

Московский государственный  
технический университет  
им. Н.Э.Баумана

**К. И. БИЛИБИН**

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ  
СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ  
ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана

1998

ББК 32.973.2:34.68

Б61

Рецензент В.Г.Ковалев

Б61 Билибин К.И. Расчет и конструирование сборочно-монтажных приспособлений: Метод. указания для выполнения домашнего задания и курсового проектирования. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1998. - 39 с.

Рассмотрены вопросы собираемости сборочных единиц, выбор вариантов схем сборки и конструирование автоматических сборочно-монтажных приспособлений.

Для студентов технических вузов, выполняющих домашние задания и курсовой технологический проект по курсу "Технология производства ЭВА".

Ил. 23

ББК 32.973.2:34.68

© МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1998

## ВВЕДЕНИЕ

По трудоемкости сборочные работы составляют 40-75% от общего объема работ по изготовлению РЭА и ЭВА. Сборочные работы осложняются широкой номенклатурой выпускаемой продукции, преобладанием малых по размеру и массе деталей и сборочных единиц, значительным объемом проверочных и регулировочных работ, многообразием технологических процессов сборки и электрического монтажа.

Основное количество сборочных операций выполняется вручную с использованием простой оснастки. Однако для повышения производительности, снижения трудоемкости и улучшения качества РЭА и ЭВА предприятия применяют средства механизации и автоматизации сборочного процесса.

Процесс автоматической сборки может быть разделен на следующие этапы:

- 1) подача собираемых деталей (элементов) к месту сборки;
- 2) взаимная ориентация (базирование) деталей перед их соединением;
- 3) соединение сборочных элементов в сборочную единицу;
- 4) закрепление сборочных элементов (сборочная операция);
- 5) контроль.

Наиболее сложным этапом сборки является ориентация собираемых элементов перед их соединением, особенно при монтаже микросхем.

Собираемые элементы должны быть расположены так, чтобы можно было беспрепятственно соединить их в сборочную единицу. Необходимая точность взаимного положения деталей определяется многими факторами и может быть заранее рассчитана. В данной работе основное внимание уделено условиям собираемости и базирования собираемых деталей в автоматическом режиме.

# МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Задание "Расчет и конструирование сборочно-монтажных приспособлений" включает в себя следующие этапы:

1. Определение условия собираемости деталей, т.е. определение допустимого смещения собираемых деталей.
2. Выбор схемы (схем) базирования деталей, обеспечивающей собираемость деталей в сборочную единицу; определение действительного смещения собираемых деталей для выбранной схемы.
3. Сравнение действительных погрешностей базирования (смещения) с допустимыми.
4. Определение точности изготовления сборочного приспособления.
5. Конструирование сборочного приспособления согласно выбранной схеме базирования.

### 1. УСЛОВИЯ СОБИРАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ

При сборке типовыми являются соединения по следующим поверхностям: сферическим, цилиндрическим, коническим, плоским, резьбовым и др. Однако наиболее распространены цилиндрические, плоские и по резьбовым поверхностям.

Положение любой детали в пространстве определяется шестью степенями свободы: тремя перемещениями по осям координат  $XUZ$  и тремя поворотами относительно этих осей.

Базирование - придание заготовке (детале) требуемого положения относительно выбранной системы координат.

База - поверхность или выполняющее эту функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования. На рис.1 показана схема базирования призматической условной детали: I, II, III - базы детали; 1-6 - опорные точки. Деталь лишается всех шести степеней свободы при установке ее на шесть опорных точек и при условии неотрывности от этих шести точек.

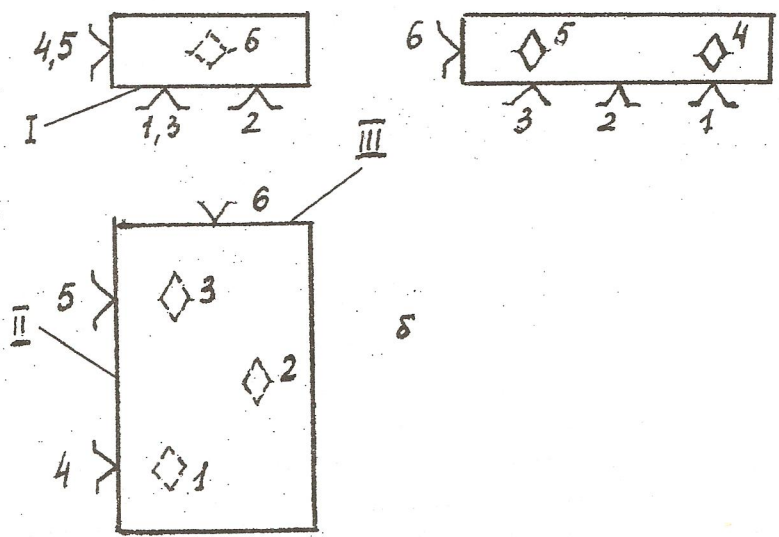
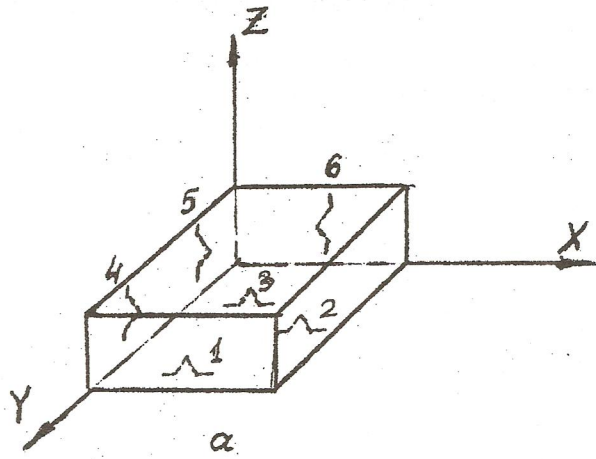


Рис.1. Схема базирования призматической условной детали:  
 а - общий вид заготовки; б - вид заготовки в проекциях

Погрешность базирования - отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Точное базирование деталей на сборочной позиции перед сборкой является одной из наиболее трудоемких задач, от правильного решения которой зависит качество сборки, особенно при автоматической сборке. Процесс автоматической сборки любой сборочной единицы представляет собой пространственную задачу, которая решается методом размерных цепей.

Выбор схемы базирования определяет и требования к точности сборочного приспособления. При разработке технологического процесса сборки должны быть определены условия собираемости деталей.

Условия собираемости деталей определяются максимально допустимыми смещениями поверхностей соединяемых деталей относительно друг друга, при которых возможно сопряжение (сборка). Они могут быть сведены к двум условиям:

условие первое:

$$\Delta_x > \varepsilon_x,$$

$$\Delta_y > \varepsilon_y,$$

$$\Delta_z > \varepsilon_z,$$

где  $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$  - допустимое смещение собираемых деталей по осям координат,

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  - действительное смещение собираемых деталей, определяемое схемой базирования;

условие второе:

$$\Delta_\alpha > \varepsilon_\alpha,$$

$$\Delta_\beta > \varepsilon_\beta,$$

$$\Delta_\gamma > \varepsilon_\gamma,$$

где  $\Delta_\alpha, \Delta_\beta, \Delta_\gamma$  - допустимый угол поворота собираемых деталей относительно осей  $OXYZ$ ;

$\varepsilon_\alpha, \varepsilon_\beta, \varepsilon_\gamma$  - действительный относительный угол поворота деталей, определяемый схемой базирования.

Найдем допустимые значения смещения и поворота собираемых деталей, сопрягаемых по различным поверхностям.

1.1. Сборка деталей,  
сопрягаемых по цилиндрическим поверхностям

Сборка деталей будет возможна, если в первоначальный момент контакта двух деталей взаимное смещение не превысит значения  $\Delta_x$  (рис.2, а). В противном случае кромка одной детали встанет на торец другой детали и сборка не произойдет. Значение  $\Delta_x$ , считая от оси симметрии, будет равно:

$$\Delta_x = \pm \frac{D_{\min} - d_{\max}}{2}, \quad \Delta_y = \Delta_x,$$

т.е. допустимое смещение деталей в одну сторону от оси симметрии составит не более половины минимального зазора, знак  $\pm$  означает, что смещение от оси симметрии может быть в обе стороны.

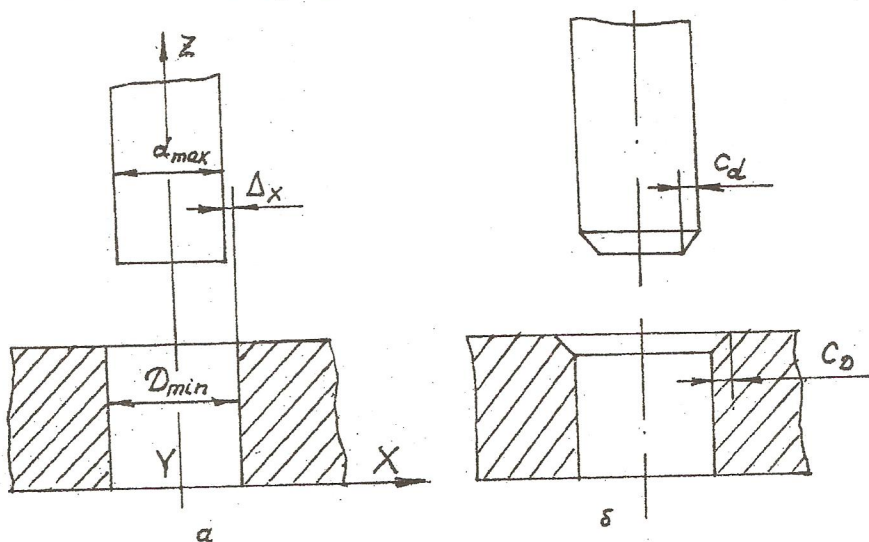


Рис.2. Схема сборки деталей, сопрягаемых по цилиндрическим поверхностям: а - детали без фасок; б - детали с фасками

При наличии фасок на валу и втулке смещение по осям  $OX$  и  $OY$  будет равно (рис.2, б)

$$\Delta_x = \pm \frac{D_{\min} - d_{\max} + 2(C_{D\min} + C_{d\max})}{2}, \quad \Delta_y = \Delta_x,$$

где  $C_D$  и  $C_d$  - размеры фасок вала и втулки.

Итак, допустимым смещением при первоначальной совместимости собираемого соединения называется максимальное взаимное отклонение сопрягаемых поверхностей деталей, при котором еще возможно осуществить фиксацию сопрягаемых поверхностей и их соединение (сборку). Допустимое смещение определяется геометрическими размерами двух сопрягаемых поверхностей (в данном случае диаметрами вала и отверстия втулки), а также формой и размерами фасок, заходных конусов, лысок и других вспомогательных поверхностей.

Наличие фасок увеличивает допустимое смещение собираемых деталей, однако при этом следует обеспечить подвижность хотя бы одной детали, иначе сборка не может быть выполнена.

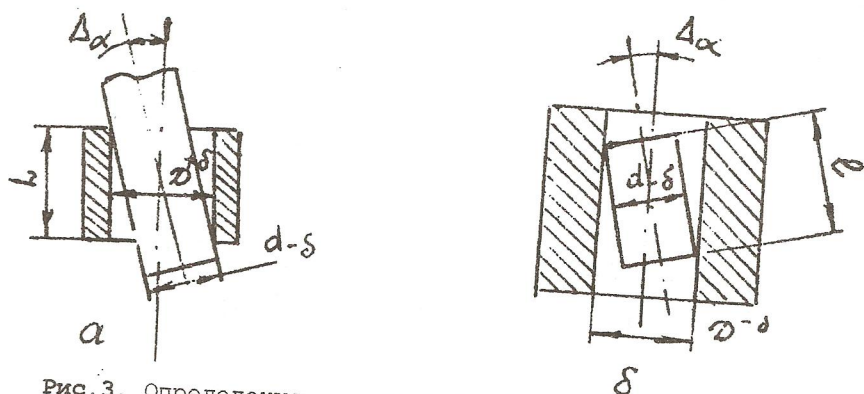


Рис. 3. Определение допустимого угла поворота деталей:  
 а - длина втулки меньше длины вала; б - длина вала меньше длины втулки

Допустимый угол поворота оси вала относительно оси отверстия для случая, показанного на рис. 3, а, находят из выражения:

для оси  $Ox$

$$\operatorname{tg} \Delta_{\alpha} = \frac{\Delta}{L} = \frac{D - d}{L},$$

$$\Delta_{\alpha} = \operatorname{arctg} \frac{D - d}{L},$$

для оси  $Oy$

$$\Delta_{\beta} = \Delta_{\alpha},$$



а для случая, показанного на рис.3,б,  
для оси  $OX$

$$\Delta_{\alpha} = \arcsin \frac{D - d}{l};$$

для оси  $OY$

$$\Delta_{\beta} = \Delta_{\alpha}.$$

Поворот относительно оси  $OZ$  не влияет на собираемость для данного случая.

Сопряжение деталей возможно, если несовпадение и перекос осей в процессе сборки меньше или равны найденным предельно допустимым значениям. Перекосы осей в сборочных устройствах практически очень малы, поэтому условием собираемости деталей, сопрягаемых по их цилиндрическим поверхностям, обычно является решение задачи совпадения их осей.

### 1.2. Сборка деталей, сопрягаемых по плоским поверхностям

Положение деталей, сопрягаемых по плоским поверхностям, определяется тремя перемещениями и тремя поворотами относительно координатных осей.

Так, при установке микросхемы в гнездо корпуса (основания) условия собираемости будут следующими (рис.4).

Допустимое смещение  $\Delta$ :

по оси  $OX$

без фасок

$$\Delta_x = \pm \frac{L - l}{2},$$

при наличии фасок

$$\Delta_x = \pm \frac{L - l}{2} + C_L + C_1,$$

по оси  $OY$

без фасок

$$\Delta_y = \pm \frac{B - b}{2},$$

при наличии фасок

$$\Delta_y = \pm \frac{B - b}{2} + C_B + C_b;$$

по оси OZ смещение не влияет на собираемость деталей в данном случае.

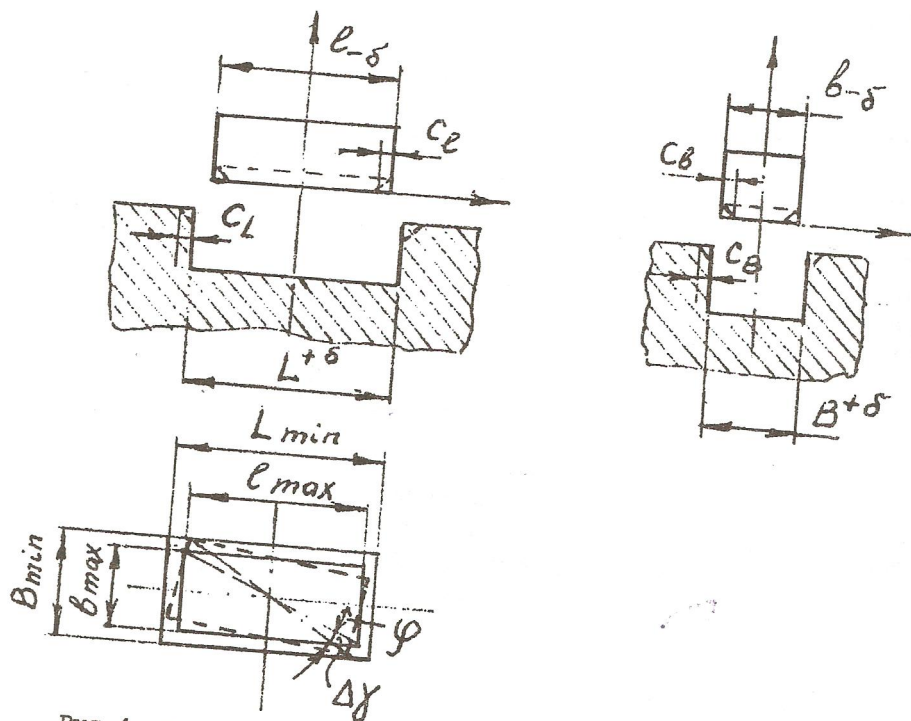


Рис. 4. Схема установки микросхемы в гнездо основания

Допустимый угол поворота микросхемы:  
относительно оси OX  
без фасок

$$\cos \Delta_\alpha = \frac{1}{L},$$

при наличии фасок

$$\cos \Delta_\alpha = \frac{1 - C_L}{L - C_L};$$

относительно оси  $OY$   
без фасок

$$\cos \Delta_{\beta} = \frac{b}{B},$$

при наличии фасок

$$\cos \Delta_{\beta} = \frac{b - C_b}{B - C_B};$$

относительно оси  $OZ$  рассмотрен случай расположения оси вращения в центре симметрии фигуры микросхема-гнездо.

Допустимый угол поворота микросхемы относительно оси  $OZ$  в сторону оси  $OX$  составляет

$$\Delta\gamma_{(x)} = \varphi \left( \frac{B_{\min}}{b_{\max}} - 1 \right),$$

где  $\varphi$  - угол между диагональю и осью симметрии микросхемы.

Допустимый угол поворота микросхемы относительно оси  $OZ$  в сторону оси  $OY$  равен

$$\Delta\gamma_{(y)} = \varphi \left( \frac{L_{\min}}{l_{\max}} - 1 \right).$$

За допустимое значение  $\Delta\gamma$  принимается меньшее из двух полученных.

Наличие фасок на кромках сопрягаемых поверхностей соответственно увеличивает размеры паза и уменьшает размеры микросхемы на размеры фасок, а именно:

$$\Delta\gamma_{(x)} = \varphi \left( \frac{B_{\min} + C_B}{b_{\max} - C_b} - 1 \right),$$

$$\Delta\gamma_{(y)} = \varphi \left( \frac{L_{\min} + C_L}{l_{\max} - C_l} - 1 \right).$$

1.3. Сборка изделий,  
сопрягаемых по двум цилиндрическим поверхностям

Такой вид сборки применяется при постановке изделий типа корпусов, печатных плат и других на фиксирующие штифты, шпильки. При этом необходимо сначала обеспечить надевание сопрягаемой детали (изделия) своими цилиндрическими поверхностями на штифты базового основания, а затем совместить плоскости их прилегания (рис.5). Допустимое значение смещения деталей зависит от зазоров между отверстиями и штифтами и рассчитывается по формуле

$$\Delta = \frac{D-d}{2} - \frac{L_{\max} - l_{\min}}{2}$$

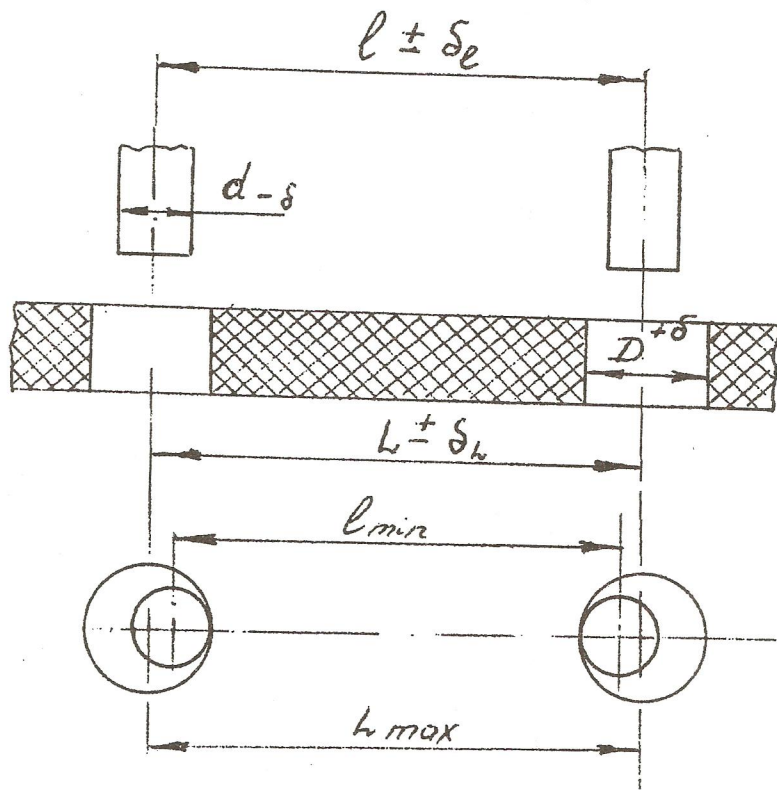


Рис. 5. Схема сборки деталей, сопрягаемых по двум цилиндрическим поверхностям

При наличии фасок в отверстиях и на штифтах условие наведения определяется зависимостью

$$\Delta = \frac{D - d}{2} - \frac{L_{\max} - L_{\min}}{2} + C_D + C_d$$

при условии подвижности (гибкости) выводов (штифтов).

#### 1.4. Сборка деталей, сопрягаемых по резьбовым поверхностям

Процесс сборки с использованием резьбовых крепежных деталей состоит из нескольких последовательно выполняемых этапов: установка и ориентация деталей, подача и завинчивание резьбовых крепежных деталей. Завинчивание включает в себя три технологических перехода: наживление резьбовых деталей, заворачивание на основную часть резьбы и последующую затяжку с заданным моментом. Наживление крепежных деталей представляет наибольшую трудность при автоматической сборке резьбовых соединений.

Условие гарантированного сопряжения резьбовых поверхностей определяется совмещением следов резьбы на торцах винта и гайки или резьбового гнезда в корпусе, а также смещением резьбовых поверхностей (рис.6).

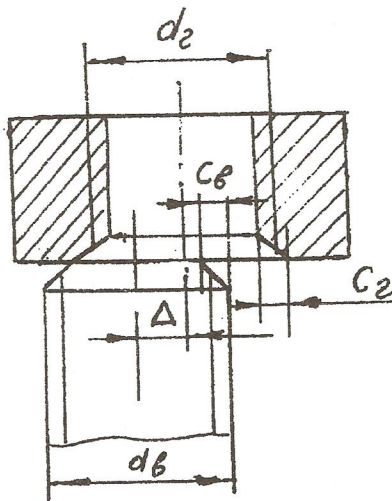


Рис.6. Схема сборки деталей, сопрягаемых по резьбовым поверхностям

Перед наживлением двух резьбовых деталей возможны несоосность и непараллельность их осей, поэтому очень важно знать, при каких наибольших значениях указанных отклонений произойдет сопряжение.

Максимально допустимое значение несоосности  $\Delta$  винта и гайки определяют по формуле

$$\Delta = \frac{\Delta_{\min}}{2} + C_B + (C_T + h),$$

где  $\Delta_{\min}$  - минимальный зазор между резьбовыми поверхностями по среднему диаметру, определяемый степенью точности (ГОСТ 17722-72) их изготовления, мм;

$C_B, C_T$  - размеры фасок на винте и гайке, мм;

$h$  - высота профиля резьбы, мм.

Допустимое значение углового перекоса находят по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta_{\min} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{d_B - h},$$

где  $\alpha$  - угол профиля резьбы;

$d_B$  - диаметр винта, мм.

Однако можно рассчитать предельные отклонения по другим приближенным формулам.

Допустимое смещение оси винта относительно оси гайки рассчитывают по формуле

$$\Delta_x = \frac{d_T - d_B}{2} + C_T + C_B; \Delta_y = \Delta_x,$$

где  $d_T$  - наименьший диаметр резьбы гайки;

$d_B$  - наибольший диаметр винта.

Допустимый угловой перекос резьбовых поверхностей определяют по формуле

$$\Delta\alpha = \operatorname{arctg} 0,5 \frac{S}{d_0}; \Delta\beta = \Delta\alpha,$$

где  $S$  - шаг резьбы;

$d_0$  - средний диаметр резьбы.

Направление резьбовых деталей при их свинчивании может быть обеспечено за счет использования в сборочных устройствах цельных или разъемных направляющих втулок

или питателей. В конструкциях собираемых резьбовых деталей следует предусматривать направляющие элементы: фаски, выточки.

## 2. БАЗИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД СБОРКОЙ

Наиболее важным этапом сборки является обеспечение оптимального положения собираемых деталей на базирующих устройствах перед их соединением. Базирование собираемых деталей проводят по схемам, которые определяют положение в пространстве двух и более сопрягаемых деталей относительно друг друга перед их соединением и удовлетворяют условиям их собираемости.

Точность относительного положения собираемых деталей зависит от выбранных схем базирования, характера и состояния исполнительных поверхностей базирующих устройств.

При сборке двух деталей одна деталь обычно считается базовой, другая присоединяемой. Для их сборки необходимо подать присоединяемую деталь на сборочную позицию так, чтобы сопрягаемые поверхности были совмещены, после этого присоединяемую деталь перемещают к базовой до полного их соединения.

Технологическая схема сборки в общем случае обеспечивает три функции:

- 1) необходимую точность взаимной ориентации деталей перед сборкой, что достигается схемой базирования деталей;
- 2) перемещение собираемых деталей относительно друг друга (это условие достигается податливостью технологической схемы сборки);
- 3) поджим деталей с определенной силой в конце сборки, что обеспечивается применением демпфирующих устройств.

Вся сборочная система (сборочное устройство) должна быть жесткой, за исключением одного звена, которое является компенсирующим. Оно удерживает деталь перед сборкой в определенном положении, но при действии на собираемые детали сил в процессе фиксации и соединения позволяет им перемещаться на величину компенсации отклонения сборочного положения. Для этой цели могут применяться компенсирующие звенья двух видов: а) с использованием свойства самоустановки деталей (рис.7, а)

(втулка в процессе сборки перемещается в гнезде базирующего устройства); б) с базирующим приспособлением, обладающим возможностью перемещения (рис.7, б). Если же вся технологическая схема сборки будет жесткая, то может произойти заклинивание деталей или они будут соединяться с зазорами и деформацией.

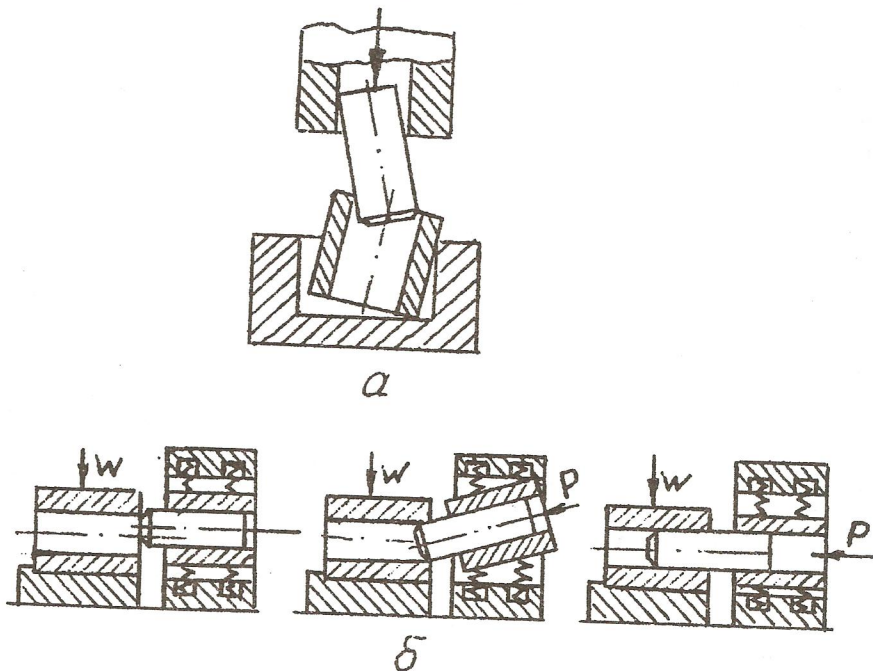


Рис.7. Компенсирующие звенья при сборке деталей:  
 а - с использованием свойства самоустановки деталей;  
 б - с базирующим приспособлением, обладающим возможностью перемещения

Положение деталей перед сборкой определяется различными схемами базирования.

Взаимное базирование собираемых деталей во многом определяется погрешностью базирования каждой из них. Рассмотрим схемы базирования одной детали и возникающие при этом погрешности базирования.



### Базирование на плоскость (рис. 8)

Погрешность смещения оси отверстия при базировании на плоскость находят по следующим выражениям:

$$\text{по оси } OX \quad \varepsilon_x = \delta_L;$$

$$\text{по оси } OY \quad \varepsilon_y = \delta_B.$$

$$\text{Результирующее смещение оси } \varepsilon_{yx} = \sqrt{\delta_L^2 + \delta_B^2}.$$

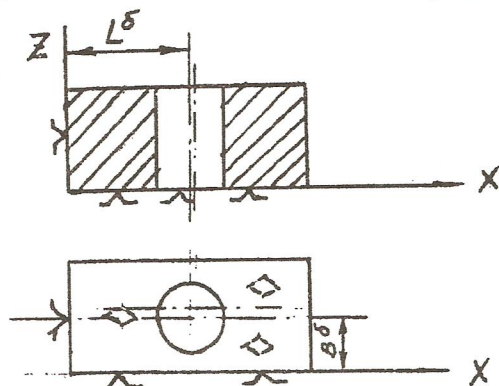


Рис. 8. Схема базирования детали на плоскость

### Базирование на неподвижную призму (рис. 9, а)

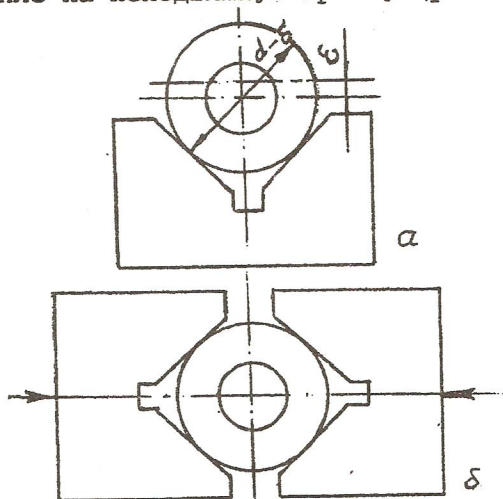


Рис. 9. Схема базирования детали: а - на неподвижную призму; б - на самоцентрирующие призмы

Погрешность смещения оси отверстия (оси детали) при базировании на призму определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{\delta_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

где  $\delta_d$  - допуск на диаметр втулки;  $\alpha$  - угол призмы ( $\alpha = 90^\circ; 120^\circ$ ).

При базировании на самоцентрирующие призмы (рис. 9, б) смещения оси детали не будет, т.е. погрешность базирования равна нулю.

Базирование на коническую поверхность (рис. 10)

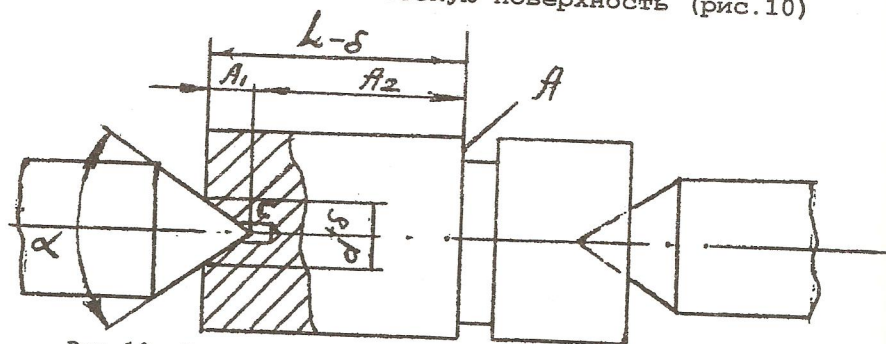


Рис. 10. Базирование детали на конические поверхности

Установочной базой при этом варианте является вершина конического центра  $S$ . При данной схеме базирования погрешность смещения (базирования) торца  $A$  относительно установочной базы определяют методом размерных цепей:

$$A_2 = L - A_1, \quad A_1 = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

Колебание (допуск) размера  $A_2$  и является погрешностью базирования торца  $A$ , рассчитанной по методу максимум - минимум:

$$\varepsilon A = \delta A_2 = \delta L + \frac{\delta_d}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

### Базирование на цилиндрическую поверхность (палец)

Установка детали типа втулка на цилиндрическую оправку перед сборкой может осуществляться как горизонтально (рис.11, а), так и вертикально (рис.11, б).

В первом случае смещение оси втулки будет односторонним:

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d}{2}$$

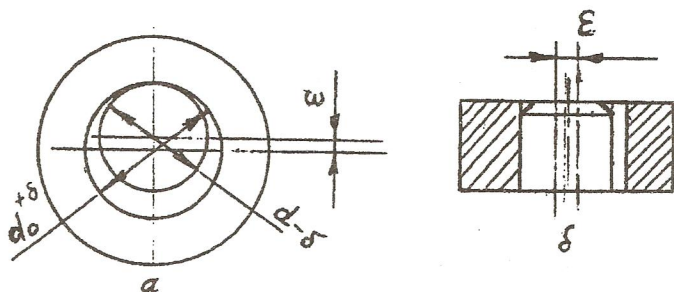


Рис.11. Базирование детали на цилиндрическую поверхность:  
а - горизонтально; б - вертикально

При вертикальном положении пальца положение оси втулки будет безразличным, поэтому погрешность базирования будет равна  $\varepsilon = d_0 - d$ .

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ СОБИРАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Рассмотрим несколько случаев совместного базирования собираемых деталей и определим действительную погрешность их базирования перед сборкой. При этом следует иметь в виду, что каждая отдельная деталь может иметь отличную от другой схему базирования.

#### 3.1. Базирование собираемых деталей на призму (рис.12, а)

Действительная погрешность базирования:  
оси вала

$$\varepsilon_B = \frac{\delta_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

оси втулки

$$\epsilon_{вт} = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + e,$$

где  $e$  - несоосность наружной и внутренней цилиндрических поверхностей.

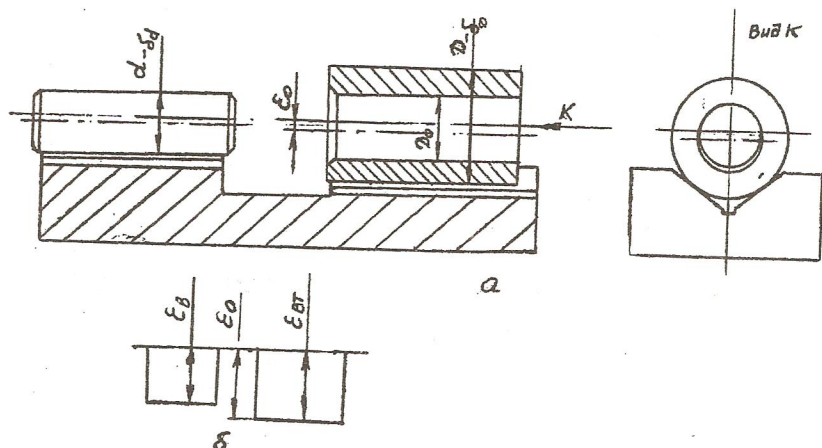
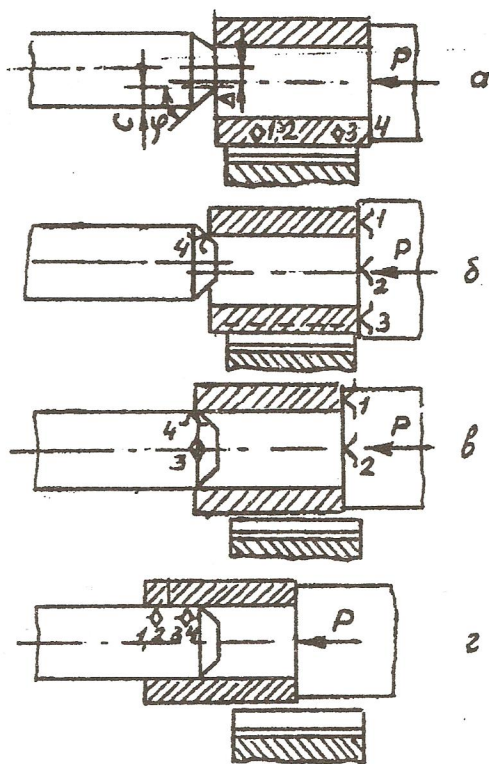


Рис.12. Базирование собираемых деталей на призму:  
а - схема сборки; б - поля распределения допусков

Построим поля распределения допусков (рис.12, б). Поля допусков имеют одно направление, поэтому за общую погрешность базирования  $\epsilon_0$ , т.е. взаимное смещение осей вала и втулки принимается большее из двух полученных значений:  $\epsilon_0 = \epsilon_{вт}$ .

При базировании деталей типа втулка - вал в горизонтальном относительном положении при сборке возможны два основных случая: ось втулки выше оси валика и ось втулки ниже оси валика. Если ось втулки расположена выше оси вала, то при неподвижной базирующей призме в процессе перемещения втулки произойдет заклинивание, если она расположена ниже оси вала (рис.13, а), то при приложении силы  $P$  к торцу втулки она, коснувшись фаски, начнет смещаться по фаске, отрываясь от призмы. При этом произойдет смена баз: опорные точки 1-3 перейдут на торец, а точка 4 - на место контакта кромки с фаской вала (рис.13, б).



**Рис.13.** Различные положения при сборке деталей типа втулка-вал: а - исходное положение; б - смена баз; в - совпадение контуров; г - непосредственное сопряжение

При отрыве втулки от базы ее ось будет смещаться валиком до тех пор, пока контуры валика и отверстия не совпадут (рис.13,в). Совмещение контуров определит начало непосредственного сопряжения (рис.13,г). Отсюда следует, что наличие на кромках сопрягаемых поверхностей фасок является необходимым, но недостаточным условием обеспечения собираемости деталей. Другим условием собираемости является наличие подвижности (возможности смещения) хотя бы одной из собираемых деталей в плоскости, перпендикулярной направлению сборки, в виде смещения сопрягаемой детали вместе с ее базовой деталью или в виде отрыва от базы (рис.14).

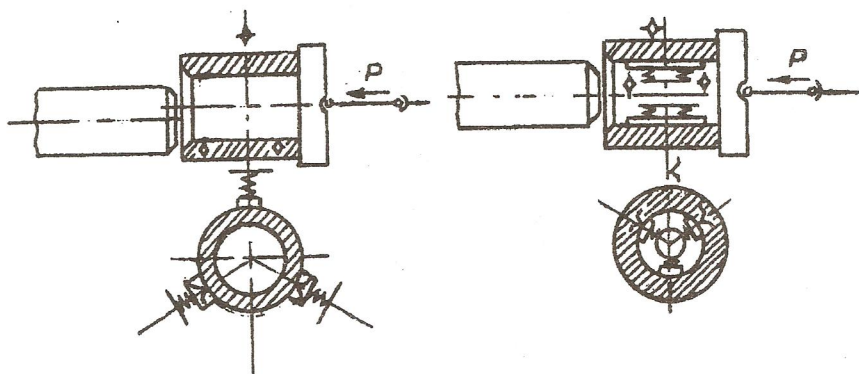


Рис.14. Схема сопряжения деталей при наличии подвижности одной из деталей

При автоматической сборке необходимо, чтобы по крайней мере одна из сопрягаемых деталей могла смещаться и поворачиваться в пространстве в пределах неточности их относительного положения, поскольку несоосность и перекосы осей могут быть в двух взаимно перпендикулярных координатных плоскостях.

### 3.2. Базирование собираемых деталей на плоскость

Рассмотрим положение деталей в одной плоскости, так как в других оно будет аналогичным (рис.15,а).

Погрешность базирования оси детали А на плоскость составляет:  $\epsilon_A = \delta_{L1}$ .

Погрешность базирования оси детали В на плоскость составляет:  $\epsilon_B = \pm \delta_{L2} = |2\delta_{L2}|$ .

Относительное смещение осей деталей А и В относительно друг друга можно найти, построив кривые распределения допусков или поля допусков (рис.15,б).

Погрешность базирования деталей перед сборкой определяется расстоянием между верхней границей допуска на деталь А и нижней границей поля допуска на деталь В:

$$\epsilon_0 = \delta_{L1} + \frac{|2\delta_{L2}|}{2}$$

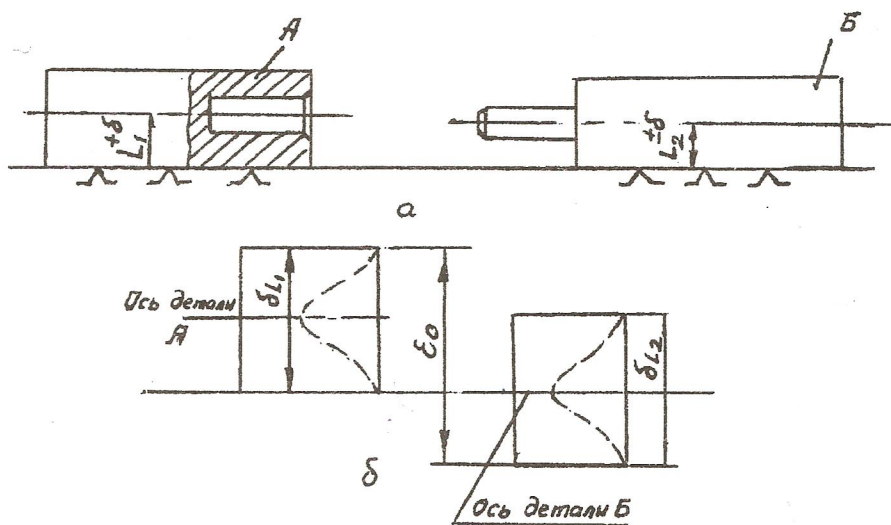


Рис. 15. Базирование собираемых деталей на плоскость:  
 а - по одной оси; б - поля допусков собираемых деталей

3.3. Базирование собираемых деталей на цилиндрическую и призматическую поверхности (рис.16) с учетом некоторых размеров сборочного приспособления

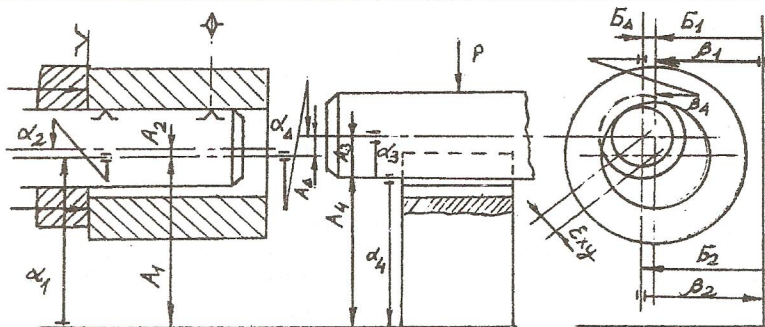


Рис. 16. Базирование собираемых деталей на цилиндрическую и призматическую поверхности

Рассмотрим в общем виде случай, когда деталь типа втулка базируется на палец, а валик - на призму, с учетом размеров сборочного приспособления.

Смещение оси втулки относительно оси валика и их относительный поворот определяют методом размерных цепей:

линейная размерная цепь  
по оси  $OX$

$$A_n = A_3 + A_4 - (A_1 - A_2),$$

по оси  $OY$

$$B_n = B_2 - B_1;$$

угловая размерная цепь

поворот относительно оси  $OX$

$$\alpha_n = \alpha_3 + \alpha_4 - \alpha_1 - \alpha_2,$$

поворот относительно оси  $OY$

$$\beta_n = \beta_2 - \beta_1.$$

Перейдем к допускам на размеры:  
по оси  $OX$

$$\varepsilon_x = \delta_{An} = \delta_{A1} + \delta_{A2} + \delta_{A3} + \delta_{A4},$$

по оси  $OY$

$$\varepsilon_y = \delta_{Bn} = \delta_{B1} + \delta_{B2},$$

суммарное смещение осей

$$\varepsilon_{xy} = \sqrt{\delta_{An}^2 + \delta_{Bn}^2};$$

относительно оси  $OX$

$$\varepsilon_{\alpha n} = \delta_{\alpha 1} + \delta_{\alpha 2} + \delta_{\alpha 3} + \delta_{\alpha 4},$$

относительно оси  $OY$

$$\varepsilon_{\beta n} = \delta_{\beta 1} + \delta_{\beta 2},$$

суммарный поворот

$$\varepsilon_{\alpha\beta} = \sqrt{\delta_{\alpha n}^2 + \delta_{\beta n}^2}.$$

### 3.4. Базирование резьбовых деталей перед сборкой

Рассмотрим возможные схемы базирования резьбовых деталей перед сборкой на примере деталей винт - гайка. Для других схем методика расчета мало чем отличается.

Схемы базирования резьбовых соединений мало отличаются от схем базирования соединений по цилиндрическим поверхностям.



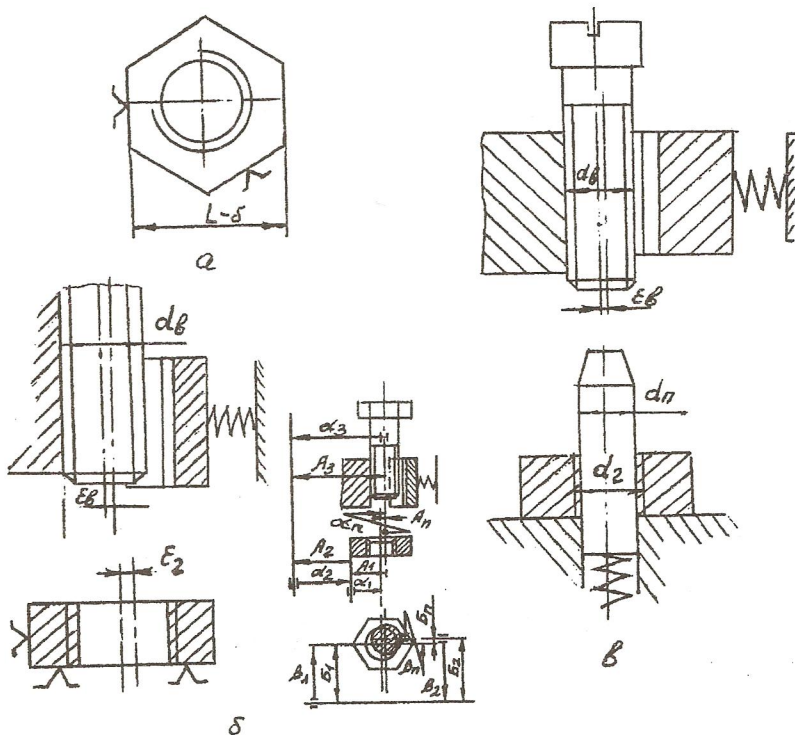


Рис.17. Схемы базирования резьбовых деталей: а - гайки по граням; б - общая схема базирования; в - гайки по внутреннему диаметру резьбы, а винта - по внешнему

На рис.17,а показана схема, при которой гайка базировается по граням, а винт - по наружной цилиндрической поверхности. В данном случае несовпадение осей винта и гайки составит:

при расчете на максимум - минимум

$$\epsilon_n = \epsilon_B + \epsilon_T,$$

где  $\epsilon_B$ ,  $\epsilon_T$  - действительные несовпадения осей винта и гайки от их теоретических осей:

$$\epsilon_B = \frac{\epsilon_{dB}}{2}, \quad \epsilon_T = \frac{\delta_L}{2} + e,$$

( $\epsilon_{dB}$  - допуск на диаметр винта,  $\delta_L$  - допуск на размер под ключ гайки,  $e$  - несоосность резьбового отверстия относительно оси);

при расчете вероятностным методом

$$\varepsilon_n = \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_\Gamma^2}.$$

Доминирующей погрешностью является погрешность базирования гайки по ее граням. Как правило, данная схема базирования применяется в тех случаях, если одна из деталей в процессе сборки смещается по осям  $OX$  и  $OY$ .

Перекося оси винта  $\varepsilon_{B\alpha}$  определяется точностью изготовления винта и базирующей поверхности, а перекося гайки  $\varepsilon_{\Gamma\alpha}$  - отклонением от перпендикулярности оси резьбы гайки и погрешностью обработки торцевых поверхностей.

Относительный действительный угол перекося находят по формуле

$$\varepsilon\alpha = \sqrt{\varepsilon_{B\alpha}^2 + \varepsilon_{\Gamma\alpha}^2}.$$

В общем виде схема базирования винта и гайки на плоскости показана на рис.17, б. При этом учтены размеры базирующих деталей.

Задача решается методом размерных цепей:

линейная размерная цепь по оси  $OX$

$$A_n = A_3 - A_1 - A_2;$$

линейная размерная цепь по оси  $OY$

$$B_n = B_2 - B_1;$$

угловая размерная цепь относительно оси  $OX$

$$\alpha_n = \alpha_3 - \alpha_1 - \alpha_2;$$

угловая размерная цепь относительно оси  $OY$

$$\beta_n = \beta_2 + \beta_1.$$

Переходя к допускам на размеры, имеем по оси  $OX$

$$\varepsilon_x = \delta_{A_n} = \delta_{A_1} + \delta_{A_2} + \delta_{A_3},$$

по оси  $OY$

$$\varepsilon_y = \delta_{B_n} = \delta_{B_1} + \delta_{B_2},$$

суммарное смещение осей

$$\varepsilon_{xy} = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2} = \sqrt{(\delta_{A_1} + \delta_{A_2} + \delta_{A_3})^2 + (\delta_{B_1} + \delta_{B_2})^2};$$

относительно оси  $OX$

$$\varepsilon_\alpha = \delta_{\alpha_n} = \delta_{\alpha_1} + \delta_{\alpha_2} + \delta_{\alpha_3},$$

относительно оси  $OY$

$$\varepsilon_\beta = \varepsilon_{\beta_n} = \delta_{\beta_1} + \delta_{\beta_2},$$

суммарный относительный поворот

$$\varepsilon_{\alpha\beta} = \sqrt{\varepsilon_{\alpha}^2 + \varepsilon_{\beta}^2} = \sqrt{(\delta_{\alpha 1} + \delta_{\alpha 2} + \delta_{\alpha 3})^2 + (\delta_{\beta 1} + \delta_{\beta 2})^2}.$$

На рис.17, в показана схема базирования гайки по внутреннему диаметру резьбы, а винта - по наружной цилиндрической поверхности. Для этого случая погрешность базирования винта составляет:

$$\varepsilon_{\text{В}} = \frac{\delta_{\text{дВ}}}{2},$$

погрешность базирования гайки

$$\varepsilon_{\text{Г}} = \frac{d_{\text{ГВН}} - d_n}{2}.$$

Суммарная погрешность базирования равна: при расчете на максимум - минимум

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{\text{В}} + \varepsilon_{\text{Г}} = \frac{\delta_{\text{дВ}} + d_{\text{ГВН}} - d_n}{2},$$

при расчете вероятностным методом

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\varepsilon_{\text{В}}^2 + \varepsilon_{\text{Г}}^2} = \sqrt{\frac{\delta_{\text{дВ}}^2}{2} + \frac{d_{\text{ГВН}} - d_n^2}{2}}.$$

Наиболее распространенные схемы базирования деталей, сопрягаемых по резьбовым поверхностям, представлены на рис.18.

На рис.18, а показано, что болт (винт) базируется на наружную резьбовую поверхность, а гайка - на торец (основная установочная база) и наружную поверхность. При такой схеме базирования на точность соосности винта и резьбового отверстия гайки оказывает влияние точность изготовления наружной поверхности гайки (обычно шестигранника) и ее разностенность.

На рис.18, б винт базируется на наружную резьбовую поверхность, а гайка центрируется по внутренней поверхности резьбового отверстия и торцу.

На рис.18, в, г болт или шпилька неподвижны (например, заранее ввернуты в корпусную деталь), а гайка базируется на торец и наружную поверхность (рис.18, в) или на торец и резьбу по внутреннему диаметру (рис.18, г).

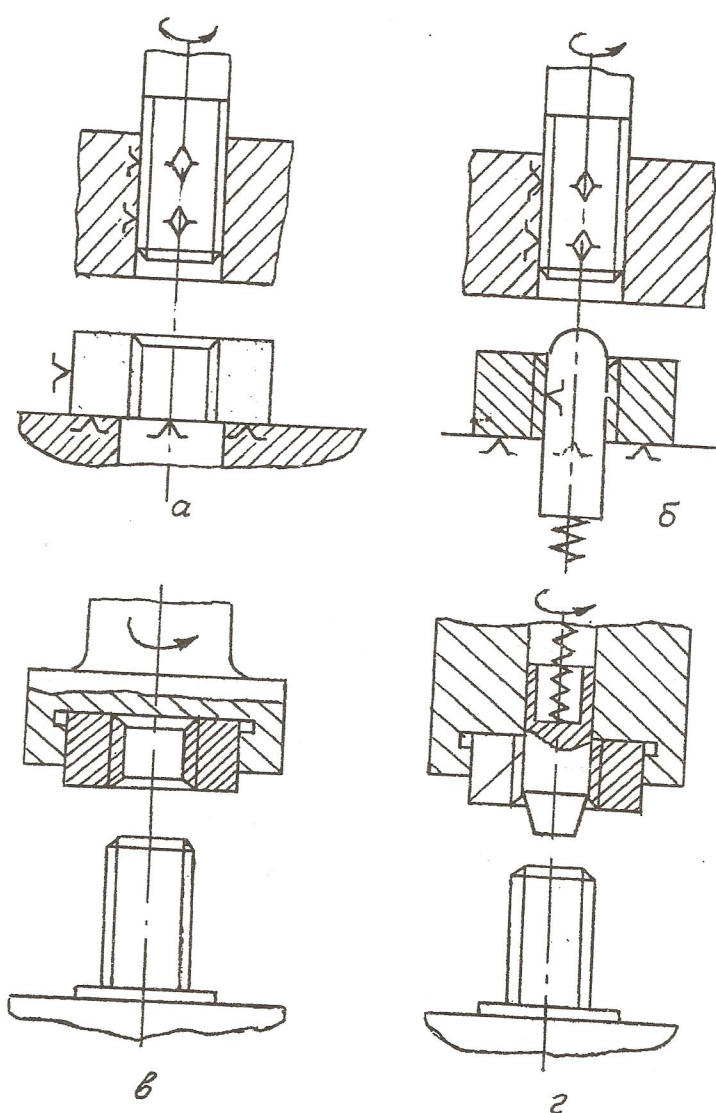


Рис.18. Схемы базирования резьбовых деталей: а - винт - на наружную поверхность, гайка - на торец; б - винт - на наружную поверхность, гайка центрируется по внутренней; в - винт неподвижен, гайка базируется на торец и наружную поверхность; г - винт неподвижен, гайка базируется на торец и внутреннюю резьбовую поверхность

### 3.5. Определение требуемой точности относительного положения сопрягаемых деталей вдоль их оси

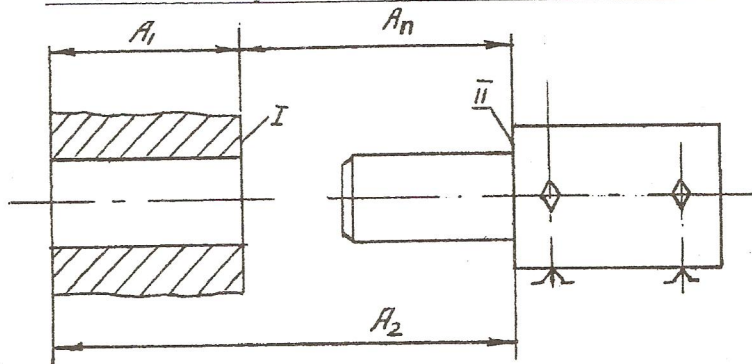


Рис.19. Пример запрессовки вала в отверстие

На рис.19 показан пример запрессовки вала в отверстие. При перемещении вала на величину  $A_n$  до соприкосновения корпуса I и вала II возникает погрешность, которую можно найти методом размерных цепей:

$$A_n = A_2 - A_1,$$

$$\epsilon_x = \delta_{A_n} = \delta_{A_1} + \delta_{A_2},$$

где  $\delta_{A_n}$  - допуск замыкающего звена.

Полученная величина  $\epsilon_x$  сравнивается с допуском по условиям собираемости, при этом  $\delta_{A_n} \geq \epsilon_x$ .

#### 4. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

1-й вариант расчета.

Точность изготовления сборочного приспособления  $\delta_{A\Sigma}$  (это суммарный допуск размеров деталей, входящих в приспособление и влияющих на положение собираемых деталей, т.е. допуск замыкающего звена размерной цепи) определяется по формуле

$$\delta_{A\Sigma} = \Delta - \epsilon,$$

где  $\Delta$  - допустимая погрешность базирования (смещения) собираемых деталей;

$\epsilon$  - действительная погрешность базирования, определяемая выбранной схемой базирования.

Если считать, что для всех размеров (составляющих звеньев) существует один квалитет точности, то среднее значение допуска  $\delta_{1\text{ср}}$  для составляющих звеньев при их числе  $n$  можно найти по формуле

$$\delta_{1\text{ср}} = \frac{\delta_{A\Sigma}}{n - 1}.$$

2-й вариант расчета.

Точность отдельных размеров приспособления задается предварительно и действительную погрешность базирования определяют с учетом допусков на размеры по методу размерных цепей.

После проведения всех необходимых расчетов чертят эскиз приспособления с необходимым количеством разрезов и сечений (см. далее). Из чертежа должно быть ясно, как собираемые детали устанавливаются и подаются на сборочную позицию и как собираются.

Приспособление может быть предназначено как для автоматической сборки, так и для других видов сборки. Например, приспособление должно обеспечивать необходимую ориентацию деталей перед пайкой, а процесс пайки может выполняться вручную и т.п. В задании необходимо описать работу сборочного приспособления.

## **ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ**

Для представленной на чертеже сборочной единицы (рис.20, а), состоящей из штифта (рис.20, б) и основания (рис.20, в), определить:

условие собираемости (допустимое значение базирования) деталей;

схему базирования деталей, обеспечивающую собираемость деталей в автоматическом режиме (т.е. определить действительную погрешность базирования);

точность изготовления сборочного приспособления, а также вычертить общий вид сборочного приспособления (сборной головки) в эскизном варианте.

**Определение условия собираемости деталей** заключается в нахождении допустимого смещения собираемых деталей по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  ( $\Delta_x$ ;  $\Delta_y$ ;  $\Delta_z$ ) и допустимого угла поворота относительно осей  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  ( $\Delta_\alpha$ ;  $\Delta_\beta$ ;  $\Delta_\gamma$ ).

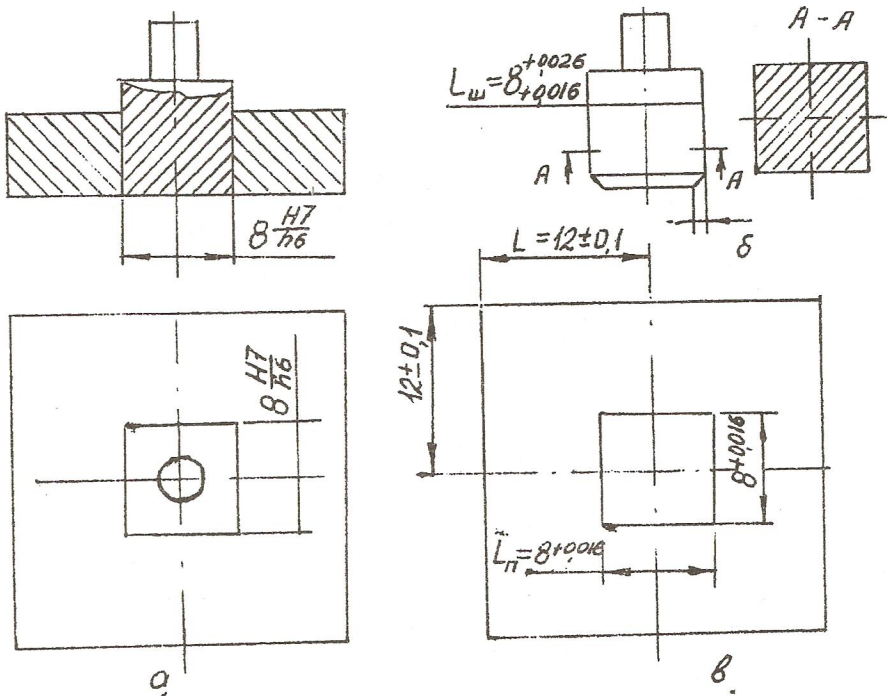


Рис. 20. Пример варианта задания: а - чертеж сборочной единицы; б - чертеж штифта; в - чертеж основания

Допустимое смещения (базирование) относительно паза основания по оси  $OX$  определяют по формуле (рис. 21, а)

$$\Delta_x = \pm \frac{L_{II \min} - L_{II \max} - 2C_{\min}}{2} = \pm \frac{8 - 8,026 + 2 \times 0,2}{2} = \pm 0,18$$

Смещение по оси  $OY$  равно смещению по оси  $OX$ , поэтому

$$\Delta_y = \Delta_x = \pm 0,18.$$

Смещение по оси  $OZ$  в данном случае не влияет на собираемость.

Допустимые угловые смещения относительно осей  $OX$  и  $OY$  также равны между собой и рассчитываются по формуле (рис. 21, б)

$$\cos \Delta_\alpha = \frac{L_{III \max} - C_{\min}}{L_{II \min}} = \frac{8,026 - 0,2}{8} = 0,98;$$

$$\Delta_\alpha = \Delta_\beta = 10^\circ.$$

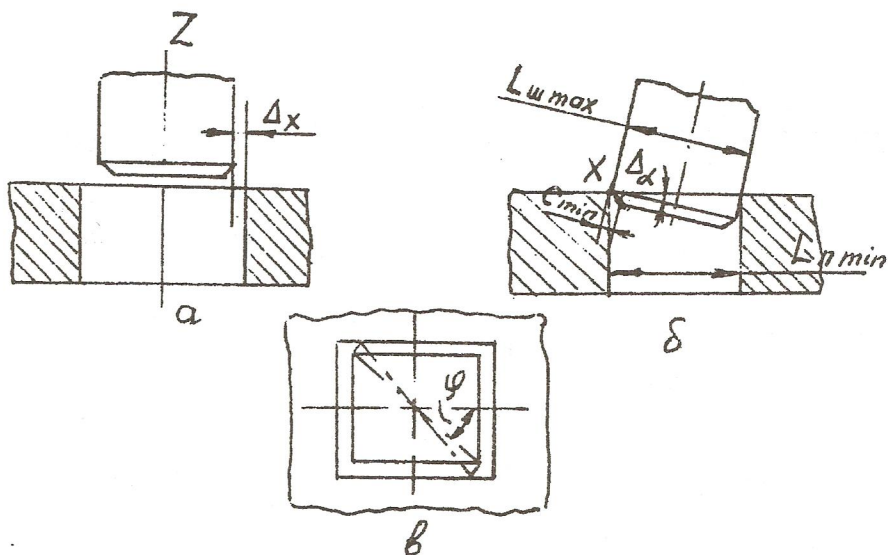


Рис.21. Схема к расчету допустимой погрешности базирования: а - допустимое смещение; б - допустимые угловые смещения относительно осей  $OX$  и  $OY$ ; в - допустимые угловые смещения относительно оси  $OZ$

Допустимые угловые смещения относительно оси  $OZ$  в сторону осей  $OX$  и  $OY$  для квадратного сечения равны между собой и определяются следующим образом (рис.21, в):

$$\Delta\alpha = \Delta\beta = \Delta\gamma = \varphi \left( \frac{L_{n \min}}{L_{\text{ш max}} - C_{\min}} - 1 \right) = 45^\circ \left( \frac{8}{7,826} - 1 \right) = 1^\circ 18'$$

Из полученных допустимых значений видно, что осуществление сборки требует точной взаимной ориентации деталей по осям  $OX$  и  $OY$  и угловому смещению относительно оси  $OZ$ .

**Выбор схемы базирования и определение действительных погрешностей базирования по всем координатным осям проводят в следующем порядке:**

1. Базирование штифта и определение действительных погрешностей его базирования.



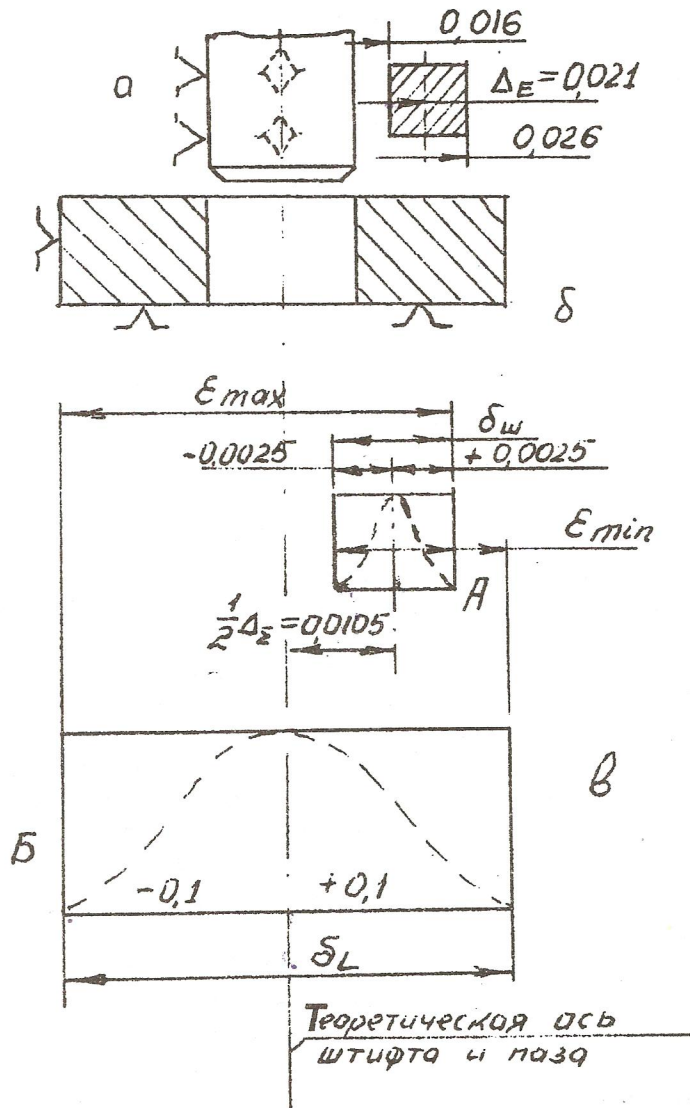


Рис. 22. Схема к расчету фактической погрешности базирования:  
 а - базирование штифта; б - базирование основания; в - поля допусков и кривые распределения

Считаем, что штифт базируется по двум граням (плоскостям) и поджимается к ним (рис.22, а). В этом случае погрешность базирования по оси  $OX$  составит:

$$\varepsilon_{шх} = \frac{1}{2} (\Delta_E + \delta),$$

где  $\Delta_E$  - координата середины поля допуска размера;

$\delta$  - половина поля допуска размера штифта,

$$\Delta_E = \frac{0,016 + 0,026}{2} = 0,021,$$

$$\delta = \frac{0,026 - 0,016}{2} = 0,005,$$

$$\varepsilon_{шх} = \frac{1}{2} (0,021 + 0,005).$$

Верхнее, или максимальное, смещение  $\varepsilon_{шхmax} = 0,013$ .

Нижнее, или минимальное, смещение  $\varepsilon_{шхmin} = 0,008$ .

Так как сечение штифта представляет собой квадрат, смещение по оси  $OY$  равно смещению по оси  $OX$ :  $\varepsilon_{шу} = \varepsilon_{шх}$ .

2. Базирование основания и определение действительных погрешностей его базирования.

Основание установим на плоскости и будем поджимать его к боковым плоскостям (рис.22, б). При этом погрешность базирования основания определяется смещением оси отверстия от ее идеального расположения. Она будет одинаковой в направлении осей  $OX$  и  $OY$ , а именно:

$$\varepsilon_{пх} = \varepsilon_{пу} = \pm 0,1.$$

Базирование основания на плоскости исключает перекосы вокруг осей  $OX$  и  $OY$ , поэтому действительные угловые погрешности базирования  $\varepsilon_{\alpha}$  и  $\varepsilon_{\beta}$  равны нулю. Угловое смещение паза относительно боковых поверхностей основания на чертеже (см. рис.20, в) не указано, поэтому принимаем  $\varepsilon_{пу} = 0$ .

3. Определение действительного значения смещения (базирования) штифта относительно основания для выбранной схемы их базирования.

На рис.22, в показана кривая распределения отклонений осей штифта и основания (можно строить в виде полей допусков). Центральная линия - идеальное положение базовых поверхностей осей штифта и паза основания.

Ось штифта постоянно смещена на  $\frac{1}{2}\Delta_E = \pm 0,0105$  и на половину поля допуска  $\pm 0,0025$ . Ось паза может быть смещена на  $\pm 0,1$ . Тогда наибольшее взаимное смещение осей деталей (наибольшая действительная погрешность базирования) будет равна:

при расчете на максимум - минимум

$\epsilon_{\max} = \epsilon_{\text{ш}\max} - \epsilon_{\text{п}\min} = 0,013 - (-0,1) = 0,113$ , т.е. наибольшее взаимное смещение осей деталей будет тогда, когда ось штифта находится в точке А, а ось паза основания - в точке В, при этом наименьшая погрешность базирования составит

$\epsilon_{\max} = \epsilon_{\text{ш}\max} - \epsilon_{\text{п}\min} = 0,008 - (+0,1) = -0,092$ ; при расчете вероятностным методом

$$\epsilon = \Delta_E \pm \sqrt{A_{\text{ш}}^2 K_{\text{ш}}^2 \epsilon_{\text{ш}}^2 + A_{\text{п}}^2 K_{\text{п}}^2 \epsilon_{\text{п}}^2},$$

где А - передаточное отношение, зависящее от схемы базирования,

$$A_{\text{ш}} = A_{\text{п}} = 1;$$

К - коэффициент относительного рассеивания,

$$K_{\text{ш}} = 1, K_{\text{п}} = 1.$$

Подставив значения в данную формулу, получим

$$\epsilon_{\max} = 0,0105 + \sqrt{(0,013)^2 + (0,1)^2} = 0,111,$$

$$\epsilon_{\min} = -0,091.$$

Угловые смещения относительно осей координат при этой схеме базирования равны нулю, т.е.

$$\epsilon_{\alpha} = 0; \epsilon_{\beta} = 0; \epsilon_{\gamma} = 0.$$

4. Сравнение действительных погрешностей базирования с допустимыми по условиям собираемости:

$$\Delta_x > \epsilon_x = 0,113, \quad \Delta_{\alpha} = 10^{\circ} > \epsilon_{\alpha} = 0,$$

$$\Delta_y = 0,374 > \epsilon_y = 0,113, \quad \Delta_{\beta} = 10^{\circ} > \epsilon_{\beta} = 0,$$

$$\Delta_z \text{ не влияет,} \quad \Delta_{\gamma} = 1^{\circ}18' > \epsilon_{\gamma} = 0.$$

Таким образом, предложенная схема базирования обеспечивает собираемость данных деталей в сборочную единицу в автоматическом режиме.

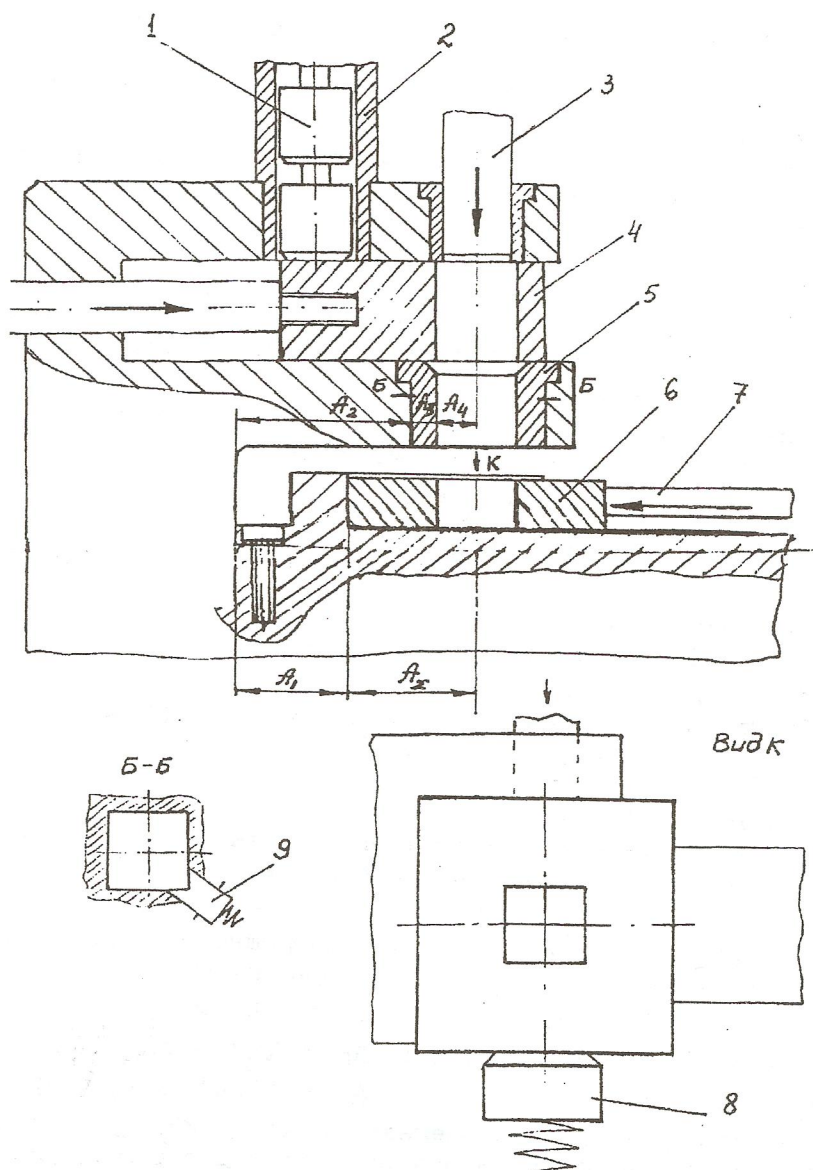


Рис. 23. Приспособление для сборки штифта с основанием:  
 1 - штифт; 2 - магазин-накопитель; 3 - толкатель;  
 4 - питатель; 5 - базирующее устройство; 6 - основание;  
 7 - шибер; 8 - плавающий прижим; 9 - подпружиненный поджим

**Определение точности изготовления сборочного приспособления** начнем с определения допуска замыкающего звена, который представляет собой суммарный допуск размеров деталей, входящих в сборочное приспособление и влияющих на положение собираемых деталей (рис.23):

$$\delta_{A\Sigma} = \Delta - \varepsilon = 0,374 - 0,113 = 0,261,$$

где  $\Delta$  - допустимая погрешность базирования (смещения) собираемых деталей;

$\varepsilon$  - действительная погрешность базирования, определяемая выбранной схемой базирования.

На точность взаимного положения собираемых штифта и основания влияет допуск замыкающего звена  $A_{\Sigma}$ , значение которого определяется из размерной цепи, состоящей из размеров  $A_1, A_2, A_3, A_4$ .

Считаем, что точность изготовления деталей, образующих размерную цепь, одинакова, тогда допуск на каждую входящую деталь (размер) определяется формулой

$$\delta_{1cp} = \frac{\delta_{A\Sigma}}{n - 1} = \frac{0,261}{4} = 0,065.$$

#### **ВЫЧЕРЧИВАНИЕ ОБЩЕГО ВИДА СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ**

На рис.23 показано приспособление для сборки штифта 1 с основанием 6. Штифты 1 из магазина-накопителя 2 подаются на сборочную позицию питателем 4, совершающим возвратно-поступательные перемещения. Питатель одновременно играет роль отсекателя штифтов. Толкатель 3 также совершает возвратно-поступательные перемещения, подавая штифт через базирующее устройство 5, производя сборку его с основанием 6, которое в этот момент установлено на сборочной позиции с помощью шибера 7 и плавающего прижима 8. Базирующее устройство также имеет подпружиненный поджим 9 для обеспечения поджатия штифтов к базовым плоскостям.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Введение .....   | 3   |
| Методика выполнения задания .....  | 4   |
| Порядок выполнения задания .....   | 4   |
| 1. Условия собираемости деталей .....  | 4   |
| 1.1. Сборка деталей, сопрягаемых по цилиндрическим поверхностям .....  | 7   |
| 1.2. Сборка деталей, сопрягаемых по плоским поверхностям .....   | 9   |
| 1.3. Сборка изделий, сопрягаемых по двум цилиндрическим поверхностям .....   | 12  |
| 1.4. Сборка деталей, сопрягаемых по резьбовым поверхностям .....   | 13  |
| 2. Базирование деталей перед сборкой .....   | 15  |
| 3. Определение действительной погрешности базирования собираемых деталей .....   | 19  |
| 3.1. Базирование собираемых деталей на призму .  | 19  |
| 3.2. Базирование собираемых деталей на плоскость   | 22  |
| 3.3. Базирование собираемых деталей на цилиндрическую и призматическую поверхности с учетом некоторых размеров сборочного приспособления ..... | 23  |
| 3.4. Базирование резьбовых деталей перед сборкой .....   | 24  |
| 3.5. Определение требуемой точности относительного положения сопрягаемых деталей вдоль их оси. ....  | 289 |
| 4. Точность изготовления сборочного приспособления .....   | 29  |
| Пример выполнения домашнего задания .....  | 30  |

Редакция заказной литературы

Константин Иванович Билибин

**Расчет и конструирование  
сборочно-монтажных приспособлений**

Редактор *Н. Г. Ковалевская*  
Корректор *О. В. Калашникова*  
Оригинал-макет подготовлен  
издательским домом "Эликс+"

Подписано в печать 05.02.98. Формат 60x84/16. Бумага тип № 2.  
Печ. л. 2, 5. Усл. печ. л. 2, 32. Уч. - изд. л. 2, 39. Тираж 250 экз.  
Изд. № 253.

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана,  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.