



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Лабораторный практикум

Часть 1

**Минск
БНТУ
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА
В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Лабораторный практикум
для студентов специальностей

1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы
и аппараты», 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты
и системы», 1-52 02 01 «Технология и оборудование
ювелирного производства»

В 2 частях

Часть 1

Минск
БНТУ
2015

УДК 681.2-229(076.5)
ББК 34.9я7
Т38

Составители:

М. Г. Киселев, Г. А. Есьман, В. Л. Габец

Рецензент *А. Д. Маляренко*

Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении :
Т38 лабораторный практикум для студентов специальностей 1-38 01 01
«Механические и электромеханические приборы и аппараты»,
1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»,
1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного производства» :
в 2 ч. / сост. : М. Г. Киселев, Г. А. Есьман, В. Л. Габец. – Минск :
БНТУ, 2015– . – Ч 1. – 2015. – 90 с.
ISBN 978-985-550-194-8 (Ч. 1).

Лабораторный практикум предназначен для студентов специальностей 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты», 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», 1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного производства» при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении» при изучении вопросов конструирования и проектирования контрольных и станочных приспособлений.

Описание лабораторных работ, приведенных в практикуме, включает следующие разделы: цель работы, инструменты и принадлежности к работе, основные положения, где приводятся краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы, порядок выполнения работы, содержание отчета, литература и контрольные вопросы.

УДК 681.2-229(076.5)
ББК 34.9я7

ISBN 978-985-550-194-8 (Ч. 1)
ISBN 978-985-550-195-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Инструкция по технике безопасности при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении».....	4
<i>Лабораторная работа № 1</i> Определение погрешности базирования при установке деталей на плоскость и два цилиндрических отверстия	7
<i>Лабораторная работа № 2</i> Определение погрешностей базирования для различных случаев установки цилиндрических заготовок на призмах	17
<i>Лабораторная работа № 3</i> Исследование влияния величины зазора между отверстием кондукторной втулки и сверлом на величину увода сверла.....	24
<i>Лабораторная работа № 4</i> Анализ точности станочного приспособления	36
<i>Лабораторная работа № 5</i> Исследование влияния расположения базовых элементов контрольного приспособления на точность измерения	44
<i>Лабораторная работа № 6</i> Исследование влияния усилия зажима на точность обработки деталей	51
<i>Лабораторная работа № 7</i> Исследование параметров электростатических приспособлений	63
<i>Лабораторная работа № 8</i> Проектирование контрольных приспособлений	74
ПРИЛОЖЕНИЕ	90

ИНСТРУКЦИЯ

по технике безопасности при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении»

Общие требования

1. В лаборатории студенты знакомятся с натурными образцами станочных и контрольных приспособлений и оснастки, разрабатывают схемы и выбирают соответствующие средства измерений, измеряют параметры заготовок и деталей, а также выполняют работы, направленные на поддержание готовности к проведению вышеперечисленных операций.

2. К выполнению работ допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности. Инструктаж проводится перед началом выполнения работ.

3. Опасными для здоровья и жизни могут оказаться травмирующие падающими приспособлениями, порезы рук острыми кромками деталей, травмирование используемым в работе неисправным или несоответствующим выполняемой работе слесарным инструментом, поражение током во время работы с проекционными приборами и травмы, связанные с возгоранием воспламеняющихся предметов. Поэтому необходимо выполнять следующие требования:

осторожно обращаться с изучаемыми приспособлениями и оснасткой;

пользоваться исправным и соответствующим выполняемой работе слесарным инструментом при разборке-сборке приспособлений;

не захламлять рабочее место посторонними предметами;

не курить и не пользоваться открытым огнем в помещении лаборатории;

к работе с электрическими приборами приступать только после их проверки преподавателем.

4. Первоначально электрические приборы подключает электрик, который предварительно проверяет исправность электрического шнура, вилки, розетки, выключателей и заземления.

5. Рабочее место оборудуется таким образом, чтобы исключить возможность одновременного прикосновения к прибору и к оголен-

ным токоведущим устройствам, шинам заземления, батареям отопления и водопроводным трубам.

6. Соблюдение требований по охране труда является обязательным для каждого работающего в лаборатории. Лица, нарушившие требования настоящей инструкции, привлекаются к ответственности в зависимости от последствий, вызванных нарушениями.

Требования по охране труда перед выполнением лабораторной работы

1. Ознакомиться с настоящей инструкцией.

2. Убедиться в отсутствии поврежденных элементов конструкции приборов и слесарного инструмента, а также соответствии слесарного инструмента выполняемой работе.

3. Проверить исправность штепсельных соединений электропроводки заземления и первичных средств пожаротушения.

4. Убедиться в отсутствии посторонних предметов на рабочем месте.

5. Все тумблеры должны быть в положении «Выкл.».

П р и м е ч а н и е. Указанные проверки проводит преподаватель или инженер и при обнаружении неисправностей принимает меры по их устранению. Он же выдает задание на работу и все необходимое для ее выполнения.

Требования по охране труда во время работы

1. Работу выполнять в соответствии с инструкцией.

2. Быть внимательным в обращении с инструментами, выданными для работы.

3. При работе с электрическими приборами:

включать в сеть и проверять работу прибора (выполняет преподаватель);

не оставлять прибор включенным без наблюдения;

не соединять и не разъединять штепсельные разъемы при включенном питании;

не устанавливать на прибор посторонние предметы и не «испытывать» его на прочность;

не производить замену соединительных кабелей, шнуров, предохранителей, лампочек подсветки и ремонт аппаратуры.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

1. В случае травмирования кого-либо немедленно доложить преподавателю.

2. При выходе электрического прибора из строя (нет освещения, возгорание токопроводов, поломка механических деталей) необходимо:

отключить прибор соответствующим тумблером (обесточить);

вынуть вилку из штепсельной розетки;

доложить преподавателю о случившемся, а в случае возгорания приступить к немедленной его ликвидации первичными средствами пожаротушения.

Требования безопасности по окончании работы

1. Выключить электрический прибор.

2. Отключить прибор от сети питания.

3. Убрать рабочее место и передать преподавателю или лаборанту выданные для работы инструкции и инструменты.

4. Сообщить преподавателю обо всех недостатках, обнаруженных во время работы.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ УСТАНОВКЕ ДЕТАЛЕЙ НА ПЛОСКОСТЬ И ДВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЯ

Цель работы: выбор установочных элементов приспособления и определение рациональной схемы их расположения при базировании заготовки на два цилиндрических отверстия с параллельными осями и на перпендикулярную им плоскость в зависимости от точности размеров, выдерживаемых при обработке заготовки в приспособлении.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Приспособление.
2. Комплект установочных пальцев.
3. Заготовка.
4. Эскиз заготовки.
5. Индикатор часового типа ИЧ-10 (или МИГ-2).
6. Стойка ГОСТ 10197–70.

Основные теоретические сведения

Схема базирования заготовок по двум отверстиям с параллельными осями и перпендикулярной им плоскости широко используется в практике, что объясняется следующими достоинствами такой схемы:

- простая конструкция приспособления;
- возможность выдержать принцип единства баз на различных операциях технологического процесса;
- относительно простая передача и фиксация заготовок на точных и автоматических линиях;
- обеспечение свободного доступа инструмента для обработки заготовки с разных сторон.

При использовании такой схемы установки заготовки в приспособлении ее плоскость и два отверстия являются чистовыми базами. Базовые поверхности обрабатываются на одной из первых операций, при этом отверстия, как правило, развертывают по седьмому качеству.

Конструктивно различают установку заготовки на два цилиндрических пальца или на один цилиндрический и один срезанный пальцы.

При проектировании приспособлений конструктор решает задачу выбора конфигурации установочных пальцев, их взаимного расположения, определения диаметров установочных пальцев, допусков на их изготовление и назначение допуска на межцентровое расстояние пальцев.

Обычно номинальный диаметр одного из пальцев (цилиндрического) назначают равным номинальному диаметру отверстия в заготовке, а поле допуска – по $g6$, $f7$ или $e9$, в зависимости от точности отверстия в заготовке.

Диаметр второго пальца определяется исходя из двух условий:

1) обеспечения установки по данной схеме базирования любой заготовки из партии, учитывая заданные допуски на межцентровое расстояние между отверстиями и допуски на диаметры отверстий;

2) обеспечения требуемой точности получаемых на операции размеров и взаимного расположения поверхностей, что определяется точностью установки заготовки в приспособлении.

На рис. 1.1 показана схема приспособления, включающая два цилиндрических пальца 1 и 2, запрессованных в основание 3. Приспособление предназначено для установки заготовки 4.

Условие, обеспечивающее установку любой заготовки в приспособлении на два цилиндрических пальца, определяется выражением

$$S_{1\min} + S_{2\min} \geq IT_0 + IT_{\text{п}}, \quad (1.1)$$

где $S_{1\min}$ и $S_{2\min}$ – минимальные зазоры в сопряжении отверстий заготовки с первым и вторым установочными пальцами;

IT_0 и $IT_{\text{п}}$ – допуски на расстояние L между осями базовых отверстий в заготовке и осями установочных пальцев приспособления.

Наличие гарантированных зазоров между базовыми отверстиями заготовки и установочными пальцами приспособления вызывает погрешность базирования. Согласно рис. 1.1 погрешность базирования для размера L_1 определяется по формулам

$$\varepsilon_{\delta L_1} = S_{1\max}, \quad \text{если } S_{1\max} < S_{2\max};$$

$$\varepsilon_{\delta L_1} = S_{2\max}, \quad \text{если } S_{1\max} > S_{2\max},$$

а возможное угловое смещение заготовки в приспособлении

$$\varepsilon_{\delta L} = \arctg ((S_{1\max} + S_{2\max}) / 2L). \quad (1.2)$$

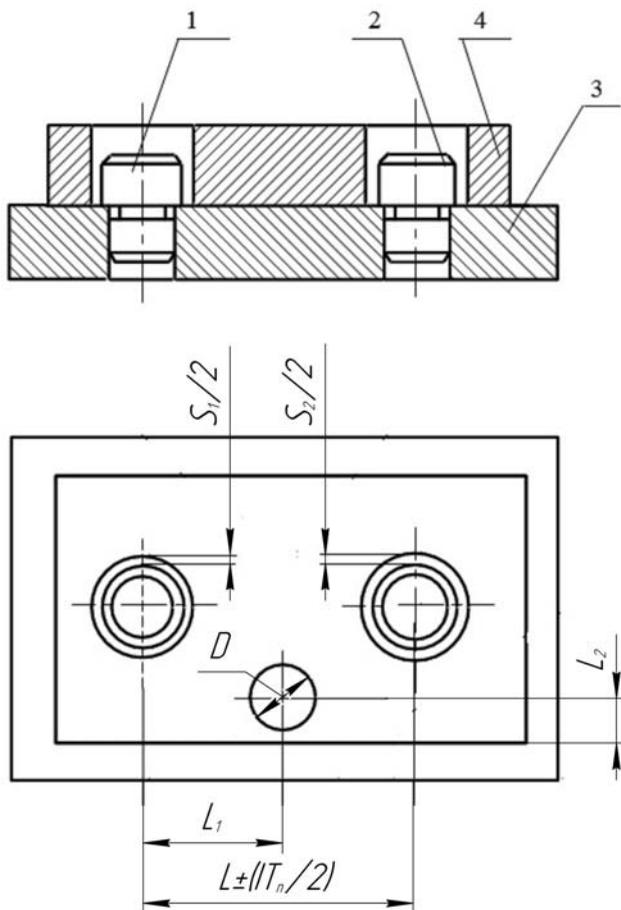


Рис. 1.1. Схема установки заготовки базовыми поверхностями на цилиндрические пальцы

Наличие допуска IT_0 на расстояние L между осями базовых отверстий приводит к тому, что одно из них при установке партии заготовок занимает два предельных положения (рис. 1.2).

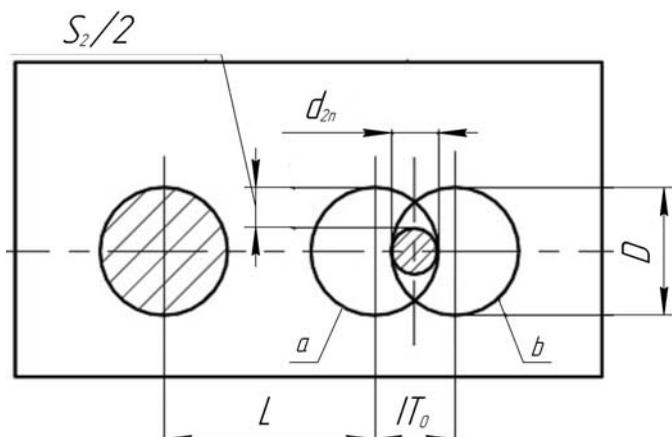


Рис. 1.2. Схема для вычисления диаметра второго цилиндрического пальца

Очевидно, что область, образованная пересечением двух окружностей a и b , является общей для всех заготовок из партии и при использовании в качестве второго установочного элемента цилиндрического пальца он должен вписываться в эту область. Нетрудно подсчитать (из условия (1.1)), что максимальный диаметр второго цилиндрического пальца

$$d_{2п\max} = D_{2отв\min} - S_{2\min} = D_{2отв} - (IT_0 + IT_п - S_{1\min}),$$

а максимальный радиальный зазор

$$S_{2\max} = D_{2отв\max} - d_{2п\min}.$$

При этом погрешность базирования $\varepsilon_{\delta L}$, вызванная возможным угловым смещением заготовки в приспособлении, определяемая по (1.2), по величине может превышать допуск на размеры обрабатываемых поверхностей.

Для повышения точности установки заготовки в приспособлении и уменьшения углового смещения используют два установочных пальца, один из которых срезанный (рис. 1.3). Таким образом, использование того или иного сочетания установочных пальцев опре-

деляется точностью размеров базовых отверстий и их межцентрового расстояния в заготовке, а также требуемой точностью выдерживаемых на операции размеров.

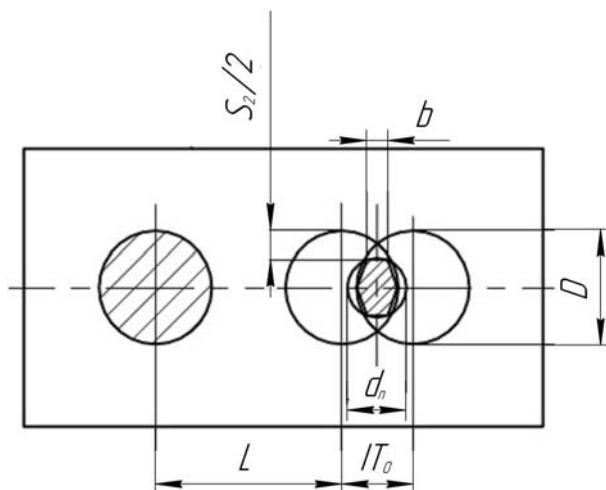


Рис. 1.3. Схема установки заготовки на один цилиндрический и один срезанный пальцы

Условие установки заготовки в приспособление на цилиндрический и срезанный пальцы определяется выражением

$$S_{1 \min} + S_{2 \min} d_n / b \geq IT_D + IT_n, \quad (1.3)$$

где d_n и b – конструктивные параметры срезанного пальца, определяемые по ГОСТ 12210–66 и ГОСТ 12212–66.

При конструировании приспособления, используя формулу (1.3), следует подсчитать величину b :

$$b \leq S_{2 \min} d_n / (IT_D + IT_n - S_{1 \min})$$

и выбрать ближайшее меньшее стандартное значение. Величина d_n назначается равной номинальному диаметру второго отверстия.

Порядок выполнения работы

1. Получить у инженера эскиз заготовки, варианты расположения установочных пальцев, приспособление с комплектом установочных пальцев, заготовку и индикаторы.

2. Исследовать возможность установки заготовки в приспособлении по каждому варианту схемы базирования, указанному в п. 1. Для этого в заготовке имеются четыре базовых отверстия 1, 2, 3, 4 (рис. 1.4).

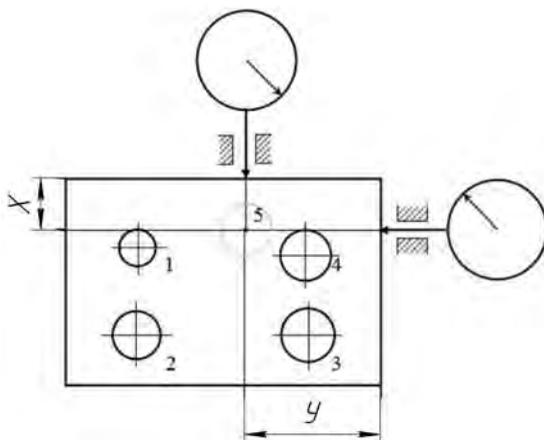


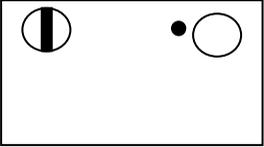
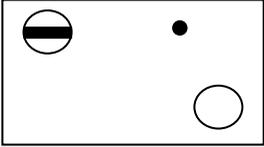
Рис. 1.4. Схема измерения смещения заготовки

Возможность установки заготовки по каждому варианту схемы (да, нет) фиксируется в графе 3 таблицы.

3. Индикаторы закрепить в стойках и произвести измерения возможных смещений заготовки (в пределах зазоров между диаметрами отверстий в заготовке и диаметрами установочных пальцев) в вариантах схем, по которым заготовка устанавливалась в приспособление (п. 2). Максимальные возможные смещения заготовки производятся в направлении размеров X и Y , определяющих координаты отверстия 5 в заготовке, обрабатываемого при исследуемой схеме базирования (см. рис. 1.4). Величины смещений определяют величину погрешности базирования $\epsilon_{\delta x}$ и $\epsilon_{\delta y}$. Данные измерений поместить в таблицу.

Результаты измерений

№ п/п	Варианты расположения установочных пальцев	Величина допуска на размер X и Y , мм	Возможность установки		Результат измерения величины	
			Да	Нет	X	Y
1	2	3	4	5	6	7
1		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				
2		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				
3		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				
4		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				
5		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				
6		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				

1	2	3	4	5	6	7
7		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				
8		$T_X = 0,20$ $T_Y = 0,24$				

4. Теоретически определить максимальную погрешность базирования в данном приспособлении для исследуемых вариантов схем. Для этого:

4.1. Замерить диаметры D базовых отверстий $1, 2, 3, 4$, диаметры цилиндрических пальцев $2, 3$, диаметр d_n и ширину ленточки b срезанного пальца 1 и в соответствии с заданными вариантами схем базирования определить зазоры в соединениях пальцев с отверстиями:

$$S_i = D_i - d_{пj},$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ – номера отверстий;

$j = 1, 2, 3$ – номера пальцев,

и зазор между срезанным пальцем и отверстием 1 в направлении меньшей оси срезанного пальца

$$S_1' = d_n S_1 / b.$$

4.2. Определить погрешность базирования для размеров X и Y . При установке на два цилиндрических пальца и при установке на цилиндрический и срезанный пальцы для размера, направленного вдоль большей оси срезанного пальца, она будет равна наименьшему из зазоров, т. е.

$$\varepsilon_{\delta x \text{ теор}} = \varepsilon_{\delta y \text{ теор}} = S_{i \text{ min}}.$$

При установке на цилиндрический и срезанный пальцы для размера, направленного вдоль меньшей оси срезанного пальца, погрешность базирования будет равна наименьшему из зазоров S_i и S_1' .

4.3. Определить погрешность от возможного дополнительного углового смещения заготовки в приспособлении при неодинаковых зазорах в базовых отверстиях:

$$\varepsilon_{\delta L \text{ теор}} = \arctg ((S_{i \max} - S_{i \min}) / L),$$

где L – межосевое расстояние между установочными пальцами.

4.4. Разложить $\varepsilon_{\delta L \text{ теор}}$ вдоль размеров X и Y .

Например:

$$\varepsilon_{\delta Lx} = \varepsilon_{\delta L \text{ теор}} \sin \beta;$$

$$\varepsilon_{\delta Ly} = \varepsilon_{\delta L \text{ теор}} \cos \beta,$$

где β – угол между горизонталью (вертикалью) и линией, соединяющей центры одного из базовых отверстий 1, 2, 3, 4 и отверстия 5 (рис. 1.5).

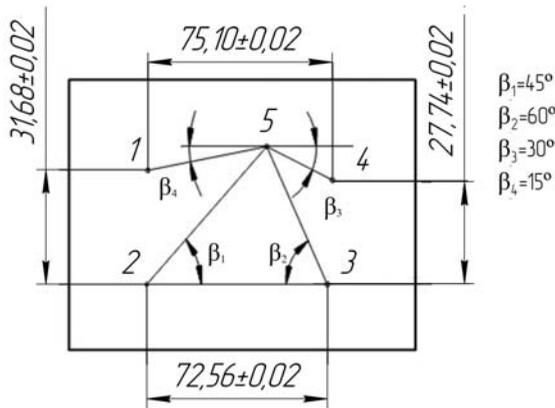


Рис. 1.5. Геометрические параметры заготовки

4.5. Определить максимальную погрешность получения размеров X и Y :

$$\varepsilon_{\delta x \max} = \varepsilon_{\delta x \text{ теор}} + \varepsilon_{\delta Lx};$$

$$\varepsilon_{\delta y \max} = \varepsilon_{\delta y \text{ теор}} + \varepsilon_{\delta Ly}.$$

5. Сравнить величины, полученные в результате замеров погрешности базирования, с рассчитанными значениями и с допусками на размеры X и Y (см. таблицу).

На основании сравнения определить варианты расположения установочных пальцев с учетом их размеров и конфигурации, обеспечивающие наивысшую точность размеров при обработке отверстия 5 в заготовке.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Результаты установки заготовки в приспособление (см. таблицу).
4. Результаты измерения погрешности базирования по указанным схемам установки (см. таблицу) и результаты расчета этих погрешностей.
5. Указание вариантов схем расположения установочных пальцев приспособления, которые обеспечивают точность размеров X и Y выдерживаемых в заготовке при обработке.
6. Операционный эскиз заготовки.
7. Выводы и рекомендации.

Контрольные вопросы

1. Каковы условия установки на два цилиндрических и один цилиндрический и один срезанный пальцы?
2. Что делают, если условие установки на два цилиндрических пальца не выполняется?
3. Как выбирают параметры установочных пальцев?
4. Как классифицируются установочные пальцы и каковы их конструктивные особенности?
5. От чего зависит точность базирования при установке на пальцы?
6. Почему точность установки на один цилиндрический и один срезанный пальцы выше, чем на два цилиндрических?
7. Как определяется (вычисляется) погрешность базирования при установке на пальцы:
если зазоры одинаковы?
если зазоры разные?

8. Каковы преимущества и недостатки схемы установки на плоскость и два отверстия, оси которых перпендикулярны плоскости?

Литература

Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 43–48.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЛУЧАЕВ УСТАНОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК НА ПРИЗМАХ

Цель работы: определение влияния отклонений диаметра заготовки на точность обработки при установке ее на призмы.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Призмы с углом $\alpha = 90^\circ$.
2. Плита.
3. Стойка ГОСТ 10197–70.
4. Индикатор часового типа ИЧ-10 (или МИГ-2).
5. Комплект цилиндрических заготовок с лысками.
6. Микрометр МК (ГОСТ 6507–78) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 25 мм.

Основные теоретические сведения

В практике широкое применение получила установка цилиндрических заготовок на призму.

Призмой называется установочный элемент приспособления с рабочей поверхностью в виде паза, образованного двумя плоскостями, наклоненными друг к другу под углом α .

Конструкция призмы стандартизована ГОСТ 12195–66 и ГОСТ 12197–66.

В приспособлении используют призмы с углами α , равными 60, 90, 120°. Для повышения устойчивости заготовки при ее установке

применяют призмы с углом $\alpha = 60^\circ$. Призмы с углом $\alpha = 120^\circ$ применяют в тех случаях, когда заготовка не имеет полной цилиндрической поверхности и по небольшой дуге окружности необходимо определить положение детали.

Призмы изготавливаются из стали марки 20Х с последующей цементацией поверхностного слоя и закалкой до твердости 55–60 HRC.

Схемы установки цилиндрической заготовки в призме для фрезерования лыски приведены на рис. 2.1, а, б.

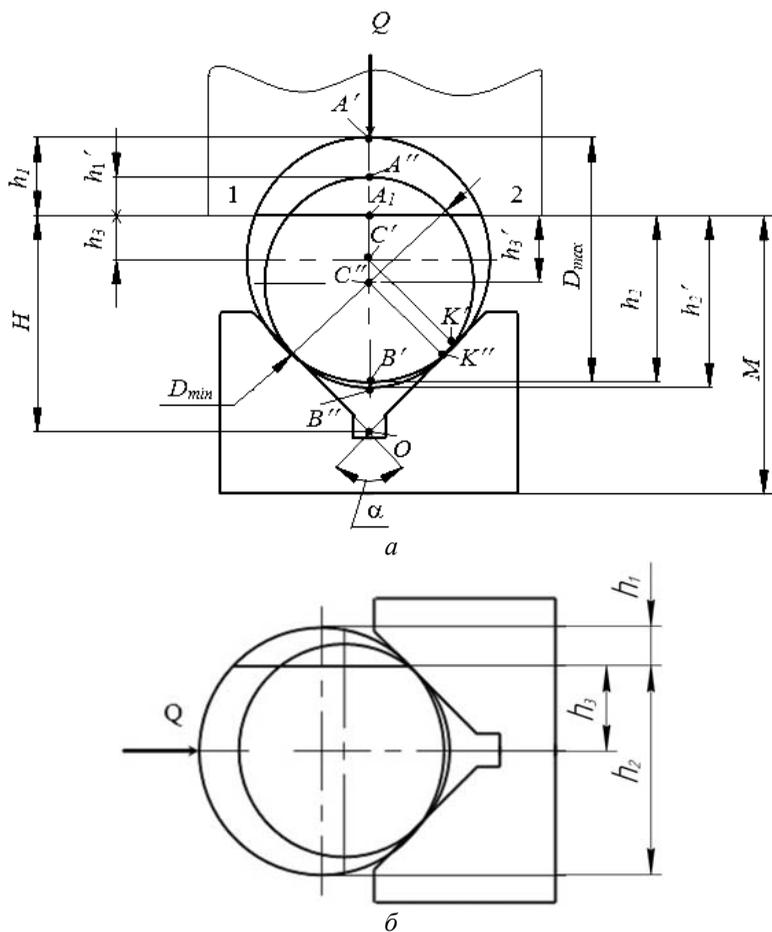


Рис. 2.1. Установка заготовки на призмы

Рассмотрим базирование заготовки по схеме, изображенной на рис. 2.1, *a*, более подробно. Двумя окружностями изображены наибольшая и наименьшая по диаметру заготовка в партии с осями C' и C'' . Положение лыски относительно цилиндрической поверхности заготовки может быть задано конструктором одним из трех размеров: h_1, h_2, h_3 (см. рис. 2.1, *a, б*). При базировании заготовки в призму используется одна и та же технологическая база – линия пересечения рабочих плоскостей призмы (точка O).

Конструкторской базой заготовки являются:

для размера h_1 – точка $A (A', A'')$;

для размера h_2 – точка $B (B', B'')$;

для размера h_3 – точка $C (C', C'')$.

Режущий инструмент для партии заготовок постоянно установлен на размер H .

При изменении диаметра заготовок в партии в пределах допуска от D_{\max} до D_{\min} конструкторская база меняет свое положение относительно установленного на размер инструмента, т. е. происходит смещение базы. Это вызывает возникновение погрешности базирования.

При выполнении размера h_1 погрешность базирования определяется разностью предельных расстояний от конструкторской базы (обрабатываемых A' и A'') до установленного на размер инструмента (точка A_1):

$$\varepsilon_{\delta h_1} = OA' - OA'' = A'A'' = h_1 - h'_1,$$

где

$$OA' = OC' + C'A' = C'K' / \sin(\alpha / 2) + C'A' = D_{\max} (1 / \sin(\alpha / 2) + 1) / 2;$$

$$OA'' = D_{\min} (1 / \sin(\alpha / 2) + 1) / 2.$$

Следовательно,

$$\varepsilon_{\delta h_1} = T_D (1 / \sin(\alpha / 2) + 1) / 2. \quad (2.1)$$

По аналогии для размеров h_2 и h_3 имеем

$$\varepsilon_{\delta h_2} = B'B'' = h'_2 - h_2 = T_D (1 / \sin(\alpha / 2) - 1) / 2; \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{\delta h_3} = C'C'' = T_D / 2 \sin(\alpha / 2),$$

где $T_D = D_{\max} - D_{\min}$ – допуск на диаметр заготовки;

α – угол призмы.

Погрешность базирования для размеров h_1 , h_2 и h_3 можно уменьшить путем увеличения угла призмы.

Если установка заготовки осуществляется на плоскость ($\alpha = 180^\circ$), то погрешность базирования будет

$$\varepsilon_{\delta h_1} = T_D;$$

$$\varepsilon_{\delta h_2} = 0;$$

$$\varepsilon_{\delta h_3} = T_D / 2.$$

Изменением положения призмы (рис. 2.1, б) можно также уменьшить величину погрешности базирования.

Для этого случая

$$\varepsilon_{\delta h_1} = T_D / 2; \tag{2.3}$$

$$\varepsilon_{\delta h_2} = T_D / 2; \tag{2.4}$$

$$\varepsilon_{\delta h_3} = 0.$$

Порядок выполнения работы

1. Получить у инженера приспособление с призмами, микрометр, индикатор и два комплекта цилиндрических заготовок с лысками.

2. Микрометром замерить диаметры заготовок (см. рис. 2.1, а) в комплекте 1. Определить величину допуска $T_D = D_{\max} - D_{\min}$. Значения D и T_D записать в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений

Заготовки		D , мм	T_D , мм	Экспериментальные значения при установке заготовки в призму 2 (рис. 2.2)			
				h_1	h_2	$\varepsilon_{\delta h_1}$	$\varepsilon_{\delta h_2}$
Комп-лект 1	D_{\max}						
	D_{\min}						

3. Закрепить индикатор 4 в державке 5 стойки 6 при помощи винта 7 (рис. 2.2).

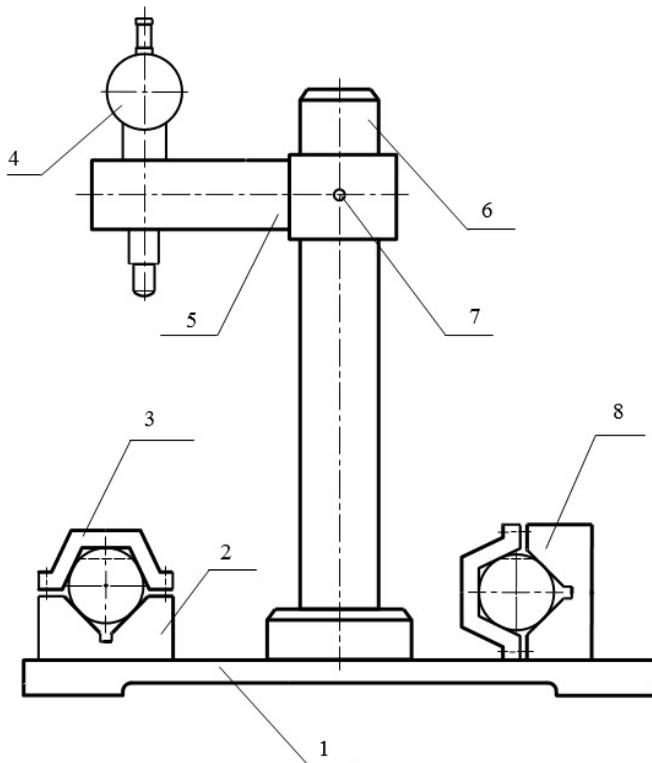


Рис. 2.2. Схема экспериментальной установки

4. На призму 2, закрепленную на основании 1 приспособления, установить заготовку диаметром D_{\min} из комплекта 1 с таким расчетом, чтобы лыска заняла горизонтальное положение. Для этого стойка с индикатором подводится к заготовке и измерительным наконечником индикатора проверяется положение точек 1 и 2 лыски (см. рис. 2.1, а). Поворачивая заготовку в призме вокруг ее оси, добиваются такого положения лыски, при котором стрелка индикатора остается неподвижной при перемещении измерительного наконечника между точками 1 и 2 лыски.

Зафиксировать заготовку на призме в этом положении с помощью хомутика 3 (см. рис. 2.2).

5. Установив шкалу индикатора на ноль, измерить величину h_1 (на рис. 2.1, a этот размер обозначен h_1') и записать ее значение в табл. 2.1.

6. Отнести стойку с индикатором в сторону и, не изменяя настройки индикатора, открепить хомутик 3 и снять с призмы заготовку с диаметром D_{\min} .

7. С помощью микрометра измерить величину h_2 у заготовки диаметром D_{\min} (на рис. 2.1, a этот размер обозначен h_2') и записать ее значение в табл. 2.1.

8. На призму 2 установить заготовку с диаметром D_{\max} , обеспечив горизонтальное положение лыски, и закрепить заготовку с помощью хомутика 3. Положение лыски заготовки с D_{\max} должно совпадать с положением лыски заготовки с D_{\min} (стрелка индикатора должна быть на нуле, что соответствует положению режущего инструмента, настроенного на размер H для исследуемых заготовок).

9. С помощью индикатора измерить величину h_1 и ее значение записать в табл. 2.1.

10. Отвести стойку с индикатором в сторону. Открепить хомутик 3 и снять заготовку.

11. Измерить микрометром величину h_2 и записать ее значение в табл. 2.1.

12. Определить величины погрешностей базирования

$$\varepsilon_{\delta h_1} = h_{1D_{\max}} - h_{1D_{\min}} = h_1 - h_1';$$

$$\varepsilon_{\delta h_2} = h_{2D_{\max}} - h_{2D_{\min}} = h_2 - h_2'$$

и записать их значения в табл. 2.1.

13. По формулам (2.1) и (2.2) рассчитать величины погрешностей базирования $\varepsilon_{\delta h_1}$ и $\varepsilon_{\delta h_2}$, учитывая, что угол $\alpha = 90^\circ$.

14. Аналогично произвести исследование погрешности базирования при установке заготовок комплекта 2 на призму 8 (см. рис. 2.2). Экспериментальные данные записать в табл. 2.2.

15. Используя формулы (2.3) и (2.4), рассчитать величины погрешностей базирования $\varepsilon_{\delta h_1}$ и $\varepsilon_{\delta h_2}$.

16. Сравнить полученные расчетные и экспериментальные значения.

Результаты измерений

Заготовки		D , мм	T_D , мм	Экспериментальные значения при установке заготовки в призму δ (см. рис. 2.2)			
				h_1	h_2	$\varepsilon_{\delta h_1}$	$\varepsilon_{\delta h_2}$
Комп-лект 2	D_{\max}						
	D_{\min}						

Содержание отчета

1. Схема установки заготовки на призму.
2. Таблицы с результатами измерений и экспериментальных значений.
3. Определение погрешности базирования расчетным путем.
4. Сравнение расчетных и экспериментальных значений.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит погрешность базирования при установке деталей в призму?
2. Методика расчета погрешностей базирования для различных случаев установки цилиндрических заготовок на призмах.
3. Призма как установочный элемент. Классификация призм, особенности конструкций. Установочные свойства призмы. Как они обеспечиваются?
4. Как экспериментально определить величину погрешности базирования при установке деталей на призму?
5. Как исключить влияние макронеровностей детали на погрешность установки в призму?

Литература

Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 28–32.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА МЕЖДУ ОТВЕРСТИЕМ КОНДУКТОРНОЙ ВТУЛКИ И СВЕРЛОМ НА ВЕЛИЧИНУ УВОДА СВЕРЛА

Цель работы: определение величины наибольшего увода сверла в зависимости от точности диаметра отверстия кондукторной втулки и сравнение ее с расчетным значением.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Сверлильное устройство.
2. Приспособление кондукторное.
3. Режущий инструмент (набор сверл).
4. Микрометр МК (ГОСТ 6507–78) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений 25 мм.
5. Микроскоп инструментальный БМИ-1.
6. Заготовка.

Основные теоретические сведения

При выполнении определенных операций механической обработки (сверления, зенкерования, развертывания) жесткость режущего инструмента бывает недостаточной. Для повышения его жесткости, а следовательно, для уменьшения упругих отжимов инструмента относительно заготовки в станочных приспособлениях применяют направляющие элементы – кондукторные втулки. Кондукторные втулки также определяют положение оси режущего инструмента относительно установочных элементов приспособления. Применение кондукторных втулок приводит к повышению точности диаметра и расположения обрабатываемого отверстия, уменьшению величины увода сверла, к повышению производительности труда за счет исключения операции разметки и возможности обработки на более высоких режимах резания.

Кондукторные втулки бывают неподвижные и вращающиеся. Вращающиеся втулки применяются для уменьшения их износа при обработке больших по величине диаметров отверстий.

Неподвижные кондукторные втулки по конструкции делятся на четыре группы: постоянные, сменные, быстросменные и специальные. Первые три группы стандартизованы.

Постоянные втулки применяются в мелкосерийном производстве при обработке отверстий одним инструментом. При малой партии заготовок, характерной для этого производства, замена втулок, вызванная износом их рабочей поверхности, не производится.

В приспособлениях крупносерийного и массового производства при обработке отверстий одним инструментом применяются сменные кондукторные втулки. Они устанавливаются в промежуточных втулках по посадке $H7/g6$, что позволяет обеспечить их быструю замену при износе их рабочей поверхности. От поворота и подъема при обработке они удерживаются винтом.

В приспособлениях серийного производства при обработке отверстий последовательно несколькими инструментами с одной установки заготовки применяют быстросменные кондукторные втулки. Они отличаются от сменных срезом на буртике, позволяющим произвести их замену без вывинчивания крепежного винта.

Специальные кондукторные втулки применяются в тех случаях, когда использование стандартных втулок нецелесообразно или невозможно.

Допуск на диаметр отверстия кондукторной втулки для сверл и зенкеров назначается по $F8$, а для разверток – по $G7$ в системе основного вала. При точности обработки отверстий по шестому-седьмому квалитетам и выше допуски на диаметр отверстия сверл (для направления) назначаются по $H7$, а для чистового развертывания – по $G6$ той же системы.

Расстояние a от нижнего торца втулки до поверхности заготовки выбирают равным $(0,3...1)d$, где d – диаметр режущего инструмента. Меньшее расстояние выбирают при обработке чугуна, большее – при обработке стали. При такой установке втулки стружка не попадает в направляющее отверстие и не изнашивает его. В случае зенкерования это расстояние выбирают $a = 0,3d$.

Для изготовления втулок при обработке отверстий диаметром до 25 мм используют сталь марок У10А, У12А, 9ХС и закаляют ее до твердости 62–65 HRC. При обработке отверстий диаметром свыше 25 мм для втулок применяется сталь 20 или 20Х с цементацией поверхностного слоя на глубину 0,8–1,2 мм с последующей закалкой

до той же твердости. Посадочные поверхности втулок обрабатываются до шероховатости с параметром $Ra = 1,25-0,63$ мкм, а рабочее отверстие втулки для повышения срока ее службы обрабатывается, как правило, до $Ra = 0,32-0,16$ мкм.

Точность расположения отверстия в заготовке зависит от точности ориентации кондукторной втулки относительно установочных элементов приспособления, определяющих положение в нем заготовки. Точность размеров отверстия, а также величина возможного увода инструмента зависят от наибольшего зазора между диаметрами отверстия втулки и инструмента, величины a , высоты втулки h и глубины сверления (рис. 3.1).

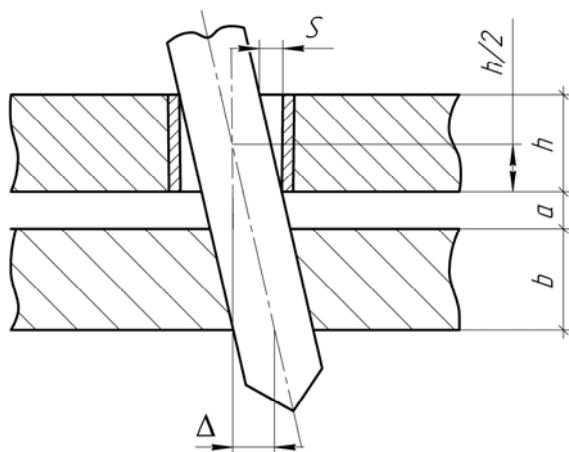


Рис. 3.1. Увод сверла

Величина увода сверла определяется по формуле

$$\Delta_{\text{ув}} = \frac{S}{h} (0,5h + a + b), \quad (3.1)$$

где S – максимальный зазор между диаметрами отверстия втулки и сверла;

a – расстояние от нижнего торца втулки до поверхности заготовки;

h – высота кондукторной втулки;

b – глубина сверления.

Формула (3.1) получена из рис. 3.1. Из нее видно, что при конкретных конструктивных параметрах приспособления и заготовки величина $\Delta_{ув}$ зависит от величины S , которая при обработке увеличивается за счет износа рабочей поверхности кондукторной втулки, что и определяет необходимость в ее замене.

Устройство приспособления и базирование детали

Приспособление состоит из неподвижной кондукторной плиты 2, в которой размещены четыре кондукторные втулки 7, четырех ножек 1 и винтового зажимного механизма, состоящего из винта 3 и гайки 9 (рис. 3.2).

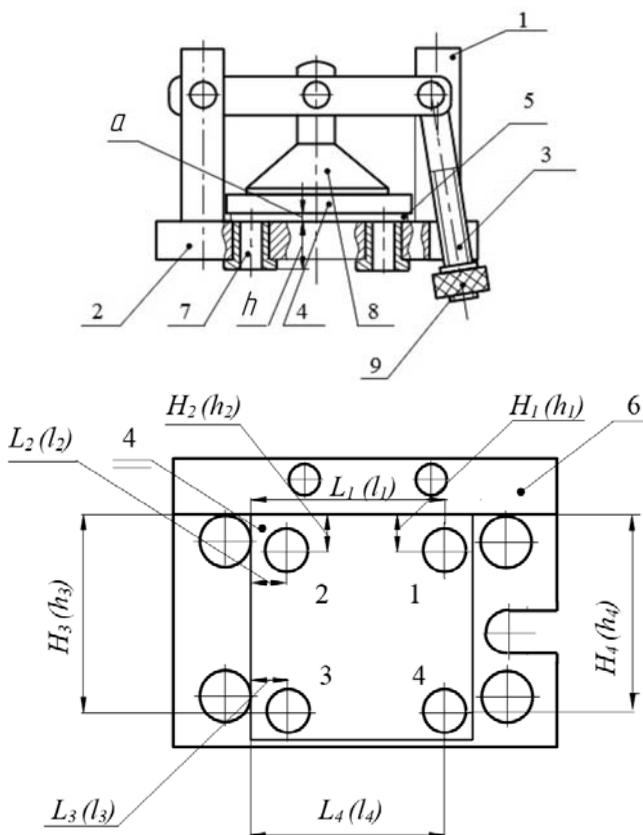


Рис. 3.2. Кондукторное приспособление

Базирование детали производится следующим образом. Расстояние a между нижним торцом втулки и поверхностью заготовки 4 обеспечивается двумя концевыми мерами длины 5 одинакового размера, которые одновременно являются установочной базой. Направляющей базой является планка 6 и опорной базой – наружная поверхность одной из ножек 1, касающихся планки. Закрепление детали осуществляется прижимом 8 с помощью винтового зажимного механизма.

Устройство микроскопа БМИ

Большой инструментальный микроскоп модели БМИ-1 (рис. 3.3) предназначен для измерения линейных и угловых размеров деталей, основных параметров наружных резьб, а также шаблонов, фасонных резцов, вырубных штампов и т. п.

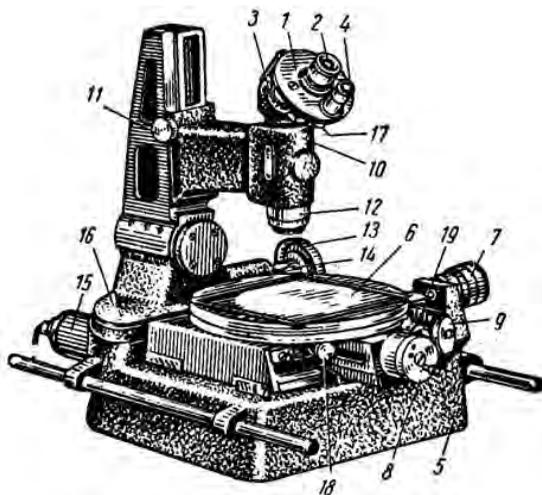


Рис. 3.3. Большой инструментальный микроскоп БМИ-1

Микроскоп БМИ-1 (см. рис. 3.3) имеет литое чугунное основание 5, на котором на шариковых направляющих установлен стол 6, перемещающийся в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью микрометрических винтов 7 и 8, имеющих цену деления отсчетных устройств 0,005 мм и диапазон измерения 0–25 мм.

Устанавливая на специальную подставку плоскопараллельные концевые меры длины, можно увеличивать диапазон измерения до 150 мм

в продольном направлении и (продельвая аналогичные операции) до 50 мм – в поперечном.

Стол 6 микроскопа можно повернуть на любой угол с помощью маховика 9, предварительно ослабив стопор 18. Для отсчета угла поворота стола служат шкала с 360 делениями и ценой деления 1°, нанесенная на его обод, и шкала нониуса с величиной отсчета 3'.

Вращая маховик 13 вокруг оси, можно наклонять стойку микроскопа на углы до 12,5° в правую и левую стороны для установки ее на угол подъема измеряемой резьбы. Угол поворота стойки отсчитывают по устройству 14.

Для фокусировки микроскопа служат маховички 11, перемещающие кронштейн 10 с тубусом микроскопа по вертикальным направляющим стойки 16. Сфокусированное положение фиксируют винтом, находящимся с правой стороны стойки ниже маховичков 11 (на рис. 3.3 этот винт не виден). Точную фокусировку осуществляют вращением рифленого кольца 12.

Сзади, в нижней части прибора, располагается источник света (лампа), закрытый кожухом 15, лучи от которого проходят через стекло, вставленное в стол прибора, и освещают измеряемый объект снизу. Интенсивность лучей регулируют поворотом рифленого кольца, связанного с диафрагмой.

Угломерная окулярная головка 1 (см. рис. 3.3) применяется для различных линейных и угловых измерений, в том числе основных параметров наружных резьб. Головка имеет два окуляра: окуляр 2 визирного микроскопа и окуляр 4 угломерного отсчетного микроскопа. Каждый окуляр имеет 10-кратное увеличение.

В поле зрения окуляра 2 видна сетка с перекрестием (центральным крестом) и ряд параллельных штриховых линий. Под углом 30° к штриховым линиям проведены сплошные линии. Их используют при измерении углов наклона боковых сторон профиля резьбы.

В поле зрения окуляра 4 видна градусная шкала, по которой отсчитывают углы поворота сетки с перекрестием. Освещается шкала светом, отраженным от зеркала 17 (источником света является лампочка, крепящаяся на кронштейне). Градусную шкалу вместе сеткой с перекрестием поворачивают с помощью маховика 3.

Предел допускаемой основной погрешности градусной шкалы угломерной головки равен 1'.

Головка двойного изображения для измерения расстояний между центрами отверстий состоит из корпуса с раздваивающей призмой и окуляра. При несовпадении геометрической оси отверстия и оптической оси объектива призма дает действительное и мнимое изображение объекта.

При измерении деталь следует устанавливать на предметном столике так, чтобы проверяемые размеры располагались параллельно направлениям движения стола. За ось OX принимается ось продольного перемещения, а за ось OY – ось поперечного перемещения.

В этом случае, когда все размеры детали либо параллельны, либо перпендикулярны друг другу, их величины подсчитываются как разности показаний измерительных приспособлений прибора:

$$l_x = x_i - x_j \quad \text{или} \quad l_y = y_i - y_j.$$

Если не все проверяемые размеры параллельны или взаимно перпендикулярны, а имеют различные направления, измерение размеров следует производить путем определения координат двух точек, определяющих размер, например: x_i, y_i и x_j, y_j , а затем расстояние между ними подсчитывается по формуле

$$L = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

В случае, когда измеряемые размеры превосходят пределы измерений по шкалам микровинтов, для расширения пределов измерения применяются концевые меры длины, а отсчет показаний прибора производится по формулам

$$x_i = (x_{mj} + x_{ki}) - x_{mo};$$

$$y_i = (y_{mj} + y_{ki}) - y_{mo};$$

где x_{mj} и y_{mj} – показания микровинтов;

x_{ki} и y_{ki} – размеры концевых мер длины.

Измерение диаметра отверстия

Измерить диаметры отверстий можно с помощью окулярной головки. Для измерения диаметров отверстий с помощью маховика 3

(см. рис. 3.3) на градусной шкале устанавливают ноль и деталь устанавливают так, чтобы горизонтальная ось перекрестия $X-X$ (или вертикальная $Y-Y$) была касательной к окружности (рис. 3.4, а). После этого с помощью барабана 7 или 8 смещают перекрестие к противоположной точке диаметра (рис. 3.4, б). Диаметр отверстия определяют как разность отсчетов по шкале барабана.

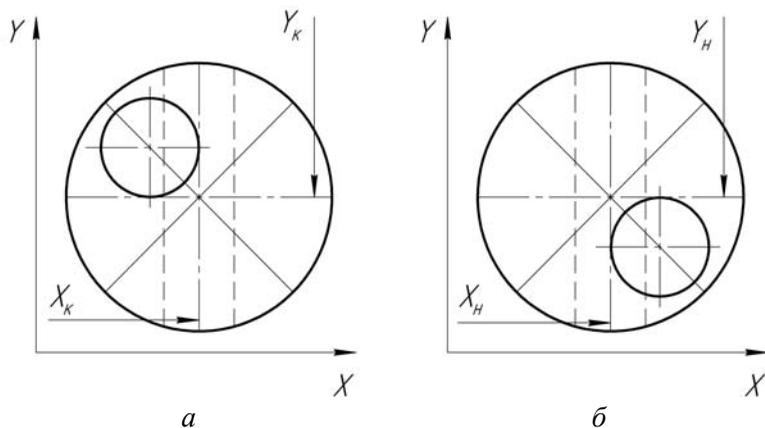


Рис. 3.4. Схема измерения диаметра отверстия при помощи головки ОГУ-21

Измерение координат центров отверстий с помощью головки двойного изображения

Вначале на шкале отсчетного микроскопа угломерной окулярной головки нужно установить ноль и расположить деталь на предметном столике так, чтобы торцевая поверхность была параллельна направлению продольного перемещения стола. Контроль положения детали производится с помощью угломерной головки: торцевые поверхности детали должны быть параллельны осям окуляра. После закрепления детали взамен угломерной головки установить специальную головку двойного изображения. В поле зрения подвести угол детали, который принимается за начало отсчета, и совместить его мнимое и действительное изображения, как показано на рис. 3.5. Снять координаты нулевой точки по шкалам микровинтов. Затем, перемещая столик с деталью при помощи барабанов 7 и 8, последовательно произвести измерения координат центров всех отверстий, совмещая их мнимое и действительное изображения.

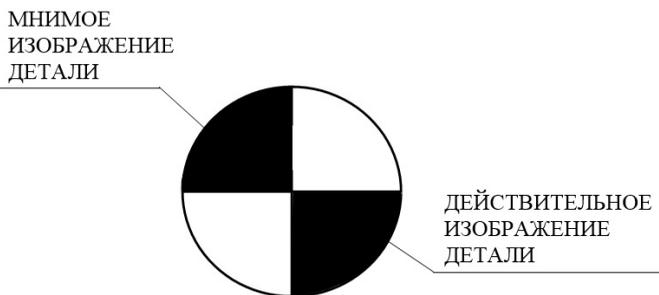


Рис. 3.5. Определение координат вершины заготовки при помощи головки двойного изображения

Измерение координат центров отверстий с помощью угломерной окулярной головки

В поле зрения подвести угол детали, который принимается за начало отсчета, и горизонтальную ось перекрестия $X-X$ (или вертикальную $Y-Y$) совместить с торцом детали, как показано на рис. 3.6.

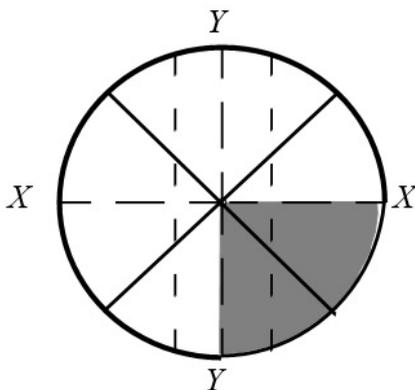


Рис. 3.6. Схема установки детали вдоль осей микроскопа

Предварительно установить ноль на шкале отсчетного микроскопа. По шкалам снять координаты начала отсчета. Затем, перемещая столик с деталью последовательно, измерить координаты центров отверстий. Для этого в поле зрения окуляра подвести отверстие так, чтобы горизонтальная ось перекрестия $X-X$ (вертикальная $Y-Y$) была касательной к окружности (см. рис. 3.4, *a*). Снять

отсчет. После этого с помощью барабана сместить перекрестие к противоположной точке диаметра (см. рис. 3.4, б).

Координату центра отверстия можно определить как среднее значение двух отсчетов минус координаты начала отсчета.

Порядок выполнения работы

1. Получить у инженера или преподавателя приспособление, заготовку, измерительный и режущий инструмент.

2. Ознакомиться с конструкцией приспособления, установить обрабатываемую деталь и закрепить ее (расстояние a между нижним торцом втулки и поверхностью заготовки обеспечивается концевыми мерами длины одинакового размера).

3. Измерить диаметр сверла $d_{св}$ и закрепить сверло в патроне станка.

4. Установить приспособление на столе сверлильного станка и произвести обработку отверстий в заготовке.

5. Открепить и снять заготовку.

6. Измерить толщину обрабатываемой детали b .

7. В приспособлении измерить высоту кондукторных втулок h , диаметр d_n ножки, которая выполняла роль опорной базы, и полученные значения записать в таблицу.

Результаты измерений

№ кондукторной втулки	a , мм	h , мм	D_L , мм	D_H , мм	D_{max} , мм	S , мм
1						
2						
3						
4						

Окончание таблицы

№ кондукторной втулки	$d_{св}$, мм	b , мм	d_n , мм	Координаты кондукторных втулок		Координаты отверстий детали		$\Delta_{увL_i}$	$\Delta_{увH_i}$	$\Delta_{ув, расч}$
				L , мм	H , мм	l , мм	h , мм			
1										
2										
3										
4										

8. Обработанную деталь установить на стол микроскопа и измерить координаты центров отверстий со стороны выхода сверла. Для этого:

а) установить ноль на шкале отсчетного микроскопа угломерной головки;

б) произвести точную установку детали таким образом, чтобы торцевая поверхность была параллельна направлению продольного перемещения стола. Контроль положения детали производится с помощью угломерной головки: торцевые поверхности детали должны быть параллельны осям окуляра (см. рис. 3.6);

в) определить координаты точки O пересечения торцевых поверхностей (рис. 3.7, а);

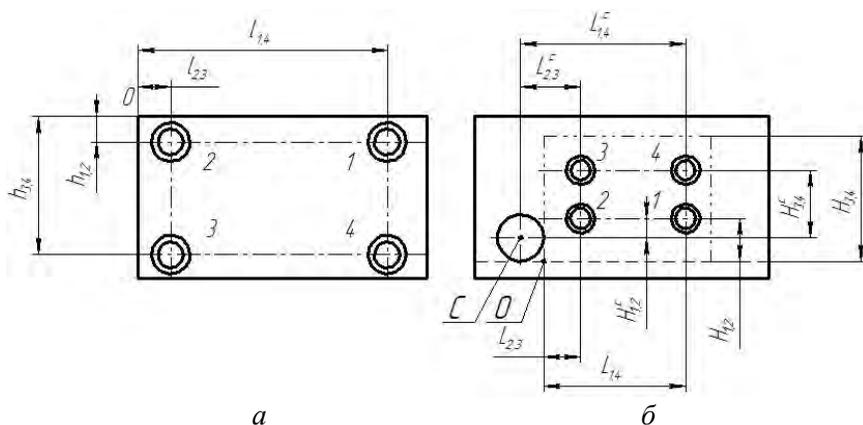


Рис. 3.7. Схемы измерения детали (а) и приспособления (б)

г) определить координаты центров отверстий 1, 2, 3, 4;

д) вычислить координаты центров отверстий обработанной детали $l_1, l_2, l_3, l_4, h_1, h_2, h_3, h_4$ относительно точки O (см. рис. 3.7, а) и полученные значения записать в таблицу (для этого из результата, полученного в п. 8, г нужно вычесть координаты точки O , полученные в п. 8, в).

9. Установить приспособление на столик микроскопа аналогично п. 8, б.

10. Измерить диаметры отверстий D_L, D_H кондукторных втулок 1, 2, 3, 4 вдоль осей L и H , приняв наибольшее из них за D_{\max} , и полученные значения записать в таблицу.

11. Для каждой пары кондукторной втулки и сверла определить значение максимального зазора $S_i = D_{i \max} - d_{\text{св}}$ и полученные значения записать в таблицу.

12. Определить координату оси C центрального отверстия ножки, которая выполняла роль опорной базы L_c, H_c (рис. 3.7, б).

13. Определить координаты центров отверстий кондукторных втулок 1, 2, 3, 4 (см. рис. 3.7, б).

14. Вычислить координаты центров отверстий кондукторных втулок относительно оси C ножки (аналогично п. 8, д).

15. Вычислить координаты центров отверстий кондукторных втулок $L_1, L_2, L_3, L_4, H_1, H_2, H_3, H_4$ относительно точки O (см. рис. 3.7, б), для чего к полученным в п. 13 значениям H прибавить радиус ножки, а из значений L вычесть радиус ножки $r_n = d_n / 2$. Полученные значения занести в таблицу.

16. Определить величину увода сверла $\Delta_{\text{ув}}$ в двух взаимно перпендикулярных направлениях для всех четырех отверстий как разницу величин

$$\Delta_{\text{ув}L_i} = L_i - l_i;$$

$$\Delta_{\text{ув}H_i} = H_i - h_i.$$

17. По формуле (3.1) рассчитать возможную наибольшую величину увода сверла $\Delta_{\text{ув,расч}}$ и сравнить ее с экспериментальными данными.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Операционный эскиз заготовки.
4. Схемы измерений.
5. Результаты измерений и расчет действительной величины увода сверла.
6. Результаты расчета наибольшей возможной величины увода сверла.
7. Выводы и рекомендации.

Контрольные вопросы

1. Кондукторные втулки. Классификация, область применения, особенности конструкций.
2. Что дает применение кондукторных втулок?
3. От чего зависит увод сверла? Вывести формулу.
4. Как экспериментально определить величину увода сверла?
5. Способы точного измерения межосевых расстояний отверстий. Пояснить схемами.
6. Как совместить измерительные базы детали и приспособления для вычисления увода сверла?

Литература

Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 156–160.

Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Цель работы: определение необходимой точности фрезерного приспособления.

Инструмент и принадлежности к работе

1. Чертеж детали.
2. Операционный эскиз.
3. Чертеж приспособления.

Основные теоретические сведения

При обработке заготовки в данном приспособлении цель проверочного точностного расчета заключается в оценке возможности получения точности размеров и взаимного расположения поверхностей, заданных на чертеже детали.

В основу расчета положено необходимое условие обеспечения точности при обработке на построенных станках

$$T \geq \Delta, \quad (4.1)$$

где T – допуск на выдерживаемый на данной операции размер заготовки или требование к точности взаимного расположения обрабатываемой поверхности заготовки относительно необрабатываемой;

Δ – суммарная погрешность обработки (получение заданного размера) в приспособлении.

Погрешность обработки заготовки в приспособлении на настроенном станке определяется по формуле

$$\Delta = K \sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_n^2 + \Delta_{обр}^2} + \sum \Delta_{\phi},$$

где K – коэффициент, характеризующий отклонение действительных кривых распределения погрешностей от кривых нормального закона распределения (при обработке на настроенных станках $K = 1,2$);

ε_y – погрешность установки заготовки;

Δ_n – погрешность настройки станка;

$\Delta_{обр}$ – погрешность данного метода обработки;

$\sum \Delta_{\phi}$ – сумма погрешности формы заготовки и геометрических

неточностей станка.

Погрешность установки заготовки в приспособление зависит от многих факторов, и ее принято определять по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{пр}^2},$$

где ε_6 – погрешность базирования;

ε_3 – погрешность закрепления;

$\varepsilon_{пр}$ – погрешность положения заготовки, вызываемая неточностью изготовления и сборки приспособления.

Погрешность базирования ε_6 определяется разностью предельных расстояний от конструкторской базы заготовки до установленного на размер режущего инструмента, возникающей вследствие неточности изготовления заготовки на предыдущих операциях. Установка режущего инструмента на размер производится от соответствую-

ющих опорных элементов приспособления. Погрешность базирования возникает при несовмещении конструкторской и технологической базы заготовки при ее установке на опорные элементы приспособления. Погрешность определяется геометрическим расчетом исходя из схемы базирования заготовки для каждого из выполняемых на данной операции размеров.

Для определения погрешности необходимо:

- по операционному эскизу определить положение конструкторской и технологической базы для каждого из координирующих размеров или допусков расположения обрабатываемых поверхностей;
- спроецировать базы на направление соответствующего координирующего размера;
- если конструкторская и технологическая базы (или их проекции на направление координирующего размера) совпадают, то погрешность базирования равняется нулю;
- если конструкторская и технологическая базы не совпадают, то погрешность базирования численно равна допуску на расстояние между конструкторской и технологической базами (или их проекциями на направление координирующего размера).

Конструкторской базой обрабатываемой поверхности называется элемент детали (поверхность, ось, точка и т. п.), с которым данная поверхность или ее ось связаны координирующим размером или допуском расположения на чертеже (операционном эскизе) детали.

Технологической базой обрабатываемой поверхности называется элемент детали, который служит для определения положения этой поверхности (или ее оси) относительно режущего инструмента.

Технологические базы указываются специальными значками на операционном эскизе.

Погрешность базирования $\varepsilon_6 = 0$, если:

- совмещены технологическая и конструкторская (измерительная) базы, к чему всегда следует стремиться при проектировании специальных приспособлений;
- размер получен мерным инструментом (например, ширина шпоночного паза при фрезеровании концевой фрезой за один проход) и т. п.

Погрешность закрепления ε_3 определяется разностью предельных расстояний от конструкторской базы заготовки до установленного на размер режущего инструмента, возникающей вследствие смещения заготовки под действием сил закрепления (осадка конструкторской базы).

Смещение заготовки под действием зажимных сил происходит из-за ее общей и контактной деформации, а также из-за отхода поверхностей заготовки от опор приспособления.

Погрешность закрепления $\varepsilon_3 = 0$, если:

- сила закрепления заготовок постоянна ($W = \text{const}$);
- качество базовых поверхностей всех заготовок в партии одинаково;
- сила закрепления перпендикулярна выполняемому размеру.

Если величина ε_3 отлична от нуля, то для учебных целей допустимо принимать ε_3 от $1 \cdot 10^{-5}$ до $10 \cdot 10^{-5}$ м в зависимости от качества базовых поверхностей заготовки и формы опорных элементов приспособления.

При установке заготовок чисто обработанной базой на опоры с большой поверхностью контакта $\varepsilon_3 = 1 \cdot 10^{-5}$ м, а при установке заготовок на точечные опоры $\varepsilon_3 = 10 \cdot 10^{-5}$ м.

Погрешность положения заготовки $\varepsilon_{\text{пр}}$, вызываемая неточностью приспособления, определяется погрешностями при изготовлении и сборке его установочных элементов ε_{yc} , износом последних $\varepsilon_{\text{и}}$ и погрешностями установки приспособления на станке $\varepsilon_{\text{с}}$.

Составляющая ε_{yc} характеризует неточность положения установочных элементов приспособления и в основном зависит от точности изготовления и сборки деталей приспособления. При использовании одного приспособления ее частично или полностью можно устранить настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособлений-дублеров, приспособлений-спутников) эта величина не компенсируется настройкой станка и полностью входит в состав $\varepsilon_{\text{пр}}$.

Величина ε_{yc} определяется допуском на размер, связывающий установочную и посадочную поверхности приспособления, а также допуском на взаимное расположение этих поверхностей. Установочные поверхности приспособления – это поверхности, с которыми заготовка соприкасается при базировании.

В качестве посадочных поверхностей служат поверхности (или их оси), с помощью которых приспособление ориентируется на столе станка относительно режущего инструмента.

Составляющая $\varepsilon_{\text{и}}$ характеризует износ установочных элементов приспособления. Величина износа зависит от программы выпуска

изделий (времени работы приспособления), конструкции и размеров опор, материала и массы заготовки, состояния ее базовых поверхностей, а также условий установки заготовки в приспособление и снятия ее.

Составляющая ε_c выражает погрешность установки приспособления на станке, обусловленную смещением корпуса приспособления на столе станка. В массовом производстве при неизменяемом закреплении приспособления на станке ε_c доводится выверкой до определенного минимума и постоянна во времени. Она может быть компенсирована настройкой станка. В серийном производстве приспособление на станках периодически сменяют, при этом величина ε_c становится некомпенсируемой, случайной. То же происходит на автоматических линиях при использовании приспособлений-спутников. На величину ε_c дополнительно влияет износ поверхностей сопряжения при регулярной смене приспособлений.

Погрешность установки приспособления на станке ε_c возникает из-за зазоров между направляющими шпонками или установочными пальцами приспособления и Т-образными пазами или отверстиями стола станка, что характерно для фрезерных, расточных и других приспособлений.

Погрешность установки вращающихся приспособлений на токарные, зубофрезерные и другие станки зависит от точности базирования приспособлений в гнездах станка (корпусное отверстие шпинделя, центральное отверстие поворотного стола, центрирующий пояс шпинделя или планшайбы станка и т. д.). Если приспособление базируется на центрирующий пояс шпинделя (планшайбы), то погрешность положения в виде отклонения от соосности осей шпинделя и устанавливаемого приспособления (эксцентриситета) возникает из-за имеющегося зазора между выточкой корпуса приспособления и центрирующим пояском шпинделя или планшайбы. Расчет ε_c в каждом конкретном случае следует вести по схеме установки приспособления на станке.

С учетом изложенного выше погрешность положения заготовки определяется по следующим формулам:

– при использовании приспособлений в серийном производстве

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{3\varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_c^2} + \varepsilon_{\text{ус}};$$

– при использовании приспособлений в массовом производстве (операции закреплены за каждым рабочим местом и ε_{yc} , ε_c компенсируются настройкой станка)

$$\varepsilon_{пр} = \varepsilon_{и};$$

– если используется многоместное приспособление, то

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{\varepsilon_{yc}^2 + 3\varepsilon_{и}^2};$$

– при использовании приспособлений-спутников на автоматической линии

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{3\varepsilon_{и}^2 + \varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_c^2}.$$

Погрешность настройки станка Δ_n представляет собой неточность установки режущего инструмента на выполняемый при обработке размер. Настройка фрезы на размер производится по установу и щупу. Погрешность ее установки зависит от точности местоположения рабочей поверхности установка на корпусе приспособления, точности щупа и квалификации станочника и может быть определена по формуле

$$\Delta_n = \sqrt{\Delta_{н1}^2 + \Delta_{н2}^2 + \Delta_{н3}^2}, \quad (4.2)$$

где $\Delta_{н1}$ – допуск на координату установка (допуск на расстояние от опорных элементов приспособления до рабочей поверхности установка);

$\Delta_{н2}$ – допуск на толщину щупа (при использовании щупа толщиной $3 \cdot 10^{-3}$ м $\Delta_{н2} = 0,6 \cdot 10^{-5}$ м);

$\Delta_{н3}$ – погрешность установки фрезы, вызванная квалификацией станочника: $\Delta_{н3} = 2 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ м.

Зная схемы базирования и закрепления заготовки, можно подсчитать величины ε_6 и ε_3 .

На заключительном этапе проектирования приспособления конструктор решает задачу назначения допуска на координату установка

и определения возможной степени неточности изготовления и сборки деталей приспособления ε_{yc} . Для этого конструктор разрабатывает технические требования на конструкцию приспособления, в которых указываются все допустимые неточности формы и расположения поверхностей, определяющих положение заготовки в приспособлении. Величина ε_{yc} может быть подсчитана по формуле

$$\varepsilon_{yc} = \sqrt{\varepsilon_{yc1}^2 + \varepsilon_{yc2}^2 + \dots + \varepsilon_{ycn}^2},$$

где $\varepsilon_{yc1}, \varepsilon_{yc2}, \dots, \varepsilon_{ycn}$ – погрешности положения заготовки, возникающие от неточности изготовления и сборки приспособления, регламентированные техническими требованиями на его конструкцию.

Величина допуска $\Delta_{н1}$ и величины $\varepsilon_{yc1}, \varepsilon_{yc2}, \dots, \varepsilon_{ycn}$ назначаются конструктором, исходя из выполнения условия (4.1).

Если в результате расчетов окажется, что допуски на размеры и взаимное расположение поверхностей приспособления малы и не могут быть обеспечены, необходимо проанализировать пути уменьшения составляющих погрешности $\varepsilon_{пр}$. В числе таких возможных путей можно указать следующие:

предусмотрение окончательной обработки установленных элементов и установка в собранном приспособлении;

обработка рабочих поверхностей установочных элементов после установки готового приспособления на столе станка, где его будут применять;

выверка приспособления на столе станка и т. д.

Если такие мероприятия не могут привести к желаемому результату, то необходимо изменить схему базирования и закрепления заготовки.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя или инженера чертежи детали и приспособления для выполнения одной из операций обработки данной детали.

2. По операционному эскизу определить величины погрешности базирования $\varepsilon_б$ и закрепления $\varepsilon_з$ для выполняемых на данной операции размеров.

3. Вычертить эскиз приспособления и составить технические требования к нему.

4. По формуле (4.2) рассчитать погрешность положения заготовки ε_{yc} и назначить допуск на координату установка $\Delta_{н1}$.

5. Проверить правильность назначенных величин ε_{yc} и $\Delta_{н1}$, определяющих точность изготовления, сборки приспособления и настройки режущего инструмента по формуле (4.1).

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Операционный эскиз заготовки.
3. Эскиз приспособления с размерами и техническими требованиями, определяющими точность положения заготовки.
4. Расчет погрешности обработки заготовки в приспособлении.
5. Вывод о пригодности по точности данного приспособления.

Контрольные вопросы

1. Структура суммарной погрешности обработки заготовки в приспособлении. Основные термины и определения.
2. Методики расчета:
 - погрешности базирования;
 - погрешности закрепления;
 - погрешности приспособления;
 - погрешности настройки инструмента на выполняемый размер.
3. Практическое применение вышеуказанных методик расчета погрешностей (на примере выданного задания к лабораторной работе).

Литература

1. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 16–23.

2. Горохов, В. А. Проектирование и расчет приспособлений : учебное пособие для студентов вузов машиностроительных специальностей / В. А. Горохов. – Минск : Вышэйшая школа, 1986. – С. 83–87.

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Цель работы: определение влияния расположения базовых элементов контрольного приспособления на величину погрешности измерения.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Плита установочная.
2. Призма с углом $\alpha = 90^\circ$.
3. Угольник с углом 90° .
4. Специальное контрольное приспособление.
5. Индикаторы часового типа ИЧ-10.
6. Наконечник тарельчатой формы.

Основные теоретические сведения

Контрольные приспособления применяют для проверки заготовок, деталей и узлов машин. Приспособления для проверки деталей применяют на промежуточных этапах обработки (межоперационный контроль) и для окончательной приемки, выявляя точность размеров, взаимного расположения поверхностей и правильность их геометрической формы. Применение контрольных приспособлений повышает производительность труда, значительно увеличивая качество и объективность контроля.

Контрольные приспособления состоят из установочных, зажимных, измерительных и вспомогательных элементов, смонтированных в корпусе приспособления.

На установочные элементы (опоры) проверяемую деталь или заготовку (узел) ставят их измерительными базами в процессе контроля. Для установки на базовые плоскости применяют постоянные опоры со сферическими и плоскими головками, опорные пластины, а также специальные детали (секторы, кольца) в зависимости от конфигурации базы в плане. Опоры со сферическими головками при-

меняют для установки деталей на необработанные базы. Для установки на обработанные базы используют опоры с гладкой и достаточно развитой поверхностью. Для повышения износостойкости опоры рекомендуется цементировать на глубину 0,8–1,2 мм и термически обрабатывать до твердости 55–60 HRC.

Для установки на внешние цилиндрические поверхности используют призмы.

В качестве разжимных элементов при базировании по внутренней цилиндрической поверхности используют шарики, планки и разрезные втулки. Для точного центрирования применяют также втулки с гидропластмассой, гофрированные втулки и устройства мембранного типа.

Также в контрольных приспособлениях для установки деталей в качестве установочных баз применяют различные сочетания элементарных поверхностей.

Зажимные устройства в контрольных приспособлениях предупреждают смещения установленной для проверки детали относительно измерительного устройства и обеспечивают плотный контакт установочных баз детали с опорами приспособления. Для предупреждения деформаций проверяемых изделий силы закрепления должны быть небольшими, а их величина стабильна.

Измерительные устройства контрольных приспособлений делятся на предельные (бесшкальные) и отсчетные (шкальные). Особую группу составляют устройства, работающие по принципу нормальных калибров. Предельные устройства не дают численного значения измеряемых величин, а все проверяемые изделия делят на три категории: годные, брак «плюс» и брак «минус». В качестве отсчетных измерителей обычно используют рычажно-механические приборы (индикаторы часового типа или многооборотные индикаторные головки).

При выборе отсчетных измерительных средств в зависимости от допусков и серийности производства необходимо учитывать их метрологические и экономические показатели (погрешность средства, цена деления шкалы, предел измерения, чувствительность, порог чувствительности и т. д.).

Рабочий наконечник измерительного устройства может быть сферическим, плоским или ножеобразным и выбирается в зависимости

от формы поверхности, параметры которой контролируются, и метода контроля.

В качестве устройств, работающих по принципу нормальных калибров, в контрольных приспособлениях используют контурные, плоские или объемные шаблоны.

Вспомогательные устройства контрольных приспособлений имеют различное целевое назначение (поворотные устройства, ползуны для перемещения измерительных элементов, приводные механизмы, подъемные устройства, выталкиватели и т. д.).

При конструировании контрольного приспособления одной из основных задач является уменьшение или полное устранение общей суммарной погрешности измерения.

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Под **точностью** измерений понимается качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Обязательными компонентами всякого измерения являются метод и средства измерения; очень часто измерения выполняются с участием человека. Несовершенство каждого компонента измерения вносит вклад в погрешность измерения.

Поэтому в общем виде

$$\Delta = \Delta_m + \Delta_i + \Delta_{оп},$$

где Δ – погрешность измерения;

Δ_m – погрешность методическая;

Δ_i – погрешность инструментальная;

$\Delta_{оп}$ – погрешность оператора.

Каждая из составляющих погрешности измерения, в свою очередь, может вызываться рядом причин. Так, методические погрешности могут возникать вследствие недостаточной разработанности тех явлений, которые положены в основу измерения, и неточности тех соотношений, которые используются для нахождения оценки измеряемой величины. Одной из причин, существенно влияющих на методическую погрешность измерения, является погрешность базирования.

Инструментальные погрешности измерения – погрешности из-за несовершенства средств измерения, вызванных погрешностями изготовления и сборки их отдельных элементов.

Погрешность оператора – в конкретном случае к ней можно отнести погрешности из-за неправильного отсчитывания десятых долей деления шкалы прибора.

Погрешности измерения Δ в зависимости от назначения контролируемого изделия допускаются в пределах 8–30 % поля допуска на контролируемый размер.

Элемент контролируемой детали (например, диаметр) имеет две точки на окружности, между которыми на её чертеже проставлен проверяемый размер. Согласно принципу обратимости конструкторских баз любая из них может быть измерительной базой по отношению к другой.

При выборе схем контрольного приспособления следует совмещать технологическую базу и одну из измерительных баз детали, придавая им строго фиксированное положение. Другая точка должна контактировать с измерительным элементом приспособления. Если положение этой точки изменяется только вдоль линии измерения, то погрешность положения $\Delta_{\text{пол}} = 0$, если – нет, то $\Delta_{\text{пол}} \neq 0$.

На рис. 5.1 показана схема контрольного приспособления для проверки диаметра детали 1 в призме 2. Технологическая база (точка С) не совмещена с измерительной базой (образующая 4), поэтому возникает погрешность базирования, численно равная половине допуска на диаметр проверяемых деталей: $T/2$. Вторая точка (образующая 5) при проверке партии деталей занимает разное положение по высоте относительно линии постройки (ось измерительного прибора 3), вызывая погрешность положения

$$\varepsilon_{\text{пол.мин}} = \frac{d}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{d^2 - \frac{T^2}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}}, \quad (5.1)$$

где d – наименьший диаметр детали;

T – величина допуска на диаметр детали;

α – угол призмы.

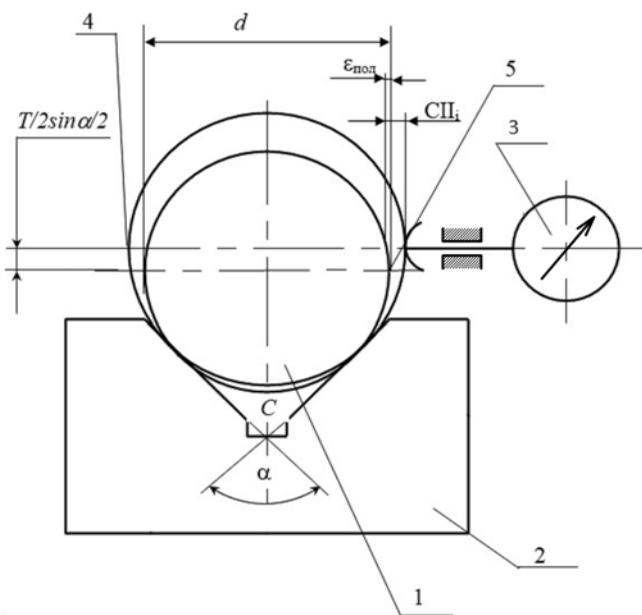


Рис. 5.1. Схема контроля диаметра детали со сферическим наконечником

При контроле партии деталей пределы измерения равны не допуску на диаметр, а величине

$$CII = T - \epsilon_{\delta} + \epsilon_{\text{пол}} = T/2 + \epsilon_{\text{пол}}.$$

На рис. 5.2 показана другая схема контрольного приспособления, в которой используется плоский наконечник 3. В этом случае (при условии, что рабочая плоскость наконечника перпендикулярна линии постройки 4 и линии измерения 5) погрешность положения $\epsilon_{\text{пол}} = 0$. В реальных контрольных приспособлениях перпендикулярность этих элементов находится в пределах 0,01–0,015 мм на 100 мм длины, что вызывает появление погрешности положения величиной в сотые доли микрометра, поэтому ею можно пренебречь, т. е. $\Delta_{\text{пол}} = 0$. Также равна нулю и погрешность базирования, так как технологическая база (плоскость 1) совмещена с измерительной базой (образующая 2).

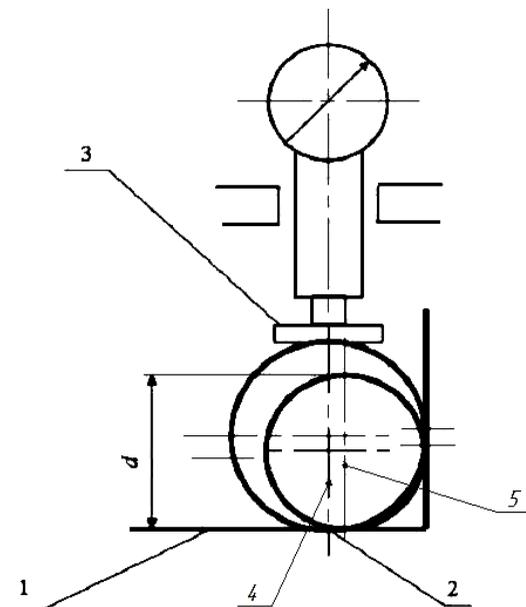


Рис. 5.2. Схема контроля диаметра детали плоским наконечником

Порядок выполнения работы

1. Эталонную деталь (деталь № 1) установить в приспособление по схеме, представленной на рис. 5.2, и стрелку индикатора настроить на «0».

2. В данном приспособлении последовательно измерить величину $\delta_{\text{экс.}i}$ – отклонение диаметра контролируемых деталей от диаметра эталонной детали. Значение $\delta_{\text{экс.}i}$ с учетом знака (+/-) записать в таблицу.

Результаты измерений

№ детали	Схема базирования по рис. 5.2		Схема базирования по рис. 5.1	$\epsilon_{\text{пол.экс}}$	$\epsilon_{\text{пол.мах}}$	Примечание
	$\delta_{\text{экс.}i}$	CI_i	CI_i			

3. Подсчитать величину CI_i по формуле

$$CI_i = \delta_{\text{экср.}i} - \delta_{\text{экср.}i,\text{min}},$$

где $\delta_{\text{экср.}i,\text{min}}$ – наименьшее из всех полученных отклонений (с учетом знака). Значения CI_i записать в таблицу.

4. Деталь максимального диаметра, определенного по предыдущей схеме, установить в призму по схеме, представленной на рис. 5.1, и настроить стрелку индикатора на «0».

5. В данном приспособлении последовательно измерить величину CI_i (величина положительная). Значение CI_i записать в таблицу.

6. Микрометром измерить диаметр детали и определить диаметры d_{min} и d_{max} с учетом данных таблицы.

7. Экспериментальную погрешность, вызванную положением измерительного наконечника для каждой детали, вычислить по формуле

$$\varepsilon_{\text{пол.экср.}i} = CI_i - \frac{d_{\text{max}} - d_1 - \delta_{\text{экср.}i}}{2}.$$

8. По формуле (5.1) найти расчетное значение погрешности $\varepsilon_{\text{пол.}i,\text{max}}$ для партии деталей. Полученное значение записать в таблицу.

9. Экспериментальное значение погрешности положения сопоставить с расчетным по формуле

$$A = \frac{\varepsilon_{\text{пол.экср.}i,\text{max}} - \varepsilon_{\text{пол.}i,\text{max}}}{\varepsilon_{\text{пол.}i,\text{max}}} \cdot 100 \%.$$

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Схемы измерения.
4. Расчетная таблица с результатами измерений.
5. Расчет погрешностей.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. На схемах измерения показать величины $\delta_{\text{эсп.}i}$, CI_i , $СП_i$.
2. Почему при измерении диаметра детали по схеме, представленной на рис. 5.2, отсутствуют погрешности базирования и погрешности положения измерительного элемента?
3. Определить величину и показать на схеме погрешность базирования при измерении диаметра детали по схеме, представленной на рис. 5.1.
4. Вычислить погрешность положения $\epsilon_{\text{пол}}$ для схемы на рис. 5.1. Почему она возникает в этом случае?
5. Что необходимо сделать при использовании схемы, представленной на рис. 5.1, чтобы исключить:
 - погрешность базирования;
 - погрешность положения;
 - одновременно погрешность базирования и положения?

Литература

Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 235–248.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСИЛИЯ ЗАЖИМА НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: ознакомление с зажимными механизмами приспособлений, определение влияния усилия зажима на точность обработки деталей.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Патрон трехлачковый.
2. Ключ динамометрический.
3. Индикаторы многооборотные МИГ-1.
4. Штатив для измерительных головок.
5. Заготовки.

Общие сведения о зажимных механизмах приспособлений

Зажимные механизмы приспособлений выполняют очень важную функцию по обеспечению надежного контакта заготовки с установочными элементами и предотвращают ее смещение и вибрацию в процессе обработки.

Зажимные устройства также используются для обеспечения правильной установки и центрирования заготовки, выполняя функцию установочно-зажимных устройств. К ним относятся самоцентрирующие патроны, цанговые зажимы и др.

Необходимость закрепления заготовки отпадает, если ее масса велика, а силы резания малы, а также в том случае, когда силы, возникающие при обработке, прижимают заготовку к установочным элементам и не могут нарушить положение заготовки, достигнутое установкой.

К зажимным механизмам приспособлений предъявляют ряд требований:

- удобство в работе и свободный доступ к зажимам;
- простота конструкции и невысокая стоимость изготовления;
- надежность закрепления заготовок и неизменность их положения при обработке;
- быстрота действия зажима;
- устранение влияния зажима на деформации заготовки и частей приспособления;
- направленность действующих усилий зажима на неподвижные опоры;
- сохранность положения заготовки, достигнутая базированием.

Силовые механизмы приспособлений делятся на простые и комбинированные, т. е. состоящие из двух-трех сблокированных простых.

К простым механизмам относятся клиновые, винтовые, эксцентриковые, рычажные, рычажно-шарнирные и т. п.

По числу ведомых звеньев механизмы делятся на однозвенные, двухзвенные и многозвенные (многоточечные).

Каждый силовой механизм имеет ведущее звено, к которому прикладывается исходная сила, и одно или несколько ведомых звеньев (прижимных планок, плунжеров, кулачков), передающих обрабатываемой детали силы зажима. Многозвенные механизмы зажимают

одну деталь в нескольких точках или несколько деталей в многоместном приспособлении одновременно и с равными силами. Особую группу многозвенных механизмов составляют самоцентрирующие патроны и оправки.

По степени механизации зажимные механизмы делят:

на **ручные**, требующие применения мускульной силы. При использовании ручных механизмов для зажима заготовок усилие зажима не должно превышать 147 Н. Ручные механизмы применяют в единичном и мелкосерийном производстве;

механизированные, представляющие собой компоновку простых или комбинированных механизмов с механизированными приводами. Применяют их в серийном и массовом производстве;

автоматизированные зажимные механизмы, которые приводятся в действие перемещающимися частями станков (столами, суппортами, шпинделями и др.), силами резания или центробежными силами вращающихся масс. Зажим и раскрепление заготовки при их использовании происходят без участия рабочего. Автоматизированные зажимные механизмы применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Главной задачей при разработке любого приспособления является установление типа и размеров зажимного устройства, а также определение силы, развиваемой приводом. Задача решается путем построения схемы закрепления деталей в приспособлении и определения:

а) места приложения и направления сил зажима;

б) величины сил резания и их моментов, действующих на обрабатываемую деталь, а при необходимости – инерционных и центробежных сил, возникающих при обработке;

в) величины усилий зажима при решении задачи статики на равновесие твердого тела, находящееся под действием всех приложенных к нему сил;

г) требуемой величины сил зажима путем умножения найденного значения сил зажима на коэффициент запаса K .

Коэффициент запаса K рассчитывается применительно к конкретным условиям обработки по формуле

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6,$$

где $K_0 = 1,5$ – гарантированный запас для всех случаев;

K_1 – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки. Для черновой заготовки $K_1 = 1,2$, для чистовой заготовки $K_1 = 1,0$;

K_2 – коэффициент, учитывающий увеличение сил резания от прогрессирующего затупления инструмента: $K_2 = 1,0–1,9$;

K_3 – коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании. При работе с ударами $K_3 = 1,2$;

K_4 – коэффициент, учитывающий постоянство силы зажима, развиваемой силовым приводом приспособления: $K_4 = 1$ для механизированных силовых приводов (пневматических, гидравлических и т. д.); $K_4 = 1,3$ для ручного привода;

K_5 – характеризует зажимные механизмы с ручным приводом. При удобном положении рукоятки зажима и малом диапазоне угла ее отклонения $K_5 = 1,0$; при большом диапазоне угла отклонения рукоятки (более 90) или неудобном расположении рукояток $K_5 = 1,2$;

K_6 – коэффициент, учитываемый только при наличии крутящих моментов, стремящихся повернуть обрабатываемую деталь. $K_6 = 1,0$, если обрабатываемая деталь установлена базовой плоскостью на опоры с ограниченной поверхностью контакта; $K_6 = 1,5$, если обрабатываемая деталь установлена на планки или другие элементы с большой поверхностью контакта.

Силу, развиваемую силовым приводом, можно определить по формуле

$$Q = KW / i,$$

где i – передаточное отношение зажимного механизма, которое зависит от его конструкции и размеров.

Влияние усилия зажима на погрешность формы деталей

При закреплении нежестких деталей типа колец возникают погрешности формы цилиндрической поверхности заготовки, что влияет на точность обработки деталей.

В зажимных устройствах (патронах) с обычными (узкими) кулачками наибольшие прогибы колец возникают в местах приложения сил, а наибольшие выпучивания – в сечениях симметрии между кулачками. При наличии широких кулачков деформация колец снижается.

Методика расчета деформации тонкостенных колец при закреплении радиальными силами применима при отношении толщины стенки кольца к среднему радиусу ($h / r \leq 0,2$) и при условии, что кольцо полностью перекрыто кулачками или длина участков кольца, выступающих за кулачками, не превышает

$$l_{\text{пред}} = 1,3rn^{-1} \sqrt{\frac{r}{(n^2 - 1)h}},$$

где n – число кулачков;

r и h – средний радиус и толщина стенки кольца соответственно, мм:

$$r = \frac{D + d}{4};$$

$$h = \frac{D - d}{2}.$$

На рис. 6.1 представлена номограмма, позволяющая быстро найти $l_{\text{пред}}$ при известных n , r и h/r .

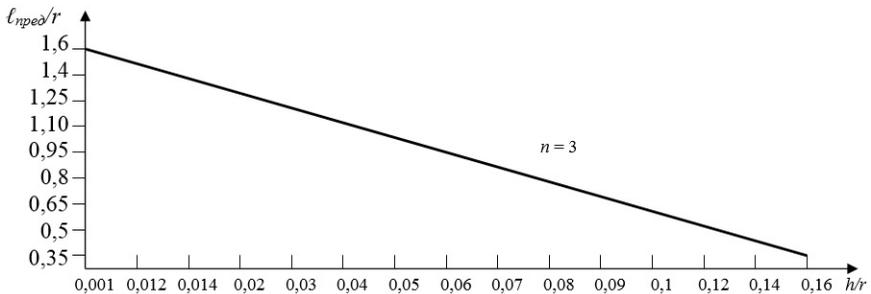


Рис. 6.1. Номограмма для определения $l_{\text{пред}}$

На рис. 6.2 представлена схема закрепления тонкостенного кольца в трехкулачковом патроне.

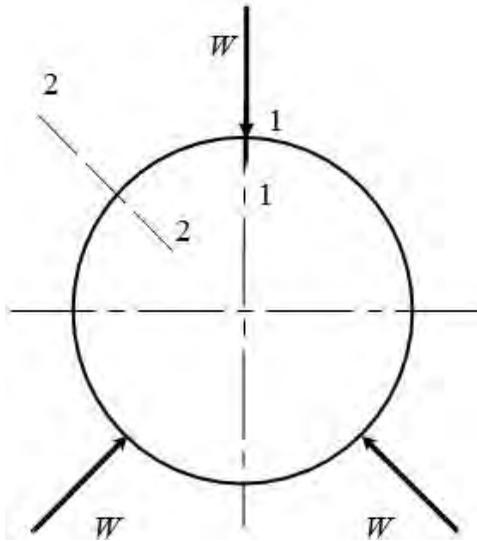


Рис. 6.2. Схема закрепления кольца в трехкулачковом патроне

Наибольший прогиб кольца в сечении рассчитывается по формуле

$$\delta_{1-1} = 0,016 \frac{Wr^3}{EI}, \quad (6.1)$$

где W – сила зажима от кулачка (для удобства расчета суммарная сила зажима отнесена к одному кулачку);

$r = (D + d)/4$ – радиус нейтральной окружности кольца;

E – модуль упругости материала кольца;

I – момент инерции поперечного сечения кольца относительно нейтральной оси:

$$I = \frac{bh^3}{12},$$

где b – высота кольца.

Наибольшее выпучивание в сечении 2–2 можно подсчитать по формуле

$$\delta_{2-2} = -0,014 \frac{Wr^3}{EI}. \quad (6.2)$$

Силу зажима от одного кулачка W можно определить из условия равновесия кольца:

$$kM_{\text{рез}} = WfD/2.$$

Отсюда

$$W = \frac{2kM_{\text{рез}}}{fD}, \quad (6.3)$$

где W – суммарная сила зажима, отнесенная к одному кулачку;

k – коэффициент запаса;

$M_{\text{рез}}$ – момент резания;

f – коэффициент трения между кольцом и кулачками: $f = 0,16-0,18$;

D – наружный диаметр кольца.

При закреплении тонкостенного кольца двумя призмами возникают погрешности формы, зависящие от силы прижима и угла призм. На рис. 6.3 представлена схема закрепления тонкостенного кольца двумя призмами с углом $\alpha = 90^\circ$.

Перемещения в сечениях 2–2, 3–3, 4–4 определяются следующим образом:

$$\delta_{2-2} = 0,005 \frac{Wr^3}{EI} \text{ – прогиб}; \quad (6.4)$$

$$\delta_{3-3} = 0,004 \frac{Wr^3}{EI} \text{ – прогиб}; \quad (6.5)$$

$$\delta_{4-4} = -0,012 \frac{Wr^3}{EI} \text{ – выпучивание}. \quad (6.6)$$

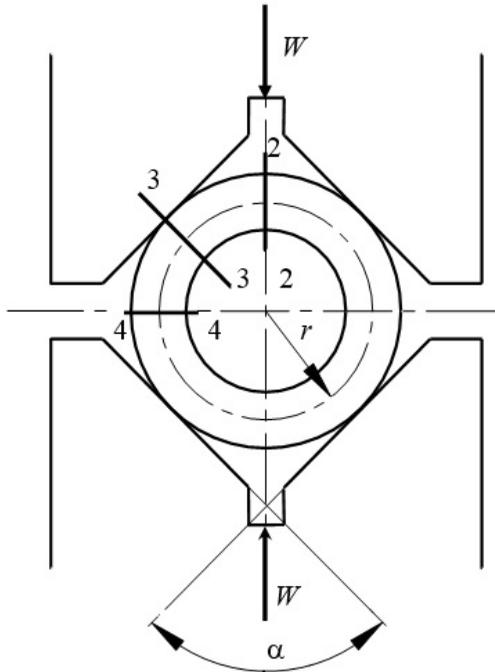


Рис. 6.3. Схема закрепления кольца в призму

Сила зажима детали в призмах определяется по формуле

$$W = kM_{\text{рез}}\sin\alpha / (fD), \quad (6.7)$$

где k – коэффициент запаса;

$M_{\text{рез}}$ – момент резания;

α – угол призмы;

f – коэффициент трения между кольцом и двумя самоцентрирующими призмами: $f = 0,16-0,18$;

D – наружный диаметр кольца.

Порядок выполнения работы

1. У выданных преподавателем тонкостенных колец определить наружный диаметр D , внутренний диаметр d и высоту h .

2. Пользуясь формулой (6.3), определить усилие зажима W от кулачков при растачивании кольца, закрепленного в трехкулачковом патроне, при следующих значениях момента резания:

а) $M = 0,15$ Н·м;

б) $M = 0,2$ Н·м;

в) $M = 0,25$ Н·м.

3. Определить наибольший прогиб и выпучивание кольца для каждого полученного усилия зажима W по формулам (6.1) и (6.2). Данные занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты измерений

№ детали	D , мм	d , мм	h , мм	$M_{рез}$, Н·м	Перемещение, мкм				Возможность закрепления
					теоретическое		практическое		
					1-1	2-2	1-1	2-2	

4. Для получения необходимого усилия зажима при различных моментах резания определить исходную силу Q , прикладываемую к рукоятке динамометрического ключа. Уравнение сил механизма патрона в общем виде

$$W = Q\eta_{п}i_1i_2i_3,$$

где i_1, i_2, i_3 – передаточные отношения сил рычажных и центрирующего клиноплунжерного механизмов. В нашем случае $i_1 = 16,4$; $i_2 = 0,89$; $i_3 = 6,65$.

КПД патрона определяется по формуле

$$\eta_{п} = \eta_{к.з}\eta_{к}\eta_{пп},$$

где $\eta_{п}$ – КПД патрона;

$\eta_{к.з} = 0,96$ – КПД конического зацепления;

$\eta_{к} = 0,153$ – КПД клиновой пары «спираль–рейка кулачка»;

$\eta_{пп} = 0,81$ – КПД поступательной пары «кулачок–направляющие корпуса патрона».

5. По тарировочному графику (рис. 6.4) определить показания индикатора динамометрического ключа для полученной исходной силы Q .

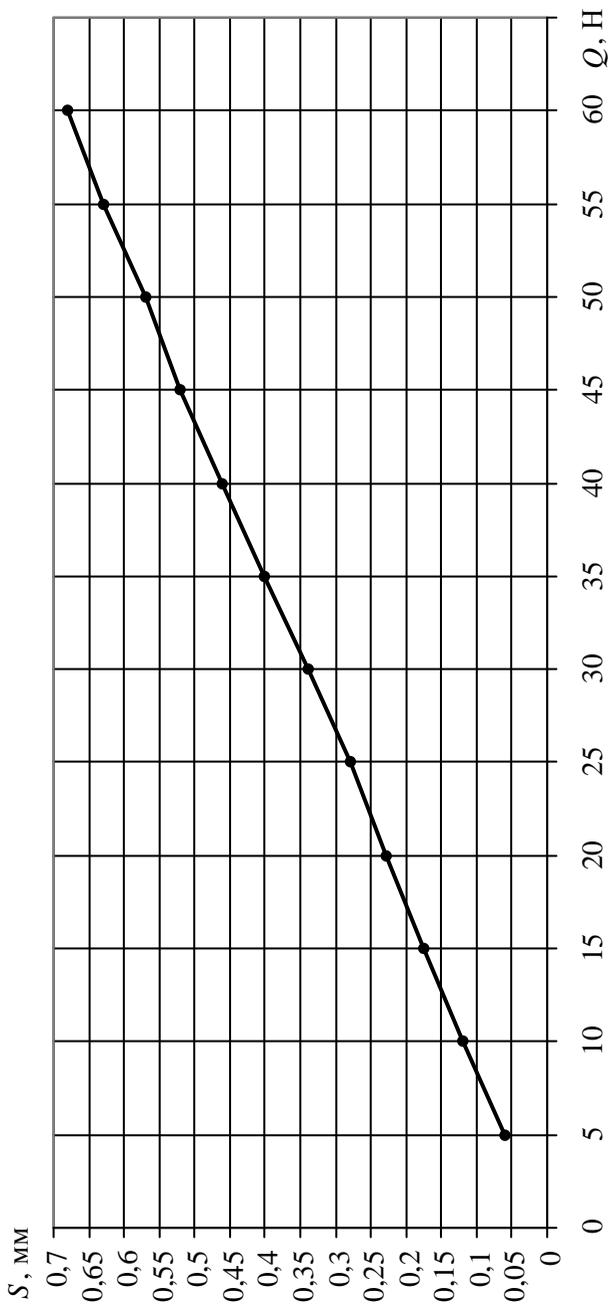


Рис. 6.4. Тарировочный график динамометрического ключа

6. Жазать кольцо в трехкулачковый патрон с исходной силой Q и измерить значение прогибов и выпучиваний (перемещений) в сечениях 1–1, 2–2 (см. рис. 6.2) по показаниям стрелки индикатора. Повторить опыт три раза для каждого найденного усилия зажима.

Данные занести в табл. 6.1.

7. Пользуясь формулой (6.7), определить усилие зажима W от призмы при растачивании кольца, закрепленного в призмах самоцентрирующего механизма, при следующих значениях момента резания:

а) $M_{рез} = 0,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

б) $M_{рез} = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

в) $M_{рез} = 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

8. Определить прогибы δ_{2-2} , δ_{3-3} и выпучивание δ_{4-4} для каждого полученного усилия зажима W по формулам (6.4), (6.5), (6.6).

Данные занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Результаты измерений

№ детали	D , мм	d , мм	h , мм	$M_{рез}$, Н·м	Перемещение, мкм						Возможность закрепления
					теоретическое			практическое			
					2–2	3–3	4–4	2–2	3–3	4–4	

В табл. 6.2 прогиб следует представлять в виде положительной, а выпучивание кольца – в виде отрицательной величины.

Значение модуля нормальной упругости для колец, изготовленных из стали 45 ГОСТ 1050–88, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

9. Определить исходную силу Q , прикладываемую к рукоятке динамометрического ключа, для получения необходимого усилия зажима при различных моментах резания. Сила зажима, развиваемая винтовым механизмом:

$$W = Q \frac{l}{r_{cp} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{пр})},$$

где $l = 160 \text{ мм}$ – длина рукоятки ключа;

$r_{cp} = 20 \text{ мм}$ – средний радиус резьбы;

$\alpha = 2-4^\circ$ – угол подъема резьбы;

$\varphi_{\text{пр}}$ – приведенный угол трения для метрической резьбы ($\varphi_{\text{пр}} = 6^\circ$).

10. См. п. 5.

11. Зажать кольцо в призмах и измерить значения прогибов и выпучиваний в сечениях 2–2, 3–3, 4–4. Повторить опыт три раза для каждого найденного усилия зажима.

Данные занести в табл. 6.2.

12. Определить возможность закрепления колец для полученных усилий зажима, если допустимая погрешность формы Δ не превышает 0,00001 м. При закреплении в трехкулачковом патроне погрешность формы заготовки

$$\Delta_{\phi} = (|\delta_1| + |\delta_2|),$$

а при закреплении в призмах

$$\Delta_{\phi} = (|\delta_2| + |\delta_4|).$$

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Инструмент и принадлежности к работе.
3. Эскиз зажимаемой детали.
4. Схемы закрепления детали.
5. Результаты измерений.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Зажимные механизмы. Классификация, особенности конструкции, требования, предъявляемые к ним.
2. От чего зависит усилие зажима детали в приспособлении?
3. Что учитывает коэффициент запаса?
4. От чего зависит и как определить:
 - наибольший прогиб?
 - наибольшее выпучивание?
 - погрешность формы детали от усилия зажима?
5. Как можно уменьшить деформации нежестких деталей при их обработке?

б. Самоцентрирующие зажимные механизмы с упругодеформируемыми элементами.

Литература

1. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений: учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 32–36.
2. Ансеров, М. А. Приспособления для металлорежущих станков / М. А. Ансеров. – М. : Машиностроение, 1966. – С. 73–77, 134–140.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия электростатических приспособлений и определение сил закрепления заготовок из различных материалов и с различной опорной поверхностью.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Приспособление электростатическое с блоком питания.
2. Регулятор напряжения.
3. Вольтметр.
4. Набор аттестованных грузов.
5. Штангенциркуль ШЦ-II с пределом измерений 0–160 мм и величиной отсчета по нониусу 0,05 мм.
6. Диэлектрическая палочка.
7. Неметаллический ножевой съемник.
8. Комплект деталей.

Основные сведения об электростатических приспособлениях

Хорошо известны и широко применяются в машиностроении магнитные и электромагнитные плиты, патроны и другая оснастка для закрепления стальных деталей, обладающих магнитными свой-

ствами. В приборостроении же, где большая часть деталей выполняется из цветных металлов и сплавов, где большинство деталей не жестки и требуется большая точность их изготовления, перспективными являются приспособления, в которых используются электростатические силы притяжения. Такие приспособления обеспечивают достаточно надежное закрепление деталей с равномерным нагружением по их опорной поверхности.

Электростатические крепежные устройства (ЭКУ) обладают рядом достоинств по сравнению с другими типами оснастки:

- высокой универсальностью. ЭКУ дает возможность крепить детали, выполненные как из магнитных, так и немагнитных металлов и сплавов, с самым разнообразным контуром опорной поверхности, с различными по конфигурации отверстиями и полостями. Благодаря тому, что электростатическая зажимная система основана на поверхностном эффекте, тонкие изделия крепятся на ЭКУ с тем же усилием, что и толстые;

- высокой точностью обработки при достаточно высокой производительности процесса. Это связано с равномерностью притяжения деталей по всей опорной поверхности приспособления и отсутствием у закрепленных деталей короблений и значительных упругих деформаций, иногда имеющих место даже при использовании полюсных магнитных приспособлений;

- отсутствием в обработанных на ЭКУ деталях остаточного магнетизма, благодаря чему не требуется введения в технологический процесс дополнительных операций по их размагничиванию;

- быстродействием операций закрепления и съема деталей, открывающим широкие возможности для автоматизации и механизации технологического процесса.

К недостаткам электростатических станочных приспособлений можно отнести следующее:

- так как глубина проникновения электростатического поля значительно меньше, чем магнитного, то детали с большой шероховатостью или неровной поверхностью не могут быть закреплены с достаточной силой. Снижает усилие закрепления и грязь, попадающая между деталью и рабочей поверхностью приспособления;

- невозможность использования для охлаждения при механической обработке стандартных СОЖ на водяной основе, которые способствуют пробое диэлектрического покрытия. В качестве СОЖ

при обработке на ЭКУ рекомендуется использовать только диэлектрические жидкости, например, трансформаторное масло, что требует дополнительных расходов.

Электростатическое крепежное устройство представляет собой прибор, непосредственно преобразующий энергию электростатического поля в механическую силу притяжения. Наиболее простым ЭКУ является конденсатор, у которого сила притяжения обкладок друг к другу незначительна и согласно закону Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_1\epsilon_0} \cdot \frac{q_1q_2}{r^2},$$

где q_1, q_2 – электрические заряды на обкладках конденсатора;

ϵ_1, ϵ_0 – диэлектрические проницаемости окружающей среды и вакуума;

r – расстояние между зарядами.

В современном приборостроении ЭКУ получили применение главным образом в качестве электростатических плит или планшайб для закрепления деталей из немагнитных металлов и неметаллических материалов при их механической обработке (фрезеровании, точении, шлифовании, полировании). Усилие притяжения в них возникает между деталью и полупроводящей плитой с нанесенной на нее диэлектрической пленкой при наличии между ними разности потенциалов. Контактная поверхность закрепляемых деталей должна быть чистой, свободной от загрязнения, заусенцев и вмятин. Неплоскостность должна быть не более 0,1 мм. Неметаллические детали, например из стекла, пластмассы, керамики, требуют нанесения токопроводящего слоя на базовую поверхность контакта.

Электростатическое приспособление состоит из корпуса 1 (рис. 7.1), в котором размещено полупроводящее тело 2, изолированное с боковых сторон изолирующим компаундом 3, а снизу – фольгированным стеклотекстолитом 4, служащим одновременно для передачи отрицательного заряда от блока питания 5 к полупроводящему телу. На поверхности полупроводящего тела нанесено диэлектрическое покрытие 6, на котором размещаются закрепляемые детали 7, соединенные посредством контактного угольника 8 с положительным зарядом блока питания 5.

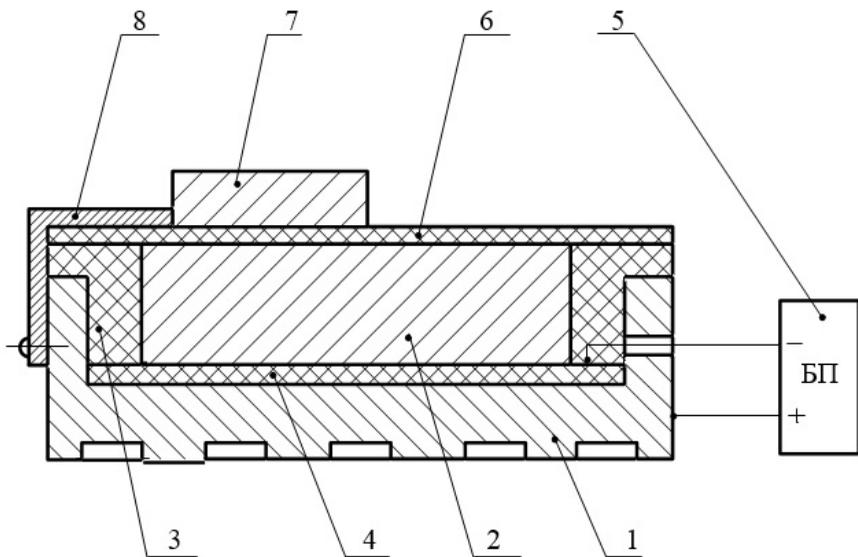


Рис. 7.1. Схема электростатической плиты

Принцип действия электростатической плиты основан на взаимодействии разноименно заряженных тел (закон Кулона).

Отрицательный заряд, скапливаясь в полупроводящем теле, вызывает переориентацию диэлектрических частиц покрытия, в результате чего деталь, закрепленная положительным зарядом, взаимодействует с концами диполей покрытия и притягивается к покрытию с усилием

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{уд}} S_{\text{ак}} K_{\text{н}} K_{\text{з}};$$

где $F_{\text{уд}}$ – удельная сила притяжения электростатической плитой единичного электрода площадью 1 см^2 , $\text{кгс}/\text{см}^2$;

$S_{\text{ак}}$ – активная площадь притяжения детали, см^2 ;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент неплоскостности поверхности;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент заполнения деталями рабочей поверхности плиты.

Значения коэффициента неплоскостности поверхности представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Коэффициент неплоскостности поверхности

Величина неплоскостности, мм	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
K_n	1	1	0,9	0,7	0,5	0,3

Значения коэффициента заполнения деталями представлены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Коэффициент заполнения деталями плиты

Заполнение деталями поверхности плиты	До 30 %	До 50 %	До 70 %	До 90 %
K_z	0,85	0,75	0,70	0,65

В общем случае удельная сила притяжения определяется зависимостью

$$F_{уд} = \frac{\varepsilon U^2}{8\pi d}, \quad (7.1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость покрытия;

U – разность потенциалов;

d – толщина диэлектрического покрытия.

Анализ формулы (7.1) показывает, что теоретически достижимы сколь угодно большие усилия притяжения, для чего необходимо увеличить значения ε , U и уменьшить толщину диэлектрического слоя d . Однако на практике максимальное усилие притяжения ограничивается электрической прочностью диэлектрического покрытия.

Надежность закрепления деталей на ЭКУ определяется в первую очередь его тяговыми характеристиками, при этом большое влияние на качество обработки оказывает коэффициент трения деталей по диэлектрическому покрытию, определяющий возможность микросдвигов.

Усилие притяжения в ЭКУ чаще всего определяют путем замера силы отрыва закрепляемой детали, действующей нормально к плоскости притяжения устройства. Вполне допустим также и косвенный метод определения усилия притяжения ЭКУ, заключающийся в за-

мере усилия сдвига деталей, т. е. при сдвиге детали за счет касательных усилий. В этом случае

$$F_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{сдвига}}}{f},$$

где f – коэффициент трения деталей по поверхности ЭКУ, который определяется экспериментально путем нагружения деталей нормальной нагрузкой с последующим сдвигом.

Следует отметить, что коэффициент трения, замеренный на обесчеченном приспособлении, несколько отличается от коэффициента трения во время работы ЭКУ вследствие изменения механических характеристик диэлектрического покрытия под влиянием электростатического поля, что приводит к погрешностям в определении удельных усилий притяжения ЭКУ.

С другой стороны, прямой метод измерения при малейшем смещении прилагаемых отрывающих усилий относительно центра детали приводит к неравномерному отрыву, к появлению опрокидывающего момента и, как следствие этого, к значительному снижению регистрируемых данных по сравнению с истинными значениями.

Для ЭКУ, предназначенных для механической обработки деталей, определяющим является усилие сдвига, так как усилие резания направлено преимущественно по касательной к рабочей поверхности приспособления.

Схема лабораторной установки для выполнения лабораторной работы представлена на рис. 7.2.

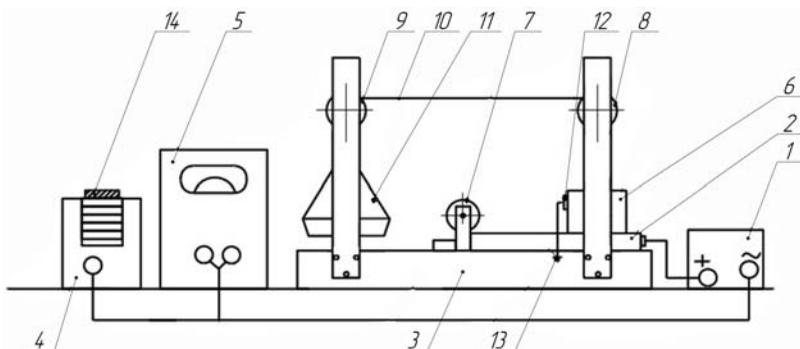


Рис. 7.2. Схема лабораторной установки

Установка состоит из высоковольтного блока питания 1, электростатической плиты 2, которая закреплена на основании 3, регулятора входного напряжения 4 и показывающего прибора (вольтметра) 5. На плиту устанавливается закрепляемая деталь 6, которая через проводник 12 и клемму 13 электрически соединяется с плитой 2. На основании 3 установлены кронштейны с блоками 7, 8 и 9. Один конец тросика 10, перекинутого через блоки, прикреплен к детали 6, а другой – к платформе 11, на которую помещаются аттестованные грузы (рис. 7.3).

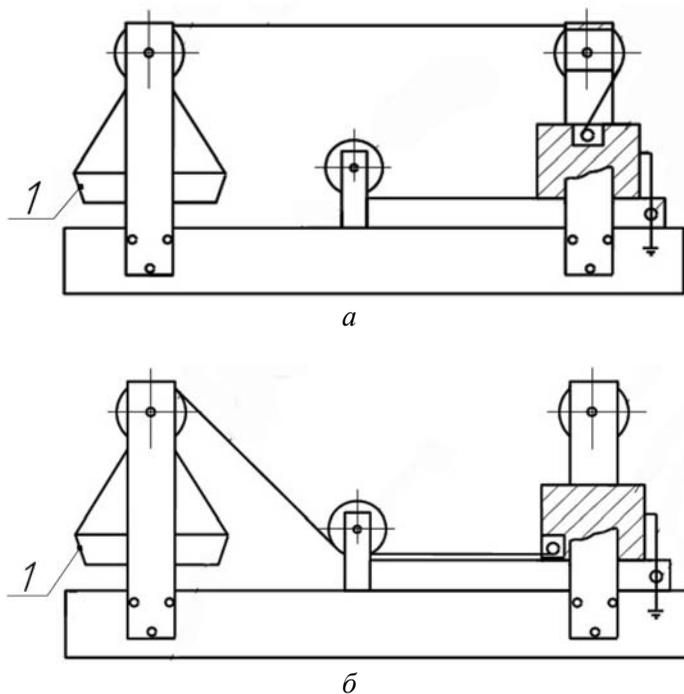


Рис. 7.3. Схемы определения усилия притяжения (а) и усилия сдвига (б) детали

Используя трособлочную систему, можно реализовать две схемы измерений. На рис. 7.3, а представлена схема определения усилия притяжения деталей, а на рис. 7.3, б – усилие сдвига.

Требования техники безопасности

1. К работе на электростатическом станочном приспособлении допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и изучившие данную инструкцию.

2. Блок питания и плата ЭКУ должны быть надежно заземлены.

3. Запрещается работать на электростатических приспособлениях, имеющих повреждения высоковольтного кабеля или сквозные (до полупроводящего тела) повреждения диэлектрического покрытия.

4. Запрещается голыми руками определять степень закрепления деталей на приспособлении. Проверку закрепления деталей следует производить путем приложения сдвигающих усилий в пределах 5 кгс/см^2 (0,5 МПа) посредством диэлектрической палочки.

5. При загорании сигнальной лампочки «Перегрузка» на блоке питания работу прекратить, выключив тумблер «Сеть». Для выявления и устранения неполадок обратиться к инженеру или преподавателю.

6. Запрещается вскрывать блок питания.

7. Высоковольтные соединения должны быть полностью затянуты соединительными гайками, законтрены, и в процессе работы они не должны давать искрения.

Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы проверить приспособление на отсутствие на его покрытии внешних механических повреждений, забоин, складок и т. д., препятствующих установке деталей.

Если будут обнаружены участки с оголенным полупроводящим телом, то об этом следует немедленно сообщить инженеру или преподавателю. Работать с таким приспособлением запрещается (см. п. 3 требований безопасности).

2. Перед установкой деталей поверхность диэлектрического покрытия протереть салфеткой.

3. Закрепляемые детали должны быть очищены от грязи, стружки, обезжирены и не иметь заусенцев.

4. Последовательно измерить все предложенные детали и определить площадь опорной поверхности каждой из них. Полученные данные занести в табл. 7.3.

Результаты измерений

№ п/п	Материал детали	Площадь опорной поверхности $S_{ак}, М^2$	Усилие притяжения детали $F_{пр}, Н$				Усилие сдвига детали $F_{сдвига}, Н$				При-ме-чание
			№ опыта			Среднее значение	№ опыта			Среднее значение	
			1	2	3	$\frac{\sum n}{n}$	1	2	3	$\frac{\sum n}{n}$	

5. Получить экспериментальные данные, необходимые для построения графика зависимости усилия притяжения детали от площади опорной поверхности. С этой целью:

а) в порядке возрастания площади опорной поверхности подобрать детали из одного материала;

б) собрать установку, как показано на рис. 7.3, а;

в) по показывающему прибору 5 с помощью рукоятки регулятора 14 (см. рис. 7.2) установить заданное напряжение питания $U = 200 В$;

г) закрепление подобранных деталей на приспособлении производить при отключенном положении тумблера высокого напряжения блока питания. Детали установить на опорной поверхности, прижимая их усилием не менее 50 Н, одновременно приводя в соприкосновение с контактной пленкой;

д) включить рабочее напряжение и проконтролировать включение с помощью индикаторной лампочки, установленной на блоке питания;

е) проверить закрепление деталей на приспособлении при помощи диэлектрической палочки и, пытаясь сдвинуть, определить надежность их контакта;

ж) при искрении контактных соединений необходимо выключить рабочее напряжение, устранить зазор, произвести включение и повторную проверку;

и) нагружая платформу 1 (см. рис. 7.3, а) аттестованными грузами, определить момент отрыва детали от поверхности плиты. Результат записать в табл. 7.3;

к) отключить рабочее напряжение на блоке питания, разгрузить платформу 1 и опустить деталь на поверхность электростатической плиты;

л) повторить действия, изложенные в п. 5, *г–5, к* для каждой подобранной детали. Полученные данные занести в табл. 7.3;

м) построить график зависимости $F_{\text{пр}} = f(S_{\text{ак}})$ для различных материалов (по указанию преподавателя).

6. Получить экспериментальные данные, необходимые для построения графика зависимости усилия сдвига детали от площади опорной поверхности. С этой целью:

а) собрать установку, как показано на рис. 7.3, *б*;

б) последовательно выполнить действия, изложенные в п. 5, *а, 5, в–5, ж*;

в) нагружая платформу 1 (см. рис. 7.3, *б*) аттестованными грузами, определить момент начала движения детали по поверхности электростатической плиты. Результаты записать в табл. 7.3;

г) отключить рабочее напряжение на блоке питания, разгрузить платформу 1, затем повторить действия по п. 5, *г–5, е, 6, в* по три раза для каждой подобранной детали. Полученные данные занести в табл. 7.3. Деталь отделять от плиты с помощью неметаллического ножа-съемника;

д) построить график зависимости $F_{\text{сдвига}} = f(S_{\text{ак}})$ для различных материалов (по указанию преподавателя).

7. Получить экспериментальные данные, необходимые для построения графика зависимости усилия притяжения детали от питающего напряжения. С этой целью:

а) собрать установку, как показано на рис. 7.3, *а*;

б) по показывающему прибору 5 (см. рис. 7.2) установить требуемое напряжение питания $U_{\text{пит}} = 200 \text{ В}$;

в) установить деталь на приспособлении, выполнив действия, описанные в п. 5, *г–5, к*;

г) изменяя (уменьшая) с заданным шагом напряжение питания (например, через $\Delta U = 20 \text{ В}$), определить усилие притяжения детали для каждого значения $U_{\text{пит}}$. Эксперимент повторить по три раза. Полученные данные занести в табл. 7.4;

д) построить график зависимости $F_{\text{пр}} = f(U_{\text{пит}})$.

Результаты измерений

Напряжение питания, В	Усилие притяжения детали $F_{пр}$, Н			Среднее значение $F_{пр}$, Н	Примечание
	1	2	3		

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Схемы измерений.
4. Таблицы с результатами измерений и графики зависимостей

$$F_{пр} = f(S_{ак});$$

$$F_{сдвига} = f(S_{ак});$$

$$F = f(U_{пит}).$$

Контрольные вопросы

1. Электростатические приспособления. Достоинства и недостатки. Особенности конструкций.
2. Принцип действия электростатических приспособлений.
3. От чего зависят усилие притяжения и усилие сдвига в электростатической плите?
4. Как изменяется усилие притяжения в зависимости от неплоскостности детали и коэффициента заполнения деталями рабочей поверхности плиты?

Литература

Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 134–139.

Лабораторная работа № 8

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Цель работы: изучить методы базирования и методики выполнения измерений отклонений формы и расположения поверхностей, радиального и торцевого биений деталей типа тел вращения.

Инструменты и принадлежности к работе

1. Прибор ПБ-250.
2. Стойка ГОСТ 10197–70.
3. Индикатор часового типа ИЧ-10 (или 2МИГ).
4. Набор призм с углом 120° .
5. Специальное приспособление.
6. Комплект чертежей деталей.
7. Набор деталей.

Основные теоретические сведения

В современном приборостроении контроль качества изделий весьма важен, в особенности велика роль контроля при производстве изделий по принципу полной взаимозаменяемости. Применение универсальных измерительных инструментов и калибров малопроизводительно, не всегда обеспечивает нужную точность и удобство контроля, а в условиях поточно-автоматизированного производства вообще неприемлемо.

Контрольные приспособления применяются для проверки заготовок, деталей и узлов машин, а также повышают производительность труда контролеров, улучшают условия их работы, повышают качество и объективность контроля.

Приспособления для проверки деталей применяют на промежуточных этапах обработки (межоперационный контроль) и для окончательной приемки, выявляя точность размеров, взаимного положения поверхностей и правильность их геометрической формы.

Высокую точность современных приборов и машин обуславливают использование в контрольных приспособлениях измерителей

высокой чувствительности и важность правильного выбора принципиальной схемы и конструкции приспособления.

Для проверки небольших и средних деталей применяют стационарные контрольные приспособления, а для крупных – переносные. Наряду с одномерными широкое применение находят многомерные приспособления, где за одну установку проверяют несколько параметров.

Контрольные приспособления делят на пассивные и активные. Пассивные применяют после выполнения операций обработки. Активные устанавливают на станках. Эти приспособления контролируют детали в процессе обработки, давая сигнал на органы станка или рабочему на прекращение обработки или изменение условий ее выполнения.

Контрольные приспособления, обычные и автоматические, должны обеспечивать заданную точность и производительность контроля, быть удобными в эксплуатации, простыми в изготовлении, надежными при длительной работе и экономичными.

Для снижения себестоимости изготовления контрольных приспособлений используются методы проектирования и сборки их из типовых деталей и узлов (комплект универсально-сборных контрольных приспособлений).

В частности, этот метод практикуют при создании контрольных приспособлений для контроля параметров цилиндрических деталей (тел вращения).

Рассмотрим основные отклонения формы и расположения поверхностей, присущих цилиндрическим деталям.

Отклонения формы цилиндрических поверхностей

В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих прямых, поверхностей, профилей.

Прилегающая прямая – прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

Прилегающая окружность – окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения.

Прилегающая плоскость – плоскость, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

Среди разновидностей отклонения формы цилиндрических поверхностей различают отклонение от круглости, отклонение от профиля продольного сечения и отклонение от цилиндричности.

Отклонение от круглости – наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 8.1).

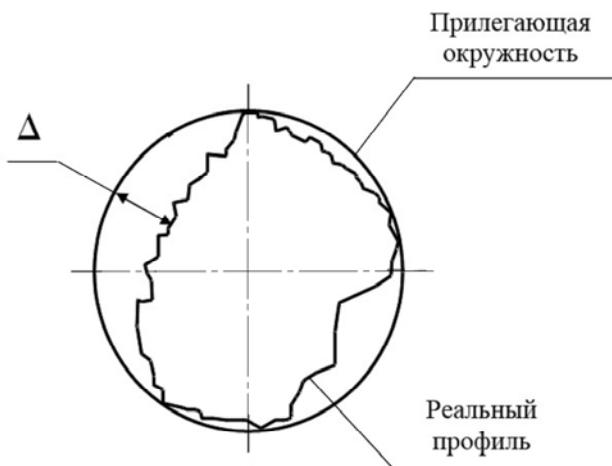


Рис. 8.1. Отклонение от круглости

Частными видами отклонения от круглости являются:

овальность – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях;

огранка – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Огранка может быть с четным и нечетным числом граней. Огранка с нечетным числом граней характеризуется равенством диаметра d (рис. 8.2).

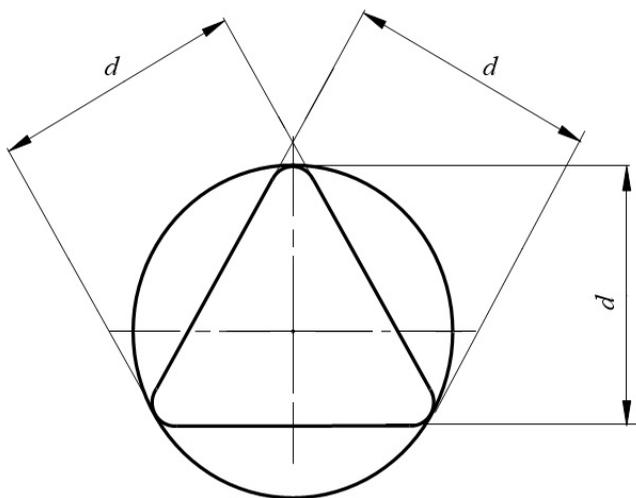


Рис. 8.2. Нечетная огранка

Овальность детали возникает, например, вследствие биения шпинделя токарного или шлифовального станка, дисбаланса или других причин.

Появление огранки вызвано изменением положения мгновенного центра вращения детали, например при бесцентровом шлифовании.

Отклонение от профиля продольного сечения – наибольшее расстояние Δ от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка L (рис. 8.5, в).

Частными видами отклонения от профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность, седлообразность и изогнутость оси.

Отклонение от цилиндричности – наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка L .

Контроль круглости цилиндрических поверхностей

Для определения отклонения от круглости необходима *материальная база* – идеальная окружность, от которой как от прилегающего профиля должны отсчитываться измеряемые отклонения. Для

вала такой базой может быть разрезное кольцо с отсчетной головкой. Внутренний диаметр кольца выполнен (регулируется) по диаметру вала. Надетое на вал кольцо поворачивается относительно его оси, и отсчетное устройство фиксирует некруглость поверхности вала.

Практически во всех приборах для измерения отклонений от круглости заложен прямой или разностный (косвенный) метод измерения.

Прямой метод измерения

На этом методе построены схемы приборов, которые обеспечивают сравнение измеряемого сечения с поверхностью образцового круга или с траекторией прецизионного вращения. К первому из этих вариантов относится способ, основанный на дифференциальной схеме измерения. Если на торце вала закрепить образцовое кольцо, отклонением формы которого можно пренебречь, и в контакт с измеряемым сечением вала и с образцовым кольцом ввести два преобразователя линейных перемещений, включенных в дифференциальную схему, то при вращении вала вместе с кольцом сигналы от обоих преобразователей подаются через усилители в блок управления, а результирующий сигнал (пропорциональный их разности) поступает на показывающий прибор.

На результаты измерения значительное влияние оказывает биелине измеряемой поверхности относительно базовой, поэтому расстояние между ними должно быть как можно меньше (чтобы не сказались изогнутость оси вала) и кольцо при его установке необходимо тщательно выверять относительно вала. Этот метод экономически целесообразен только для коротких валов.

Второй вариант прямого метода измерения (с траекторией прецизионного вращения) применяется во многих кругломерах отечественного и зарубежного производства, в основе которого лежит одна из конструктивных схем: с прецизионным вращением измерительного преобразователя или измеряемой детали.

Кругломеры обоих типов оснащаются различными приспособлениями, обеспечивающими центрирование детали, расширяющими сферу применения приборов и ускоряющими обработку профилотрамм.

С помощью прямого метода контроля круглости измеряются отклонения формы валов в центрах. Возникающие при этом погреш-

ности обусловлены значительными погрешностями траекторий вращения центров металлорежущих станков вследствие неточности подшипников и износа шпинделей, погрешностями формы центральных отверстий валов и их расположением. Это приводит к нарушению теоретических условий контакта – вместо контакта по коническим поверхностям возникает контакт по кромкам в отдельных точках сечения отверстия.

При обработке такого вала его ось «плавает» в пространстве, на поверхности возникают значительные отклонения формы, а отсчетная головка, введенная в контакт с поверхностью, показывает суммарное отклонение формы, имеют место биение относительно геометрической оси вала, биение центров станка, причем вдоль оси вала результаты измерения будут различны. При установке вала на другой станок или при его переустановке условие контакта центра с отверстием будет меняться и соответственно будут меняться показания измерительного прибора, поэтому измерение в центрах допустимо лишь для ориентировочной оценки отклонений формы, причем для поверхностей невысокой точности.

Разностный метод измерений

Этот метод осуществляется с помощью двух- и трехконтактных устройств. Применение двухконтактных приборов (микрометр, штангенциркуль, индикаторная скоба) возможно только при овальности или четной огранке (четырёх-, шести- и восьмигранными и т. д.). При этом необходимо плавно поворачивать деталь не менее чем на 180° , чтобы выявить максимальный и минимальный диаметры. Отклонение будет равно полуразности этих диаметров. Если же измерять деталь в двух взаимно перпендикулярных направлениях без вращения, как это обычно делается на производстве, то в зависимости от случайно выбранного направления измерения овальность или четная огранка могут быть измерены полностью, частично или вообще не обнаружены. Первый случай имеет место при совпадении направлений измерений с максимальным и минимальным диаметрами, третий – при измерении под углом 45° к наибольшему диаметру, второй – при всех остальных направлениях измерения. Схема контроля овальности в призме представлена на рис. 8.3.

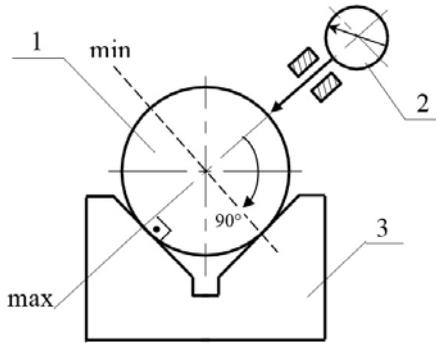


Рис. 8.3. Схема измерения овальности:
 1 – проверяемая деталь; 2 – измерительная головка; 3 – призма

Огранка с нечетным числом граней не может быть измерена двух-контактными приборами, ибо как не поворачивать деталь вокруг оси или двухконтактный прибор вокруг детали, он будет фиксировать один диаметр без отклонений. Для контроля нечетной огранки используется трехточечный способ измерения деталей. Простейшим вариантом является призма, на которую опирается вращающийся вал с измерительным прибором, наконечник которого направлен по биссектрисе угла призмы (рис. 8.4, *a*) или параллельно одной из ее граней (рис. 8.4, *б*). В зависимости от фактического числа граней и значения некруглости ось вала, вращающегося в призме, «плавает», что вносит погрешность в результат измерений.

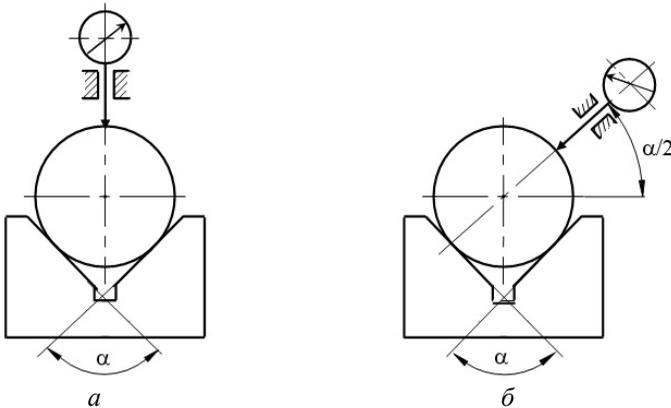


Рис. 8.4. Схема измерения огранки с нечетным числом граней:
 а – симметричное устройство; б – несимметричное устройство

Наиболее популярным вариантом трехточечного устройства является седлообразный прибор, представляющий собой призму с измерительным устройством, наконечник которого направлен по биссектрисе угла призмы (рис. 8.4, а). Значения коэффициента воспроизведения седлообразного прибора в зависимости от угла призмы и количества граней приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Коэффициенты воспроизведения призм при контроле огранки

Угол призмы, градус	Число граней							
	2	3	4	5	6	7	8	9
60	2	3	2	0	-1	0	2	3
90	1	2	2,41	2	1	0	-0,41	0
120	0,42	1	1,58	2	2,15	2	1,58	1

Отрицательные значения коэффициентов воспроизведения показывают, что положительные отклонения (выступы) отсчитываются по шкале прибора от нуля против часовой стрелки.

Так как не существует оптимального угла для всех многогранников, создан ряд конструкций призм с переменными углами. В частности, в ФРГ выпускаются шариковые призмы, в которых имеются четыре шарика в виде двух пар точечных контактов с валом, который укладывают посередине. Измерительная головка, закрепленная на отдельной стойке, вводится в контакт с валом, который вращается от руки. Меняя мерные прокладки, разделяющие шарики, шарики можно попарно сдвигать и раздвигать, меняя угол раствора призмы, таким образом в одной шариковой призме можно измерять различные типы огранки, используя два угла раствора, для чего призму поворачивают на 90°. Конструкция шариковых блоков позволяет измерять форму валов в диапазоне от 1 до 250 мм. Кроме того, в случае износа шарики могут поворачиваться, и в контакт с измеряемой деталью вступают другие элементы их поверхностей, что значительно повышает срок службы шариковых призм по сравнению с обычными.

Рассмотренные приборы удобны для измерения формы сечений, представляющих собой геометрически правильную форму. Однако профиль реального сечения вала представляет собой сумму наложенных друг на друга гармоник (огранок), отличающихся периода-

ми, фазами, амплитудами. Последовательное измерение некруглости такой детали с помощью двух- и трехконтактных устройств с различными углами, последующее определение коэффициента воспроизведения и высчитывание амплитуд каждой гармоники представляют собой весьма трудоемкий процесс.

Определение отклонения профиля продольного сечения

Отклонение профиля продольного сечения определяют путем измерения отклонения от прямолинейности образующей контролируемой детали. Для этого при одной установке детали записывают профилограммы обеих образующих, принадлежащих одному продольному сечению. На записанных профилограммах проводят прилегающий профиль (пару параллельных прямых) и от сторон последнего в перпендикулярном направлении определяют наибольшее отклонение точек профилограмм. Полученная величина с учетом масштаба увеличения характеризует отклонение профиля продольного сечения (рис. 8.5).

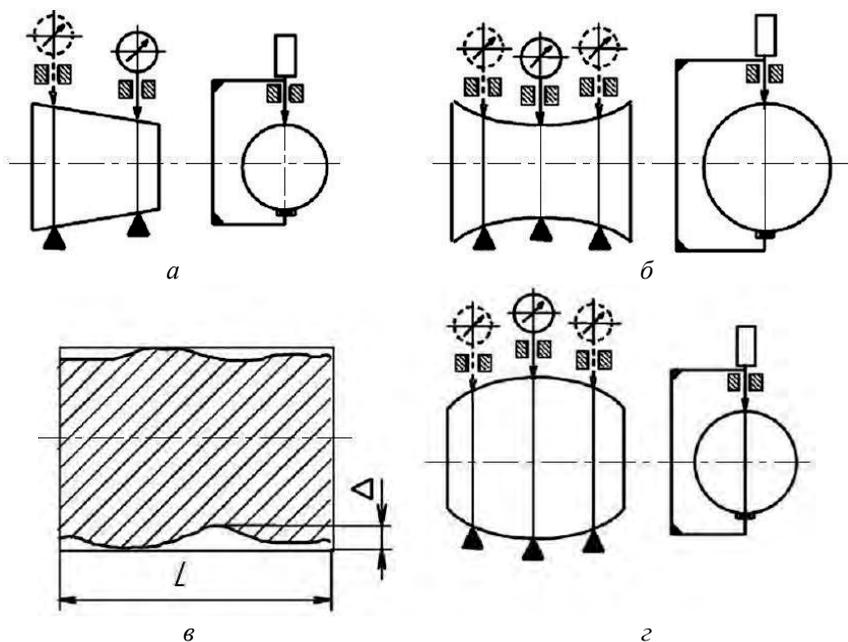


Рис. 8.5. Отклонение профиля продольного сечения (в) и схемы измерения конусообразности (а), седлообразности (б) и бочкообразности (в)

При отсутствии изогнутости оси отклонение профиля продольного сечения определяют как полуразность наибольшего и наименьшего диаметров сечений, измеренных двухконтактным прибором.

Конусообразность, бочкообразность и седлообразность измеряют двухконтактными приборами (см. рис. 8.5).

Измерение изогнутости оси показано на рис. 8.6. При измерении по первой схеме (рис. 8.6, а) изогнутость равна размаху показаний измерительной головки, а при измерении по второй схеме (рис. 8.6, б) – половине размаха колебаний.

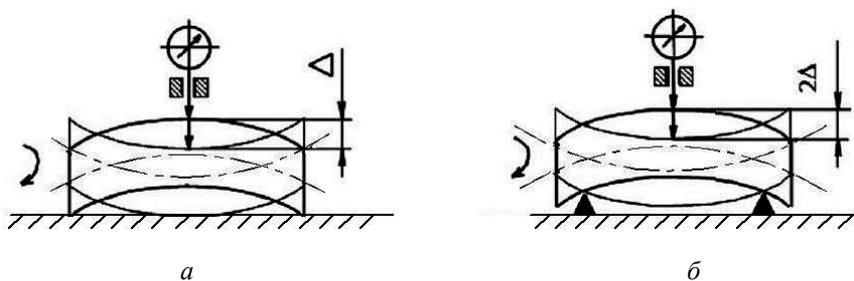


Рис. 8.6. Схемы измерения изогнутости оси: на плите (а) и на ножевых опорах (б)

Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей

Радиальное биение поверхности вращения определяется суммарным отклонением от круглости поверхности и отклонением от соосности относительно базовой оси. Оно равно разности наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 8.7).

Полное радиальное биение относится только к поверхностям с номинальной цилиндрической формой; определяется разностью наибольших и наименьших расстояний от всех точек реальной поверхности вращения до базовой оси в пределах нормируемого участка и является результатом совместного проявления отклонения от цилиндричности и отклонения от соосности рассматриваемой поверхности относительно базовой оси.

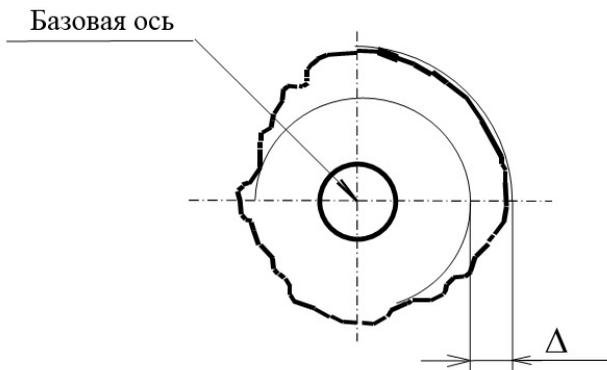


Рис. 8.7. Радиальное биение

Поле допуска – область в пространстве, ограниченная двумя цилиндрами, оси которых совпадают с базовой осью.

Полное торцевое биение относится только к торцевым поверхностям с номинальной плоской формой; определяется разностью наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси; является результатом совместного проявления отклонения от плоскостности и отклонения от перпендикулярности рассматриваемой поверхности относительно базовой оси.

Поле допуска – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными базовой оси.

Торцевое биение – разность между наибольшим и наименьшим расстоянием от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Профиль расположен в сечении торцевой поверхности цилиндром заданного диаметра, соосным с базовой осью (рис. 8.8), а если диаметр не задан – то в сечении любого, в том числе и наибольшего, диаметра. Торцевое биение является результатом совместного проявления отклонения от общей плоскости точек, расположенных на линии пересечения торцевой поверхности с секущим цилиндром (непрямолинейность), и отклонения от перпендикулярности торца относительно базовой оси на длине, равной диаметру рассматриваемого сечения.

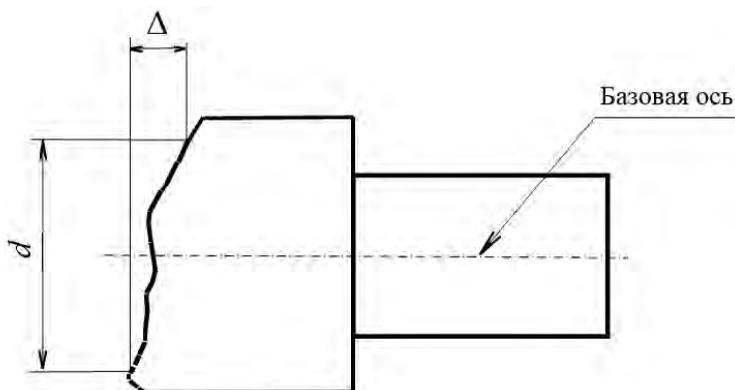


Рис. 8.8. Торцевое биение

Поле допуска – область на боковой поверхности секущего цилиндра, ограниченная двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными базовой оси.

Измерение радиального и торцевого биений

Материализация оси базовой поверхности может осуществляться аппаратурно или аналитически. Аппаратурная реализация предусматривает вращение детали, закрепленной за базовую поверхность, в самоцентрирующем патроне либо (если базой является общая ось двух поверхностей) вращение детали, установленной базирующими поверхностями на призмы. В случае если радиальное биение базовых поверхностей относительно оси центров детали пренебрежимо мало, в качестве измерительной базы можно использовать ось центров.

Аналитическая реализация оси базовой поверхности предусматривает использование тех же базирующих устройств, но с учетом погрешностей, возникающих из-за неправильности формы базовых поверхностей или из-за несовпадения конструкторских и измерительных баз.

При установке детали на две измерительные призмы б (рис. 8.9) на плите ось детали должна быть параллельна поверхности плиты. Это достигается установкой призмы на измерительные прокладки (в случае необходимости) и контролируется с помощью показывающего прибора 4 на стойке 2 по ординатам крайних точек образу-

щих базовых 5 или контролируемых 3 поверхностей, которые для одной поверхности и для поверхности равных диаметров должны быть одинаковы. Один из торцов контролируемой детали должен устанавливаться в жесткий упор 1 с контактом через шарик 7 в точке на оси вращения детали, чтобы исключить влияние биения этого торца на результат измерений.

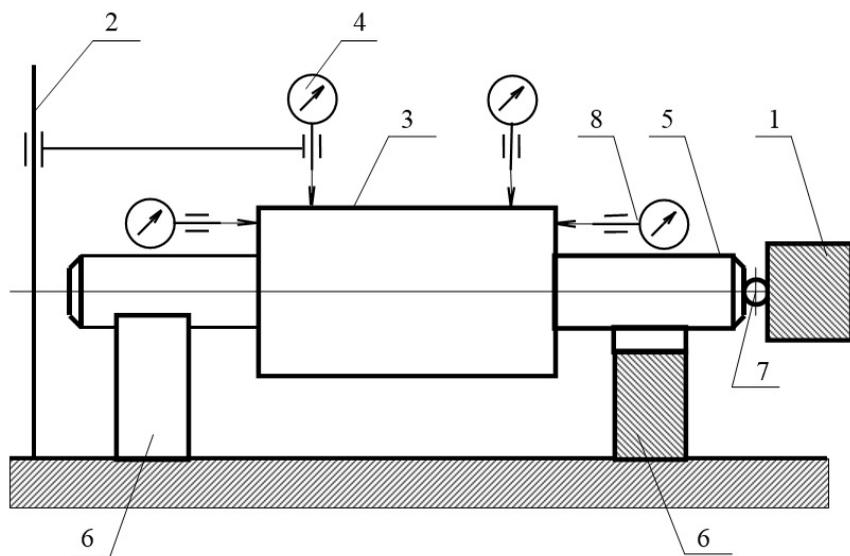


Рис. 8.9. Контроль детали в двух призмах

Для контроля радиального биения поверхности измерительная головка 4 устанавливается так, чтобы линия измерения совпадала с направлением радиуса контролируемой поверхности, и настраивается на ноль по произвольной точке поверхности. Записи подлежит модуль максимальной алгебраической разности показаний в каждом контролируемом сечении за полный оборот детали. Необходимое число сечений должно обеспечивать выявление наибольшего значения радиального биения.

Для контроля торцевого биения измерительная головка 8 устанавливается так, чтобы линия измерения проходила параллельно оси базовой поверхности (поверхностей), а точка контроля находилась на предписанном радиусе. Если этот радиус не оговорен, конт-

роль ведут максимально близко к периферии, настолько отступив от края, чтобы фаски, «завалы» края и другие возможные дефекты не оказали существенного влияния на результат. Настройка на ноль осуществляется по произвольной точке поверхности, искомое числовое значение биения определяют как модуль алгебраической разности показаний за полный оборот детали.

Обозначения баз

Базы обозначаются зачерненным равнобедренным треугольником, который соединяют с рамкой допуска (рис. 8.10, а). В случаях когда простым и наглядным образом треугольник соединить с рамкой допуска невозможно, базу обозначают прописной буквой в отдельной рамке и ту же букву вписывают в третье поле рамки допуска (рис. 8.10, б).

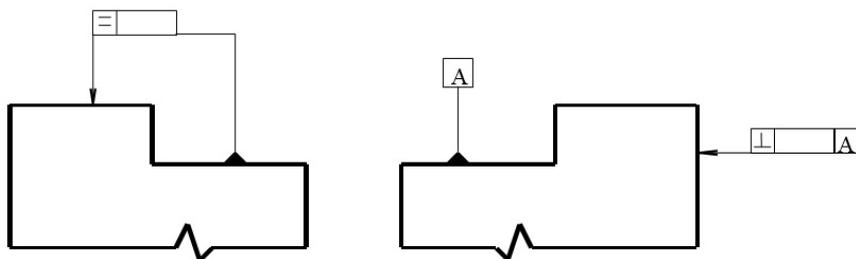


Рис. 8.10. Обозначение баз на чертежах

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя чертеж контролируемой детали.
2. Проанализировать требования, предъявляемые к данной детали с точки зрения точности размеров, допусков формы и расположения поверхностей. Примеры обозначения допусков формы и расположения поверхностей приведены в приложении.
3. На основе этого анализа выбрать схему базирования и средства измерения.
4. Вычертить схему контрольного приспособления и собрать его.
5. Произвести измерения контролируемых параметров и их значения сравнить с допускаемыми.

6. Оформить отчет. Результаты измерений контролируемых параметров могут быть представлены в виде табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты измерений

Параметры	Контролируемые параметры			
Численное значение контролируемого параметра, мкм				
Допускаемое значение контролируемого параметра, мкм				

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Эскиз контролируемой детали.
4. Схемы контрольных приспособлений.
5. Схемы измерений.
6. Таблицы с результатами измерений.
7. Заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
8. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Контрольные приспособления. Назначение и область применения.
2. Отклонения формы цилиндрических поверхностей и методы их контроля:
 - отклонение от круглости и частные виды ее проявления;
 - отклонение профиля продольного сечения и частные случаи его проявления.
3. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей и методы их контроля.
4. Способы обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертежах.

Литература

1. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
2. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений : учеб. для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – С. 235–249.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Классификация допусков формы и расположения по ГОСТ 24642–81 и условные знаки допусков по ГОСТ 2.308–79

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуск прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	
	Допуск круглости	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	
Допуски расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения	
	Допуск торцевого биения	
	Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального биения	
	Допуск полного торцевого биения	

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Лабораторный практикум
для студентов специальностей
1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы
и аппараты», 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты
и системы», 1-52 02 01 «Технология и оборудование
ювелирного производства»

В 2 частях

Часть 1

Составители:

КИСЕЛЁВ Михаил Григорьевич

ЕСЬМАН Геннадий Аркадьевич

ГАБЕЦ Вячеслав Леонидович

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 08.12.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 5,29. Уч.-изд. л. 4,14. Тираж 100. Заказ 265.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.