного предприятия, проверяют на наличие дефектов от транспортировки и хранения.

У *покупных изделий* входной контроль начинается с проверки соответствия паспортных данных техническим условиям на поставку изделия. После чего некоторые изделия проходят проверку в условиях близких к эксплуатационным, что позволяет выявить неисправности, которые невозможно обнаружить у изготовителя.

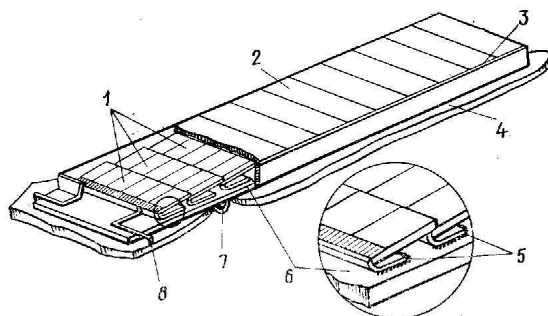
Подбор деталей и сборочных единиц, как уже отмечалось, необходимо выполнять не только с целью обеспечения заданной точности геометрических параметров сборки, но и с целью согласования физических параметров изделия. Так, в ЭГК (рис.4.1) у ТЭП с ядерным горючим необходимо осуществлять подбор диаметра таблетки 1 горючего для обеспечения требуемого зазора с катодом 2, а также подбор размеров шайб 4

и колец 3 для обеспечения величины межэлектродного зазора. А элементы 1 солнечных батарей (рис.4.2) подбирают в группы, отличающиеся по току не более чем на 1 мА. Аналогично поступают и с модулями, состоящими из 12-ти элементов. При большом числе параметров детали, требующих подбора, результаты измерений обрабатываются на ЭВМ.



1-таблетки горючего; 2-катод; 3- кольцо;  
4-дистанционирующая шайба;

Рис. 4.1

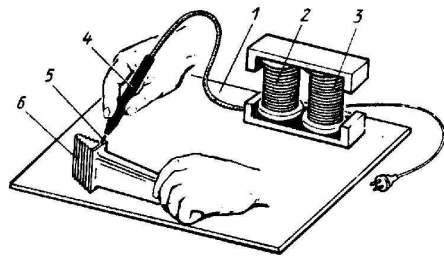


1-солнечный элемент; 2-покрытие; 3-боковина;  
4-панель; 5-переходники; 6-плата; 7-прихват;  
8- токовывод;

Рис. 4.2

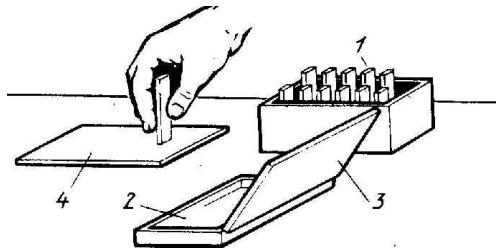
## Продолжение 4.1. Подготовительные операции

Клеймение и маркировка На разных стадиях изготовления и сборки детали и узлы маркируют и клеймят. *Маркирование* – нанесение на изделие знаков, характеризующих отличительные признаки: обозначение, шифр, размеры, массу, направление вращения и т.п. *Клеймение* – нанесение на изделие знаков (клейм), указывающих на соответствие детали или сборочной единицы техническим требованиям и удостоверяющих их качество. Место маркировки и клеймения должна быть легко доступна для чтения на собранном изделии и отлична от других рядом стоящих маркировок; не должна нарушать нормальную работу изделия; не уничтожаться при износе деталей или загрязняться; не повреждать или деформировать детали, особенно их рабочие поверхности. Маркировку и клеймо *наносят* : механическим, электрическим (рис.4.3), физическим, химическим (рис.4.4), металлургическим или малярным способами, или с помощью бирок. Наиболее широко применяются электроэрозионный, электрохимический и химический способы маркирования.



1-плита; 2, 3-трансформатор; 4-  
оправка; 6-деталь

Рис. 4.3



1-набор штампов; 2-травильный  
раствор; 3-футляр; 4-деталь

Рис. 4.4

Техническая стерильность при производстве и сборке изделий (особенно, изделий космической техники), в значительной степени определяет надежность и ресурс ее работы. Так как механические, физические, химические загрязнения, адсорбция газов на поверхности и растворение газов в материале и др. виды приводят к изменению электро-физических и теплофизических свойств материала, изменяя тем самым характер и параметры рабочих процессов в приповерхностных слоях этих изделий (эмиссия, ионизация, излучение, тепло- и массоперенос). Качество технической стерильности (вакуумной гигиены) деталей из *твердых материалов* характеризуется *степенью чистоты поверхностей* и выражается массой ( $\text{мг}/\text{м}^2$ ) или количеством ( $\text{част}/\text{м}^2$ ) загрязнений, оставшихся на поверхности. Например для особо точных механизмов управления ЛА эта величина составляет  $0,1 \dots 1 \text{ мг}/\text{м}^2$ , а для вакуумных приборов - равна толщине молекулярного слоя. *Чистота жидких рабочих тел* характеризуется количеством частиц загрязнений в массовой или объемной пробе, а чистота *газообразных сред* – процентным содержанием примесного газа в объеме.

## Продолжение 4.1. Подготовительные операции

**Промывка и очистка.** Промывка как эффективный способ очистки для одних изделий (например, ГТД, ВРД, ЖРД) является окончательной операцией, а для других (КЭДУ, ЯРД, ЭУ) служит предварительным этапом перед последующей очисткой. В качестве промывочных составов используют водные щелочные растворы с некоторыми присадками: кальцинированная сода, тринатрийфосфат, хромпик, моющие присадки, эмульгаторы и стабилизаторы. Весьма эффективны промывочные составы на основе хлорорганических соединений, таких как четыреххлористый углерод, трихлорэтилен, перхлорэтилен и др. Хорошими растворителями являются этиловый спирт, нефтяные продукты, бензол.

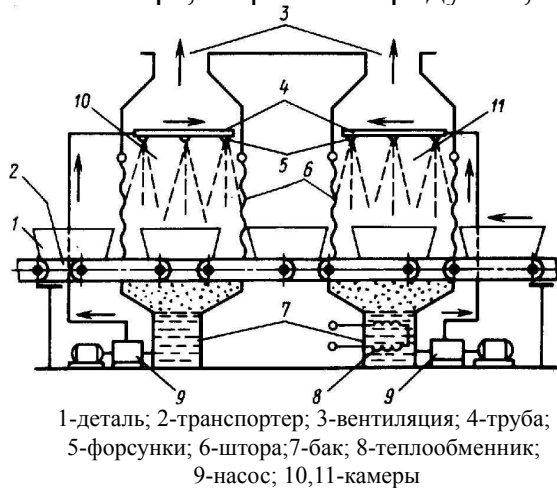


Рис. 4.5

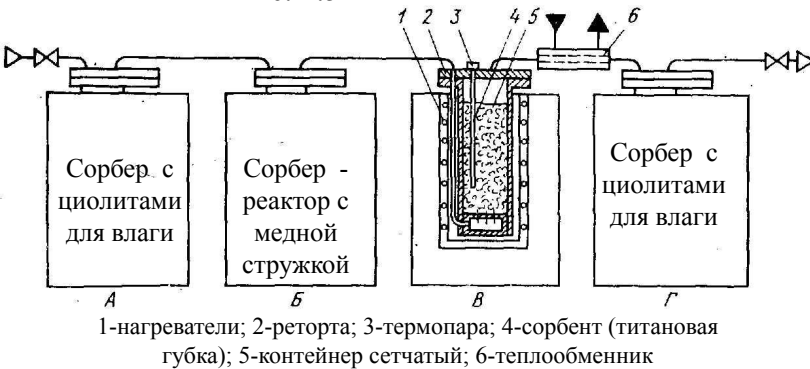


Рис. 4.6 Установка для очистки инертного газа

Промывка осуществляется в *многокамерных промывочных ваннах*, где изделия или погружаются в растворы (с наложением ультразвуковых колебаний или без них), или подаются через распылители (рис.4.5), или их обдувают паром. В производстве КЭДУ помимо тщательной промывки и очистки деталей и материалов также проводится: 1. *Удаление сорбированных газов* и химических соединений при повышенных ( $800...1000^{\circ}\text{C}$ ) температурах, в вакууме (до  $10^{-6}$  мм рт.ст.), в восстановительной ( $\text{H}_2$ ) или в нейтральной ( $\text{He}$ ,  $\text{Ar}$ ) среде, а также в комбинациях этих условий. 2. *Термическая и термовакуумная обработка* для удаления окислов и химических соединений металлов с водородом (гидридов), являющихся причиной хрупкости  $\text{Ti}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Zr}$  и их сплавов. Водород обладает способностью восстанавливать окислы большинства ( $\text{W}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$  и их сплавы) металлов и диффундировать с высокой скоростью в глубь их кристаллической решетки, вытесняя ряд других газов (кислород, азот, водяные пары), а затем выделяется при откачке. 3. *Обработка в среде инертного газа* распространена благодаря его нейтральности по отношению ко всем металлам. Помимо очистки она используется при сборке, заправке рабочим телом и испытании изделий, для очистки (барботированием) щелочных металлов от примесей кислорода и азота, в присутствии которых резко ускоряются процессы коррозионного разрушения каналов и магистралей с жидким металлом.

## 4.2. Сборка неподвижных разъемных соединений

Резьбовые соединения, для которых основным технологическим параметром является создание определенных упругих растягивающих усилий в болте и сжимающих в сопрягаемых деталях до приложения рабочей нагрузки  $P$ , являются наиболее распространенным видом неразъемных соединений (рис.4.7). Напряжение при затяжке не превышает предела пропорциональности материала, поэтому податливость упругой деформации напряженных деталей резьбового соединения будет определяться углом наклона линии на графике  $P=f(\lambda)$  (рис.4.8):

$ctg\alpha = \lambda_{\delta}/P_z = K_{\delta}$ ;  $ctg\beta = \lambda_{\delta}/P_z = K_{\delta}$ , где  $\lambda_{\delta}$  и  $\lambda_{\delta}$  – упругая деформация болта и детали под действием усилия затяжки  $P_z$ . Под действием рабочей нагрузки  $P$ , например (сила инерции или давления) сила, воздействующая на болт, увеличится, а сила, сжимающая детали, уменьшится и будет равна  $P_0$ . Тогда расчетное усилие затяжки  $P_z$ , обеспечивающее условие неразмыкания стыка и сохранения в нем некоторого натяга при действии  $P$ , будет равно:  $P_z = P_0 + P [K_{\delta}/(K_{\delta}+K_{\delta})]$ , где остаточное усилие  $P_0$  задается в ТУ и равно  $(0,3 \dots 0,8)P$  – для постоянных нагрузок,  $(1,2 \dots 2,4)P$  – для переменных нагрузок. Следует отметить, во избежании пластических деформаций напряжение затяжки болтов принимают равным  $(0,5 \dots 0,7)\sigma_{0,2}$ .

Контроль усилия затяжки является важнейшим моментом при выполнении резьбовых соединений. В основном используется пять методов, позволяющих контролировать заданное усилие затяжки по следующим параметрам: по крутящему моменту; по углу поворота гайки; по удлинению болта; по удлинению болта относительно контрольного штифта, по деформации тарированной шайбы.

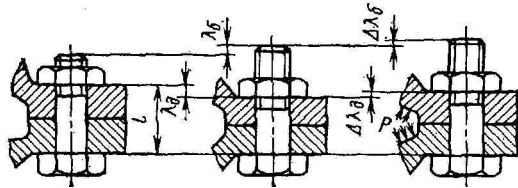


Рис. 4.7

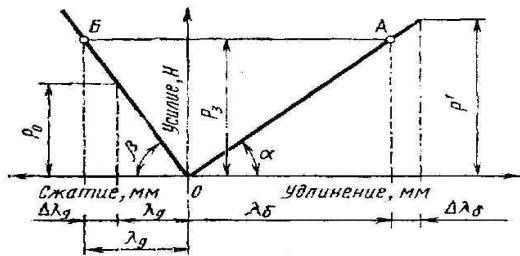
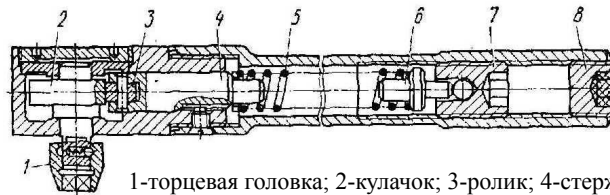


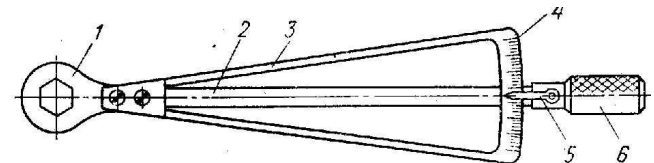
Рис. 4.8

По крутящему моменту - к гайке прикладывается такой момент, который создает в болте заданное усилие затяжки –  $M_{кр} \approx 0,2P_z d$ . Для этой цели применяются предельные ключи (рис.4.9), отрегулированные на определенный крутящий момент, и ключи, снабженные динамометром (рис.4.10). Недостаток - трудно учесть трение в контакте: болт - деталь.



1-торцевая головка; 2-кулачок; 3-ролик; 4-стержень;  
5-пружина; 6-штифт; 7-нажимной винт; 8-заглушка;  
9-рукоятка

Рис. 4.9



1-головка; 2-упругий стержень; 3-корпус;  
4-шкала; 5-стрелка; 6-рукоятка

Рис. 4.10

## Продолжение 4.2. Сборка неподвижных разъемных соединений

*По углу поворота* - гайку заворачивают от руки до упора в деталь, а затем поворачивают ключом (рис.4.11) на угол –  $\alpha_p = 360P_3(K_\delta + K_d)/s$ , рассчитанный по заданному усилию затяжки и коэффициентов податливости болта и деталей ( $s$  - шаг резьбы). Этот метод не требует учета трения, но создает неопределенность при заворачивании гайки от руки и не учитывает нелинейность деформации болта в начальный момент затяжки.

*По удлинению болта* - метод основан на измерении удлинения болта под действием усилия затяжки (рис.4.12) –  $\lambda_\delta = P_3 L_\delta / E_\delta F_\delta$ . Наиболее точный метод. Используется при затяжке ответственных резьбовых соединений.

*По удлинению относительно контрольного штифта* - метод не отличается от предыдущего (расчет тот же самый). Предусматривает контроль удлинения болта относительно закрепленного внутри болта контрольного штифта (рис.4.13), длина которого остается неизменной.

*По деформации тарированной шайбы* - заданное усилие затяжки достигается за счет пластической деформации тарированной шайбы одноразового применения (рис.4.14).

*Стабилизация напряжения затяжки* достигается: увеличением напряжения затяжки (при условии точного контроля) до максимально допустимого значения; тщательная пригонка стыковых поверхностей и предварительное обжатие деталей под нагрузкой, соответствующей заданному значению  $P_3$ ; соблюдение определенной схемы затяжки резьбовых соединений; применение упругих болтов и упругих элементов в

системе болта; подтяжка болтов по истечении некоторого срока работы соединения; надежное стопорение гаек и винтов (шплинтами, лепестковыми или пружинными шайбами, контргайками и пр.)

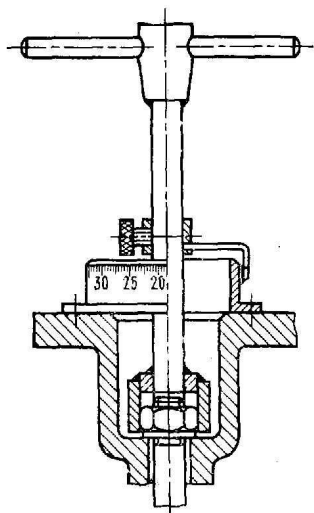


Рис. 4.11

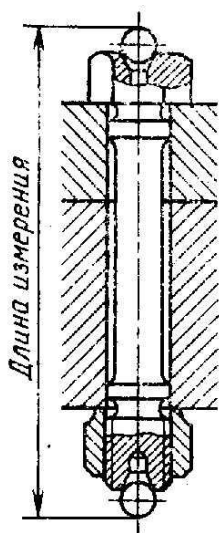


Рис. 4.12

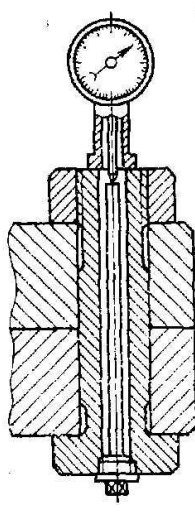


Рис. 4.13

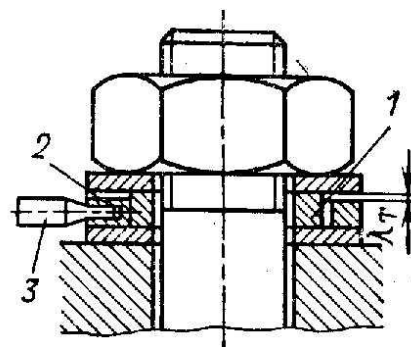


Рис. 4.14

- 1-тарированная шайба;
- 2-вспомогательная шайба; 3-штифт
- $\lambda$  т - величина допустимой пластической деформации

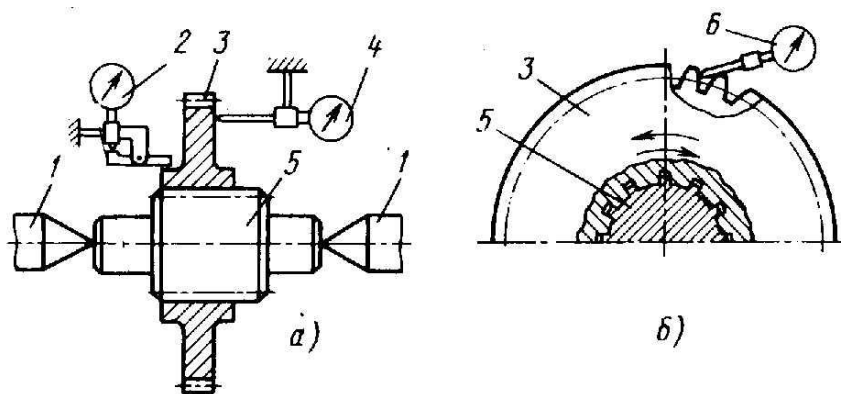
## Продолжение 4.2. Сборка неподвижных разъемных соединений

Шлицевые соединения предназначены для передачи крутящего момента от одной детали к другой и точного центрирования сопрягаемых деталей. Они бывают с торцевым и радиальным расположением шлицев - по форме: прямобочными, эвольвентными и треугольными.

В процессе сборки шлицевых соединений не допускается их механическая обработка. Как правило, метод полной взаимозаменяемости не применяется, а точность сборки достигается *методом подбора*. При первой сборке на сопрягаемые детали наносятся метки, которые совмещаются при переборках. При посадке с натягом используют специальные приспособления для центрирования. Напрессовку осуществляют без ударов. При посадке с зазором плотность посадки проверяется по краске. После установки на вал охватывающая деталь закрепляется. Затем проверяется радиальное и торцевое биение (рис.4.15.а) относительно заданных поверхностей. А также эта деталь проверяется на качку (рис.4.15.б).

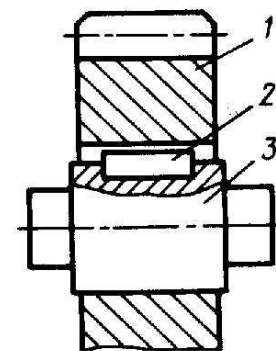
Шпоночные соединения в отличие от шлицевых состоят из гладкого цилиндрического вала со шпоночным пазом (рис.4.16), детали со втулкой, внутри которой также имеется паз и шпонки, которая может быть призматической, сегментной, клиновой или другой формы.

Шпонка устанавливается в паз вала плотно или с натягом, а в паз втулки шпонка входит с зазором. При сборке точность обеспечивается методом полной взаимозаменяемости. Запрессовка шпонки на вал осуществляется в спецприспособлении. В условиях единичного и мелкосерийного производства допускается доработка шпонки в процессе сборки.



1-центр; 2, 4, 6-индикатор; 3-деталь со ступицей;  
5-вал со шлицами

Рис. 4.15



1-шестерня; 2-шпонка; 3-вал

Рис. 4.16



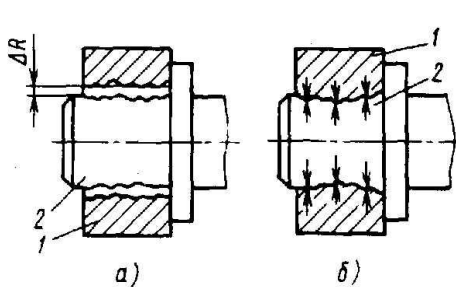
## Продолжение 4.2. Сборка неподвижных разъемных соединений

Прессовые соединения условно делятся на *поперечно-прессовые* (рис.4.17), когда сближение сопрягаемых поверхностей происходит нормально к этим поверхностям, и *продольно-прессовые* (рис.4.18), когда охватываемая деталь запрессовывается в охватывающую под действием прикладываемых вдоль оси сил. *Сборка поперечно-прессовых соединений* производится с нагревом охватывающей детали и охлаждением охватываемой (рис.4.17.а), так чтобы образовался зазор  $\Delta R$ . Последующее охлаждение соединения приводит к образованию заданного натяга. При этом, поскольку шероховатости не сминаются, происходит их сцепление, что увеличивает прочность соединения в 2...2,5 раза. Необходимая температура нагрева детали с отверстием:  $T_n = (i_{max} - i_0) / \alpha d + T$ , где  $i_{max}$  - максимальный натяг;  $i_0$  - зазор перед сборкой;  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения материала;  $d$  - диаметр отверстия;  $T$  - температура среды. Нагрев осуществляют в газовой или жидкой среде. В первом случае - деталь чистая и сухая. Во втором случае-сборка облегчается за счет смазки, но может вызвать изменение расчетного натяга.

*Сборка продольно-прессовых соединений* осуществляется без нагрева. При этом происходит сминание неровностей на поверхности соединяемых деталей (рис.4.18), что приводит к уменьшению действительного натяга по сравнению с расчетным. Для запрессовки применяют спецприспособления (рис.4.19) и оправки. Небольшие детали можно запрессовывать мягким молотком небольшой массы.

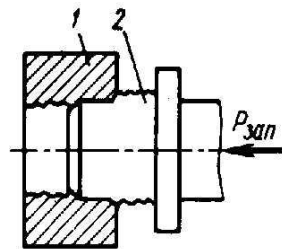
*Сборка конических соединений с натягом* существенно упрощается тем, что деталь 4 (рис.4.20) свободно входит в деталь 3, а затем допрессовывается завинчиванием гайки 1 или усилием от пресса. Для контроля натяга этого соединения определяется смещение  $l_2 - l_1$  деталей в осевом направлении при запрессовке.

$i = 2(l_2 - l_1) \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  - угол конусности.



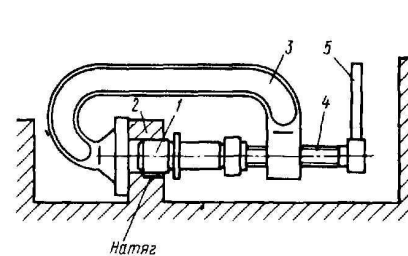
1-охватывающая деталь;  
2-охватываемая деталь

Рис. 4.17



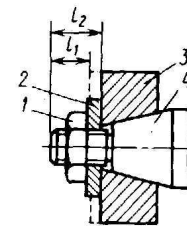
1-охватывающая деталь;  
2-охватываемая деталь

Рис. 4.18



1,2-детали; 3-приспособление;  
4-винт; 5-рукоятка

Рис. 4.19



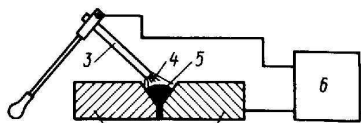
1-гайка; 2-шайба;  
3,4-детали

Рис. 4.20

### 4.3. Сборка неразъемных соединений

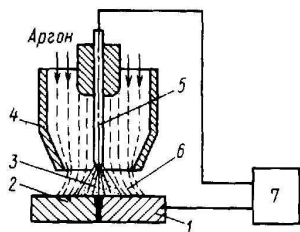
Сварные соединения являются основным видом неподвижных неразъемных соединений во всех типах ДЛА и ЭУ. Они обеспечивают герметичность, рациональное использование рабочего сечения материала детали, уменьшение массы конструкции изделия, снижают трудоемкость и удешевляют процесс сборки благодаря широким возможностям механизации. Методы сварки (плавлением, давлением, сварку в твердой фазе) (рис. 4.21-4.26), их физические основы и технологические возможности являются предметом изучения смежных дисциплин. На выбор метода сварки определяющее влияние оказывают свойства материалов, прежде всего свариваемость, а также конструкция изделия. Различают физическую и технологическую свариваемость. Условиями физической свариваемости являются: одинаковые кристаллические решетки; одинаковые атомные радиуса (отличие не более 10...15%); сходные электрохимические свойства (по таблице Менделеева); хорошей взаимной растворимостью в жидком и твердом состоянии. Это такие металлы, как Fe-Ni, Ni-Mn, Ni-Cu, Mo-W, а пары Fe-Ti, Cu-Ti, Fe-Al не удовлетворяют данным условиям и не обладают свариваемостью. В реальных производственных условиях более важным является понятие технологической свариваемости – отношение промышленных металлов к конкретному способу и режиму сварки. О ней судят на основании предварительных испытаний сварных образцов и натурных сварных изделий. После чего окончательно обрабатывается конструкция, выбираются материалы, уточняются методы сварки, контроля и т.д.

Для получения прочного вакуумно-герметичного шва при всех видах сварки необходимо: тщательно очищать и обезжировать детали перед сваркой; выполнять сопряжения между свариваемыми деталями по скользящей посадке; вести сварку с постоянной (без перерывов и подварки) скоростью со стороны, обращенной в процессе эксплуатации в вакуум.



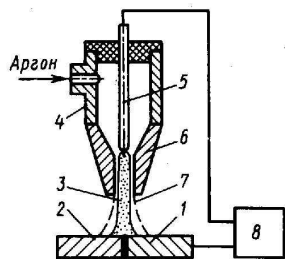
1,2-детали; 3-электрод; 4-дуга; 5-шов; 6-источник тока

Рис. 4.21 Дуговая



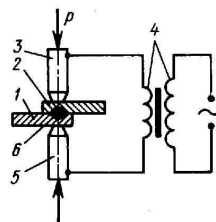
1,2-детали; 3-дуга; 4-сопло; 5-электрод; 6-аргон; 7-источник тока

Рис. 4.22 Аргонно-дуговая



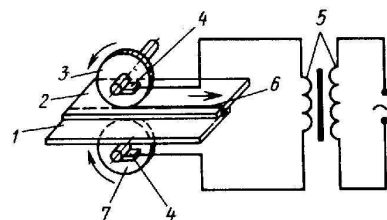
1,2-детали; 3-дуга; 4-горелка; 5-электрод; 6-сопло; 7-аргон; 8-источник тока

Рис. 4.23 Плазменная



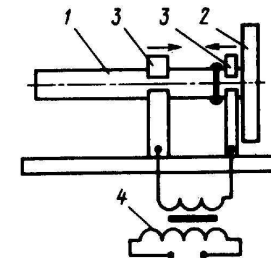
1,2-детали; 3,5-электроды; 4-трансформатор; 6-сварная точка

Рис. 4.24 Точечная



1,2-детали; 3,7-электроды; 6-шов; 4-токоподводы; 5-трансформатор;

Рис. 4.25 Роликовая



1,2-детали; 3-зажимы; 4-трансформатор

Рис. 4.26 Контактная

### Продолжение 4.3. Сборка неразъемных соединений

Особенности сварки материалов КЭДУ проявляются в том, что к применяемым материалам предъявляются различные эксплуатационные требования (жаропрочность, коррозионная и радиационная стойкость и т.п), соответственно различны требования и к их сварным соединениям. Поэтому в каждом случае для достижения заданных свойств приходится применять различные методы сварки и технологические приемы.

*Аустенитные хромоникелевые сплавы и сплавы при сварке подвержены межкристаллитной коррозии (МКК) (из-за образования CrC) и образованию горячих трещин в швах (за счет эвтектик Ni с примесями S, P, Pb и др.). Поэтому уже при выплавлении этих сплавов осуществляют их легирование Ti и Nb, которые связывают углерод быстрее, чем Cr, а также очистку от примесей путем переплава. Сварку этих сплавов осуществляют под флюсом, в защитных газах и электронным лучом в вакууме, а также через промежуточные прослойки и покрытия (< 10 мкм) из Nb, Ni или Mn-Ni.*

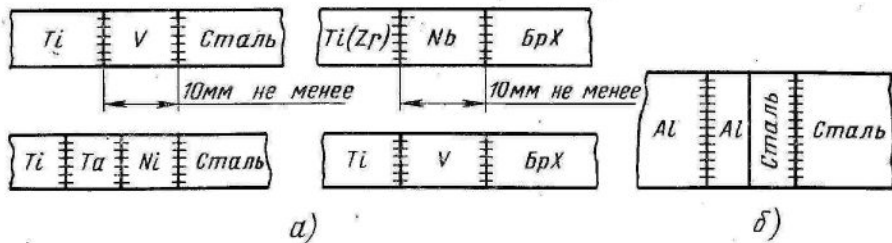
*Титановые и ниобиевые сплавы* обладают удовлетворительной свариваемостью и незначительной склонностью к образованию горячих трещин. Но из-за активного взаимодействия этих металлов с O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> при сварке недопустим контакт с этими газами с обеих сторон шва. Кроме того недопустим перегрев из-за охрупчивания.

*Тугоплавкие металлы W, Mo и их сплавы* - наиболее трудносвариваемые из-за снижения пластичности и прочности шва под воздействием примесей и газов, которые могут попадать из основного металла, из защитной атмосферы и присадков.

*Бериллий и его сплавы* обладают токсичностью и летучестью, поэтому при сварке требуется специальная защита зоны сварки. Кроме того свойства сварного шва зависят от текстуры металла: более высокая прочность получается, когда шов направлен перпендикулярно волокнам.

*Сварка разнородных материалов* методом плавления возможна при одном из из следующих вариантов:

1. Введение в соединение вставок из более чистых материалов, родственных материалам соединения.
2. Выбор метода сварки без расплавления: диффузионной, трением или взрывом.
3. Сварка через биметаллическую (триметаллическую) вставку, м.б. полученную горячим прокатом в вакууме.
4. Применение специальных присадочных материалов (типа Cu-Ni-Zr).
5. Замена сварки на пайку.



а - через проставки; б - с биметаллическими вставками

Рис. 4.27 Сварные соединения разнородных материалов

## Продолжение 4.3. Сборка неразъемных соединений

Паяные соединения образуются при температуре ниже точки плавления материалов деталей за счет расплавления промежуточной металлической связки - припоя.

Преимущества пайки: 1.) соединение разнородных материалов, в том числе металлов с неметаллами; 2.) широкий интервал температур, от близкой к комнатной до температуры плавления; 3.) меньшие остаточные напряжения и изменение структуры основных материалов; 4.) возможность распайки узла, без нарушения целостности материалов, и повторной пайки; 5.) высокая производительность за счет одновременного формирования нескольких соединений и пайки нескольких изделий.

Условия образования паянных соединений: 1. Физическая паяемость - физико-химическое взаимодействие (растворение или диффузия) и образование атомных связей (металлическая, ионная или ковалентная).

2. Оптимальные технологические факторы - температура, зазор под пайку, способ пайки, шероховатость.

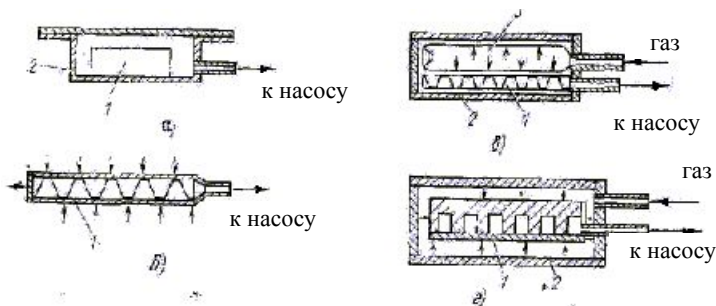
Косвенный показатель паяемости - смачиваемость - силы притяжения между атомами припоя и материала (адгезия) должны превосходить силы притяжения между атомами самого припоя (когезия).

Температура плавления припоя  $T_{пл.п}$  должна быть ниже температуры плавления материала  $T_m$ , но выше рабочей температуры процесса  $T_p$ . т.е.  $T_m > T_{пл.п} > T_p$ . Различают низкотемпературную (<723К) и высокотемпературную (>723К) пайку. Предельно допустимая температура пайки  $T_n$  принимается равной  $0,85...0,95 T_m$ .

Оптимальный зазор под пайку обеспечивает быстрое заполнение припоем и удержание его до отверждения.

Величина зазора  $b$  под пайку равно:  $b = 2\sigma_{т.жс.} / ghp$ , где  $\sigma_{т.жс.}$  - поверхностное натяжение металл-жидкость;

$h$  - высота подъема жидкости;  $\rho$  - плотность жидкости.



1- изделие; 2-контейнер; 3-стальной мешок

Рис. 4.28 Способы пайки

В зависимости от способа защиты расплавленного припоя от взаимодействия с атмосферными газами и способа удаления окисной пленки различают пайку в вакууме, в нейтральной и восстановительной среде и флюсовую в воздушной среде. При этом каждый способ имеет следующие разновидности:

1. Пайка в вакуумированном контейнере (рис.4.28.а).
2. Пайка с вакуумированием полости между деталями (рис.4.28.б).
3. Пайка с вакуумированием полости между деталями и поджатием стальным мешком (рис. 4.28.в).
4. Пайка с вакуумированием полости между деталями и поджатием газом (рис. 4.28.г).

## Продолжение 4.3. Сборка неразъемных соединений

### Особенности пайки материалов КЭДУ

*Пайка коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов* затруднена из-за наличия окисных пленок хрома, алюминия, титана, поэтому пайка на воздухе припоями на медной, марганцевой, серебряной основе требует применения тугоплавких флюсов на основе борного ангидрида, буры и др. Для пайки в вакууме используют самофлюсующиеся припои Cu-Mn и Mn-Ni, а также серебряные припои ПСр72ЛНМ, ПСр45. Для лучшего смачивания применяется электролитическое полирование, а при пайке серебром наносится барьерный слой (Cu, Ni). Припои на основе Cu обеспечивают высокую жаростойкость, а на основе Ni - прочность.

*Алюминиевые сплавы* паяют в вакууме в присутствии паров магния припоями на основе Al. Поверхность под пайку очищают травлением в щелочах и осветлением в азотной кислоте с последующей промывкой в воде.

*Титан и титановые сплавы* паяются в серебряными припоями в вакууме или аргоне высокой чистоты.

*Для пайки вольфрама* эффективно применение низкотемпературных припоев (< *Трекристиаллизации*) с последующей термодиффузионной обработкой в том же диапазоне температур.

*Керамика с металлом* может паяться только при наличии металлизации на керамике, которая осуществляется методом вжигания, или использованием химически активных металлов и, реже, плазменным напылением.

Процесс пайки включает следующие операции: Поверхности керамики для манжет шлифуются алмазными кругами с точностью в пределах 0,05 мм. Затем они очищаются и покрываются (с помощью пульверизатора или кисточки) слоем (0,02...0,04.мм) жидкой пасты из смеси тонкоразмельченных (до 1...5 мкм) порошков Mo и Mn (4:1) со связующим веществом типа коллодия. Вжигание производится при прокаливании керамики в восстановительной среде водорода при температуре 1770...1920 К в течение 1...1,5 ч. Наилучшее качество вжигания достигается в конвейерных водородных печах непрерывного действия (типа ПВТ6), обеспечивающих постепенный нагрев и охлаждение узла с автоматическим регулированием температуры в пределах  $\pm 3$  К.

Для лучшего последующего смачивания припоем и закрепления металлизационного слоя на него наносится путем гальванического осаждения слой никеля толщиной 3...8 мкм. Манжеты также никелируются для лучшего смачивания. Такой процесс металлизации позволяет получить покрытие, пригодное для пайки узла припоями (на основе Ag и Cu), имеющими температуру плавления около 1270 К.

Более жаропрочные вольфрамовые покрытия, рассчитанные на пайку припоями, выдерживающими рабочие температуры свыше 1270 К, хорошо вжигаются в керамику марки А1-13 или А1-14 с присадками окиси иттрия. Используется также керамика марки Е-37, отличающаяся высокой прочностью.

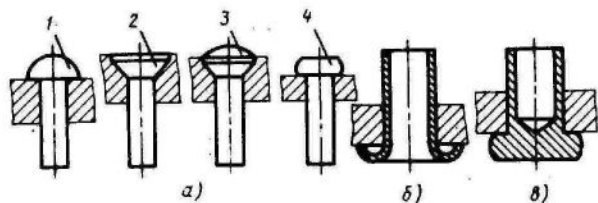
## Продолжение 4.3. Сборка неразъемных соединений

Механические соединения - это соединения деталей пластической деформацией одной из них. Наиболее часто детали соединяют клепкой, вальцеванием, гибкой, раскаткой и т.п.

Операции *соединения заклепками* (рис. 4.29) трудоемки, т.к. содержат большое количество переходов: разметку и сверление отверстий, их соосное развертывание, образование лунки или фаски под головку, установку заклепки и образование замыкающей головки. Применяются в деталях из листового материала и, в основном, там, где не требуется герметизация. Деформация заклепки производится ударом при поддержке заклепки со стороны закладной головки. При этом используют обжимки, позволяющие получить требуемую форму головки.

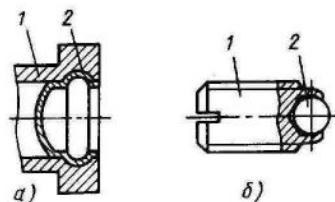
*Вальцеванием* соединяют детали узлов трубопроводов, тонкостенные втулки, заглушки и др. При этом натяг между скрепляемыми деталями создается радиальным расширением охватываемой детали 2 (рис. 4.29.а) или сжатием охватывающей детали (рис. 4.29.б). Обычно вальцевание осуществляется роликом (рис. 4.30).

Клеевые соединения - это химико-физический способ получения неразъемного соединения. Они имеют весьма ограниченное применение, поскольку эти соединения теряют прочность при повышенных температурах. Наиболее термостойкие клеи сохраняют работоспособность соединения в диапазоне температур от 210 до 750 К. В этой области рабочих температур клеевые соединения способны заменить соединения с натягом - гладкие и резьбовые. При этом они имеют преимущества, т.к. сборка не сопровождается значительными напряжениями в соединении и сопутствующими им деформациями. Прочность клеевого соединения зависит от адгезии и когезии клея и толщины клеевого слоя (0,05...0,2 мм). Низкая шероховатость поверхностей повышает прочность клеевого соединения. ТП склеивания: подготовка поверхностей (пескоструйная обработка, травление, обезжиривание); нанесение клея (в 2 слоя с сушкой 1 час после 1-ой и нагрев после 2-ой); взаимная ориентация сборочных элементов; отверждение клея (под давлением до 2 МПа); зачистка соединения; контроль (дефектоскопами).



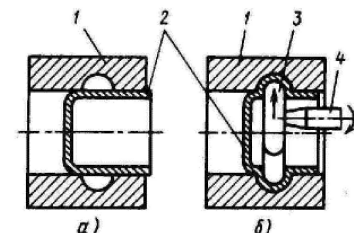
а-со сплошным стержнем; б-с тругачатым стержнем; в-с полутрубчатым стержнем; 1- полукруглая головка; 2-потайная головка; 3-полупотайная головка; 4-плоская головка

Рис. 4.29



а-деформация охватываемой детали; б-деформация охватывающей детали

Рис. 4.30



а-соединение до деформации; б-соединение после деформации; 1,2- детали; 3-ролик; 4-оправка

Рис. 4.31

# 5. Подготовка сборочного процесса

## 5.1. Организационная подготовка

Организация сборочных работ является одним из важных этапов подготовки производства, в основе которого лежат следующие основные направления: 1.) разработка рациональных *форм разделения и кооперации* труда; 2.) улучшение *организации трудового процесса* (разработка и внедрение новейших методов и приемов труда, организация и обслуживание рабочих мест); 3.) создание благоприятных *условий труда*, обеспечивающих строгое выполнение требований охраны труда и санитарно-гигиенических норм; 4.) применение средств *технической эстетики* в производственных помещениях; 5.) внедрение рациональных *режимов труда и отдыха*; 6.) подготовка и повышение *квалификации кадров*; 7.) строжайшее соблюдение *трудовой дисциплины*; 8.) совершенствование *нормирования труда*.

Формы организации труда, его приемы и методы выбираются одновременно с разработкой ТП сборки. Они связаны с разбиением сборочных работ на определенные трудовые комплексы, выполняемые на рабочих местах, с выбором числа рабочих мест и сборщиков, их взаимного размещения для организации взаимодействия. При этом различают две формы организации труда - *индивидуально-бригадную* и *операционно-дифференцированную*, а в зависимости от перемещения объекта сборки между сборочными постами — *стационарную* и *подвижную*.

*Индивидуально-бригадная сборка* - объект закреплен за бригадой и все работы от начала и до конца выполняет один или несколько сборщиков. Она проводится стационарно и применяется в единичном производстве. При этом, сборочные работы могут вестись *последовательно* или *параллельно*.

*При последовательной сборке* - сборщики сначала собирают узлы изделия, а затем выполняют его общую сборку. Длительность процесса сборки  $T_c$  при этом зависит от числа  $n$  сборщиков в бригаде:  $T_c = (\sum_1^k t_{yi} + t_0)/n$ , где  $k$  - число частей изделия;  $t_{yi}$  и  $t_0$  - трудоемкость сборки частей изделия и общей сборки.

*Параллельная сборка* выполняется только бригадой. Отдельные сборщики одновременно собирают все узлы изделия, а затем бригада производит его общую сборку. Число сборщиков в бригаде при этом может быть увеличено в связи с тем, что бригада работает совместно только при сборке изделия в целом. Таким образом, при параллельной сборке можно несколько уменьшить длительность процесса сборки:  $T_c = t_{yi}/n_i + t_0/n$

*Недостатки*: увеличение времени на сборку изделия (простой объекта сборки в нерабочее время); высокая квалификация сборщиков; низкая производительность сборки (разнообразие работ); большие затраты на сборочную оснастку для каждой бригады; большое незавершенное производство.

## Продолжение 5.1. Организационная подготовка

*Операционно-дифференцированная сборка* предусматривает разбивку ТП сборки на отдельные операции и их последовательное выполнение. Процесс сборки изделия начинает сборщик, выполняющий первую операцию, после ее выполнения объект сборки он передает второму сборщику для проведения второй операции и т. д., пока последний не закончит сборку изделия. Эта форма сборки характерна для серийного и массового производства и требует подробной конкретизация выполняемых работ.

*Стационарная сборка* применяется, как исключение, для сборки громоздких, трудно транспортируемых объектов, т.к. при переходах сборщиков на другие рабочие места и переносе ими оснастки теряется много рабочего времени. При *подвижной* сборке объект перемещают после выполнения операции на следующее рабочее место вручную или при помощи средств механизации. Логическим развитием операционной сборки является превращение ее в поточную и конвейерную.

*Поточная сборка* — наиболее совершенная организационная форма при больших масштабах производства, характеризующаяся непрерывностью и ритмичностью процесса. При поточной сборке все операции имеют одинаковую либо кратную такту выпуска изделий трудоемкость и выполняются на поточных линиях (ряде взаимосвязанных рабочих мест, предназначенных для выполнения операций узловой и общей сборки). Для уменьшения потерь времени на передачу объекта сборки от одного рабочего места к другому линии узловой сборки располагают параллельно друг другу, а поточную линию общей сборки к ним перпендикулярно (рис. 5.1).

При механизированном перемещении объекта сборки поточная сборка называется *конвейерной*. Транспортными средствами, связывающими рабочие места, могут быть кран-балки, транспортеры, цепные (напольные) и подвесные конвейеры. При этом транспортное средство может быть рабочим местом выполнения сборки. Перемещение конвейера может быть пульсирующим и непрерывным. При *пульсирующем конвейере* сборочные тележки с объектами сборки остаются неподвижными на всех рабочих местах в течение времени, равного такту, а затем с максимально возможной скоростью перемещаются на соседнее рабочее место. *Непрерывный конвейер* медленно перемещается с постоянной скоростью. При этом в движении находится объект сборки и сборщик, выполняющий сборку на “ходу”.

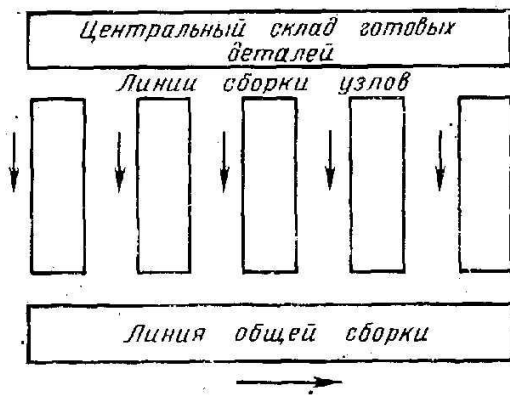


Рис. 5.1



## 5.2. Технологическая подготовка

Технологическая подготовка процесса сборки предусматривает разработку технологического процесса сборки изделия, оформление документации на оснастку для сборочного процесса, нормирование операций, технологическую планировку сборочного цеха. В процессе проектирования техпроцесса производится одновременно подробный анализ технологичности изделия с точки зрения сборки.

Различают *рабочие, типовые и групповые* технологические процессы. *Типовой* техпроцесс характеризуется общностью технологического процесса, т.е. содержанием операций. *Групповой* — общностью оборудования и оснастки, необходимых для выполнения операции или общей сборки. *Рабочий* техпроцесс – это процесс, разработанный на уровне предприятия (на основе типового и группового). Он должен быть самым экономичным и производительным для данного производства при соблюдении высокого качества изделия. Разработка ТП сборки является основным документом технологической подготовки.

Исходные данные для разработки ТП сборки содержат: 1. *Сборочные чертежи* со спецификацией всех входящих в них деталей и с указанием характеристик всех разъемных и неразъемных соединений (натягов и зазоров, методов сварки и пайки и др.). 2. *Чертежи общего вида* двигателя (изделия) со спецификацией составных частей, с указанием характеристики соединений, осуществляемых при общей сборке, а также с габаритными размерами изделия. 3. *Рабочие чертежи* деталей. 4. *Технические требования* на сборку изделия. 5. *Годовая программа* выпуска изделий. 6. *Директивная документация* по сборке: ГОСТы, стандарты, нормали отраслевые и заводские. 7. *Справочная информация*: каталоги, справочные пособия, типовые технические процессы. 8. *Информация об отказах* в аналогичных изделиях. 9. *Макет* собираемого изделия (желателен, но не обязателен).

Порядок проектирования ТП сборки в значительной степени аналогичен последовательности проектирования ТП механической обработки. Однако, сборочному процессу свойственны свои особенности.

1. *Анализ сборочных чертежей и технических требований* проводится с целью получения представлений о назначении и основных конструктивно-технологических особенностях изделий и оценка технологичности конструкции изделия. Влияние анализа чертежей и технических условий на последующие этапы проектирования ТП состоит в том, что изделие расчленяется на технологические узлы, которые могут быть собраны независимо друг от друга и участвовать в сборке как единое целое. Если они не совпадают с конструкторскими узлами, то им присваивается свое технологическое наименование и шифр. Чаще всего это касается тех конструкторских сборочных единиц, которые приходится собирать на общей сборке изделия.

## **Продолжение 5.2. Технологическая подготовка**

В процессе анализа чертежей и технических требований последовательно изучаются типы соединений и сопряжений, и принимается решение о возможных методах их осуществления. А если методы соединений заложены в самой конструкции, то решается вопрос о целесообразности этих методов. Особое внимание при этом обращается на наиболее ответственные и точные соединения, на разработку специальных методов контроля и технологических испытаний для них.

В случае неоправданного усложнения сборки, вызванного технологичностью, проводится *дополнительная отработка конструкции на технологичность* и по согласованию с КБ в конструкцию изделия вносятся необходимые изменения, которые оформляются выпуском специального документа – карты изменений. Она согласовывается также с представителем заказчика.

Особое место занимает всесторонний *анализ информации об отказах* в аналогичных изделиях и разработка рекомендаций по повышению надежности. Эта работа вводится в тесном контакте с отделом надежности ОКБ.

Пример из ВРД. Анализ отказов одного из агрегатов двигателя показал в нем наличие таких дефектов, как несоблюдение зазоров, негерметичность, трещины в металле, прогар и т.п. Причины, вызвавшие дефекты и их оценка были следующие: конструктивная недоработка, ошибки в чертежах - 33,5%; недоработки в ТП - 23,0%; отсутствие надлежащей оснастки - 17,0%; субъективные ошибки рабочего - 14,0%; низкое качество металла - 7,0%; неисправность оборудования - 5,5%. Естественно, что результаты анализа отказов, позволяют целенаправленно совершенствовать ТП сборки и их необходимо использовать при разработки ТП.

*2. Разработка маршрутной технологии*, определяющей последовательность сборочных и контрольных операций. При этом, сначала составляются планы сборки более мелких единиц (узлов), затем более крупных и, наконец, изделия в целом. Составление маршрута включает в себя: 1) правильный выбор базовой детали; 2) выбор положения базовой оси изделия; 3) составление строгой последовательности операций.

Процесс сборки принято изображать графически в виде схем сборки, что дает наглядное представление о взаимосвязи сборочных элементов и последовательности их комплектования. Детали и составные части условно изображаются в виде прямоугольника, в котором указывается номер позиции, наименование детали, количество, материал, из которого она изготовлена. Направление сборки начинается от базовой детали и изображается горизонтальной линией со стрелкой. Выше линии принято изображать только детали, а ниже ее – все остальные части, включая покупные изделия. Необходимые дополнения к операциям (данные по техническим требованиям, методы контроля и др.) даются в виде текста.

**Продолжение 5.2. Технологическая подготовка**

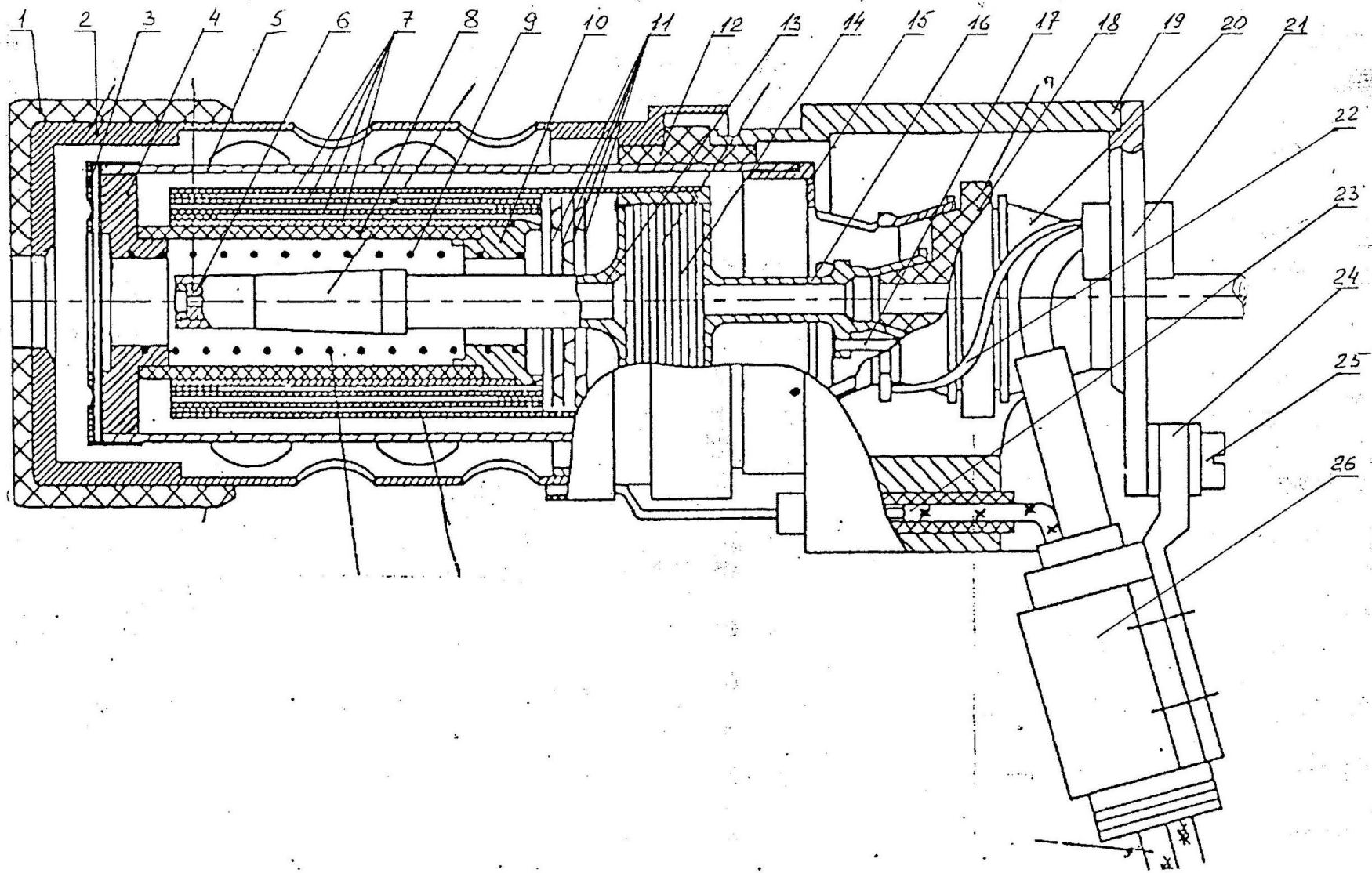


Рис. 5.2. Катод компенсатор

## Продолжение 5.2. Технологическая подготовка

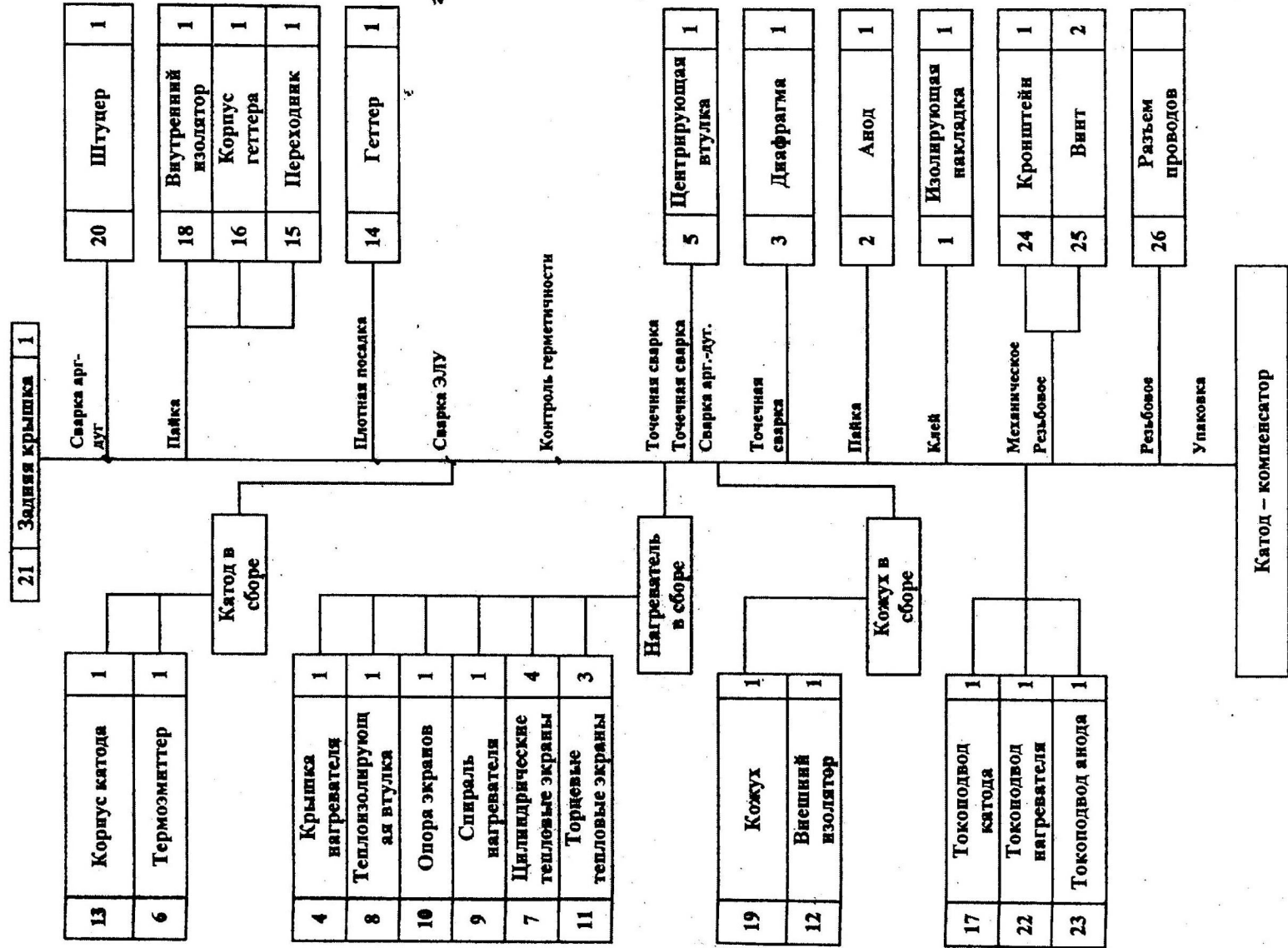


Рис. 5.3. Схема сборки катода компенсатора

## Продолжение 5.2. Технологическая подготовка

3. *Выбор метода сборки* осуществляется одновременно с составлением маршрута или непосредственно после его окончания. Обычно метод сборки закладывается конструкторской документацией. И, если анализ показал, что заложенный конструктором метод обеспечивает требуемое качество соединения, производительность и экономичность процесса, то на этом этапе уточняются режимы, оборудование, оснастка, организационные формы и т.п. В случае изменения решения конструктора назначение метода вновь проводится с учетом конструкции и условий эксплуатации объекта, а также конкретных производственных условий.

Примеры: 1. Выбор метода реализации прессового соединения осуществляется не только с учетом величины натяга, но и относительных размеров, рода и состояния материала сопрягаемых деталей, возможных температурных деформаций при работе изделия. 2. При выборе метода сварки учитываются технологичная свариваемость, толщина материала, жесткость и т.д. 3. Для выбора метода, обеспечивающего напряжение затяжки учитывается состояние контактных поверхностей резьбовых пар, условий подхода к ним с инструментом, относительную длину и число болтов и т.д.

Выбор метода сборки и контроля обосновывается расчетом или экспериментально.

4. *Разработка организационной формы сборки.* При опытном и мелкосерийном производстве план сборки составляется из укрупненных операций – сборки крупных сборных единиц, на которые расчленен заданный объект. Организационная форма – бригадная, стационарная, с ограниченным числом рабочих-сборщиков.

При увеличении программы выпуска изделий сборочный процесс дифференцируется до операций, потом до переходов и в мелкосерийное производство – до приемов. Организационная форма – операционная поточная сборка с транспортирующим устройством или с применением сборочных автоматов и автоматических линий.

При этом соблюдается правило: такт сборки составляющих единиц равен или кратен такту общей сборки изделия. Выполнение этого правила достигается технологической синхронизацией операций. При разработке ТП допускается точность синхронизации  $\pm 10\%$ . Более высокая точность – с помощью пробных сборок.

## Продолжение 5.2. Технологическая подготовка

5. *Нормирование сборочных операций* осуществляется аналогично нормированию при механической обработке:

Для сборки любого объекта

$t_{шт-к}$  - даны в нормативах или по опыту сборки однотипных изделий. При поточной сборке учитывается время, необходимое для перемещения собираемого объекта на следующее рабочее место:  $L$  - длина рабочего места;  $V$  - при ручном перемещении;  $V$  - при механическом.

6. *Разработка контрольных операций*, способы и средства некоторых операций рассмотрены ранее.

Установки для технологических испытаний и контроля представляются в виде принципиальных схем, а отдельные специальные элементы их – в виде конструктивных схем с необходимыми расчетами и описанием.

7. *Проектирование сборочных приспособлений* и специального инструмента.

8. *Оценка экономичности сборочных операций*.

На основе составления норм времени при различных методах выполнения операций по нормативам.

### Документация сборочного ТП.

Основной документ – *операционная карта* – аналогична карте мех.обработки.

Помимо текста дается *эскиз* сборочной операции, на котором показываются базовая деталь с размерами установочной базы и сопрягаемая с ней деталь (она выделяется цветным карандашом).

*Изображение соединений* на операционных эскизах и сборочных чертежах по ЕСКД и ЕСТД.

Для сложных операций – составляется *инструкция* с пояснениями по их выполнению.

На основании разработанных операционных карт составляется *спецификация на оборудование, инструмент и приспособления* + *заказ на их изготовление*.

*Комплект* оформленных и утвержденных операционных карт вместе с планом (маршрутом) сборки с перечнем необходимого оборудования и приспособлений, а также вспомогательных материалов составляет *основную технологическую документацию*.