

2.5. Расчет станочного приспособления на точность

2.5.1. Суммарная погрешность изготовления детали

Погрешности, возникающие в процессе изготовления деталей машин, неизбежны, так как обусловлены множеством неточностей, сопровождающих любой производственный процесс. Обрабатываемые детали в любой стадии обработки и в готовом виде имеют отклонения от геометрически точной формы и номинальных размеров, заданных чертежом.

Суммарная погрешность изготовления по любому размеру или форме детали при выполнении любой технологической операции механической обработки складывается из погрешности положения заготовки в приспособлении, погрешности настройки станка и инструмента на выполняемый размер, погрешности метода обработки и некоторых других. Эту сумму можно представить в аналитическом виде

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{\text{обр}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{др}}, \quad (2.15)$$

где ε_{Σ} – суммарная погрешность по выполняемому операционному размеру, возникающая на данной технологической операции;

$\varepsilon_{\text{обр}}$ – погрешность, свойственная методу обработки на рассматриваемой операции (погрешность обработки);

ε_n – погрешность настройки технологической системы на выполняемый размер (погрешность настройки);

$\varepsilon_{пр}$ – погрешность, связанная с фактическим положением заготовки в приспособлении (погрешность приспособления);

$\varepsilon_{др}$ – другие погрешности, обусловленные факторами, независящими от метода обработки, способа настройки и конструкции приспособления. К ним относятся: погрешность базирования, погрешность измерения, погрешность, связанная с квалификацией рабочего и другие погрешности. Вклад этих погрешностей по отдельности незначителен, однако в сумме они могут повлиять на получаемый результат. В расчетах для данной категории погрешностей рекомендуется выделять часть операционного допуска выполняемого размера $\varepsilon_{др} = (0,05 - 0,1) \cdot T_A$, где T_A – допуск на выполняемый размер A .

Точность выполняемого на технологической операции размера (или формы) будет обеспечена в том случае, когда сумма всех возможных погрешностей, возникающих в процессе обработки, не будет превышать величину допуска, установленного на этот размер (форму), т. е. должно выполняться условие

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T_A, \quad (2.16)$$

где ε_{Σ} – суммарная погрешность по выполняемому операционному размеру (форме), возникающая на данной технологической операции;

T_A – допуск на выполняемый операционный размер A .

Таким образом, допуском задается *наибольшее* возможное значение погрешности размера или формы детали.

Условие (2.16) с учетом (2.15) можно представить в виде следующего неравенства:

$$\varepsilon_{\text{обр}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{др}} \leq T_A. \quad (2.17)$$

Из данного неравенства видно, что допуск разбивается на несколько составляющих, для компенсации каждой из возможных погрешностей, возникающих при выполнении технологической операции. Конструкция приспособления и точность его изготовления учитывается только погрешностью положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{\text{пр}}$, остальные погрешности не относятся к приспособлению и могут быть определены на основе справочных формул и статистических данных. Величина погрешности $\varepsilon_{\text{пр}}$ обеспечивается разработкой конструкции приспособления, и именно на неё следует ориентироваться при выполнении точностных расчетах приспособлений.

Для того, что бы определить какая часть допуска может быть выделена на компенсацию погрешности $\varepsilon_{\text{пр}}$, можно привести условие (2.17) к следующему виду:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T_A - (\varepsilon_{\text{обр}} + \varepsilon_{\text{н}} + \varepsilon_{\text{др}}). \quad (2.18)$$

Правая часть полученной формулы имеет структурный характер и не является точным математическим выражением, так как суммирование погрешностей должно производиться не арифметически, а по определенным правилам, рассмотренным в учебной дисциплине «Основы технологии машиностроения». С учетом этого, формула (2.18) примет вид:

$$[\varepsilon_{\text{пр}}] = T_A - k_T \sqrt{\varepsilon_{\text{обр}}^2 + \varepsilon_{\text{др}}^2} + \varepsilon_{\text{н}}, \quad (2.19)$$

где $[\varepsilon_{\text{пр}}]$ – допустимая погрешность приспособления;

k_T – коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих величин от закона нормального распределения (в расчетах рекомендуется принимать значение $k_T = 1 - 1,2$).

2.5.2. Погрешность обработки и её определение

Погрешность обработки $\varepsilon_{\text{обр}}$ возникает непосредственно в процессе обработки заготовки на станке по причине таких факторов как:

- геометрическая неточность станка,
- упругие деформации элементов технологической системы (станка, приспособления, инструмента, заготовки) под воздействием сил резания,
- температурные деформации,
- неточность изготовления и износ режущего инструмента,
- другие причины систематического и случайного характера.

В связи с тем, что для точного определения погрешности обработки очень сложно получить все необходимые данные, величину $\varepsilon_{\text{обр}}$ укрупненно определяют по величине средней экономической точности обработки следующим образом:

$$\varepsilon_{\text{обр}} = k\omega, \quad (2.20)$$

где ω – точность обработки на размер детали при выполнении технологической операции (соответствует табличному значению средней экономической точности обработки и приводится в справочниках для большинства методов обработки, например, в [11], [27] и [30]);

k – коэффициент уменьшения величины ω , которым учитывается доля точности обработки в суммарной погрешности ($k = 0,6 - 0,8$).

В данном пособии в табл. 2.7 приводятся значения $\varepsilon_{\text{обр}}$, рассчитанные для некоторых основных методов механической обработки резанием. Значения даны в определенном диапазоне.

Меньшие значения для $\varepsilon_{\text{обр}}$ следует использовать в расчетах в том случае, когда операция выполняется на новом оборудовании, новым неизношенным и настроенным инструментом, обеспечено охлаждение и достаточная жесткость элементов технологической системы, когда гарантирована стабильность получаемых размеров, а влияние случайных факторов (помех) минимально.

Большие значения для $\varepsilon_{\text{обр}}$ следует использовать тогда, когда обработка производится на изношенном оборудовании, при недостаточной жесткости элементов технологической системы, отсутствии охлаждения, а также при значительном влиянии случайных факторов на процесс обработки.

Ориентировочная погрешность различных методов обработки $\varepsilon_{обр}$, МКМ,
основанная на их экономической точности

Метод обработки	Диапазон размеров, мм								
	до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 355	св. 355
<i>Точение, растачивание</i>									
Черновое	108– –144	126– –168	150– –200	180– –240	324– –432	378– –504	432– –576	840– –1120	930– –1240
Получистовое	66– –88	78– –104	96– –128	114– –152	132– –176	150– –200	276– –368	342– –456	378– –504
Чистовое	42– –56	50– –67	60– –80	72– –96	84– –112	96– –128	174– –232	216– –288	240– –320
Тонкое	11– –14	13– –17	15– –20	18– –24	21– –28	24– –32	43– –58	53– –71	58– –78
<i>Сверление</i>									
По кондуктору	66– –88	78– –104	96– –128	114– –152	132– –176	150– –200	174– –232	216– –288	240– –320
Без кондуктора	108– –144	126– –168	150– –200	180– –240	324– –432	378– –504	432– –576	534– –712	582– –776
<i>Зенкерование</i>									
Черновое	108– –144	126– –168	150– –200	180– –240	324– –432	378– –504	432– –576	534– –712	582– –776
Получистовое	66– –88	78– –104	96– –128	114– –152	132– –176	150– –200	174– –232	216– –288	240– –320
Чистовое	42– –56	50– –67	60– –80	72– –96	84– –112	96– –128	111– –148	138– –184	150– –200
Тонкое	11– –14	13– –17	15– –20	48– –64	21– –28	24– –32	28– –37	34– –46	38– –50

Развертывание

Черновое	26– –34	31– –42	37– –50	44– –59	52– –70	60– –80	69– –92	84– –112	93– –124
Получистовое	16– –22	20– –26	23– –31	28– –37	32– –43	38– –50	43– –58	53– –71	58– –78
Чистовое	11– –14	13– –17	15– –20	18– –24	21– –28	24– –32	28– –37	34– –46	38– –50
Тонкое	5– –6	5– –7	7– –9	8– –10	13– –18	15– –20	17– –23	22– –29	24– –32

Шлифование валов

Однократное	26– –34	31– –42	37– –50	44– –59	52– –70	60– –80	111– –148	138– –184	150– –200
Чистовое	16– –22	20– –26	23– –31	28– –37	32– –43	38– –50	69– –92	84– –112	93– –124
Тонкое	5– –6	5– –7	7– –9	11– –15	13– –18	15– –20	28– –37	34– –46	38– –50
Бесцентровое	16– –22	20– –26	37– –50	44– –59	84– –112	96– –128	174– –232	216– –288	240– –320

Метод обработки	Диапазон размеров, мм								
	до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 355	св. 355
<i>Шлифование отверстий</i>									
Черновое	26– –34	31– –42	37– –50	44– –59	52– –70	60– –80	69– –92	84– –112	93– –124
Получистовое	16– –22	20– –26	23– –31	28– –37	32– –43	38– –50	43– –58	53– –71	58– –78
Чистовое	11– –14	13– –17	15– –20	18– –24	21– –28	24– –32	28– –37	34– –46	38– –50
Тонкое	5– –6	5– –7	7– –9	8– –10	13– –18	15– –20	17– –23	22– –29	24– –32
Хонингование	5– –6	5– –7	7– –9	8– –10	13– –18	15– –20	17– –23	22– –29	24– –32
<i>Шлифование плоских поверхностей</i>									
Черновое	26– –34	31– –42	37– –50	44– –59	52– –70	60– –80	69– –92	84– –112	93– –124
Чистовое	16– –22	20– –26	23– –31	28– –37	32– –43	38– –50	43– –58	53– –71	58– –78
Тонкое	11– –14	13– –17	15– –20	18– –24	21– –28	24– –32	28– –37	34– –46	38– –50
<i>Фрезерование плоскостей и строгание</i>									
Черновое	66– –88	78– –104	96– –128	114– –152	210– –280	240– –320	276– –368	342– –456	378– –504
Получистовое	26– –34	31– –42	37– –50	44– –59	84– –112	96– –128	111– –148	138– –184	150– –200
Чистовое	16– –22	20– –26	23– –31	28– –37	52– –70	60– –80	69– –92	84– –112	93– –124

<i>Протягивание</i>									
Чистовое	11– –14	13– –17	15– –20	18– –24	21– –28	24– –32	28– –37	34– –46	38– –50
<i>Нарезание метрической резьбы ГОСТ 16093-2004</i>									
Резцами	8– –11	9– –12	11– –14	13– –16	15– –20	18– –22	20– –26	25– –30	28– –32
Плашками	27– –34	33– –40	39– –48	46– –56	54– –64	63– –74	72– –90	89– –99	97– –105
Гребенками	8– –27	9– –33	11– –39	13– –46	15– –54	18– –63	20– –72	25– –89	28– –97
Метчиками	11– –14	13– –18	16– –22	19– –25	22– –28	25– –32	29– –34	32– –38	36– –40
Фрезами	11– –14	13– –18	16– –22	19– –25	22– –28	25– –32	29– –34	32– –38	36– –40
<i>Примечание.</i> Значения погрешности $\epsilon_{\text{обр}}$ рассчитаны для основных методов обработки с использованием данных из [11], табл. П5 – П20 и формулы (2.20).									

2.5.3. Погрешность настройки и её определение

Погрешность настройки ε_n возникает в процессе настройки станка на размер, под которой понимают согласованную установку режущего инструмента, рабочих элементов станка и установочных элементов приспособления в положение, которое обеспечивает получение выдерживаемого размера с заданным допуском на изготовление. Это положение изменяется при каждом регулировании системы или смене инструмента, что и приводит к возникновению погрешности ε_n .

Для универсальных станков погрешность настройки ε_n в основном определяется погрешностью установки инструмента на размер, которая зависит от погрешности используемых при настройке измерительных средств (меры, индикаторы часового типа, штангенциркули, щупы и т. д.), а также от точности механизма перемещения инструмента. Её значение можно ориентировочно определить по табл. 2.8 в зависимости от вида обработки и значений выдерживаемых размеров.

Для станков с ЧПУ погрешность настройки можно рассматривать как погрешность установки инструмента в заданное положение, которая складывается из погрешности положения приспособления в координатной системе станка при настройке и погрешности позиционирования рабочего органа станка

$$\varepsilon_{\text{н}} = \Delta_{\text{пол}} + \Delta_{\text{поз}}, \quad (2.21)$$

где $\Delta_{\text{пол}}$ – погрешность положения приспособления (инструмента) в системе координат станка,

$\Delta_{\text{поз}}$ – погрешность позиционирования рабочего органа станка.

Значения этих погрешностей $\Delta_{\text{пол}}$ и $\Delta_{\text{поз}}$ приведены в табл. 2.9 для различных направлений выдерживаемых размеров (оси X и Y или ось Z).

При настройке положения инструмента по отношению к приспособлению с помощью щупа величина погрешности $\varepsilon_{\text{н}}$ может быть определена по формуле:

$$\varepsilon_{\text{н}} = \Delta_{\text{тщ}} + \Delta_{\text{пер}}, \quad (2.22)$$

где $\Delta_{\text{тщ}}$ – погрешность толщины щупа, обусловленная допуском на изготовление, и определяемая его величиной (для щупов по ГОСТ 8925–68 используется поле допуска $h6$);

$\Delta_{\text{пер}}$ – погрешность механизма перемещения инструмента (определяется по технической документации на станок, обычно не более 0,05 мм).

Средние допускаемые погрешности настройки ϵ_n
для лезвийных инструментов, мкм [30]

Интервалы выдерживаемых размеров, мм	Обработка			
	черновая *	чистовая	тонкая	однократная
до 30	40 – 100	10	5	20
св. 30 до 80	60 – 150	20	6	25
св. 80 до 180	80 – 200	30	7	30
св. 180 до 360	100 – 250	40	8	40
св. 360 до 500	120 – 300	50	10	50

* Меньшие значения принимают при обработке точных заготовок, большие значения – при обработке грубых черных заготовок.

Таблица 2.9

Составляющие погрешности настройки ϵ_n станков с ЧПУ, мм [22]

Метод настройки станка	Погрешность положения приспособления (инструмента) в системе координат станка, $\Delta_{пол}$	Погрешность позиционирования рабочего органа станка, $\Delta_{поз}$
<i>По координатам X и Y (плоскость стола)</i>		
Настройка при помощи измерительных инструментов на станках без цифровой индикации (универсальные станки, станки с ЧПУ первых поколений)	0,04 – 0,06	0,02 – 0,03
Настройка методом касания через щуп на станке с цифровой индикацией	0,03 – 0,04	0,02 – 0,03
Настройка при помощи измерительной головки или датчика касания на станках с цифровой индикацией	0,02 – 0,03	0,01 – 0,02

По координатам X и Y (плоскость стола)

Настройка при помощи измерительных инструментов на станках без цифровой индикации (универсальные станки, станки с ЧПУ первых поколений)	0,04 – 0,06	0,02 – 0,03
Настройка методом касания через щуп на станке с цифровой индикацией	0,03 – 0,04	0,02 – 0,03
Настройка при помощи измерительной головки или датчика касания на станках с цифровой индикацией	0,02 – 0,03	0,01 – 0,02

По оси Z (ось шпинделя)

Настройка инструмента методом касания через щуп на станке с цифровой индикацией	0,046 – 0,05	0,02
Настройка инструментов с помощью специальных приборов вне станка	0,036 – 0,04	0,02
Настройка инструмента при закреплении в шпинделе и использовании датчика касания	0,012 – 0,02	0,02

2.5.4. Погрешность положения заготовки в приспособлении (погрешность приспособления) и её определение

Погрешность положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{\text{пр}}$ является суммарной величиной, в которую входят различные погрешности, так или иначе связанные с конструкцией приспособления, с требованиями по его изготовлению и с условиями эксплуатации, *рассчитанные в направлении выдерживаемого операционного размера*. В аналитическом виде погрешность $\varepsilon_{\text{пр}}$ можно представить следующим образом

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{нб}} + \varepsilon_3 + \varepsilon_{\text{изн}} + \varepsilon_{\text{изг}} + \varepsilon_{\text{см}} + \varepsilon_{\text{ус}}, \quad (2.23)$$

где $\varepsilon_{\text{нб}}$ – погрешность, возникающая из-за несовмещения измерительной и технологической базы при установке заготовки в приспособление;

ε_3 – погрешность, возникающая в результате закрепления заготовки при её установке в приспособление;

$\varepsilon_{\text{изн}}$ – погрешность, обусловленная износом базирующих элементов приспособления;

$\varepsilon_{\text{изг}}$ – погрешность, связанная с неточностью изготовления деталей приспособления и его сборки;

$\varepsilon_{\text{см}}$ – погрешность, вызванная смещением режущего инструмента в процессе обработки;

$\varepsilon_{\text{ус}}$ – погрешность, возникающая при установке приспособления на стол станка, шпиндель или планшайбу.

С учетом того, что погрешности, входящие в состав $\varepsilon_{\text{пр}}$, относятся как к систематическим, так и случайным величинами, выражение (2.23) примет следующий вид:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{k_1 \varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{см}}^2} + \varepsilon_{\text{изн}} + \varepsilon_{\text{изг}} + \varepsilon_{\text{ус}} \quad (2.24)$$

где k_1 – коэффициент уменьшения погрешности вследствие того, что действительные размеры установочной поверхности редко равны предельным значениям (в расчетах рекомендуется принимать $k_1 = 0,8 - 0,85$).

2.5.5. Погрешность несовмещения баз и её определение

Погрешность несовмещения баз $\varepsilon_{\text{нб}}$ возникает при несовмещении измерительной и технологической баз заготовки при её установке в приспособление, то есть положение измерительных баз отдельных заготовок в партии будет различным относительно обрабатываемой поверхности.

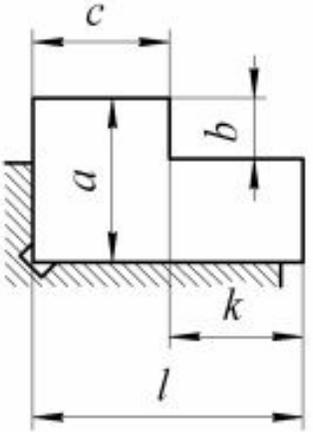
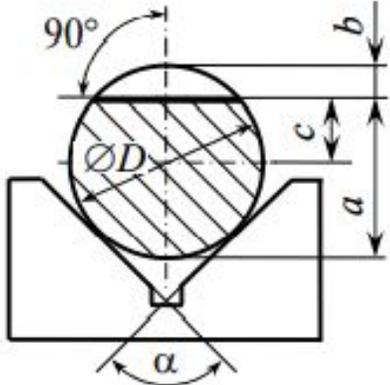
Следует помнить, что правильно разработанная компоновка станочного приспособления должна обеспечивать совмещение измерительной и технологической базы заготовки, поэтому в большинстве случаев погрешность несовмещения баз $\varepsilon_{\text{нб}}$ отсутствует. Однако если обеспечить совмещение баз в приспособлении сложно, невозможной или нецелесообразно, появляется погрешность $\varepsilon_{\text{нб}}$, вызванная этим несовмещением.

Математически погрешность $\varepsilon_{\text{нб}}$ определяется как разность между наибольшей и наименьшей величинами проекций положения измерительной базы в направлении выполняемого размера. Её величина не является абстрактной, а относится к конкретному выполняемому размеру при имеющейся схеме установки заготовки, что следует обязательно указывать в расчетах.

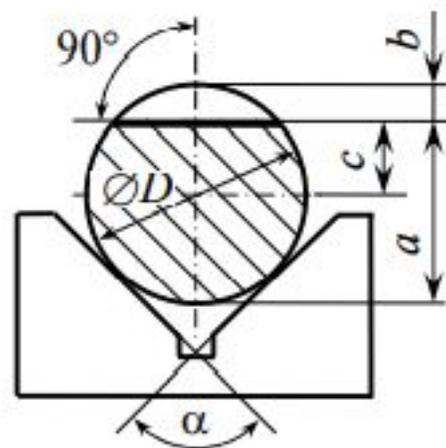
Значение погрешности $\varepsilon_{нб}$ сравнительно просто определяется из анализа геометрических связей, присущих той или иной схеме базирования. Формулы для определения значения погрешности $\varepsilon_{нб}$ можно найти в справочной литературе, например в [6] П. 2, [9] табл. 1, [8] табл. 69, [7] гл. 1 п. 4 – 6, [11] п. 3.4 и др. В данном пособии в табл. 2.10 приведены расчетные зависимости для наиболее часто встречающихся схем установки.

В учебной литературе погрешность несовмещения баз $\varepsilon_{нб}$ часто формально называют погрешностью базирования $\varepsilon_{б}$. Однако не следует путать две этих погрешности друг с другом. Погрешность базирования связана с отклонением фактического положения заготовки от требуемого из-за наличия микро- и макро-отклонений её базовых поверхностей и поверхностей установочных элементов, что и влияет на фактическое положение заготовки в приспособлении (входит в расчет в составе $\varepsilon_{др}$, п. 2.5.1). Эта погрешность присутствует всегда и не может равняться нулю, в то время как погрешность несовмещения баз $\varepsilon_{нб}$ может отсутствовать. Она исключается из расчетных формул, в том случае, когда несовмещение баз не влияет на точность выполняемых размеров. Так, например, погрешность несовмещения баз не влияет на точность диаметральных размеров и размеров, связывающих поверхности, одновременно обрабатываемые одним инструментом или одной инструментальной наладкой, на точность взаимного положения поверхностей и на точность формы последних.

Расчетные зависимости для определения погрешности,
вызванной несовмещением измерительных и технологических баз $\epsilon_{нб}$

Установка	Схема установки	Выполняемый размер	Значение погрешности $\epsilon_{нб}$
По плоскости на опоры или опорные пластины		a	—
		b	T_a
		c	—
		k	T_l
		l	—
По наружной цилиндрической поверхности в призму		a	$\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$
		b	$\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$
		c	$\frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$

По наружной
цилиндриче-
ской поверхно-
сти в призму



a

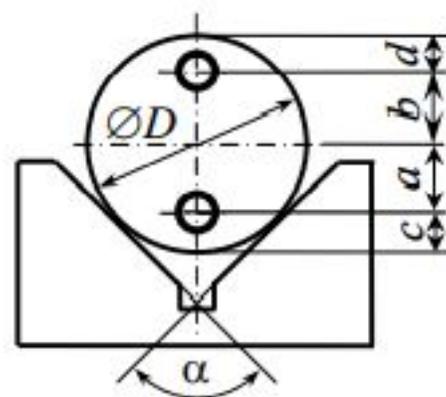
$$\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

b

$$\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$$

c

$$\frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$



a

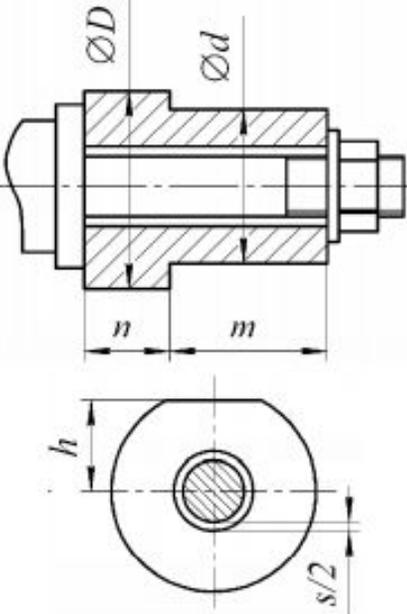
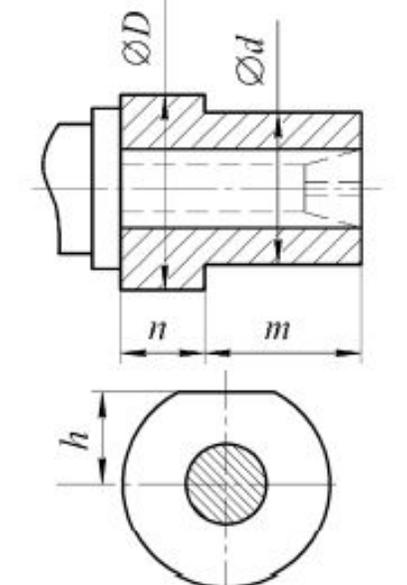
$$\frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

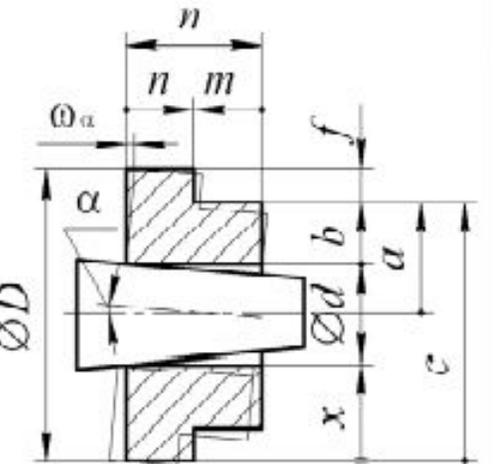
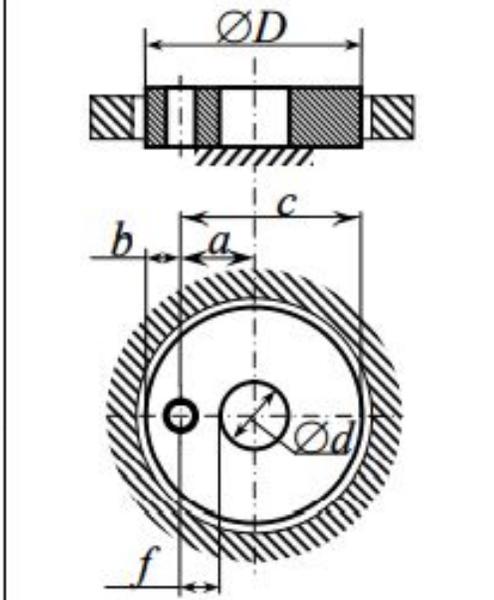
b

c

$$\frac{T_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$$

d

Установка	Схема установки	Выполняемый размер	Значение погрешности $\epsilon_{нб}$		
По отверстию на оправку с зазором		D	s_{\max}		
		d			
		h			
		При установке оправки на жесткий передний центр		n	—
		m	$\delta_{ц}$	При установке оправки на плавающий передний центр	
		n	—		
		m	—		
По отверстию на разжимную оправку или оправку с натягом		D	—		
		d	—		
		h	—		
		m	T_n		
		n	—		

Установка заготовки	Схема установки	Выполняемый размер	Значение погрешности $\epsilon_{нб}$
По отверстию на коническую оправку		a	—
		b	$T_d/2$
		f	$T_D/2 + e$
		c	
		n	T_d/K
		m	$T_d/2 + T_h$
		ω_α	$D \cdot \text{tg} \alpha = 0,5 \cdot D \cdot K$
		α – половина угла конуса оправки, K – конусность $2\text{tg} \alpha$	
По наружной цилиндрической поверхности в отверстие корпуса или втулки с гарантированным зазором		a	T_D
		b	
		c	
		f	$T_D + \frac{T_d}{2} + e$

На жесткий цилиндрический палец с гарантированным зазором		a	T_d
		f	
		b	$T_d + \frac{T_D}{2} + e$
		c	
По двум цилиндрическим отверстиям на жесткий цилиндрический и срезанный пальцы при обработке верхней плоскости поверхности		h_1	$s_{1\max}$
		h_2	$(s_{1\max} + s_{2\max}) \times \frac{l_1 + l}{2l}$
		h_3	$s_{1\max}$
		$\sin\alpha = \frac{s_{1\max} + s_{2\max}}{2l}$	
<p>$T_a, T_D, T_d, T_b, T_n, T_h$ – допуски на соответствующие размеры, e – эксцентриситет поверхностей, s_{\max} – максимальный зазор в сопряжении, D, d – размеры базисуемых элементов или заготовки. $\delta_{ц}$ – допуск на глубину центрального отверстия (0,11 – 0,25 [9], табл. 1, с. 39)</p>			

2.5.6. Погрешность закрепления и её определение

Погрешность закрепления ε_3 возникает по причине смещения заготовки из требуемого положения, достигнутого при базировании, в процессе её закрепления. Это смещение связано с отрывом или отходом базовых поверхностей заготовки от установочных элементов приспособления, с деформацией отдельных звеньев цепи, через которую происходит передача силы закрепления (зажимное устройство, заготовка, установочные элементы, корпус приспособления), с контактными деформациями в стыках отдельных звеньев. Из общего баланса перемещений в этой цепи наибольшую величину имеют перемещения в стыке заготовка – установочные элементы.

Математически погрешность закрепления определяется как разность между наибольшей и наименьшей величинами проекций смещения измерительной базы в направлении получаемого размера в результате приложения к заготовке силы закрепления.

Погрешность закрепления зависит от множества факторов: от конструкции приспособления, от размеров и конфигурации заготовки, от точности формы и шероховатости её базовых поверхностей, от величины силы закрепления и места её приложения и т. д. Поэтому точное значение погрешности ε_3 можно определить только опытным путем для конкретных схем установки заготовок в приспособлениях.

В табл. 2.11 данного пособия приведены оценочные значения погрешности закрепления ε_3 для различных заготовок и приспособлений с различным типом зажимных устройств.

Когда погрешность закрепления не оказывает заметного влияния на точность получаемых размеров, ею обычно пренебрегают. Это происходит в следующих случаях:

- при установке жестких заготовок, а также использовании жестких и хорошо отрегулированных приспособлений,
- когда сила закрепления не действует в направлении выдерживаемого размера,
- при обеспечении точности диаметральных размеров и размеров, связывающих обрабатываемые при данной установке поверхности,
- при обеспечении точности формы и расположения обрабатываемых поверхностей при одной установке заготовки.

Во всех этих случаях составляющая суммарной погрешности ε_3 из расчетной формулы исключается.

Погрешность закрепления заготовок ε_3 , мкм [22]

Характеристика базовой поверхности	Поперечные размеры заготовок, мм						
	от 10 до 18	от 18 до 30	от 30 до 50	от 50 до 80	от 80 до 120	от 120 до 180	от 180 до 260
<i>Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами</i>							
Полученная литьем в песчаную форму	60	70	80	90	100	110	120
Полученная литьем в постоянную форму	50	60	70	80	90	100	110
Полученная литьем по выплавляемой модели	40	50	60	70	80	90	100
Штампованная	100	110	120	135	150	175	200
Горячекатаная	100	110	120	135	150	175	–
Предварительно обработанная	50	60	70	80	90	100	110
Окончательно обработанная	40	50	60	70	80	90	100
Шлифованная	25	30	35	45	60	70	80

*Установка в зажимное приспособление
с пневматическим или гидравлическим зажимом*

Полученная литьем в песчаную форму	80	90	100	110	120	140	160
Полученная литьем в постоянную форму	55	60	65	70	80	90	100
Полученная литьем по выплавляемой модели	40	50	55	60	70	80	90
Штампованная	80	90	100	110	120	140	160
Горячекатаная	80	90	100	110	120	140	—
Предварительно обработанная	40	50	55	60	70	80	90
Окончательно обработанная	30	35	40	50	60	70	80
Шлифованная	15	20	25	30	35	40	45

2.5.7. Погрешность износа и её определение

Погрешность износа $\epsilon_{\text{изн}}$ – это погрешность вызванная износом установочных элементов приспособлений, она характеризует отклонение заготовки от требуемого положения вследствие износа установочных элементов в направлении выполняемых размеров.

Основным параметром, характеризующим погрешность износа, является износ установочных элементов по нормали к их поверхности. Величина этого износа зависит от времени работы приспособления, от конструкции и размеров установочных элементов, от материала и массы заготовки, от состояния её базовых поверхностей, а также от условий установки заготовки в приспособление и её снятия. Наиболее подвержены износу постоянные и регулируемые опоры, боковые поверхности призмы, так как у этих деталей контакт с заготовкой происходит по малым площадкам. Менее интенсивно изнашиваются опорные пластины и цилиндрические пальцы. Установочные элементы приспособления изнашиваются сильнее при контакте с необработанными поверхностями заготовок, и в меньшей степени при контакте с обработанными поверхностями. Скорость изнашивания возрастает с увеличением массы заготовки и наличием её сдвига по опорам при установке в приспособление.

В связи с тем, что на величину износа влияет множество факторов, в том числе и случайных, определить его расчетным путем весьма затруднительно. Чаще всего для оценки величины возможного износа используют справочные данные, полученные на основе опытных исследований.

Так возможную величину износа U можно оценить по следующей формуле [22]:

$$U=U_0 \cdot k_t \cdot k_l \cdot k_y, \quad (2.25)$$

где U_0 – величина износа по нормали к поверхности, полученная на основании опытных данных (значения U_0 приведены в табл. 2.12);

k_t – коэффициент, учитывающий время контакта заготовки с опорами (ориентировочно данный коэффициент может быть определен следующим образом $k_t=0,79t_{\text{маш}}$, где $t_{\text{маш}}$ – машинное время, мин);

k_l – коэффициент учитывающий длину пути скольжения при установке заготовки (значения коэффициента k_l приведены в табл. 2.13);

k_y – коэффициент учитывающий условия обработки (значения коэффициента k_y приведены в табл. 2.14).

Средняя величина износа, полученная опытным путем, U_o , мкм

Тип установочного элемента	Число контактов с заготовкой								
	до 1000	до 1500	до 2000	до 2500	до 3000	до 3500	до 4000	до 4500	до 5000
Пластина установочная	0,3	1,16	2	2,8	3,7	4,5	5,3	6,2	7
Палец установочный	5,7	6,8	8	9,2	10,3	11,5	12,7	13,8	15
Опора установочная	5,9	7,1	8,4	9,7	10,9	12,2	13,5	14,7	16
Призма установочная	3,7	4,3	5	5,7	6,3	7	7,7	8,3	9
Оправка, отверстие	0,1	0,3	1	1,7	2,3	3	3,7	4,3	5

Значения коэффициента k_l

Тип оборудования, на котором используется приспособление	Коэффициент k_l
Универсальные станки	1
Станки с ЧПУ, специальные и агрегатные станки	1,25
Станки-автоматы, полуавтоматы, автоматические линии	1,51

Таблица 2.14

Значения коэффициента k_y

Условия обработки	Коэффициент k_y
Шлифование чугуна без охлаждения	1,58
Шлифование закаленной стали с охлаждением	1,32
Точение, фрезерование, сверление чугуна без охлаждения	1,12
Точение, фрезерование, сверление незакаленной стали без охлаждения	1,00
Точение, фрезерование, сверление незакаленной стали с охлаждением	0,94

Полученная по формуле (2.25) величина – износ в направлении нормали к поверхности установочного элемента приспособлений. Для определения погрешности износа $\varepsilon_{\text{изн}}$, необходимо спроецировать её на направление выдерживаемого в приспособлении размера заготовки.

На рис. 2.13 приведены три варианта установки заготовок в приспособления. В первом случае (рис. 2.13а) заготовка устанавливается на плоскую поверхность и на ней изготавливается лыска по настроечному размеру A_n . Рассмотрены две граничные ситуации: когда установочный элемент не изношен, тогда после обработки имеем глубину лыски A_2 , когда изношен на величину U , имеем размер A_1 . Погрешность износа в направлении выдерживаемого размера в данном случае будет определяться как

$$\varepsilon_{\text{изн}} = A_2 - A_1 = U. \quad (2.26)$$

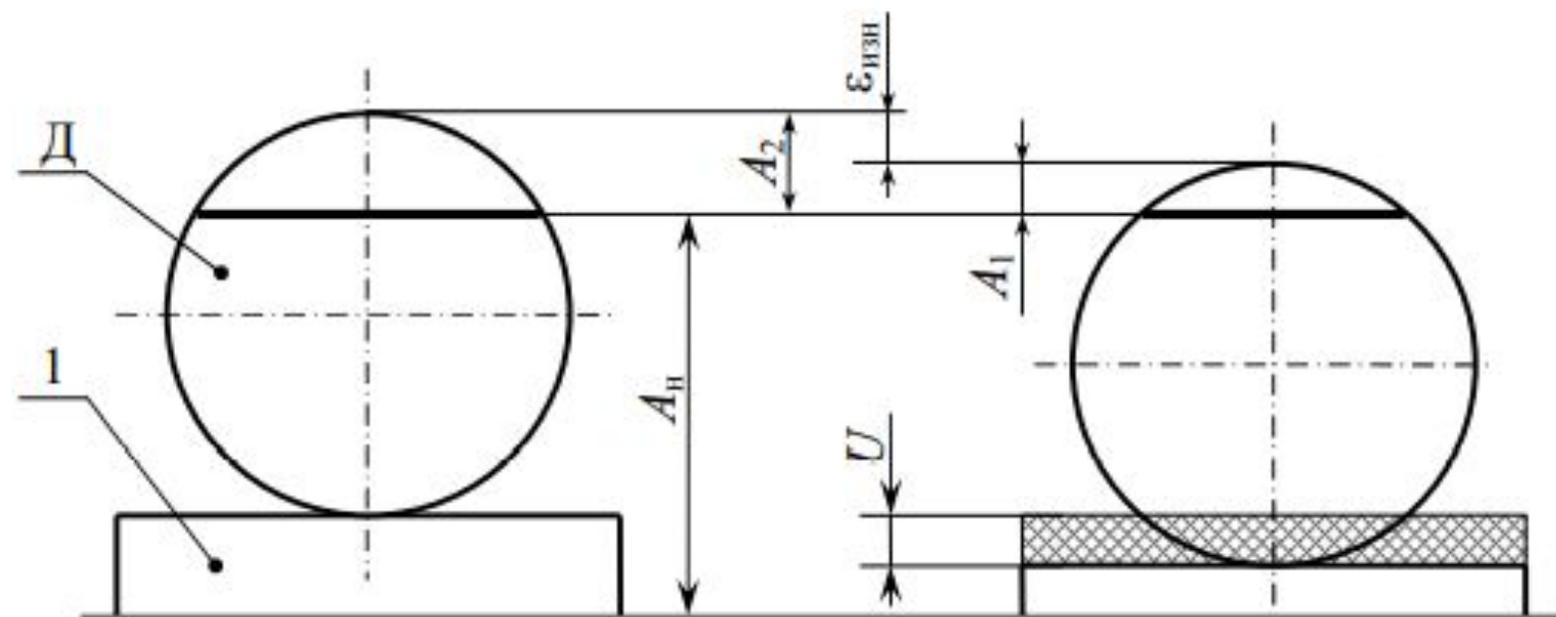
Во втором случае (рис. 2.13б) заготовка устанавливается на цилиндрический палец. Рассмотрены две граничные ситуации, связанные с двумя положениями заготовки на изношенном пальце, одно соответствует наименьшему значению A_1 выдерживаемого размера, другое – наибольшему A_2 . Погрешность износа в направлении выдерживаемого размера в данном случае будет определяться как

$$\varepsilon_{\text{изн}} = A_2 - A_1 = 2U. \quad (2.27)$$

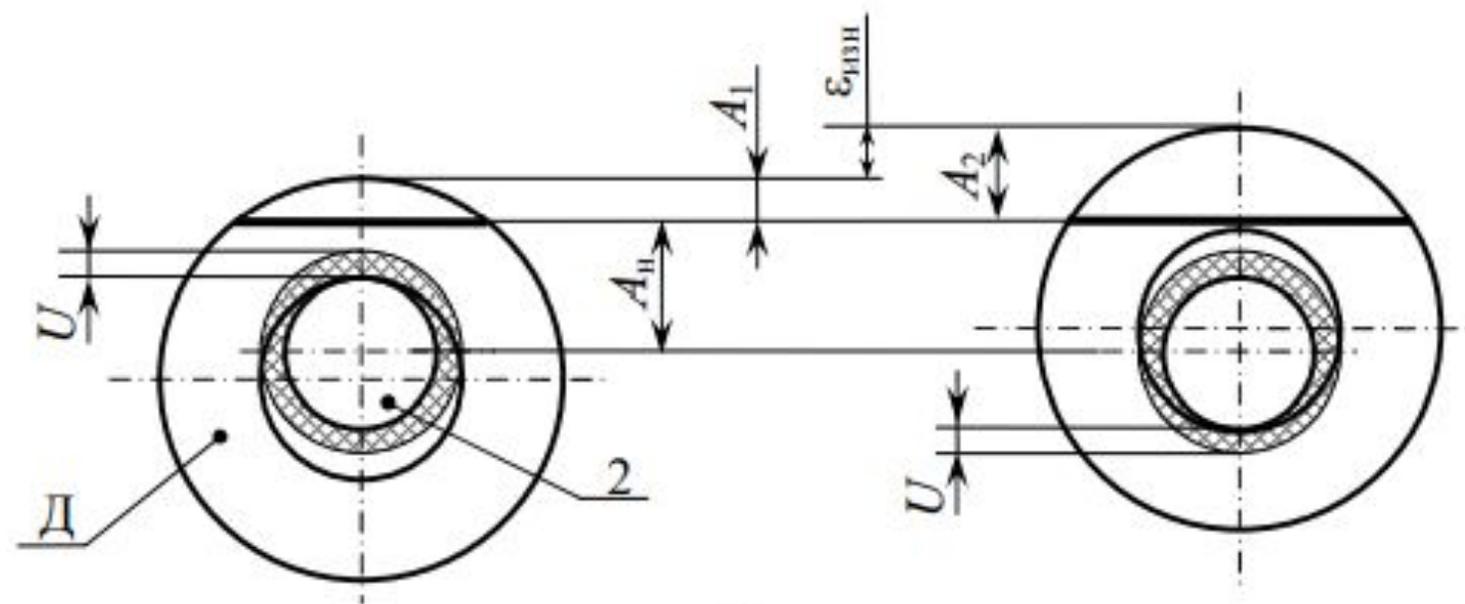
В третьем случае (рис. 2.13в) заготовка устанавливается на призму. Погрешность износа в направлении выдерживаемого размера в данном случае будет определяться как

$$\varepsilon_{\text{изн}} = A_2 - A_1 = \frac{U}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (2.28)$$

Аналогичные расчеты следует проводить и для других схем установки заготовок в приспособления. Погрешность износа можно не учитывать при условии, что износ не оказывает влияние на выполняемый размер или предусмотрена его компенсация в процессе наладки или подналадки приспособления. В этом случае составляющая суммарной погрешности $\varepsilon_{\text{изн}}$ из расчетной формулы исключается.



a)



б)

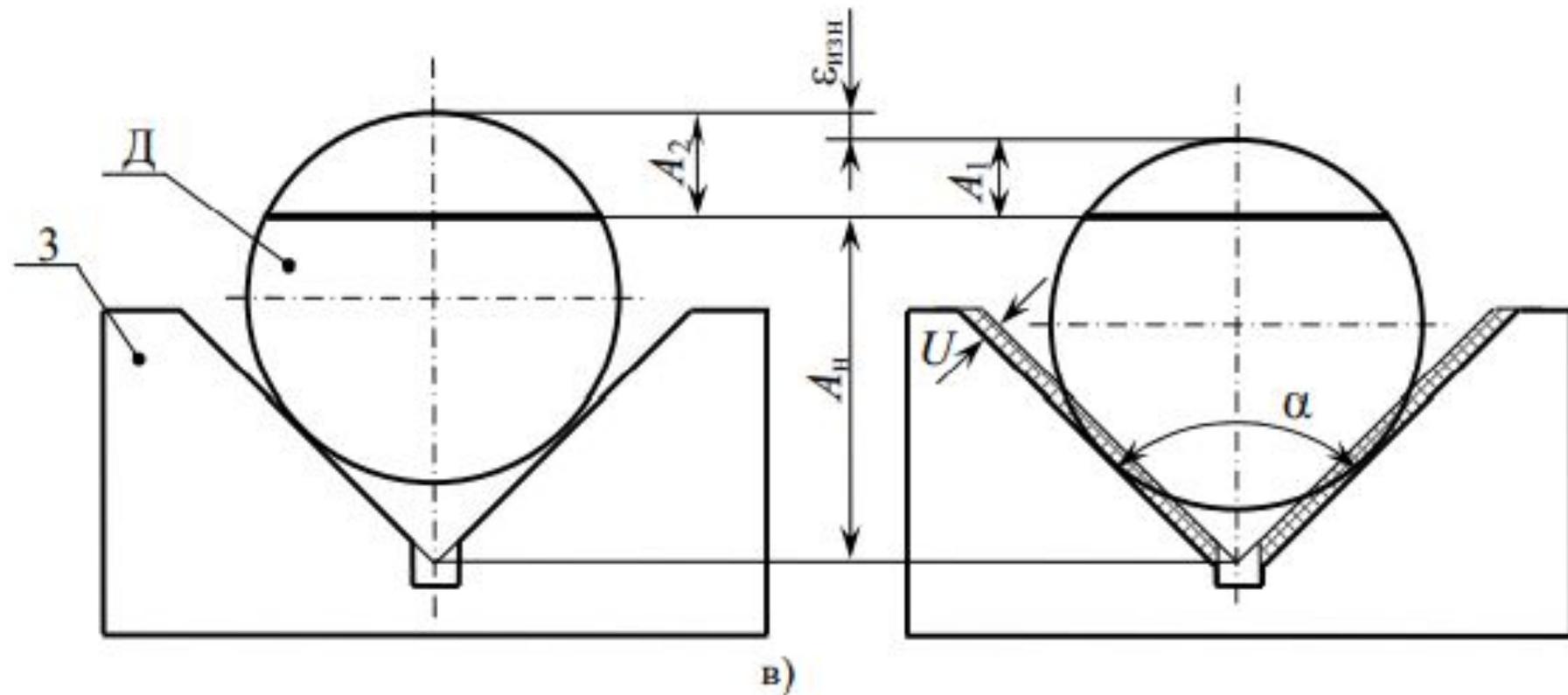


Рис. 2.13. Формирование погрешности износа при различных способах установки заготовки в приспособлениях:
 1 – пластина; 2 – палец; 3 – призма; Д – заготовка;
 ☒ – износ установочных элементов по нормали к их поверхности;
 U – величина нормального износа; $\epsilon_{\text{изн}}$ – погрешность износа;
 A_1 и A_2 – наименьшее и наибольшее значение выполняемого на операции размера;
 $A_{\text{н}}$ – настроечный размер; α – угол призмы

2.5.8. Погрешность изготовления приспособления и её определение

Погрешность изготовления и сборки приспособления $\varepsilon_{\text{изг}}$ возникает от погрешностей изготовления деталей приспособления, его сборки и регулировки. Точность изготовления приспособления задается на его рабочих чертежах и в технических требованиях (допуски, посадки и другие требования в направлении выдерживаемого размера). Данная погрешность для различных приспособлений рассчитывается по-разному, поэтому отсутствуют конкретные формулы для её определения, а величина $\varepsilon_{\text{изг}}$ зависит от выбранной схемы установки, от конструкции приспособления, от требований к точности изготовления его деталей и сборке и т. д.

В общем случае погрешность изготовления и сборки приспособления $\varepsilon_{\text{изг}}$ включает в себя следующие составляющие:

$$\varepsilon_{\text{изг}} = \Sigma T_i + \Sigma e_i + \Sigma s_i + \Sigma \Delta_i, \quad (2.29)$$

где ΣT_i – сумма допусков на звенья (размеры) проектируемого приспособления в направлении выдерживаемого размера, характеризующая погрешность изготовления деталей и сборки приспособления. К размерам, которые участвуют в расчетах, относят размеры сопряжений, от которых зависит точность выполняемой обработки. Например, расстояние между осями кондукторных втулок сверлильного приспособления (неточность этого размера непосредственно влияет на расстояние между осями просверленных в заготовке отверстий), размеры установочных элементов, от точности которых зависит положение заготовки в приспособлении и т. д.,

Σe_i – суммарная величина эксцентриситета деталей приспособления, действующая в направлении выдерживаемого размера,

Σs_i – суммарный конструктивный зазор в сопряжениях деталей приспособления, действующий в направлении выдерживаемого размера,

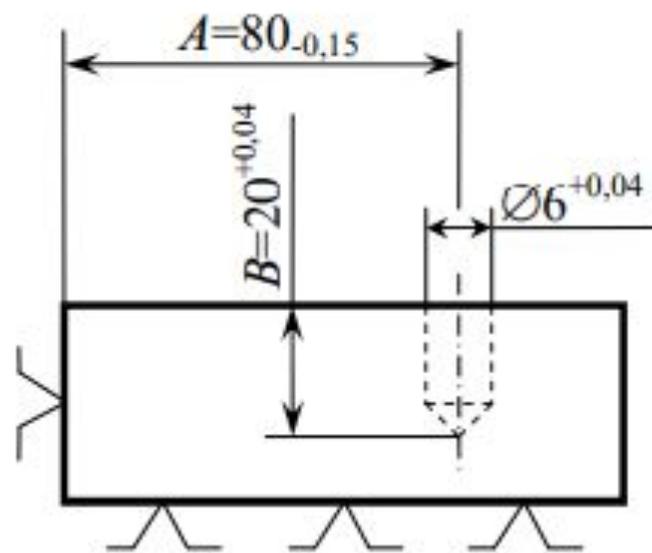
$\Sigma \Delta_i$ – суммарная погрешность, зависящая от формы и расположения установочных и направляющих элементов приспособления, действующая в направлении выполняемого размера.

Допуски на размеры T_i рекомендуют назначать в несколько раз меньше допусков на размеры, выполняемых при обработке, что обычно позволяет обеспечивать заданную точность выполняемых размеров. Также допуски на эти размеры можно определить путем расчета размерных цепей приспособления на основе его сборочного чертежа и рабочих чертежей его деталей.

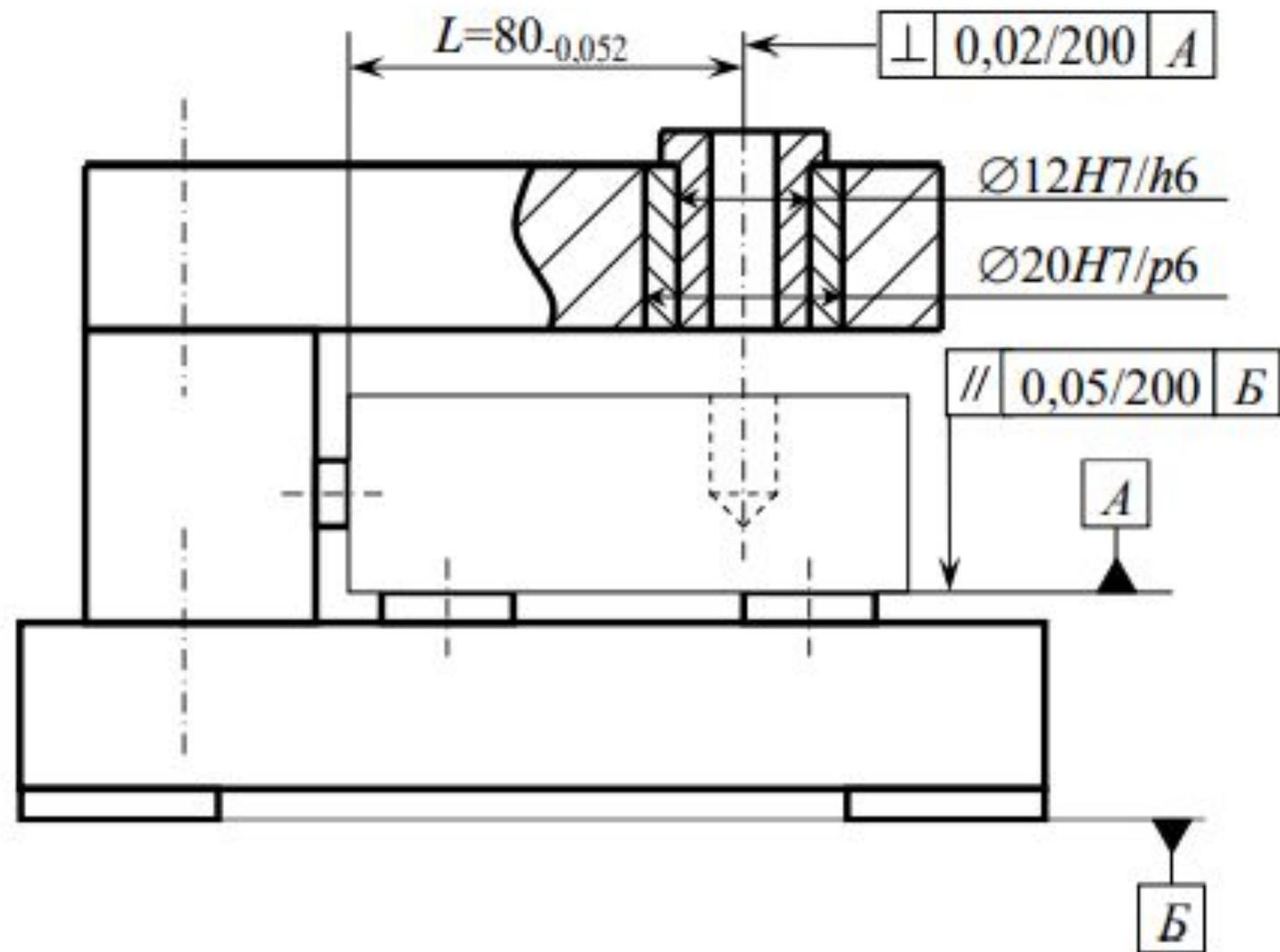
Рассмотрим пример формирования погрешности изготовления $\epsilon_{\text{изг}}$ приспособления для сверлильной операции, эскиз которой приведен на рис. 2.14а. Компоновка приспособления показана на рис. 2.14б.

Данное приспособление представляет собой кондуктор. Заготовка устанавливается на опоры в координатный угол. Для направления сверла используется сменная кондукторная втулка, которая устанавливается промежуточную втулку корпуса. Эксцентриситеты втулок не более 5 мкм.

Требуется определить погрешность изготовления приспособления в направлении размера, координирующего положение выполняемого на операции отверстия (операционный размер A , рис. 2.14а).



a)



б)

Рис. 2.14. Операционный эскиз (а) и компоновка приспособления (б) для сверлильной операции

Для определения погрешности изготовления приспособления в направлении размера A воспользуемся формулой (2.29), которая с учетом компоновки приспособления примет следующий вид:

$$\varepsilon_{\text{изг}} = T_L + e_1 + e_2 + s + \Delta_1 + \Delta_2,$$

где T_L – допуск на координирующий размер L приспособления в направлении выдерживаемого размера A ;

s – максимальный зазор в посадке между сменной кондукторной втулкой и отверстием в промежуточной втулке ($\varnothing 12H7/h6$);

e_1 – эксцентриситет наружной поверхности промежуточной втулки по отношению к её отверстию;

e_2 – эксцентриситет поверхности сменной кондукторной втулки по отношению к её отверстию;

Δ_1 – смещение оси изготавливаемого отверстия, обусловленное отклонением от параллельности установочных элементов приспособления от основания его корпуса;

Δ_2 – смещение оси изготавливаемого отверстия, обусловленное отклонением от перпендикулярности оси кондукторной втулки относительно установочных элементов приспособления.

Для определения величины Δ_1 изобразим схему, на которой покажем влияние отклонения от параллельности установочных элементов приспособления на положение оси отверстия при его изготовлении (рис. 2.15).

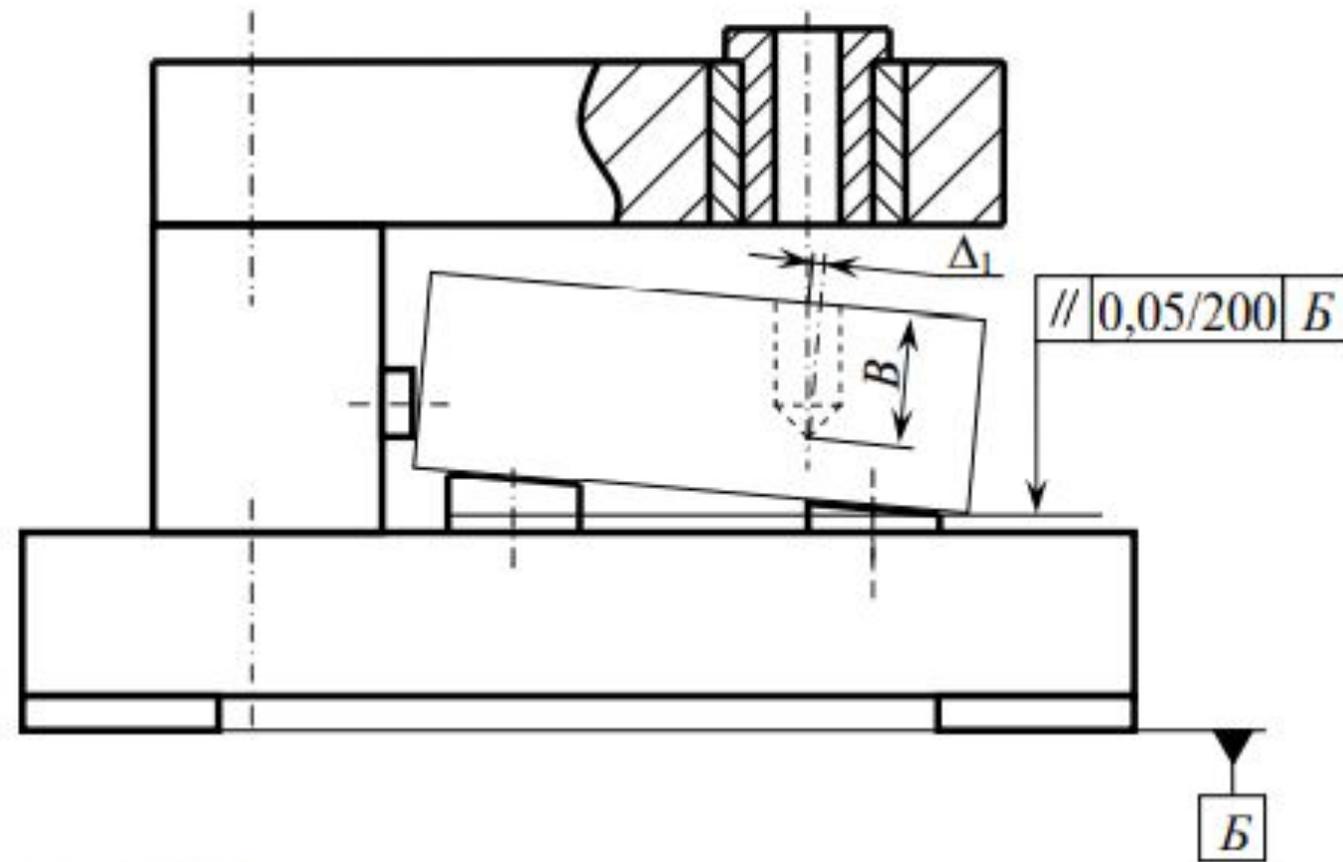


Рис. 2.15. Расчетная схема к определению значения Δ_1

Из расчетной схемы получаем:

$$\Delta_1 = \frac{0,05}{200} B = \frac{0,05}{200} 20 = 0,005 \text{ мм.}$$

Для определения величины Δ_2 изобразим схему, на которой покажем влияние отклонения от перпендикулярности оси кондукторной втулки на положение оси отверстия при его изготовлении (рис. 2.16).

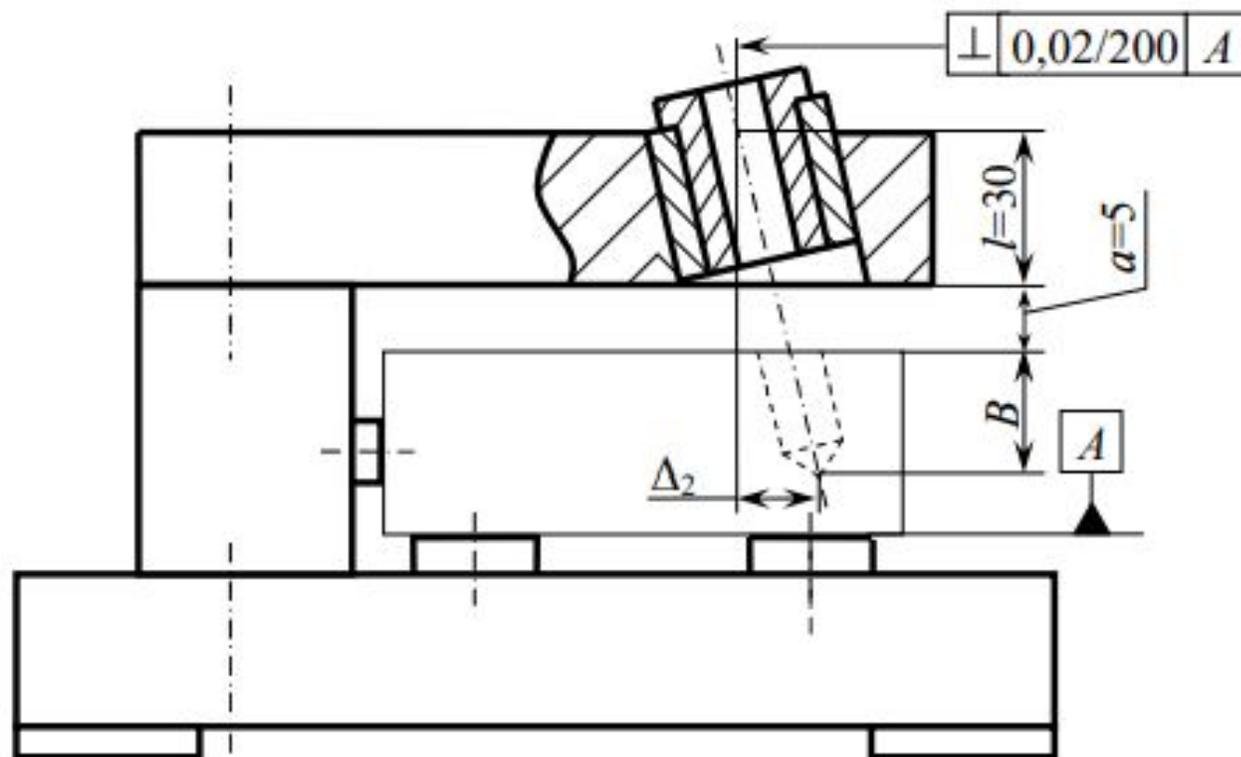


Рис. 2.16. Расчетные схемы к определению значений Δ_2

Из расчетной схемы получаем:

$$\Delta_2 = \frac{0,02}{200}(l + a + B) = \frac{0,02}{200}(30 + 5 + 20) = 0,006 \text{ мм.}$$

Определяем погрешность изготовления приспособления в направлении размера A :

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{изг}} &= T_L + e_1 + e_2 + s + \Delta_1 + \Delta_2 = \\ &= 0,052 + 0,005 + 0,005 + 0,029 + 0,005 + 0,006 = 0,102 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Аналогичным образом рассчитывается погрешность изготовления для любого другого приспособления. Если в рассчитываемом направлении какая-либо из составляющих формулы не влияет на точность выполняемого размера, то эта составляющая из расчетной формулы исключается.

2.5.9. Погрешность от смещения инструмента и её определение

Погрешность от смещения инструмента $\varepsilon_{см}$ определяется точностью направления инструмента относительно положения обрабатываемой заготовки. Данная погрешность учитывается только при наличии в приспособлении направляющих элементов для инструмента в виде кондукторных втулок.

При использовании кондукторных втулок смещение инструмента (сверла, зенкера, развертки) связано с его перекосом (рис. 2.17а) или уходом в сторону от оси (рис. 2.17б) из-за наличия зазора между направляющим отверстием кондукторной втулки и инструментом. Первый случай характерен при обработке отверстия нежестким инструментом (диаметром до 10 мм), второй – для жесткого инструмента (диаметром больше 10 мм).

Следует иметь в виду, что погрешность $\varepsilon_{см}$ действует лишь в направлении координирующих размеров отверстия (размер A на рис. 2.14а), поддерживаемых на рассматриваемой операции. На точность формы и размеров отверстий она не влияет и из расчетной формулы в этом случае исключается. Также она исключается из расчетов, в том случае, когда в приспособлении не используются направляющие элементы для инструмента.

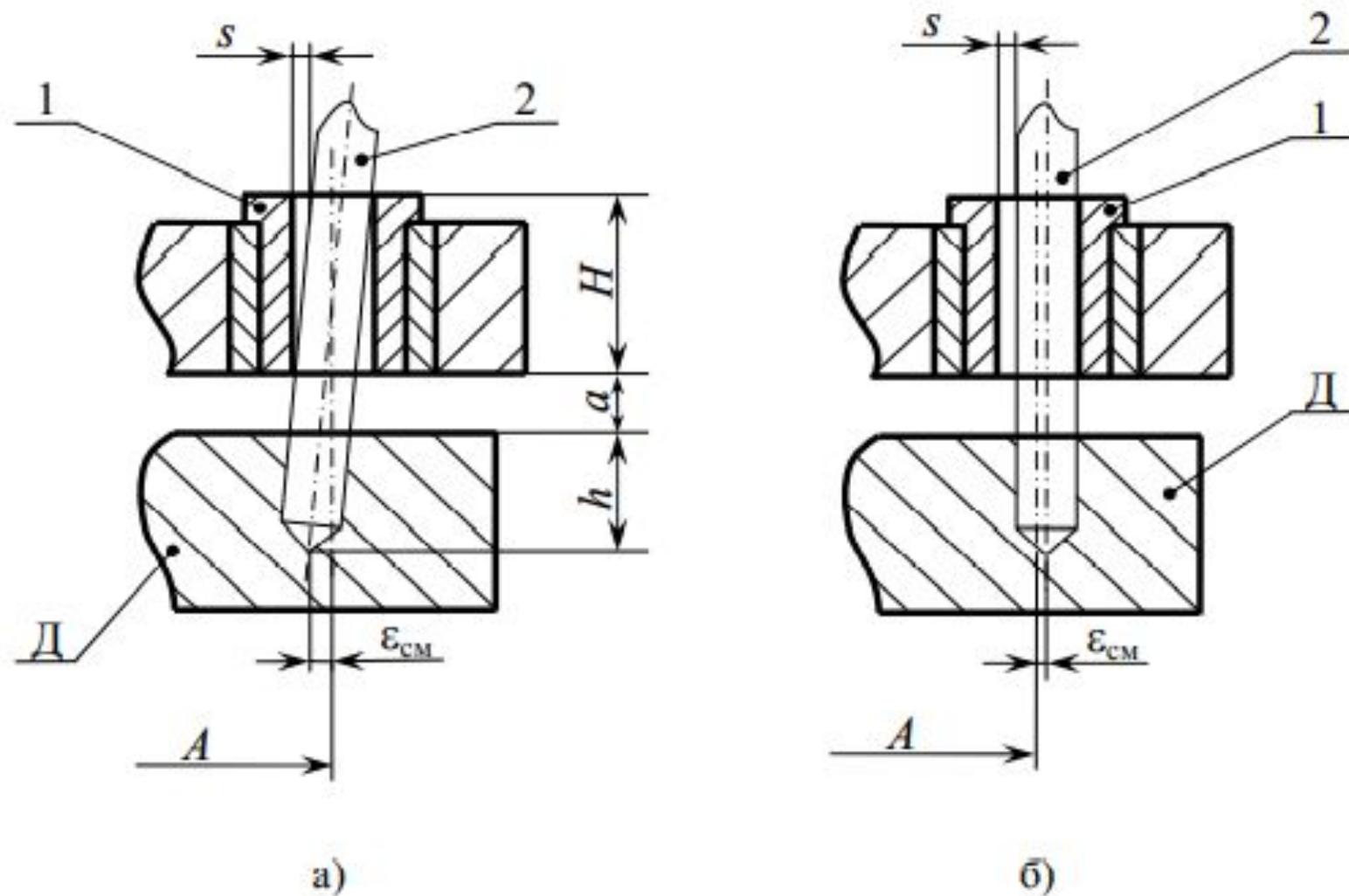


Рис. 2.17. Схемы формирования погрешности $\epsilon_{см}$ при перекосе инструмента (а) и при его уходе от оси (б):
 1 – кондукторная втулка; 2 – сверло; Д – заготовка

При перекосе инструмента погрешность $\varepsilon_{\text{см}}$ определяется следующим образом (рис. 2.17а)

$$\varepsilon_{\text{см}} = s \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{a+h}{H} \right), \quad (2.30)$$

где s – наибольший зазор между направляющим отверстием кондукторной втулки и инструментом; a – расстояние между торцом втулки и поверхностью заготовки; h – глубина обрабатываемого отверстия; H – длина направляющего отверстия кондукторной втулки.

Зазор a между нижним торцом втулки и поверхностью заготовки служит для уменьшения её изнашивания, так как в этом случае стружка, образующаяся при сверлении, не проходит через втулку, а сбрасывается в стороны.

При сверлении отверстия $\varnothing d$ в заготовках из чугуна $a = (0,3 - 0,5) d$, при сверлении стали и других вязких материалов $a = d$, при зенкерованием $a \leq 0,3d$.

При уходе инструмента в сторону от оси погрешность $\varepsilon_{\text{см}}$ определяется следующим образом (рис. 2.17б)

$$\varepsilon_{\text{см}} = \frac{s}{2}. \quad (2.31)$$

Размеры кондукторных втулок и требования к точности их изготовления можно найти в справочной литературе, например, [7], [8] и др.

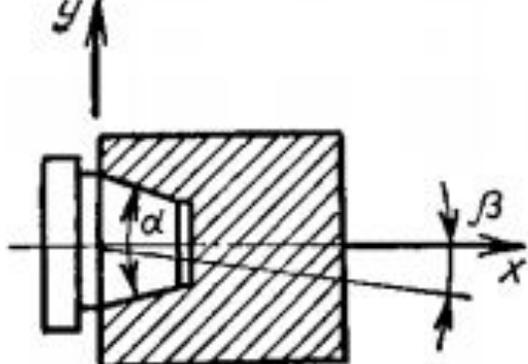
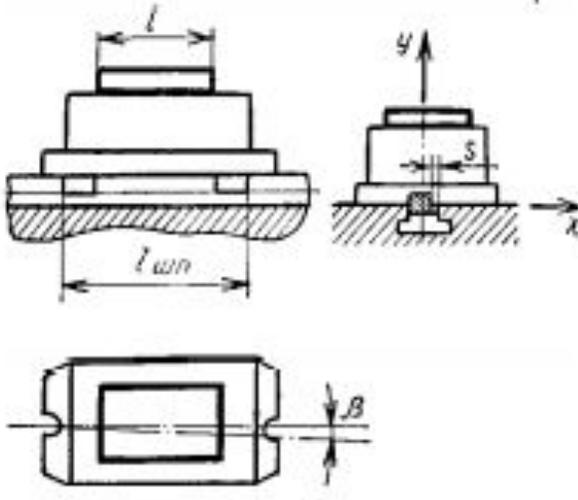
2.5.10. Погрешность установки на станке и её определение

Погрешность установки приспособления на станке ε_{yc} зависит от смещений или перекосов корпуса приспособления на столе, планшайбе или шпинделе станка, что обусловлено неточностью изготовления посадочных мест корпуса приспособления. Смещения и перекосы возникают из-за зазоров между сопрягаемыми поверхностями приспособления и станка (паз – шпонка, палец – отверстие и т. д.).

В табл. 2.15 приведены расчетные зависимости для определения величины ε_{yc} для некоторых способов установки приспособлений на станке. Если установка приспособления на станке не оказывает влияния на точность выполняемого размера, то погрешность ε_{yc} не участвует в расчетах.

Расчетные зависимости для определения погрешности установки приспособления ϵ_{yc} на станке [30]

Способ установки приспособления	Схема установки	Погрешность ϵ_{yc} в направлении, мм		
		оси X	оси Y	угла β
На горизонтальный шпиндель по торцу и центрирующему пояску		ΔT	s	$2 \operatorname{arctg} \Delta T/D$
На вертикальный стол по торцу и центрирующему пояску		s	ΔT	$2 \operatorname{arctg} \Delta T/D$

<p>На конус шпинделя</p>		<p>от 0,03 до 0,06</p>	<p>—</p>	<p>δ_α</p>
<p>На горизонтальный стол по Т-образному пазу</p>		<p>s</p>	<p>—</p>	<p>$l s / l_{шп}$</p>

Примечание

ΔT – торцевое биение опорной поверхности приспособления, принимают в пределах 0,01 – 0,04 мм; s – максимальный зазор в сопряжениях базирующих поверхностей; δ_α – погрешность половины угла конуса α , принимают в пределах 2' – 8'; D – диаметр центрирующего пояска, $l_{шп}$ – расстояние между шпонками, l – длина обрабатываемой заготовки.

2.5.11. Методики выполнения точностных расчетов приспособлений

Основная задача точностного расчета станочного приспособления заключается в подтверждении возможности его применения для выполнения технологической операции механической обработки с целью обеспечения заданной точности выдерживаемых размеров. Имеется два вида расчетов станочного приспособления на точность: проверочный и проектный.

Проверочный расчет используют в том случае, когда имеется разработанная конструкция приспособления и соответствующий ей сборочный чертеж со всеми необходимыми требованиями.

Проектный расчет выполняется при разработке конструкции нового приспособления, когда необходимо определить какая часть суммарной погрешности обработки отводится на приспособление $\varepsilon_{пр}$, и именно эту часть погрешности обеспечить путем подбора соответствующих зазоров, посадок, допусков формы и расположения установочных и зажимных элементов и прочих требований к конструкции приспособления.

Выполнение любого расчета на точность следует начать с указания исходных данных, к которым относятся:

- схема установки и рабочие чертежи приспособлений с указанными размерами и другими требованиями,
- перечень размеров с допусками и допуски формы, выдерживаемых на технологической операции, при установке заготовки в рассматриваемое приспособление.

Если в приспособлении выдерживается от 1 до 3 размеров, то расчет рекомендуется выполнять по каждому из них, если размеров значительно больше, то расчет выполняется для 2 – 3 размеров с наиболее высокими требованиями к точности изготовления.

Начинается любой точностной расчет с определения допустимой погрешности положения заготовки в приспособлении $[\epsilon_{пр}]$ по формуле (2.19) п. 2.5.1. Если расчет по данной формуле невозможен (отсутствуют необходимые данные), то значение $[\epsilon_{пр}]$ можно принять в соответствии со следующим соотношением

$$[\epsilon_{пр}] = (0,2 - 0,3) \cdot T_A, \quad (2.32)$$

где T_A – допуск на выполняемый размер или допуск формы.

Однако расчетный метод определения величины $[\epsilon_{пр}]$ является наиболее предпочтительным и целесообразным и именно его рекомендуется использовать в курсовых и дипломных проектах.

Методика выполнения проверочного расчета

Сущность проверочного расчета заключается в проверке того, не превышает ли расчетная погрешность положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{\text{пр}}$ своего максимально допустимого значения $[\varepsilon_{\text{пр}}]$. Т. е. должно выполняться условие

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq [\varepsilon_{\text{пр}}]. \quad (2.33)$$

Если условие выполняется, то приспособление обеспечивает требуемую точность размера за счет соответствующей величины погрешности $\varepsilon_{\text{пр}}$ в составе суммарной погрешности изготовления ε_{Σ} .

Для определения погрешности $\varepsilon_{\text{пр}}$ используется расчетная формула (2.24), п. 2.5.4, составляющие погрешности в которой определяются на основе данных, указанных в конструкторской документации на приспособление. Например, со сборочного чертежа приспособления можно получить информацию о погрешности не совмещения баз, погрешности изготовления приспособления, погрешности установки его на станке и т. д. (пп. 2.5.5 – 2.5.10).

После определения расчетного значения погрешности положения заготовки в приспособлении $\varepsilon_{\text{пр}}$, его необходимо сравнить с допустимым для данной схемы установки (проверить выполнение указанного ранее условия) и сделать вывод. Если условие не выполняется, причиной этого может быть то, что одно из слагаемых формулы для расчета $\varepsilon_{\text{пр}}$ имеет слишком большое значение или величина допуска на выполняемый размер назначена необоснованно малой, что отразилось на величине $[\varepsilon_{\text{пр}}]$. Если допуск выбран правильно, то следует уменьшить каждое слагаемое выражения $\varepsilon_{\text{пр}}$. Можно устранить погрешность, связанную с несовмещением баз $\varepsilon_{\text{нб}}$, для чего следует совместить технологические и измерительные базы, разработав соответствующую схему базирования заготовки в приспособлении, которую и реализовать в его компоновке. Можно изменить тип приспособления, ужесточить требований к деталям приспособления и к его сборке $\varepsilon_{\text{изг}}$, уменьшить погрешность закрепления $\varepsilon_{\text{з}}$, выбрав рациональные размеры, количество и расположение установочных элементов, уменьшить влияние погрешности от износа установочных элементов $\varepsilon_{\text{изн}}$, если предусмотреть их своевременную замену. Также можно выбрать более точный метод обработки, что позволит уменьшить величину погрешности обработки $\varepsilon_{\text{обр}}$ и тем самым увеличить $[\varepsilon_{\text{пр}}]$ (формулу (2.19)) и т. д.

Все перечисленные мероприятия должны быть реализованы уже в рамках проектного расчета станочного приспособления на точность.

Методика выполнения проектного расчета

Целью проектного расчета является выработка требований к элементам конструкции приспособлений: назначение допусков на размеры деталей, требований к форме и расположению установочных и направляющих элементов приспособления, посадок в сопряжениях и т. д.

Вначале необходимо определить расчетом или на основе справочных таблиц величины $\epsilon_{нб}$, ϵ_3 , $\epsilon_{см}$, $\epsilon_{изн}$, $\epsilon_{ус}$. Затем, используя найденные величины, на основе формулы (2.24), п. 2.5.4, определить допустимую погрешность изготовления приспособления $[\epsilon_{изг}]$

$$[\epsilon_{изг}] = [\epsilon_{пр}] - \left(\sqrt{k_1 \epsilon_{нб}^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_{см}^2} + \epsilon_{изн} + \epsilon_{ус} \right). \quad (2.34)$$

Затем распределить эту величину по отдельным составляющим звеньям размерной цепи приспособления в направлении выдерживаемого размера на основе формулы (2.29), таким образом, что бы выполнялось условие

$$\epsilon_{изг} \leq [\epsilon_{изг}]. \quad (2.35)$$

В начале рекомендуется подобрать элементы конструкции с фиксированными требованиями к точности изготовления, например, установки, кондукторные втулки, пальцы, опоры и т. д., что позволит определить значение составляющей Σe_i . Затем определяются посадки в сопряжениях деталей приспособления в направлении выдерживаемого размера на основе справочных данных, что позволит определить значение слагаемого Σs_i . Остаток распределяется между ΣT_i и $\Sigma \Delta_i$ конструктивно на основе анализа требований к точности приспособления. Рекомендации по назначению требований к форме и расположению элементов деталей приспособления приведены в Приложении Л. По окончании расчета, необходимо отметить полученные допуски на чертежах деталей приспособления и указать технические требования на его сборочном чертеже. Если некоторые требования слишком высоки, и реализовать их невозможно, то необходимо перераспределить величину $\epsilon_{изг}$ между отдельными составляющими или изменить конструкцию приспособления.

Проектный расчет рекомендуется выполнить в направлении наиболее точного из выдерживаемых размеров или параметров на операции. Для остальных выдерживаемых размеров можно выполнить проверочный расчет после того, как в результате проектного расчета будут определены все требования к конструкции приспособления.

1. **Аверьянов, И. Н.,** Агапова О. Б. Общие требования к структуре, нормоконтролю, оформлению, рецензированию и защите выпускных квалификационных работ [Текст] : учеб. пособие / И. Н. Аверьянов, О. Б. Агапова. / 2-е изд., перераб. и доп.; – Рыбинск : РГАТА, 2010. – 77 с.

2. **Аверьянов, И. Н.,** Болотеин А. Н. Практические занятия по дисциплинам: Технологическая оснастка, Проектирование станочной и контрольно-измерительной оснастки [Текст] : учеб. пособие/ И. Н. Аверьянов, А. Н. Болотеин ; – Рыбинск : РГАТА, 2009. – 192 с.

3. **Альбом** контрольно-измерительных приспособлений [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. С. Степанов, Б. И. Афанасьев, А. Г. Схиртладзе, А. Е. Щукин, А. С. Ямников. / Под общ. ред. Ю. С. Степанова ; – М. : Машиностроение, 1998. – 184 с.

4. **Альбом** по проектированию приспособлений [Текст] : учеб. пособие / Б. М. Базров, А. И. Сорокин, В. А. Губарь и др. ; – М. : Машиностроение, 1991. – 121 с.

5. **Альбом** технологической оснастки для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении [Текст]: учеб. пособие / Под общ. ред. Безъязычного В. Ф ; – М. : Машиностроение, 2000. – 124 с.

6. **Андреев, Г. Н.** и др. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства [Текст] : учеб. пособие / Г. Н. Андреев, В. Ю. Новиков, А. Г. Схиртладзе ; – М. : Высшая школа, 2001. – 415 с.

7. **Ансеров, М. А.** Приспособления для металлорежущих станков. Расчеты и конструкции [Текст] / М. А. Ансеров ; – Л. : МАШГИЗ, 1975. – 624 с.

8. **Антонюк, В. Е.** Справочник конструктора по расчёту и проектированию станочных приспособлений [Текст] / В. Е. Антонюк, В. А. Королев, С. М. Башеев ; – Минск : «Беларусь», 1969. – 392 с.

9. **Безъязычный, В. Ф.** Технологическая оснастка в авиадвигателестроении [Текст] : учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный ; – Рыбинск : РГА-ТА, 2007. – 426 с.

10. **Болотин, Х. А., Костромин Ф. П.** Станочные приспособления [Текст] / Х. А. Болотин, Ф. П. Костромин ; – М. : Машиностроение, 1973. – 433 с.

11. **Горохов, В. А.** Проектирование и расчет приспособлений [Текст] : учеб. пособие / В. А. Горохов ; – Мн. : Выш. шк., 1986. – 238 с.

12. **Горошкин, А. К.** Приспособления для металлорежущих станков. Справочник [Текст] / А. К. Горошкин ; – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.

13. **Гусев, А. А.** Технологическая оснастка [Текст] : учеб. пособие / А. А. Гусев, И. А. Гусева ; – М. : ИЦ МГТУ «Станкин», 2007. – 372 с.

14. **Дунаев, П. Ф.** Допуски и посадки. Обоснование выбора [Текст] : учеб. пособие / П. Ф. Дунаев ; – М. : Высшая школа, 1984. – 112 с.

15. **Коваленко, А. В.** Станочные приспособления [Текст] : справочник / А. В. Коваленко, Р. Н. Подшивалов ; – М. : Машиностроение, 1986. – 152 с.

16. **Корсаков, В. С.** Основы конструирования приспособлений в машиностроении [Текст] / В. С. Корсаков ; – М. : Машиностроение, 1971. – 288 с.

17. **Косилова, А. Г.** и др. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении: Справочник технолога [Текст] : справочник / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, М. А. Калинин ; – М. : Машиностроение, 1976. – 288 с.

18. **Кузнецов, Ю. И.** и др. Оснастка для станков с ЧПУ [Текст] : справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков ; – М. : Машиностроение, 1983. – 359 с.

19. **Кутай, А. К.** Справочник контрольного мастера [Текст] / А. К. Кутай, А. Б. Романов, А. Д. Рубинов / Под ред. А. К. Кутая ; – Л. : Лениздат, 1980. – 304 с.

20. **Левенсон, Е. М.** Конструирование измерительных приспособлений и инструментов в машиностроении [Текст] / Е. М. Левенсон, Ю. М. Гоникберг, Т. А. Введенский ; – М. : МАШГИЗ, 1956. – 196 с.

21. **Левенсон, Е. М.** Контрольно-измерительные приспособления в машиностроении [Текст] / Е. М. Левенсон ; – М. : Государственное научно-техническое изд-во машиностроительной литературы, 1952. – 82 с.

22. **Микитянский, В. В.** Точность приспособлений в машиностроении [Текст] : учеб. пособие / В. В. Микитянский ; – М. : Машиностроение, 1984. – 128 с.

23. **Нестеренко, Л. М.** Расчет зажимных устройств приспособлений [Текст] : методические указания / Л. М. Нестеренко ; – Рыбинск : РГАТА, 2007. – 28 с.

24. **Обработка** металлов резанием: Справочник технолога [Текст] / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др. ; Под общ. ред. А. А. Панова. 2-е изд. перераб. и доп. ; – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.

25. **Правиков, Ю. М., Муслина Г. Р.** Нормирование отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей машин [Текст] : учеб. пособие / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина : - 2-е изд., перераб. и доп. ; – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 100 с.

26. **Прогрессивные** средства контроля размеров в машиностроении: Контрольные приспособления [Текст] : учебник / Б. А. Гипп, Ю. М. Гоникберг, М. М. Каплун, Е. М. Левенсон, Н. Н. Марков, П. М. Полянский, Г. С. Шлезингер ; – М. : ГНТИ Машиностроительной литературы, 1960. – 342 с.

27. **Справочник** технолога-машиностроителя т. 1, т. 2 [Текст] / Под ред. Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К. – М. : Машиностроение, 2000. – 684 с. т. 1 ; – 486 с. т. 2.

28. **Станочные** приспособления [Текст] : справочник в 2-х т. / Под ред. Вардашкина Б. Н., Шатилова А. А. ; – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с. т. 1 ; – 656 с. т. 2.

29. **Станочные** приспособления для станков с ЧПУ [Текст] : учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, В. Д. Корнеев, В. Н. Ливанов, Т. Д. Кожина, В. Н. Юрин, И. Н. Аверьянов ; Под. общ. ред. В. Ф. Безъязычного ; – Рыбинск : РГАТА, 2004. – 147 с.

30. **Технология** машиностроения. Учебное пособие по выполнению курсового проекта [Текст] : учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, В. Д. Корнеев, Ю. П. Чистяков, И. Н. Аверьянов ; – Рыбинск : РГАТА, 2005. – 141 с.

31. **Шарова, Т. В.** Методы и средства метрологического обеспечения [Текст] : учеб. пособие / Т. В. Шарова ; – Рыбинск : РГАТА, 2006. – 95 с.

32. **Шманев, В. А.** и др. Приспособления для производства двигателей летательных аппаратов [Текст] / В. А. Шманев, А. П. Шулепов, Л. Б. Косычев ; – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.

33. **Шманев, В. А.** и др. Контрольно-измерительные приспособления для производства деталей авиационных двигателей [Текст] : учебное пособие / В. А. Шманев, А. П. Шулепов, Л. Б. Косычев ; Под ред. А. П. Шулепова ; – М.: Изд-во МАИ, 1992. – 208 с. ; ил.

34. **ГОСТ 21495 – 76** Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения [Текст] : – Введ. 1977–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 38 с.

35. **ГОСТ 3.1109 – 82** Единая система технологической документации. Требования и определения основных понятий [Текст] : – Введ. 1983–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 14 с.

36. **ГОСТ 31.010.01 – 84** Приспособления станочные. Термины и определения [Текст] : – Введ. 1985–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 4 с.

**В РАЗДЕЛЕ ПТО (В ДИПЛОМЕ) ДОЛЖНО БЫТЬ
6 РАСЧЕТОВ**