

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*А.П. ШУЛЕПОВ, А.В. МЕЩЕРЯКОВ, В.А. ПЕЧЕНИН*

## СОВРЕМЕННОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 15.03.02 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

САМАРА

Издательство Самарского университета

2022

УДК 621.4(075)+621.8(075)

ББК 39.55я7

Ш955

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. А. З р е л о в,  
канд. техн. наук Д. Н. Д м и т р и е в

*Шулепов, Александр Павлович*

**Ш955** Современное технологическое оснащение операций контроля в производстве деталей ДЛА: учебное пособие / *А.П. Шулепов, А.В. Мещеряков, В.А. Печенин.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2022. – 164 с.: ил.

**ISBN 978-5-7883-1809-7**

Рассматриваются основные теоретические положения и конструкции контрольных приспособлений применительно к производству двигателей летательных аппаратов. Приводятся схемы и конструкции элементов контрольных приспособлений. Рассматриваются методы точностных расчётов, типовые конструкции, используемые при изготовлении основных деталей двигателей, вопросы стандартизации и унификации элементов приспособлений, а также устройства и машины, предназначенные для контроля в гибких производственных системах.

Пособие предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов и др., также будет полезно для технологов, конструкторов по контрольно-измерительной оснастке, мастеров заводов.

Разработано на кафедре технологий производства двигателей Самарского университета.

УДК 621.4(075)+621.8(075)

ББК 39.55я7

ISBN 978-5-7883-1809-7

© Самарский университет, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ.....	6
1.1. Назначение КИП.....	6
1.2. Классификация и структура КИП .....	8
Глава 2. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ .....	13
2.1. Базирующие элементы .....	13
2.2. Передаточные элементы .....	21
2.3. Подвижные элементы.....	24
2.4. Зажимные элементы .....	29
2.5. Вспомогательные элементы.....	33
Глава 3. ТОЧНОСТЬ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ.....	45
3.1. Выбор средств измерения .....	45
3.2. Расчёт точности КИП .....	49
3.3. Расчёт погрешностей базирования.....	54
3.4. Расчёт погрешности передаточных устройств.....	64
3.5. Определение остальных составляющих суммарной погрешности измерения .....	72
3.6. Пример расчёта на точность КИП.....	78
Глава 4. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ .....	82
4.1. Конструкции приспособлений для контроля отклонений линейных размеров деталей.....	82
4.2. Приспособления для контроля отклонений формы поверхностей деталей.....	86
4.3. Приспособления для контроля отклонений взаимного расположения поверхностей деталей.....	92
Глава 5. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ .....	117
5.1 Приспособления для контроля геометрических параметров лопаток.....	117
5.2. Координатные измерения в промышленном производстве .....	134
5.3. Координатные измерительные машины .....	138
5.4. Системы для бесконтактного измерения деталей.....	152
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	161

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе совершенствования существующих и разработки новых двигателей конструкторы, наряду с применением оригинальных конструктивных решений, используют новые материалы, усложняют геометрическую форму деталей, повышают требования к качеству и точности изготовления двигателей и изделий. Всё это приводит к необходимости внедрения прогрессивных технологий, высокоэффективного оборудования, применения гибких систем и метрологического обеспечения для изготовления деталей и сборочных единиц.

Часто развитие методов и средств измерения отстаёт от новейших технологических методов обработки заготовок, что значительно снижает эффективность такой технологии и не способствует сокращению затрат времени на контроль и повышению качества контроля. В свою очередь, это приводит к увеличению цикла изготовления деталей, а также к снижению качества и надёжности работы изделий.

Данные работ [2, 3, 9, 15, 16, 21, 22] и практический опыт некоторых заводов показывают, что трудоёмкость контроля деталей двигателей составляет иногда до 35% трудоёмкости их механической обработки. В механических цехах, например, число контролёров составляет от 12 до 20% числа основных рабочих, а в сборочных – 18...47%. Численность персонала служб технического контроля возрастает в среднем на 2...3% за пятилетие. Кроме этого, из-за несовершенства средств контроля случается приём дефектных деталей и отнесение годной продукции к браку. Поэтому на производстве уделяют большое внимание использованию средств контроля с высокими метрологическими характеристиками, которые обеспечивают контроль размеров, формы и расположения поверхностей деталей с заданной точностью и достоверностью, с высокой производительностью и эффективностью. К таким

средствам контроля, как правило, относятся специальные (нестандартные) контрольно-измерительные приспособления с различным уровнем автоматизации, системы активного контроля, контрольные автоматы, измерительные машины и др.

Уровень подготовки студентов авиационных вузов в области современных средств измерения отстаёт от требований промышленности. Так, в курсе «Метрология» изучаются, главным образом, такие измерительные средства, как калибры и стандартные универсальные измерительные приборы (штангенциркули, микрометры, нутрометры и др.), широко используемые для измерения размеров заготовок и деталей. В то же время для изучения специальных (нестандартных) средств контроля не существует отдельного курса, нет ни учебников, ни учебных пособий. Отдельные фрагментарные сведения об этих средствах контроля студенты могут получить из дисциплин, входящих в полный курс «Технология машиностроения». Естественно, что отсутствие системного изучения специальных средств контроля не позволяет студентам приобрести необходимые знания для самостоятельной работы на производстве.

Учитывая вышесказанное, авторы стремились отразить специфику производства двигателей летательных аппаратов (ДЛА) и методически изложить материал таким образом, чтобы студенты при самостоятельном изучении могли дополнить необходимый комплекс знаний по специальным средствам контроля и подготовиться к производственной деятельности в данном направлении.

# Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

## 1.1. Назначение КИП

Производство ДЛА характеризуется высокими требованиями к точности геометрических параметров изготавливаемых деталей. Проверка точности этих параметров требует применения более совершенных средств контроля. Контроль точности выполняется как на промежуточных этапах обработки (операционный контроль), так и на этапе окончательной приёмки продукции (окончательный контроль). Многие детали авиационных двигателей (АД) имеют сложную конструктивную форму и малые заданные допуски. Кроме того, что это значительно увеличивает трудоёмкость, не всегда бывает возможно получить достоверные данные при контроле этих параметров жёсткими калибрами и универсальными материальными инструментами. Поэтому для контроля и измерения параметров таких деталей создают контрольно-измерительные приспособления.

Контрольно-измерительные приспособления (КИП) предназначены для контроля и измерения точности геометрических параметров деталей и сборочных единиц при их изготовлении на этапах промежуточного и окончательного контроля. С помощью КИП проверяют:

- линейные размеры: наружные и внутренние диаметры, высоту, ширину, глубину, выступы, длину различных элементов деталей, которые невозможно либо нецелесообразно измерять жёсткими калибрами или универсальными измерительными инструментами;
- форму поверхностей (отклонения от заданной формы, рис. 1.1);
- расположение поверхностей (рис. 1.2);
- параметры зацепления зубчатых колёс, резьбовых соединений, фасонных поверхностей и деталей со сложным профилем.

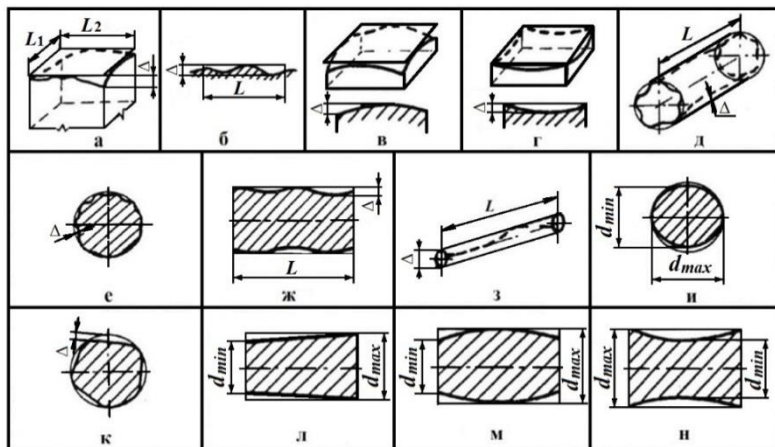


Рис. 1.1. Отклонения формы ГОСТ 24642-81:

а – неплоскостность; б – непрямолинейность; в – выпуклость; г – вогнутость; д – нецилиндричность; е – некруглость; ж – непрямолинейность профиля сечения; з – непрямолинейность оси; и – овальность; к – огранка; л – конусообразность; м – бочкообразность; н – седлообразность

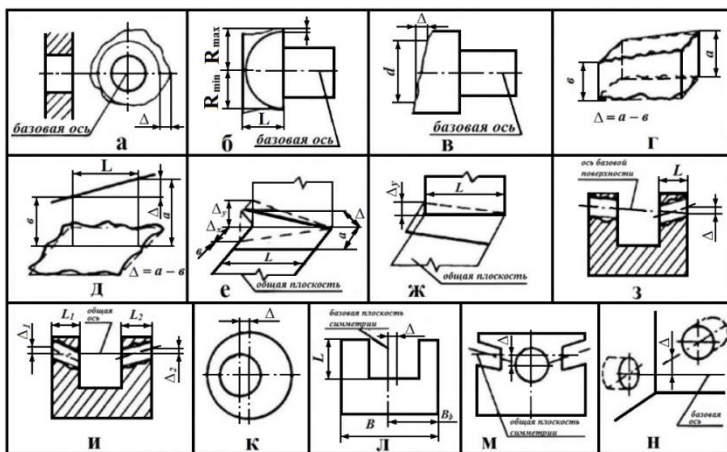


Рис.1.2. Отклонения расположения по ГОСТ 24642-81:

а – радиальное биение; б – полное радиальное биение; в – торцевое биение; г – непараллельность плоскостей; д – непараллельность оси относительно плоскости; е – непараллельность осей или прямых в пространстве; ж – перекос осей или прямых; з – несоосность относительно оси базы; и – несоосность относительно общей оси; к – неконцентричность; л – несимметричность; м – несимметричность относительно общей плоскости; н – пересечение осей

Кроме того:

- осуществляют настройку режущих инструментов на заданный размер и контроль размеров заготовок при обработке их на станках с числовым программным управлением (ЧПУ);
- выполняют активный контроль размеров заготовок непосредственно при обработке их на шлифовальных и токарных станках;
- проверяют одновременно несколько параметров деталей;
- производят сортировку деталей по точности параметров на группы в пределах заданного допуска.

Из вышесказанного ясно, что область применения КИП весьма обширна, и они могут быть использованы для самых различных по размерам и конструкции деталей с большим диапазоном допусков и качеств точности параметров.

## 1.2. Классификация и структура КИП

Единой, общепринятой классификации КИП не существует. На заводах и в технической литературе принято классифицировать приспособления по различным характерным признакам [4, 13, 19, 23, 24].

Рассмотрим классификацию КИП по основным признакам.

### 1. По специализации.

*Универсальные КИП.* Используются для контроля заданных параметров у заготовок или деталей различной конфигурации в определённом диапазоне размеров.

*Специализированные (переналаживаемые) КИП.* Имеют ограниченную универсальность и используются для контроля параметров однотипных заготовок или деталей, принадлежащих к определённой классификационной группе или классу. При контроле каждого наименования заготовки приспособление переналаживается.

*Специальные КИП.* Используются для контроля параметра или параметров одного наименования заготовки.



2. По виду контролируемых геометрических параметров заготовок или деталей приспособлений (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Классификация КИП по виду контролируемых геометрических параметров деталей

3. По уровню механизации и автоматизации: ручные, механизированные, автоматизированные, автоматические (табл. 1.1.). Из таблицы видно, что чем выше уровень механизации и автоматизации, тем меньше доля ручного труда, при этом увеличиваются объективность контроля и производительность.

4. По числу измеряемых параметров: одномерные и многомерные.

Таблица 1.1. Показания уровня механизации и автоматизации

<b>Класс КИП</b>	<b>Уровень механизации и автоматизации</b>	<b>Процесс контроля</b>	<b>Показатель механизации и автоматизации</b>
Ручные	Нулевой	Контроль осуществляется непосредственно человеком	0
Механизированные	Малый Средний Большой	Контроль осуществляется с разной степенью участия человека	0,25...0,45 0,45...0,6 0,6...0,75
Автоматизированные	Высокий	Контроль осуществляется с частичным непосредственным участием человека	0,75...0,9
Автоматические	Полный	Контроль осуществляется без непосредственного участия человека	1,0

5. По способу измерения: статические, кинематические и динамические. Под статическими понимают такие способы контроля, при которых ни измеряемая деталь, ни элементы измерительного устройства не совершают во время измерения каких-либо перемещений (например, измерение с помощью интерференции света); при кинематических способах контроля измеряемая деталь или измерительный элемент приспособления перемещаются с малой и практически постоянной скоростью за время проверки; при динамическом способе контроля скорости перемещения относительно велики, а возникающие в процессе измерения ускорения существенно влияют на результаты контроля [1].

6. По методу преобразования измерительного импульса: механические, пневматические, гидравлические, электрические, пневмоэлектрические, фотоэлектрические и др.

КИП могут характеризоваться и по общим показателям, таким как производительность, точность, пределы контролируемых па-

раметров, устойчивость к внешним воздействиям, чувствительность, время безотказной работы и др.

Несмотря на большое разнообразие контрольно-измерительных приспособлений по назначению, конструкции, габаритным размерам, уровню механизации, точности и т.п., все они имеют общую структуру, что позволяет расчленить КИП по функциональному признаку на отдельные части, которые принято называть *элементами*.

Под элементом понимают деталь, сборочную единицу, механизм, устройство, узел, предназначенные для выполнения определённой функции в приспособлении. Анализ конструкций показывает, что количество элементов в структуре приспособления невелико. Все элементы можно объединить в следующие основные группы: базирующие, передаточные, подвижные для вращения или линейного перемещения контролируемой детали или измерительного устройства, зажимные, вспомогательные, корпусные. Основой приспособления является корпус, в нём монтируются все остальные элементы. В группе элементы различаются не только размерами, но и конструктивным исполнением. В зависимости от назначения конструкция приспособления может состоять из всего комплекса элементов или только из отдельных групп элементов.

Проектируют элементы с учётом требований, соответствующих выполняемой ими функции. Это позволяет иметь общие методы проектирования каждой группы элементов. Поэтому для установления общих принципов проектирования КИП нет необходимости рассматривать множество разновидностей элементов или конструкций приспособлений.

Большинство элементов стандартизировано. Все это создаёт предпосылки для ускорения проектирования КИП, которое главным образом сводится к конструированию элементов, необходимых для заданных условий контроля и установления их в строгой взаимосвязи на корпусе приспособления.

Рассмотрим структуру и работу приспособления (рис. 1.4) для контроля торцевого и радиального биения.

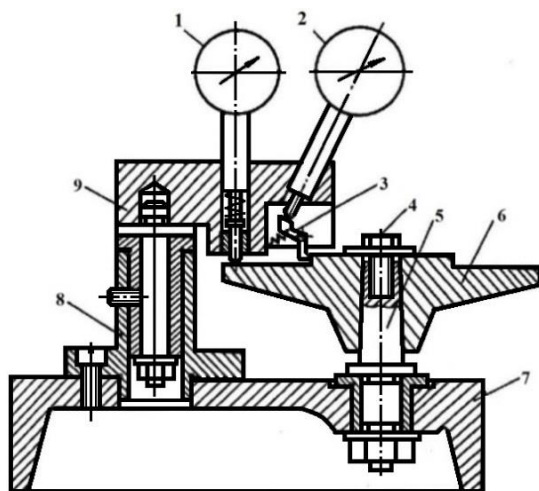


Рис. 1.4. Приспособление для контроля торцевого и радиального биения

Оно состоит из следующих элементов: базующего 5, служащего для установки контролируемой детали 6; зажимного 4; передаточного 3, который контактирует с проверяемой поверхностью и передаёт перемещения к индикатору 2; подвижного 7 – для вращения детали вручную; вспомогательного 9 – для фиксации и крепления индикаторных головок 1 и 2 и для поворота кронштейна; 10 – для удобства установки и снятия после контроля детали 6 с базового элемента 5; корпуса 8, на котором смонтированы все остальные элементы приспособления. Контроль осуществляется следующим образом: контролируемую деталь устанавливают на конусный палец 5 и закрепляют через шайбу болтом 4, поворачивают кронштейн 10 и подводят индикаторы в контакт с контролируемыми поверхностями. Затем поворотом детали фиксируют по индикаторам 1 и 2 торцевое и радиальное биение.

## Глава 2. КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

### 2.1. Базирующие элементы

Базирующие элементы (БЭ) предназначены для правильной установки контролируемой детали на КИП относительно заданных координат. Точность контроля детали в первую очередь зависит от точности установки, т.е. от конструкции и точности изготовления БЭ. При установке базовые поверхности детали находятся в контакте с БЭ, что приводит к износу поверхностей элементов, а, следовательно, к снижению точности базирования. Поэтому БЭ изготавливают из износостойких материалов, например, из Ст20 и Ст20Х с последующими цементацией и закалкой или из высокоуглеродистых и легированных сталей с закалкой до твёрдости 58...62 HRC<sub>3</sub>.

Обычно базовыми поверхностями контролируемой детали являются плоскости, наружные и внутренние цилиндрические поверхности. Способ базирования определяет конструкцию установочных элементов и размещение их на корпусе КИП.

При базировании контролируемых деталей по плоской базовой поверхности установочные элементы оформляются в виде опорного кольца, секторов или пластины и опорных штырей. Закрепляются эти элементы на корпусе приспособления.

Базирование по наружной цилиндрической поверхности контролируемой детали осуществляют с установкой в призму, жёсткое кольцо или втулку и самоцентрирующие устройства.

Способ установки в призму широко используется для контроля отклонений формы и расположения поверхностей. На погрешность измерения в этом случае влияют не только колебания размера базовой поверхности детали (в пределах допуска), но и погрешности, вызванные изготовлением самой призмы и её распо-

ложением на приспособлении, а также износом контактирующих поверхностей призмы. Боковые грани призмы изготавливаются с высокой точностью плоскостности и параллельности расположения граней относительно оси призмы. Угол между гранями призмы, как правило, принимают равным  $90^\circ$ . При необходимости выставления призмы на корпусе КИП с высокой точностью применяют конструкцию призмы, которая позволяет регулировать угловое положение оси призмы в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рис. 2.1).

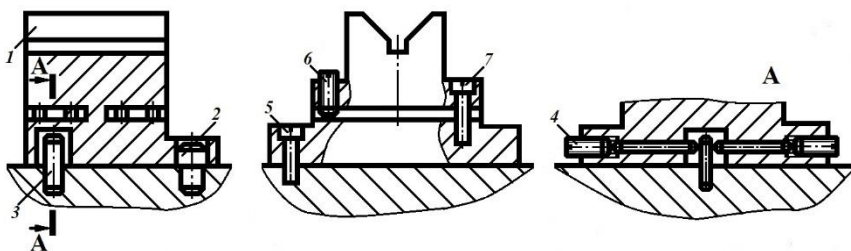


Рис. 2.1. Регулируемая призма

Призма 1 центрируется отверстием по пальцу 2, запрессованному в корпус приспособления, а второй палец 3 входит в выемку призмы свободно. Двумя винтами 4, которые упираются в палец 3, регулируют положение призмы, т.е. поворачивают её на некоторый угол в горизонтальной плоскости относительно пальца 2. После окончания регулировки винты 4 плотно затягиваются, и сама призма окончательно закрепляется на корпусе приспособления винтами 5. Для регулирования в вертикальной плоскости в призме имеются две прорези М, которые оставляют узкую перемычку N, обладающую высокой жёсткостью, но в то же время допускающую некоторую деформацию призмы. Вращением нескольких упорных и натяжных болтов 6 и 7 можно за счёт упругих деформаций перемычки применять угловое положение призмы в верти-

кальной плоскости. После регулировки надёжно закрепляют болты 6 и 7, обеспечивая жёсткость и устойчивость призмы.

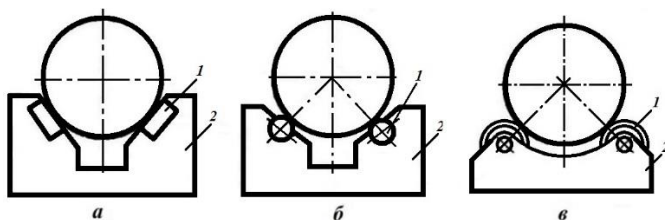


Рис. 2.2. Призмы с повышенной износостойкостью

Для повышения износостойкости применимы следующие меры (рис. 2.2):

- оснащают рабочие поверхности призмы пластинками из твёрдого сплава (рис. 2.2, а). Пластины 1 устанавливают в пазы призмы 2, припаивают медным припоем и производят обработку;
- применяют призмы с переставными валиками (рис. 2.2, б). Валики 1 вставляют в отверстие призмы 2 и закрепляют винтами;
- применяют призмы с вращающимися роликами (рис. 2.2, в).

Ролики 1 на осях установлены в призме 2. Наличие роликов позволяет повысить износостойкость призмы, значительно облегчает вращение контролируемой детали, но вместе с тем приводит к дополнительной погрешности установки. Чтобы уменьшить эту погрешность, ролики необходимо изготавливать с высокой точностью, и они должны иметь минимальное биение.

Способ установки в жёсткое кольцо или втулку применяется сравнительно редко, т.к. трудно поместить контролируемую деталь в отверстие с малым зазором. Способ установки контролируемых деталей по наружной цилиндрической базе в самоцентрирующих устройствах (элементах) позволяет достичь высокой точности базирования. Установку производят в мембранные или гидропластмассовые патроны, в которых центрирование и зажим деталей осуществляются за счёт упругой деформации мембраны и

тонкостенной втулки. Может быть достигнута точность центрирования деталей порядка 0,002...0,005 мм. Мембраны изготавливают из пружинной стали (Ст.65Г и др.) с закалкой до твёрдости 40 HRC<sub>3</sub>, а тонкостенные втулки из Ст.45, 30ХГСА, У7 с закалкой до твёрдости 40 HRC<sub>3</sub>.

Широко распространено базирование контролируемых деталей по базовому цилиндрическому отверстию. Для этого используют цилиндрические пальцы и оправки, разжимные и конические оправки и др. Существует два способа установки: одностороннее базирование и центрирование. При одностороннем базировании деталь устанавливается на палец или оправку с зазором и контактирует с оправкой по образующей, что позволяет обеспечить точную установку оси отверстия детали X-X в одном направлении, но со значительным понижением точности установки в перпендикулярном направлении (ось Y-Y), т.е. произойдёт смещение оси детали на величину  $\omega_c$  (рис. 2.3, в). Односторонний выбор зазора на пальце достигается различными конструктивными решениями (рис. 2.3). При базировании лёгких деталей, имеющих поверхность с большой шероховатостью и высокой твёрдостью, отжим может производиться шариком, постоянно нагруженным пружиной (рис. 2.3, а). Значительно жёстче и надёжнее палец, в котором шарик принудительно отжимается винтом (рис. 2.3, б). Если палец имеет выборку или лыску (рис. 2.3, в), вместо шарика используется плунжер, на который действует пружина. Использование штока 3 для отжима шарика 2 в пальце 1 (рис. 2.3, г), который перемещается гайкой, эксцентриком или пневматикой в направлении, показанном стрелкой, значительно повышает силу зажима. Более надёжна конструкция, в которой шарик заменён отжимным сухарём 3 (рис. 2.4). Она может успешно применяться и в тех случаях, когда базовые поверхности имеют невысокую твёрдость (алюминий, баббит и т.д.). От выпадения сухарь предохраняется двумя



пружинами в виде колец 4. Центрирование контрольной детали осуществляют путём установки детали на жёсткий цилиндрический палец 1, разжимные оправки, конусную оправку.

При установке на жёсткий цилиндрический палец или оправку всегда возникает радиальный зазор, что снижает точность измерения.

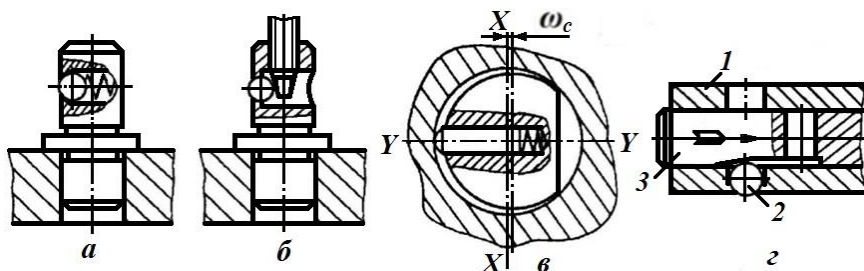


Рис. 2.3. Типовые конструктивные схемы одностороннего базирования детали по отверстию с применением пальца: а – с шариком и пружиной; б – с шариком и винтом; в – с плунжером и пружиной; г – с шариком и штоком

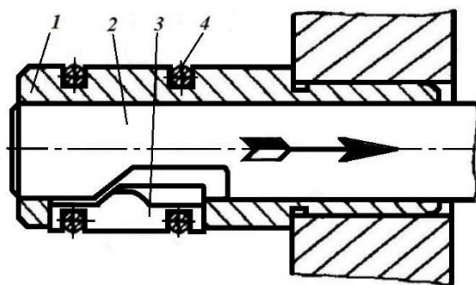


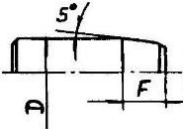
Рис. 2.4. Схема одностороннего базирования по отверстию с сухарём

Установка на разжимные оправки позволяет исключить появление радиального зазора. Самую высокую точность центрирования (0,002...0,005 мм) обеспечивают разжимные оправки с гидропластмассой (см. рис. 2.20) или с мембраной. Центрирование на конических оправках является широко распространённым и удобным методом базирования деталей небольших размеров. Биение конусной части оправки относительно оси центровых отверстий

ограничивается допуском на изготовление, равным 10% от допуска на деталь с округлением до тысячных долей мм, но не менее 0,003 и не более 0,015. Значения конструктивных элементов оправок приведены в таблице 2.1.

Рассмотрим пример расчёта конической оправки, используемой в контрольном приспособлении.

Таблица 2.1. Значения конструктивных параметров оправок

Конусность	1/500... 1/3000	1/3500... 1/7000	1/7500... 1/10000	
Допуск на D, мм	0,010	0,005	0,003	
F, мм	15	25	40	

Необходимо проверить биение буртика не более 0,08 мм и биение наружного диаметра не более 0,05 мм (рис. 2.5).

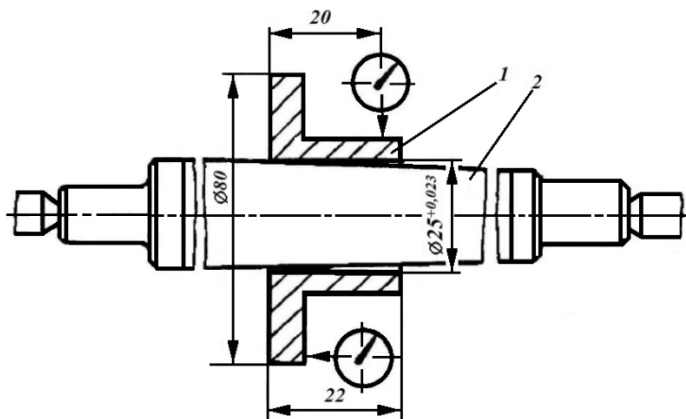


Рис. 2.5. Схема расчёта конической оправки:

1 – деталь; 2 – оправка

Дано: диаметр отверстия втулки  $d = 25$  мм; допуск  $T = 0,023$  мм; длина проверяемой детали  $L = 22$  мм; плечо измерения от оси оправки до точки, в которой производят измерение,  $M = 40$  мм; биение буртика  $T_{a1} = 0,08$  мм; плечо измерения от торца базового

отверстия (со стороны большего диаметра торца оправки) до точки, в которой производят измерение  $M = 20$  мм; биение наружного диаметра  $T_{a2} = 0,05$  мм.

1. Определяем максимальную линейную расчётную допустимую погрешность измерения. Принимаем  $\omega_{\text{изм.}}$  равной 25% проверяемого допуска  $T_a$ , т.е.:  $\omega_{\text{изм.}} = 0,25 T_a$ ;  $\omega_{\text{изм.1}} = 0,25 \times 0,08 = 0,02$  мм (для буртика);  $\omega_{\text{изм.2}} = 0,25 \times 0,05 = 0,0125$  мм (для наружного диаметра).

2. Конусность оправки при проверке с поворотом детали будет равна:

$$K = \frac{\omega_{\text{изм.}}}{M}.$$

$$\text{Для буртика } K = \frac{0,02}{40} = \frac{1}{2000}.$$

$$\text{Для наружного диаметра } K = \frac{0,0125}{20} = \frac{1}{1600}.$$

Выбираем конусность, при которой погрешность наименьшая, т.е.

$$K = \frac{1}{2000}.$$

3. Длина  $N$  (рис. 2.6), в пределах которой изменение действительного диаметра отверстия детали в пределах поля допуска  $T$  вызовет возможность установки всей детали, определяется формулой:

$$N = \frac{T}{K}.$$

$$N = \frac{0,023 \times 2000}{1} = 46 \text{ мм.}$$

Для обеспечения необходимого запаса  $C$  длины конуса его диаметр  $D$  должен быть больше максимального диаметра  $d_{\text{наиб.}}$  базового отверстия на величину  $P$ , принимаемую равной 15% допуска  $T$  с округлением в сторону увеличения до тысячных долей миллиметра,

$$P = 0,15 \times T, \quad P = 0,15 \times 0,023 = 0,00345 \text{ мм.}$$

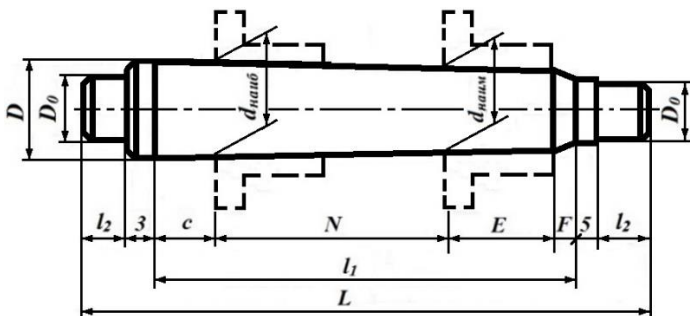


Рис. 2.6. Конструкция конической оправки

Округляя, получаем  $P = 0,004$  мм;

$$D = d_{\text{наиб.}} + P, \quad D = 25,023 + 0,004 = 25,027 \text{ мм.}$$

Допуск  $T_1$  на размер по большему диаметру конуса оправки устанавливается в зависимости от значения её конусности по табл. 2.1, т.е.  $T_1 = 10,01$  мм.

$$D + T_1 = 25,027 + 0,01;$$

$$C = \frac{D_{\text{наиб.}} - d_{\text{наиб.}}}{K} = \frac{(25,027 - 25,023) \times 2000}{1} = 28 \text{ мм.}$$

Полная длина конуса оправки (рис. 2.6):

$$l = C + N + E + F,$$

где  $F$  – длина заходной части конуса (согласно табл. 2.1);

$$l = 28 + 46 + 22 + 15 = 111 \text{ мм.}$$

Диаметр хвостовика  $D_0 = 20$  мм; длина хвостовика  $l_2 = 20$  мм.

Общая длина оправки определяется суммой

$$L = 2l_2 + l + 3 + 5,$$

$$L = 40 + 111 + 3 + 5 = 159 \text{ мм.}$$

Округляем  $L$  до 160 мм за счёт увеличения  $l$  до 112 мм.

Биение  $A$  конусной части оправки относительно оси центральных отверстий ограничивается допуском на изготовление, равным 10% от проверяемого допуска  $T$  с округлением до тысячных долей миллиметра:

$$A = 0,1 \times T_a ,$$

$$A = 0,1 \times 0,05 = 0,005 \text{ мм.}$$

Во избежание получения оправок чрезмерно большой длины при относительно малом диаметре (т.е. с пониженной жёсткостью) предельные длины ограничиваются отношением  $L/D < 12$ .

## 2.2. Передаточные элементы

Основное назначение передаточных устройств (ПУ): передача измеренных величин на некоторое расстояние от измеряемой поверхности; измерение направления передаваемых величин; предохранение измерительного наконечника прибора от непосредственного контакта с контролируемой деталью.

Передаточные устройства подразделяются на две основные группы: прямые и рычажные.

Прямые ПУ применяются в тех случаях, когда контактирующая с измерительным наконечником поверхность детали перемещается относительно индикатора, например, при проверке биения (рис. 2.7).

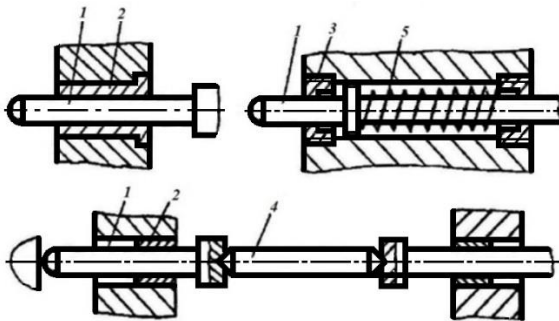


Рис. 2.7. Прямые передаточные устройства

Эти устройства обычно состоят из стержня 1, который соприкасается непосредственно с проверяемой деталью или индикатором; направляющих втулок (гладких 2 или резьбовых 3); промежуточного стержня 4, который в случае износа может быть заменён

новым. Регулированием резьбовой втулки можно создать необходимый натяг стержня (цифрой 5 на рисунке обозначена пружина).

Рычажные передачи применяются для углового изменения направления передаваемых измеренных величин, для передачи их в направлении, параллельном первоначальному, но не находящемся с ним на одной прямой, и для преобразования (увеличения или уменьшения) передаваемой величины (рис. 2.8).

Рычажные передачи имеют контакт непосредственно с контролируемой деталью 1 или с другими элементами самого приспособления – передаточными стержнями, измерительными наконечниками и т.д.

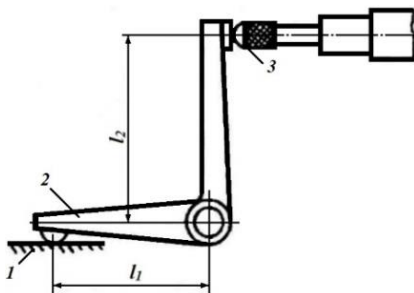


Рис. 2.8. Рычажные передаточные устройства

Концы плеч рычагов 2 должны иметь точечный контакт с поверхностью проверяемой детали или следующим передаточным звеном приспособления. Для этого поверхности концов плеч рычагов выполняются трёх типов: сферическая поверхность контактирует с поверхностями детали (плоской или цилиндрической большого радиуса); плоская поверхность контактирует со сферической поверхностью детали; ножеобразная (или полуцилиндрическая) поверхность – с перпендикулярной ей цилиндрической поверхностью (на рисунке цифрой 3 обозначен измерительный прибор). При использовании увеличивающих рычагов рекомендуется принимать передаточные отношения равными 1,5:1,0; 2:1; 3:1 и реже 5:1.

Для ограничения хода рычага под действием пружины и предохранения индикатора от возможных ударов при установке детали на приспособление рычажная передача имеет регулируемые предохранительные винты.

Наиболее распространённой конструкцией шарнира (рис. 2.9), на котором качаются передаточные рычаги, является закалённый штифт, проходящий через отверстие рычага (рис. 2.9, а). Качание рычага осуществляется двумя способами: штифт 1 посажен неподвижно в корпусе 2 приспособления, а рычаг 3 качается на штифте, при этом трущиеся поверхности штифта и рычага должны быть высокой твёрдости; штифт посажен неподвижно в рычаге и совместно с рычагом качается в отверстиях корпуса приспособления. При этом корпус должен быть калёным или иметь запрессованные калёные втулки, в которых качается штифт (цифрой 4 обозначена шайба регулировочная). Преимуществом этой конструкции является то, что опорная база рычага разнесена на большую ширину, благодаря чему уменьшается боковая качка рычага. Эту конструкцию применяют для рычагов, имеющих плечи большой длины. Посадка рычага по боковым сторонам (по торцам бобышек) и по отверстию должна быть по Н7/н6.

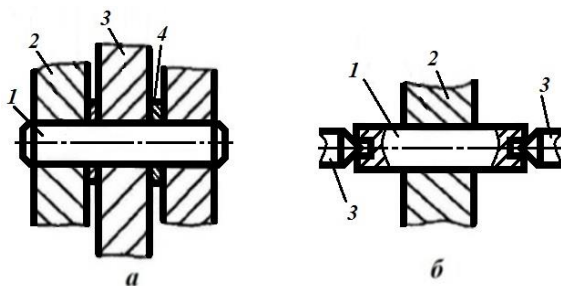


Рис. 2.9. Конструкции рычагов, качающихся:  
а – на штифте; б – на центрах

Более высокой точностью отличается рычажная передача, у которой рычаг 2, установленный на ось 1 качается на центрах 3 (рис. 2.9, б). Эту конструкцию высокой чувствительности применяют в приборах и приспособлениях повышенной точности, предохранённых от возможных ударов. Центры имеют возможность перемещаться, чем достигается лёгкая безззорная посадка оси 1, а также по мере износа центры можно подтягивать и тем самым продлить срок службы передачи. Чувствительность и точность передачи обеспечиваются соосностью центров 3, для чего они, помимо посадки по резьбе, имеют посадку по отверстиям в корпусе. Коническая часть центра не должна иметь биения более 0,01 мм относительно цилиндрической направляющей части. Для плавного регулирования центров применяют мелкую резьбу. Центры должны иметь более высокую твёрдость, чем отверстия, для обеспечения хорошей притираемости конуса центрального гнезда и уменьшения возможности появления выработки на конусе центра.

### **2.3. Подвижные элементы**

Большинство контрольных приспособлений имеет различные подвижные элементы. Это могут быть элементы, в которых осуществляется вращение (шпиндели, центры и т.п.) или выполняется продольное перемещение (каретки и др.).

Подвижные детали в зависимости от необходимой точности и чувствительности могут перемещаться с трением скольжения или с трением качения. В некоторых случаях применяются конструкции, сочетающие оба вида трения в одном узле.

Наиболее распространённая конструкция шпинделя контрольного приспособления показана на рис. 2.10. Шпиндель вращается на втулках 2. От осевых перемещений шпиндель предохраняется шлифованной шайбой 3, гайкой и контргайкой 5, позволяющими регулировать осевой зазор. Втулки 2 – стальные, калёные.



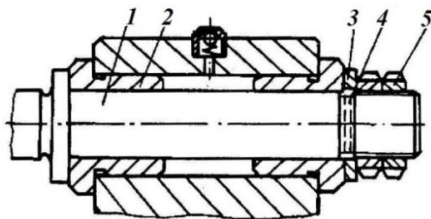


Рис. 2.10. Шпиндель цилиндрический

Посадка шпинделя 1 во втулках зависит от точности приспособления и может быть выполнена по 5–6 квалитетам или – (в особо точных случаях) – с индивидуальной пригонкой. Для предохранения гаек от отвёртывания и обеспечения вращения шайбы 3 предусмотрен штифт 4, запрессованный в шпиндель, входящий в паз шайбы. Радиальный зазор между шпинделем и втулкой по мере износа непрерывно увеличивается. Это требует восстановительного ремонта с заменой или хромированием изношенных деталей. Такого недостатка лишены шпиндели с конической посадочной поверхностью (рис. 2.11). Достоинство конического шпинделя в том, что путём изменения толщины шайбы (рис. 2.11, а), гайки (рис. 2.11, б) или регулировочного винта (рис. 2.11, в) можно достигнуть посадки шпинделя во втулке с минимальным зазором (на рис. 2.11, а изображено: 1 – шайба; 2 – втулка; 3 – палец; 4 – шайба; 5 – штифт; 6 – гайка; на рис. 2.11, б: 1 – втулка; 2 – палец; 3 – шпонка; 4 – втулка; 5 – шайба; 6 – гайка; на рис. 2.11, в: 1 – палец; 2 – втулка; 3 – шарик; 4 – винт; 5 – гайка).

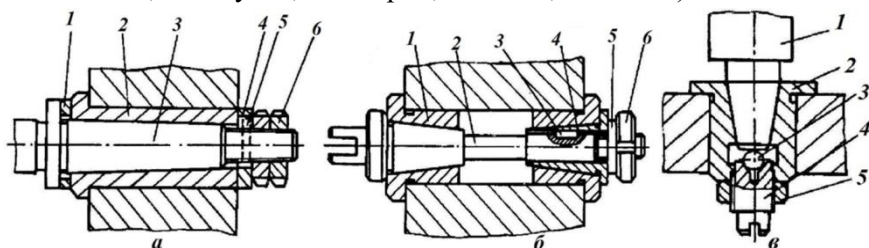


Рис. 2.11. Шпиндели конические, регулируемые с помощью:

а – шайбы; б – гайки; в – винта

На рис. 2.12 показан шпиндель, предназначенный для базирования тяжёлых деталей. Хвостовик шпинделя 1 надёжно центрируется во втулке 2, а его бурт, опирающийся на шарики 3, обеспечивает лёгкость вращения. Наличие плоских беговых дорожек 6 и отбор шариков в один размер с точностью 1–2 мкм обеспечивает высокую точность по торцевому биению (на рисунке: 4 – гайка; 5 – винт).

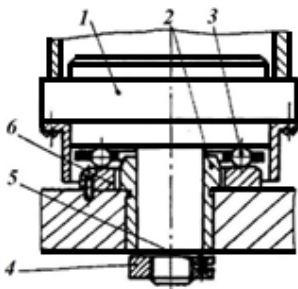


Рис. 2.12. Шпиндель на шариковой опоре

Иногда применяются специальные встроенные шарикоподшипники, в которых радиальные дорожки заменены прямолинейными поверхностями качения. Подобные конструкции имеют два ряда шариков, расположенных в осевом направлении далеко (рис. 2.13, а) или близко друг от друга (рис. 2.13, б), либо только один ряд шариков.

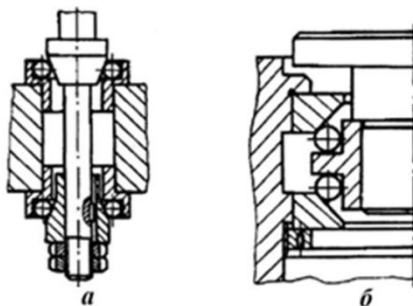


Рис. 2.13. Узлы, вращающиеся на шариках, расположенных друг от друга:  
а – далеко; б – близко

Для того, чтобы устранить проскальзывание шариков в местах контакта, необходимо учитывать, что касательная к шарикю  $AO$  и линия, проходящая через точки контакта  $K$  и  $K_1$ , должны пересекаться на оси вращения (рис. 2.14).

К элементам прямолинейного перемещения относятся всевозможные планки, направляющие, скалки, каретки, столы и т.п. Точность направляющих определяется величиной боковой качки, т.е. посадкой и длиной направления.

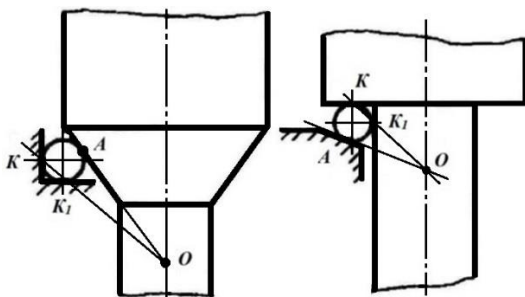


Рис. 2.14. Схема построения вращающихся направляющих качения

Каретки, перемещаемые на шариках или роликах, являются наиболее чувствительными и широко применяются при проектировании контрольных приборов и приспособлений. Имеется два типа кареток: висящие на шариках и лежащие на шариках.

На рис. 2.15, а показано конструктивное оформление каретки, висящей на шариках.

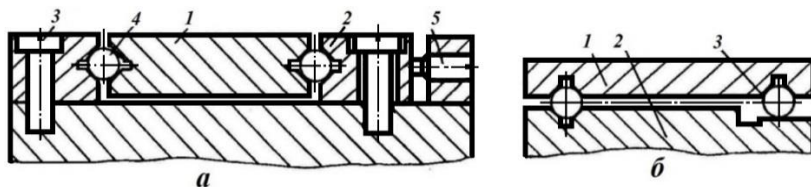


Рис. 2.15. Каретки на шариках: а – висящие; б – лежащие

Каретка 1 имеет на боковых сторонах две призматические канавки. Подобные же призматические канавки предусматриваются в двух направляющих планках – регулируемой 2 и неподвижной 3. Между призматическими канавками помещаются шарики 4, на которых и висит каретка. Двумя винтами 5 регулируется планка 2 для получения оптимальных условий качения шариков и перемещения каретки. Данная конструкция легко перемещается, обладает высокой жёсткостью и хорошим ограничением от смещения, как в боковом, так и в вертикальном направлениях. Но быстрое появление зазоров и качки по мере износа требует относительно частого регулирования планки. От этого недостатка свободна каретка, лежащая на шариках (рис. 2.15, б). На верхней плоскости 1 этой каретки имеются два параллельных призматических паза. На нижней плоскости 2 плиты находятся один призматический паз и плоскость, по которой катаются три шарика: два направляющих (между двумя примами) и один опорный (между призмой и плоскостью). Каретка лежит на этих трёх шариках и притягивается к ним пружиной, расположенной в центре тяжести опорного треугольника, вершинами которого являются центры шариков 3. Благодаря простоте, точности и технологичности этой конструкции в каретке, несмотря на износ, качка не возникает. Недостатком шариковых направляющих является то, что величина хода каретки ограничивается величиной хода шариков.

Помимо кареток с шариками применяются и передаточные устройства на плоских пружинах (рис. 2.16), у которых отсутствует износ, а необходимое измерительное усилие обеспечивается изменением толщины, ширины или длины пружины. Передача представляет собой параллелограмм, двумя сторонами которого служат упругие плоские пластины 1, третьей стороной (неподвижной) – корпус приспособления или планка 2, а четвёртой – передающий элемент 3. Для нормальной передачи на пластинах долж-

ны быть выдержана параллельность противоположных сторон параллелограмма с точностью до 0,05 мм.

Упругие пластины изготавливаются из стальной пружинной ленты, закалённой и отпущенной до твёрдости 40 HRC<sub>3</sub>. В зависимости от конструктивных условий применяются пластины толщиной 0,1...0,3 мм, шириной 6...12 мм и длиной 30...100 мм.

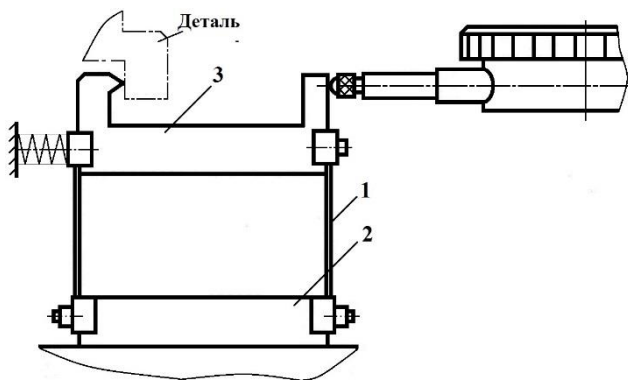


Рис. 2.16. Передаточное устройство на плоских пружинах

## 2.4. Зажимные элементы

Для надёжной установки проверяемых деталей на контрольных приспособлениях служат зажимные устройства. Они должны закреплять деталь, не вызывая при этом её смещений и деформаций, и обеспечивать надёжность установки проверяемой детали относительно измерительного устройства. Таким образом, условия работы зажимов контрольных приспособлений принципиально отличаются от условий работы зажимов станочных приспособлений, которым приходится преодолевать значительные усилия резания. В ряде случаев – при устойчивом базировании проверяемой детали на контрольном приспособлении, когда центр тяжести проектируется внутри опорного треугольника и усилия, создаваемые измерительным устройством, не нарушают этой

устойчивости положения детали – вообще отпадает необходимость в зажимном устройстве.

Необходимым условием является быстрота управления зажимом, что уменьшает вспомогательное время. Поэтому при проектировании контрольного приспособления рекомендуется пользоваться преимущественно быстродействующими рычажными, эксцентриковыми, байонетными и пневматическими зажимами.

Зажимные устройства, применяемые в контрольных приспособлениях, по характеру силового источника можно разделить на две группы: ручные и пневматические.

Применение винтовых зажимов не рекомендуется вследствие их низкой производительности и малой чувствительности.

Удачной конструкцией является перекидной рычажно-пружинный зажим (рис. 2.17). Преимуществом данной конструкции является её простота, возможность отхода прижимного рычага 2 при зажиме вращающихся деталей (вследствие их некруглости, биения и т.д.) и небольшое усилие зажима, не вызывающее деформаций проверяемой детали. Если проверяемая деталь 3 в процессе измерения должна вращаться, зажим снабжают роликом 1 или шарикоподшипником (на рисунке: 4 – пружина; 5 – стойка; 6 – призма).

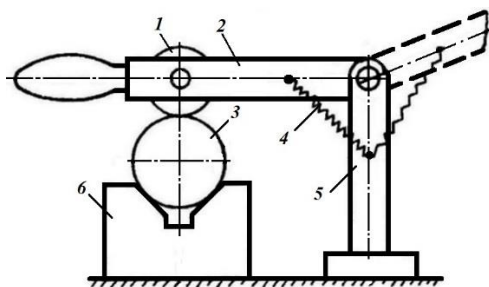


Рис. 2.17. Рычажно-пружинный механизм

Удобным и надёжным является шарнирно-рычажный зажим (рис. 2.18). Его отдельные элементы (серьга 2 и рукоятка 1) первоначально устанавливаются под очень малыми углами, развивая значительное усилие. Расположение рычагов зажима обеспечивает не только быстрое и лёгкое включение и выключение зажима, но и большой отвод зажимной планки 5 (на рисунке: 3 – штифт; 4 – болт).

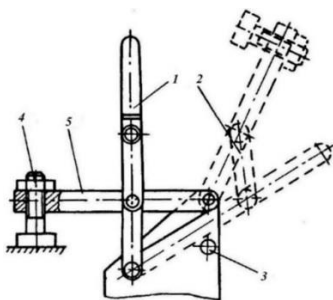


Рис. 2.18. Шарнирно-рычажный зажим

Байонетный зажим рекомендуется применять в случаях, когда не требуется значительных усилий. Обычный байонетный зажим имеет шток 1, на котором прорезана канавка под наконечник направляющего винта 2 (рис. 2.19).

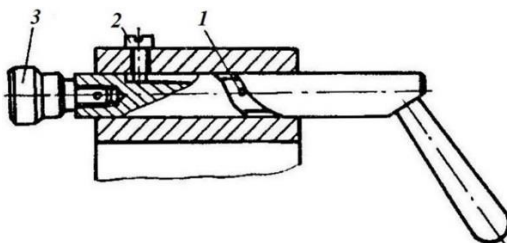


Рис. 2.19. Байонетный зажим

Канавка имеет прямой участок, расположенный вдоль оси штока, и зажимной участок, образующий спираль с углом  $4-5^\circ$  к оси штока. На конце штока, обращённом к зажимаемой детали,

имеется наконечник 3, на противоположном конце штока – рукоятка 4, при помощи которой шток перемещают в осевом направлении и поворачивают вокруг оси. Прямой участок канавки позволяет быстро подводить и отводить шток, а спиральный участок, имеющий угол спирали в пределах угла торможения, обеспечивает надёжное зажатие детали.

Часто в контрольных приспособлениях возникает необходимость центрировать и закреплять деталь по внутреннему цилиндрическому отверстию. Для этого применяются оправки с гидропластмассой, которые позволяют получить высокую точность центрирования с одновременным закреплением детали.

В центральной оправке с гидропластмассой (рис. 2.20) центрирующим элементом служит тонкостенная упругая втулка 3, напрессованная на корпус 1.

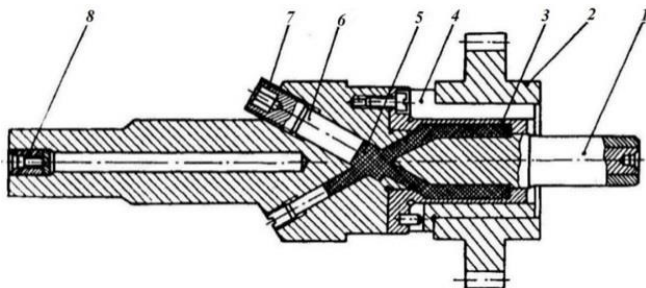


Рис. 2.20. Центровая оправка с гидропластмассой

Для придания оправкам некоторой универсальности их снабжают сменными разрезными втулками 4, которые служат промежуточным звеном между базой детали 2 и рабочей поверхностью упругой втулки. Такие оправки используются при контроле нескольких наименований деталей, но с близкими размерами базового отверстия. При этом для каждого наименования детали ставится втулка 4 соответствующего размера. Закрепление заготовки осу-



ществляется деформацией втулки 3 при создании давления в полости 5, заполненной гидропластмассой, через плунжер 6 с помощью винта 7.

При выполнении контрольной операции оправка вместе с закреплённой на ней деталью устанавливается в центре контрольного приспособления. Для повышения точности центрирования и увеличения долговечности оправки её центровые гнёзда 8 делают вставными из более износостойкого материала, чем материал корпуса.

## 2.5. Вспомогательные элементы

Вспомогательными элементами контрольных приспособлений называются детали, узлы и устройства, в которых закрепляются или подводятся в зону измерения измерительные головки.

Измерительные головки – это приборы, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника (стрелки) в большие перемещения конца стрелки относительно штрихов круговой шкалы. В зависимости от конструкции механизма, преобразующего перемещение измерительного наконечника в поворот стрелки, измерительные головки делятся на зубчатые, рычажно-зубчатые, рычажно-пружинные, пружинные и пружинно-оптические. В авиадвигателестроении наиболее широко применяются измерительные головки первых двух типов.

На рисунке 2.21 показаны внешний вид и габаритные размеры наиболее распространённых измерительных головок.

Основные типы зубчатых измерительных головок-индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм.

- ИЧ02, ИЧ05, ИЧ10, ИЧ25 – перемещение измерительного стержня параллельно шкале, диапазоны измерений соответственно 0...2; 0...5; 0...10; 0...25 мм (рис. 2.21, а);

- ИТ02 – перемещение стрелки перпендикулярно шкале и диапазон измерений 0...2 мм (рис. 2.21, б).

Индикаторы типа ИЧ5 и ИЧ10 выпускаются в корпусе диаметром 60 мм, ИЧ2 и ИТ2 – в корпусе диаметром 42 мм.

Основными частями индикатора типа ИЧ являются: циферблат 1 со шкалой, ободок 2, стрелка 3, указатель 4 числа оборотов стрелки, гильза 5, измерительный стержень 6 с наконечником 7, корпус 8, ушко 9 и головка 10 стержня. Гильза и ушко служат для крепления индикатора на стойках, штативах и приспособлениях. Поворотом ободка 2, на котором закреплён циферблат, стрелку совмещают с любым делением шкалы. За головку 10 стержень отводят при установке детали под измерительный наконечник.

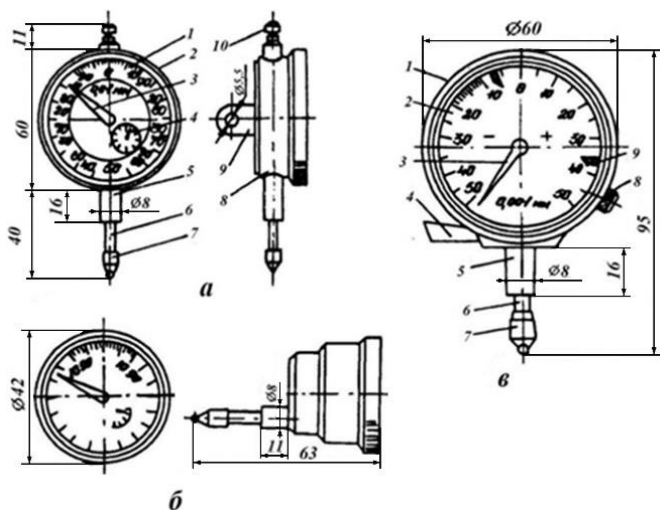


Рис. 2.21. Измерительные головки:

- а – индикатор часового типа ИЧ; б – торцевой индикатор типа ИЧ;  
 б – торцевой индикатор типа ИТ; в – индикатор ИГ

Индикаторы типа ИТ имеют такие же основные элементы и цену деления шкалы, как индикаторы ИЧ.

К рычажно-зубчатым измерительным головкам относятся индикаторы ИГ (рис. 2.21, в) и многооборотные индикаторы МИГ, выпускаемые с ценой деления 0,001 и 0,002 мм.

Индикатор ИГ состоит из корпуса 1, циферблата 2, стрелки 3, арретира (рычага) 4, соединительной гильзы 5, измерительного стержня 6, наконечника 7, указателя 9 поля допуска детали и винта 8 точной установки механизма в нулевое положение. Арретир необходим для подъёма измерительного стержня перед установкой детали.

Многооборотный индикатор МИГ имеет те же основные узлы, что и индикатор ИГ.

Правильное и надёжное крепление измерительных устройств сильно влияет на точность контрольного приспособления. Крепление должно быть жёстким, обеспечивать быструю установку и снятие измерительного прибора и в то же время не деформировать гильзу. На рисунке 2.22 показано крепление индикатора 1 часового типа за гильзу. Гильза вставляется в разрезную втулку 2, которая находится в гнезде кронштейна или стойки приспособления 3. Втулка обжимается винтом 4. При таком методе крепления можно продольно перемещать индикатор во втулке, изменяя натяг измерительного стержня. При этом изменяется используемый участок шкалы индикатора и соответственно удлиняется срок его службы.

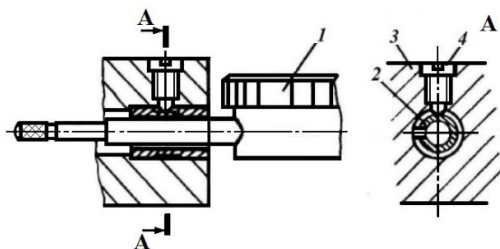


Рис. 2.22. Крепление индикатора

Во многих контрольных приспособлениях вспомогательными элементами являются стойки и штативы. Стойки имеют устройство для зажима измерительной головки и столик для установки контролируемой детали. В стойках в основном используют головки, имеющие посадочную цилиндрическую поверхность диаметра

ром 28 мм. В отличие от стоек штативы не имеют столиков для установки деталей, и в них используются головки с посадочной цилиндрической поверхностью диаметром 8 мм.

На рисунке 2.23 показаны стойки типов С-I (рис. 2.23, а), С-II (рис. 2.23, б) и С-III (рис. 2.23, в).

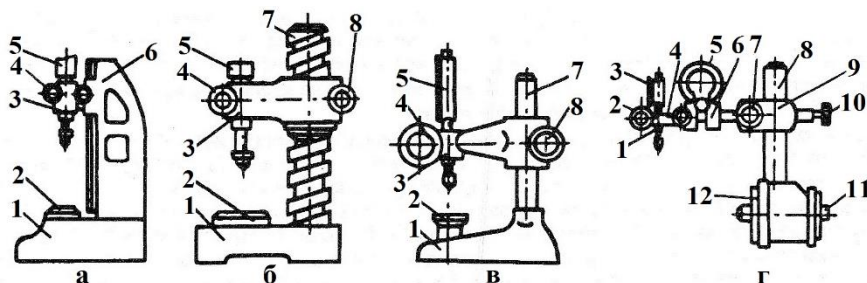


Рис. 2.23. Стойки и штативы: а, б, в – стойки; г – штатив

Жёсткие и массивные стойки типа С-I используют для проведения высокоточных измерений с головками, имеющими цену деления до 0,0001 мм. Менее жёсткие стойки типа С-II предполагают применение головок с ценой деления 0,001...0,005 мм. В стойках типов С-I и С-II посадочные отверстия для измерительных головок имеют диаметр 28 мм. Стойка типа С-III предназначена для крепления измерительных головок с ценой деления 0,001...0,1 мм и посадочным размером 8 мм.

Стойка состоит из основания 1, предметного столика 2, кронштейна 3 с отверстием для крепления измерительной головки 5 и зажимного винта 4. Стойки типа С-I имеют маховик 6 для вертикального перемещения кронштейна по направляющим. Остальные стойки в качестве направляющих для перемещения кронштейна имеют цилиндрическую головку 7 и винт 8, крепящий кронштейн в нужном направлении на колонке. Выпускается ещё одна стойка типа С-IV, которая отличается от стойки С-III прямоугольной формой стола и наличием стержня, закреплённого на кронштейне и перемещающегося вместе с измерительной головкой в горизон-

тальной плоскости. Стойки этого типа имеют посадочное отверстие диаметром 8 мм и служат для крепления головок с ценой деления 0,01 мм.

Штативы не имеют предметных столиков, они служат только для крепления головок с посадочным диаметром 8 мм и применяются при измерениях на поверочных плитах, в центрах и приспособлениях. Штативы Ш-I выпускают для измерительных головок с ценой деления 0,001...0,005 мм, Ш-II – для головок с ценой деления 0,01 мм. Штативы аналогичных конструкций, но с магнитными основаниями, соответственно обозначаемые ШМ-I и ШМ-II, выполняются в двух вариантах: с высокой и укороченной головкой. Эти штативы имеют специальные устройства для крепления индикаторов за ушко.

На рисунке 2.23, г показан штатив типа ШТ-I, состоящий из основания 12 с постоянными магнитами, державки 4 с измерительной головкой 3 и зажимным винтом 2. Для грубой установки на размер державка может поворачиваться в вертикальной плоскости, а затем крепиться винтом 7. Для такой настройки на размер пользуются винтом 10, который, разжимая губки 6 и пружинное кольцо 5, меняет угол наклона державки. Вся эта конструкция собрана на специальном хомутике 9 с зажимным винтом 7, который фиксирует хомутик 9 на нужной высоте цилиндрической колонки 8. Для включения и выключения магнитного основания 12 имеется стержень 11, который проходит сквозь основание. Усилие отрыва у штативов с магнитным основанием должно быть не менее 300 Н, а у штативов с высокой колонкой – не менее 1000 Н. Магнитные штативы очень удобны, т.к. их можно надёжно крепить на любой плоской магнитопроводной поверхности.

Индикаторный штатив типа Ш-II (рис. 2.24) состоит из подставки 1 с укрепленной на ней скалкой 12. По скалке 12 в вертикальной плоскости перемещается хомут 20 с установленной на нём скалкой 2.

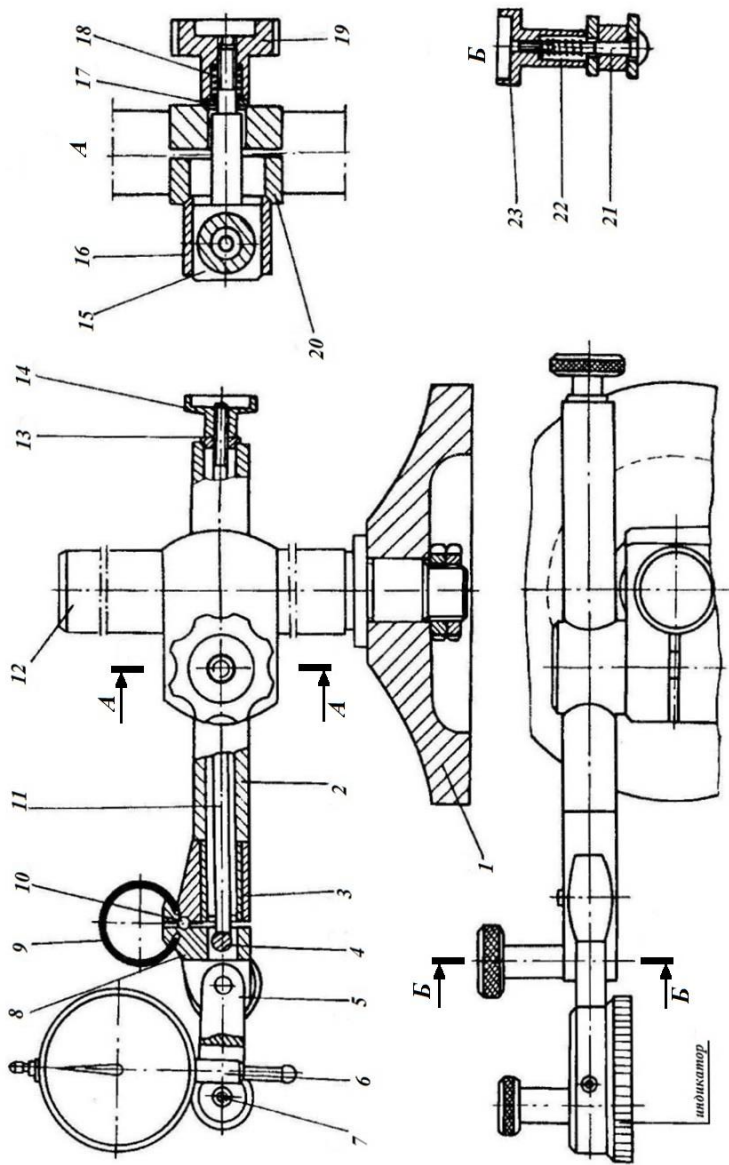


Рис. 2.24. Индикаторный штатив типа Ш-П

Скалка 2 посредством сухаря 3, кольцевой пружины 9 и оси 10 связана с сухарём 8, в котором находится ось 4. В сухаре 8 посредством винта 21, пружины 22 и гайки 23 закрепляется планка 5, в которой с помощью винта 7 зажимается индикатор 6.

Крепление хомута 20 на скалку 12 осуществляется втулкой 16, болтом 18 и гайкой 19. При этом гайка 19 воздействует на хомут 20 через шайбу 17. Таким образом, грубое регулирование положения ножки индикатора в вертикальной плоскости осуществляется хомутом 20 при раскреплении гайки 19. Аналогичным образом производится регулирование положения оси индикатора в горизонтальной плоскости путём перемещения скалки 2 на хомуте 20.

Точное положение ножки индикатора в вертикальной плоскости регулируется гайкой 14 с помощью тяги 11, которая упирается в ось 4. Между гайкой 14 и скалкой 2 находится шайба 13. Данная конструкция индикаторного штатива универсальна, она позволяет регулировать положение ножки индикатора в трёх плоскостях.

Индикаторная стойка на рисунке 2.25 широко используется в конструкциях контрольных приспособлений.

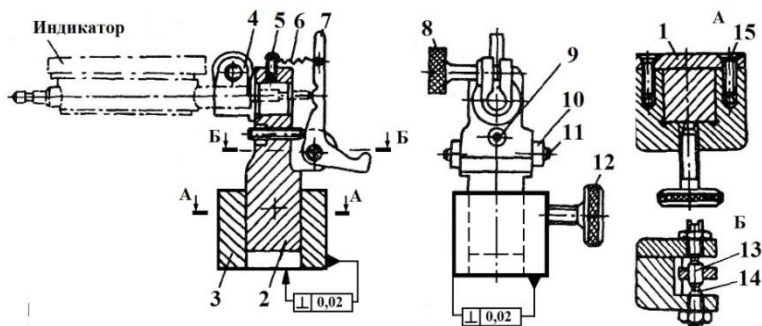


Рис. 2.25. Индикаторная стойка

В корпусе 3 перемещается стойка 2. От выпадения стойки из корпуса предохраняет планка 1, которая закреплена на корпусе винтами 15. На стойке расположен хомут 4, в котором винтом 8

закрепляется индикатор. Ножка индикатора упирается в рычаг 7, который под действием пружины 6, закреплённой на стойке винтом 5, всегда находится в крайнем левом положении, ограничиваемом винтом 9. Рычаг 7 имеет возможность поворота вокруг оси 13, которая закреплена на стойке с помощью винтов 11, гаек 10 и шариков 14. Регулирование положения стойки 2 относительно корпуса в вертикальном направлении осуществляется винтом 12.

Данная конструкция индикаторной стойки применяется в приспособлениях в том случае, когда нельзя напрямую к измеряемой поверхности подвести индикатор. Индикаторная стойка широко используется при контроле биений внутренних цилиндрических поверхностей. При этом измерение осуществляется в направлении, перпендикулярном направлению движения ножки индикатора.

Аналогичным образом работает двусторонняя индикаторная измерительная головка, в которой направления измерения и движения ножки индикатора находятся во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 2.26).

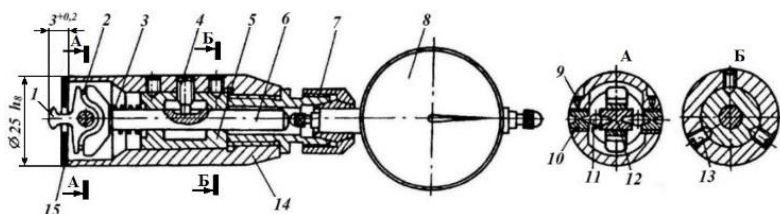


Рис. 2.26. Измерительная головка индикаторная двусторонняя

В корпусе головки 14 с наружным размером  $\varnothing 25h_8$  установлена втулка 5, в которой перемещается шток 6. С одной стороны шток 6 контактирует с ножкой индикатора 8, а с другой – под действием пружины 3 упирается в пальцы 2, которые закреплены на рычаге 1. Рычаг 1 является чувствительным элементом головки и имеет возможность поворота на определённый угол относительно оси 12, которая закреплена в корпусе с помощью винтов 10 и ша-



риков 11. Для исключения раскрепления винты 10 застопорены винтами 9. Втулка 5 в корпусе 14 закреплена шестью винтами 13, которые расположены в два ряда по окружности через  $120^\circ$ . Винт 4, установленный в корпусе и втулке, предотвращает проворачивание штока вокруг собственной оси. Индикатор 8 в головке крепится с помощью цангового зажима 7. Снизу индикаторная головка закрыта крышкой 15, в которой имеется прорезь для рычага 1, выступающего над крышкой на 3 мм. При работе нестабильность показаний индикаторной головки не превышает 0,005 мм.

К вспомогательным элементам относятся также подводимые и регулируемые опоры, которые используются при установке валов и корпусных деталей.

Универсальная регулируемая призма (рис. 2.27) устанавливается на контрольную плиту или на корпус приспособления основанием 1, в которое запрессована втулка 4.

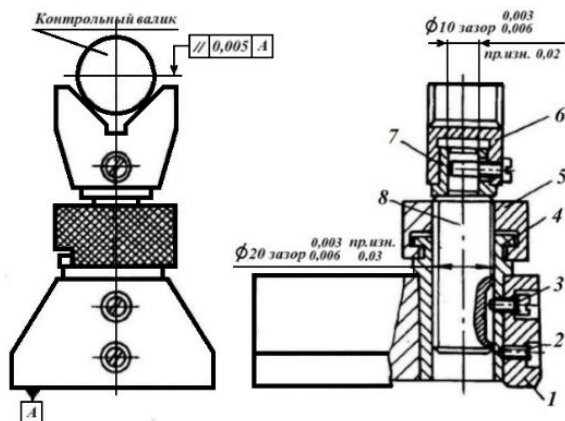


Рис. 2.27. Универсальная регулируемая призма

Во втулке располагается винт 8, на него навинчена гайка 5, которая своими выступами входит в кольцевую канавку втулки 4. На цилиндрической головке винта 8 установлена втулка 7, а с ней неподвижно соединена призма 6. Призма вместе с втулкой может

вращаться и устанавливаться в нужное угловое положение. Призма 6 и втулка 7 удерживаются на головке винта 8 с помощью винта, который входит своим концом в кольцевую проточку на винте 8. Регулирование положения призмы осуществляется вращением гайки 5, при этом винт 8 перемещается в осевом направлении, после чего призма выставляется в заданное положение, винт 8 фиксируется винтом 3. Наличие малых зазоров (0,003...0,006) между втулкой 2, винтом 8, его головкой и втулкой 7, а также высокая чувствительность позволяют получить высокую точность установки призмы, при этом непараллельность оси контрольного валика относительно базовой поверхности основания 1 (пов. А) не превышает 0,005 мм.

Очень часто контрольные операции выполняются в центрах, которые устанавливаются в центровых бабках. В этом случае центровые бабки играют роль вспомогательных приспособлений. Центровые бабки с высотой центров  $H = 80$  мм (рис. 2.28) имеют подвижный и неподвижный центры 5.

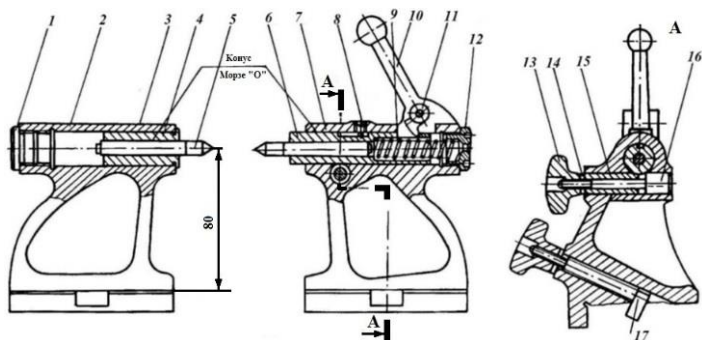


Рис. 2.28. Бабки центровые

Перемещение центра правой бабки влево осуществляется пружиной 9, а в обратном направлении – рычагом 10, который вращается вокруг оси 11. Крепление пиноли 6 с центром относительно правой бабки 7 происходит с помощью тангенциального

зажима 15, 16, шайбы 14 и рукоятки 13. Неподвижный центр 5 левой бабки устанавливается во втулке 4, которая винтом 3 крепится к бабке 2. Крепление центровых бабок к плите осуществляется болтом 17. Обе бабки закрываются пробками 1 и 12. Для предотвращения вращения вращения пиноли 6 правой бабки служит винт 8.

Представленные на рисунке 2.29 центровые бабки с высотой центров  $H = 180$  мм отличаются от предыдущих тем, что здесь и левая бабка имеет подвижную пиноль.

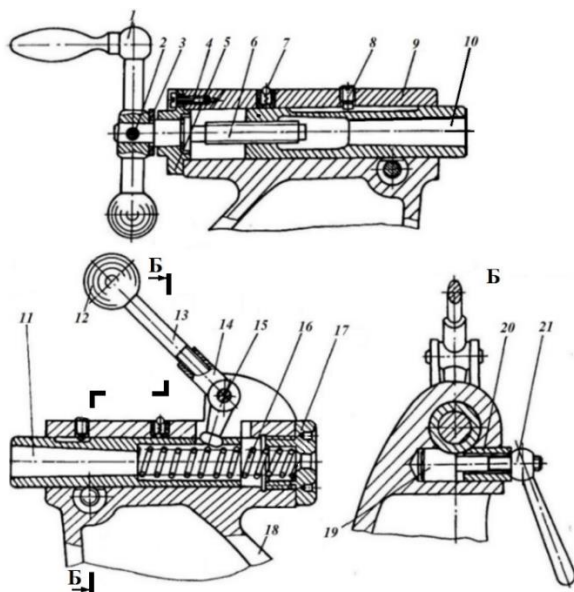


Рис. 2.29. Бабки для центров с подвижной пинолью

Перемещение пиноли 10 левой бабки 9 осуществляется винтом 6, на который вращение предаётся от рукоятки 1 через штифт 2. Винт вращается во фланце 5, который крепится к бабке винтами 4. Между фланцем и рукояткой установлена шайба 3. Винт 8 обеспечивает осевое перемещение пиноли и исключает её поворот вокруг своей оси. Масло в бабку подводится маслёнкой 7.

Перемещение пиноли 11 правой бабки 18 влево осуществляется под действием пружины 16, а вправо – с помощью рукоятки, состоящей из шаровой ручки 12, шпильки 13, рычага 14, оси 15. Сзади в бабку ввёрнута резьбовая гайка 17, которая предотвращает выпадение пружины. Для подвода масла в бабку служит маслёнка. Крепление пиноли относительно бабки осуществляется зажимным устройством, в состав которого входят: болт 19, втулка 20 и рукоятка 21. Центровые бабки стандартизированы.

## Глава 3. ТОЧНОСТЬ КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

### 3.1. Выбор средств измерения

При выборе средств контроля (измерения) необходимо решить комплексную задачу, где должны быть учтены многие технико-экономические показатели как технологического процесса обработки, так и процесса технического контроля заданных геометрических параметров обработанной заготовки или изготовленной детали и сборочной единицы. В авиационном двигателестроении решение этой задачи значительно усложняется в связи с тем, что большинство поверхностей двигателей изготавливаются с высокой точностью, кроме этого, многие детали имеют сложную форму и большие размеры, т.е. средства контроля должны обладать высокими метрологическими характеристиками. Вопросам выбора средств контроля на производстве уделяется большое внимание. Согласно ГОСТ 14306-73 выбор средств контроля основан на обеспечении заданных показателей процесса технологического контроля и анализа затрат на реализацию процесса контроля. К основным показателям процесса контроля относятся: точность измерения, достоверность, надёжность, производительность и экономичность контроля.

*Точность контроля (измерения)* – качество контроля, определяющее близость его результатов к истинному значению контролируемого параметра (ГОСТ 16263-70).

*Достоверность контроля* – вероятность соответствия результатов контроля действительным значениям контролируемых параметров (ГОСТ 14306-73).

*Надёжность контроля* – свойство контроля выполнять заданные функции, сохраняя свои показатели в установленных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Производительность контроля оценивается временем, затраченным на контроль одной детали.

*Экономичность контроля* – свойство контроля обеспечивать минимальные затраты на контроль при установленной достоверности измерения.

Исходными данными для выбора средств контроля являются: вид контролируемого объекта – деталь, сборочная единица, тех-процесс; вид контролируемых параметров – геометрический размер, форма, расположение поверхностей; номинальные значения контролируемых параметров и допуски на них; конструктивные особенности объекта – материал, масса, жёсткость, состояние измерительных баз, а также программа выпуска деталей в год.

При выборе средств контроля предпочтение отдают наиболее простым и дешёвым, к которым относятся стандартизованные различные калибры и универсальные мерительные инструменты. Однако часто эти средства контроля не полностью удовлетворяют по экономическим показателям. Особенно это проявляется в тех случаях, когда необходимо: выполнять измерения с высокой точностью и достоверностью; осуществлять контроль в труднодоступных местах детали, где прямые измерения невозможны, а косвенные приводят к увеличению погрешности измерения и трудоёмкости и к снижению достоверности контроля; значительно повысить производительность контроля; осуществлять комплексный контроль нескольких взаимосвязанных параметров детали; контролировать сложные поверхности детали. Кроме этого, указанные средства контроля не подходят для измерения заготовок в процессе их обработки на станке, для автоматического контроля и т.п.

Тогда применяют специальные средства контроля: различные механизированные и автоматизированные контрольно-измерительные приспособления, автоматизированные устройства для контроля параметров заготовок непосредственно на станках с ЧПУ,

активные средства контроля, т.е. контроль обрабатываемой заготовки в процессе обработки, контрольные автоматы, координатно-измерительные машины и др. При этом следует иметь в виду, что применение специальных средств контроля должно быть экономически обосновано, а также показано их преимущество в точности, надёжности и производительности.

Таким образом, при выборе средств контроля параметров конкретной детали стремятся применить оптимальный вариант, который должен удовлетворять всем заданным показателям контроля и быть экономически выгодным.

Выбор средств измерения в первую очередь зависит от заданной точности контролируемого параметра детали, т.е. от допуска на этот параметр. Любой вид измерительных средств создаёт соответствующую погрешность измерения, и чем меньше погрешность измерения, тем большая часть допуска остаётся на обработку контролируемого параметра, а, следовательно, упрощается процесс обработки детали. Однако применение высокоточных средств измерения при сравнительно больших допусках на обработку также нецелесообразно, т.к. увеличивается стоимость средств измерения. Это указывает на то, что для каждого качества точности контролируемого параметра должны быть оптимальные средства контроля с определённой допустимой погрешностью измерения ( $\omega_{\text{изм.}}$ ).

При выборе средств контроля по точности измерения руководствуются ГОСТ 8.051-81, где указывается допустимая погрешность измерения в зависимости от качества размера и его номинального значения (табл. 3.1). Согласно таблице средняя допустимая погрешность измерения всего диапазона размеров составляет от допуска на номинальный размер: для 5-го качества 33%, для 6-го и 7-го – 28%, для 8-го и 9-го – 25%, для 10-го, 11-го и 12-го – 23%, а для качеств с 13-го по 17-й – 20%.

Таблица 3.1. Пределы допустимых погрешностей измерения по ГОСТ 8051-81

Номинальный размер, мм	Квалитеты												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ФУЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ФУЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ФУЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ФУЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ФУЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ФУЗМ.</sup>	IT <sub>0</sub> <sup>ИЗМ.</sup>
Свыше 3 до 6	5:1,6	8:2,0	12:3,0	18:4,0	30:8	40:10	75:16	120:30	180:40				
6 10	6:2,0	9:2,0	15:4,0	2,2:5,0	36:9	58:10	90:18	150:30	220:50				
10 18	8:2,8	11:3,0	18:5,0	27:7,0	43:10	70:14	110:30	180:40	270:60				
18 30	9:3,0	13:4,0	21:6,0	33:8,0	52:12	84:18	130:30	210:50	330:70				
30 50	11:4,0	16:5,0	25:7,0	39:10	62:16	100:20	160:40	250:50	390:80				
50 80	13:4,0	19:5,0	30:9,0	46:12	74:18	120:30	190:40	300:60	460:100				
80 120	15:5,0	22:6,0	35:10	54:12	87:20	140:30	220:50	350:70	540:120				
120 180	18:6,0	25:7,0	40:12	63:16	100:30	160:40	250:50	400:80	630:140				
180 250	20:7,0	29:8,0	46:12	72:18	115:30	185:40	290:60	460:100	720:160				
250 315	23:8,0	32:10	52:14	81:20	130:30	210:50	320:70	520:120	810:180				
315 400	25:9,0	36:10	57:16	89:24	140:40	230:50	360:80	570:120	840:180				
400 500	27:9,0	40:12	63:18	97:26	155:40	250:50	400:80	630:140	970:200				



Таким образом, в зависимости от качества допустимая погрешность измерения  $\omega_{\text{изм.}} = \frac{1}{3} \dots \frac{1}{6}$  (допуска на размер).

В авиационной промышленности часто уменьшают допустимую погрешность измерения. Однако значительное уменьшение  $\omega_{\text{изм.}}$  приводит к усложнению и увеличению стоимости средств измерения.

Допустимая погрешность измерения является суммой следующих погрешностей [6 – 8, 11, 14]: средств измерения; установки заготовки на позицию измерения; настройки, в том числе погрешности настроечных мер и смещения уровня настройки; погрешности от влияния температурных деформаций; погрешности от влияния измерительного давления и вибраций; субъективных погрешностей оператора.

При этом следует иметь в виду, что согласно данным [2, 1, 14], погрешность средств измерения должна быть меньше на 20...50% допустимой погрешности измерения.

Нормальные условия выполнения измерений определены в ГОСТ 8.050-73: температура окружающей среды - 20°C; атмосферное давление 101325 Па (760 мм рт. ст.); относительная влажность окружающего воздуха 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333 Па).

При выборе средств контроля параметров заданной детали возникает несколько возможных вариантов. Определение оптимального варианта осуществляется на основании экономических расчётов.

### **3.2. Расчёт точности КИП**

Контрольно-измерительные приспособления – специальные средства измерения и контроля геометрических параметров деталей, сборочных единиц, которые проектируются и изготавливаются

ся на заводах-потребителях, – должны отвечать всем вышеуказанным требованиям (показателям), основные из которых – обеспечение оптимальной точности и производительности операций технологического контроля, а также экономическая целесообразность.

В качестве измерительных устройств в КИП используют: отсчётные со шкальными измерителями – индикаторы часового типа, пневматические и др., с помощью которых определяют численные значения измерительных величин; предельные, с бесшкальными измерителями – жёсткие калибры, щупы и т.п., используемые для сортировки деталей; комбинированные измерители – различные датчики с отсчётными шкалами и др., которые дают возможность не только оценивать действительные значения контролируемых параметров, но и сортировать детали по предельным размерам.

Контрольно-измерительные приспособления настраиваются на заданный размер с помощью установочных мер. (Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера: специальные эталоны, плоскопараллельные концевые меры длины и др.).

При расчёте точности КИП определяет суммарную погрешность измерения, состоящую из систематических и случайных погрешностей. Суммарную погрешность составляют следующие погрешности: установки контролируемых деталей на установочные элементы; передаточных средств (элементов); установочных мер, используемых для настройки измерительных средств; свойственные данному методу измерения, вызываемые неточностью отсчёта по шкале измерительного прибора, температурными колебаниями и др.; вызванные нарушением первичной настройки измерительных средств.

*Погрешность установки* – отклонение фактически достигнутого положения контролируемой детали или изделия при установке от требуемого – величина комплексная, состоит из:

$\omega_{y,z}$  – погрешности изготовления установочных элементов и их расположения на корпусе приспособления (отклонение размеров и технических требований в пределах заданных допусков). Эта погрешность систематическая, постоянная; при проектировании КИП определяется расчётом на основании установленных допусков, а фактическая её величина устанавливается непосредственным измерением при аттестации приспособления;

$\omega_6$  – погрешности базирования, возникающие вследствие неточности изготовления установочных и измерительных баз контролируемых деталей в пределах заданных допусков, а также наличия зазора между базовой поверхностью детали и установочными элементами. Предельное значение этой погрешности определяется расчётным путём, при этом учитываются не только допуски на изготовление баз, но и зазор между базируемой деталью и установочным элементом. При измерении партии деталей, у которых измерительная и установочная базы изготовлены с полным использованием поля допуска на их размеры, погрешность  $\omega_6$  является систематически переменной и должна суммироваться по правилам независимых случайных величин;

$\omega_c$  – погрешности смещения измерительной базы контролируемой детали относительно рабочих поверхностей установочных элементов, т.е. смещения от заданного положения. Это смещение вызывается деформацией стыковых поверхностей, наличием на них микронеровностей, перекосом деталей при установке, износом установочных элементов и др. Величина погрешности зависит от многих случайных факторов и определяется экспериментально в результате многократной повторной установки одной и той же детали на один и тот же установочный элемент или по статистическим данным. Погрешность  $\omega_c$  – величина случайная, независимая;

$\omega_3$  – погрешности закрепления. В отдельных конструкциях КИП требуется обеспечить неизменность положения контролируемой детали, для этого применяются зажимные механизмы (эле-

менты) – ручные, механизированные и автоматизированные. Зажимные механизмы должны создавать небольшие силы зажима, чтобы не нарушить постоянство установки детали относительно измерительных средств и не деформировать деталь. При таких условиях будут получены минимальные значения  $\omega_z$ . Причинами этой погрешности являются: колебание величины прилагаемой силы закрепления, изменение места её приложения, отклонения формы контактных поверхностей и др. Таким образом, погрешность  $\omega_z$  является случайной независимой величиной.

*Погрешность передаточных устройств* состоит из двух видов:

$\omega_p$  – систематической погрешности, из-за неточности изготовления передаточных элементов (рычагов и других деталей). Эта погрешность определяется расчётным путём и проверяется экспериментально. Суммируется  $\omega_p$  с другими погрешностями алгебраически, с учётом знака;

$\omega_n$  – случайной погрешности, обусловленной случайными факторами, а именно наличием зазоров между осями и отверстиями рычагов, неточностью их перемещения и другими причинами. Предельные значения случайных погрешностей определяют экспериментальным путём. Эта погрешность суммируется как случайная независимая величина.

*Погрешность установочных мер*, используемых для настройки измерительных средств, состоит из:

$\omega_n$  – систематической погрешности, учитывающей отклонения установочных размеров от номинальных. Вызывается  $\omega_n$  неточностью изготовления установочных мер. Действительный размер установочной меры определяется при аттестации;

$\omega_{н.с.}$  – случайной погрешности, которая возникает при настройке в результате отклонений от соосности, параллельности, перпендикулярности и др.

*Погрешность метода измерения*  $\omega_m$  зависит от многих факторов: метода измерения, конструктивных особенностей контроль-

ного приспособления, отклонений от нормальных условий измерения (температуры, влажности, запылённости окружающей среды, атмосферного давления), квалификации контролёра и др. Эта погрешность является случайной, независимой величиной.

*Погрешность, вызванная нарушением первичной настройки измерительных средств* (в результате неточного её выполнения). Значение этой погрешности устанавливают в процессе аттестации контрольного приспособления.

Точность показаний КИП определяется суммарной погрешностью, составляющими которой являются вышеуказанные систематические и случайные погрешности. Независимые случайные погрешности подчиняются закону нормального распределения и поэтому суммируются по правилам теории вероятности для независимых случайных величин: систематические погрешности суммируются алгебраически.

Суммарная погрешность измерения на контрольно-измерительных приспособлениях:

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{у.з.}} + \omega_{\text{р}} + \omega_{\text{н}} + \sqrt{\omega_6^2 + \omega_c^2 + \omega_3^2 + \omega_{\text{н}}^2 + \omega_{\text{н.с.}}^2 + \omega_{\text{м}}^2}. \quad (3.1)$$

Суммарная погрешность КИП может составлять 8..30% допуска контролируемого параметра детали или изделия и зависит от назначения изделия. В авиационной технике для ответственных деталей (изделий)  $\omega_{\Sigma} = 8\%$ , для менее ответственных – 12,5...20%; для остальных – 25...30% [2, 23].

Составляющие суммарной погрешности КИП могут быть установлены расчётным путём, по статистическим данным, приведённым в справочнике, и на основании экспериментальных исследований. При проектировании контрольно-измерительного приспособления определяют расчётную ожидаемую погрешность измерения; действительная погрешность выясняется после изготовления приспособления на основании его аттестации. Расчётная погрешность должна быть меньше действительной или равна ей.

Только в этом случае приспособление признается годным для эксплуатации.

Ниже приводятся расчёты отдельных составляющих суммарной погрешности измерения контрольно-измерительных приспособлений.

### **3.3. Расчёт погрешностей базирования**

При исследовании точности показаний контрольных приспособлений одним из главных вопросов является определение погрешностей базирования деталей на установочные элементы. В контрольных приспособлениях сравнительно редко детали закрепляют для измерения. Зажимные силы при этом должны быть незначительными и не вызывать существенных погрешностей установки детали. Детали, устанавливаемые на установочные элементы контрольных приспособлений, чаще всего лишают только пяти степеней свободы, т.к. для измерения биения поверхностей, перпендикулярности торцов, диаметральных и линейных размеров в различных плоскостях деталям необходимо сообщать вращательное движение.

Рассмотрим типовые случаи установки деталей в контрольных приспособлениях и возникающие при этом погрешности базирования.

*Базирование детали на оправке по двум соосным отверстиям.* Установочные элементы контрольных приспособлений для измерения расстояний между осями отверстий, параллельности осей и перпендикулярности торцов к осям этих отверстий в корпусных деталях выполняют в виде оправок. Длина точных отверстий в корпусных деталях незначительна. Поэтому для лучшего центрирования оправки устанавливают по двум соосным отверстиям.

Существенным недостатком указанных конструкций является зазор между отверстием и оправкой. Однако без такого зазора не-

возможно установить оправку в точные соосные отверстия. Зазор будет тем больше, чем шире допуск на диаметры отверстий, которые служат измерительными базами. В корпусных деталях авиационных двигателей допуски на расстояние между осями отверстий обычно составляют  $\pm 0,02...0,05$  мм. При таких допусках даже незначительная погрешность установки может оказать существенное влияние на точность измерения расстояний между осями.

На точность базирования по гладким жёстким оправкам влияет также эксцентриситет  $e$  осей отверстий (рис. 3.1), которые служат измерительными базами.

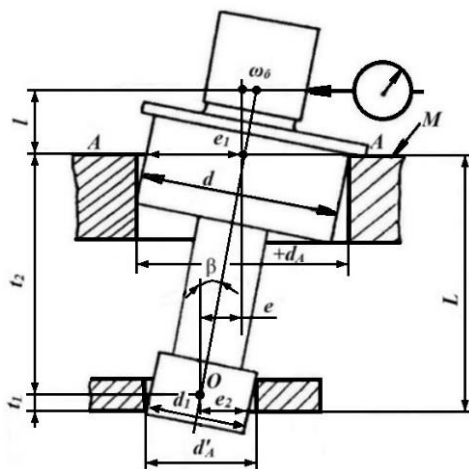


Рис. 3.1. Схема расчёта погрешности базирования при контроле соосных отверстий оправкой

В связи с этим оправка может быть установлена непараллельно осям отверстий. Кроме этого, оправка может быть неточно установлена, если торец  $M$  будет неперпендикулярен своему отверстию.

Вследствие смещения от осей отверстий погрешность базирования оправки в плоскости  $AA$  с учётом малости угла перекоса  $\beta$  будет равна

$$e_1 \approx \frac{d_A - d}{2}; \quad e_2 \approx \frac{d'_A - d_1}{2}.$$

Расстояние между осями отверстий в корпусной детали измеряют обычно на некотором расстоянии  $l$  от торца  $M$  детали, исходя при этом из конструктивных параметров контрольного приспособления. Погрешность базирования  $\omega_B$  при этих условиях несколько увеличивается.

Принимаем:  $L$  расстояние между торцами отверстий, в которые устанавливается оправка;  $O$  – точка пересечения осей оправки и нижнего отверстия;  $l_1$  и  $l_2$  – расстояние от точки  $O$  до торцов верхнего и нижнего отверстий. Согласно схемы на рис. 3.1 можно записать:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{e_2}{l_1} = \frac{d'_A - d_1}{2l_1} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{e - e_2}{l_2} = \frac{d_A - d + 2e}{2l_2}.$$

Используя равенство  $\frac{d'_A - d_1}{2l_1} = \frac{d_A - d + 2e}{2l_2}$  находим

$$l_2 = L \frac{e + e_1}{e + e_1 + e_2}.$$

Зная  $l_2$ , получаем

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{e + e_1}{L \frac{e + e_1}{e + e_1 + e_2}} = \frac{e + e_1 + e_2}{L}.$$

Погрешность базирования оправки по двум соосным отверстиям определяется следующим образом

$$\omega_B = (l + l_3) \operatorname{tg}\beta = \frac{l + l_3}{L} (e + e_1 + e_2),$$

где  $l_3 = \frac{e_1}{\operatorname{tg}\beta}.$

Анализ формулы показывает, что на погрешность  $\omega_B$  большое влияние по сравнению с эксцентриситетом  $e$  оказывает увеличение зазора между оправкой и отверстиями.



*Базирование детали на гладкой оправке со срезанной площадкой.* В авиадвигателестроении широко применяются детали, у которых после обработки должно быть обеспечено совпадение осей отверстия и наружной цилиндрической поверхности с высокой точностью. Часто такие детали при контроле базируются на гладкой оправке 1, у которой срезается площадка (рис. 3.2, а). Чтобы обеспечить постоянный контакт втулки с оправкой при её повороте на  $360^\circ$ , предусматривается пластинчатая пружина 2. Из-за наличия площадки отверстие втулки имеет на оправке постоянный контакт по образующим в точках *A* и *B* (рис. 3.2, б).

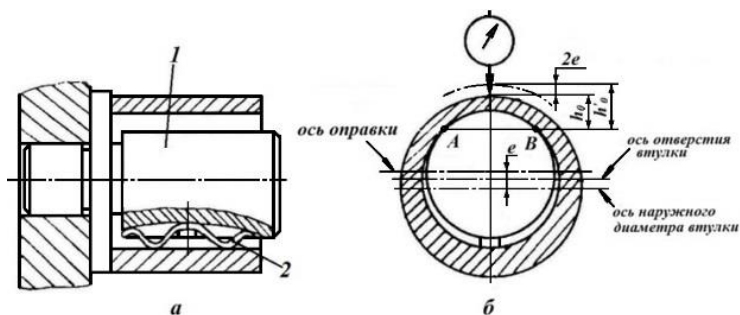


Рис. 3.2. Конструкция гладкой оправки со срезанной площадкой (а) и схема контроля детали (б)

При такой конструкции оправок непосредственное измерение эксцентриситета осей  $e$  деталей заменяется измерением разности значения стрелы ( $h'_0 - h_0$ ) при повороте детали на  $360^\circ$ . Ось стержня индикатора при этом методе измерения целесообразно установить в вертикальной плоскости.

При повороте детали на  $360^\circ$  на оправке центр её наружной окружности последовательно проходит положения, расстояния между которыми равны удвоенному эксцентриситету:

$$h'_0 - h_0 = 2e.$$

Таким образом, при измерении величины  $2e$  у деталей погрешность базирования на оправке рассматриваемой конструкции равна нулю:  $\omega_B = 0$ .

*Базирование детали по цилиндрическому отверстию на оправку.* Установка по цилиндрическому отверстию является одним из наиболее распространённых методов базирования в конструкциях контрольных приспособлений. Наиболее просто базирование по отверстию выполняют посредством установки проверяемой детали на гладкую цилиндрическую оправку. Однако в этом случае возникают наибольшие погрешности измерения вследствие возникновения зазоров между отверстием детали и оправкой.

Для базирования по цилиндрическим отверстиям широко применяют гладкие конические оправки с конусностью в пределах от 1:1000 до 1:10000.

При установке детали отверстием на коническую оправку возможно появление погрешности измерения из-за перекоса детали – соприкосновения образующей её отверстия по всей его длине с образующей оправки (рис. 3.3).

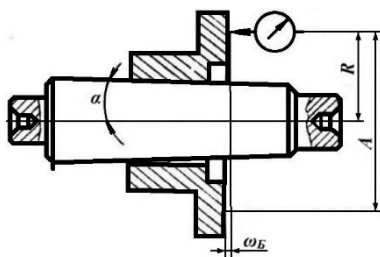


Рис. 3.3. Схема контроля детали на конической оправке

При этом следует различать две погрешности: угловую и линейную. Угловая погрешность определяется лишь конусностью оправки. Длина базового отверстия на угловую погрешность не влияет. Линейная погрешность  $\omega_B$  зависит от конусности оправки

и от плеча измерения. Таким образом, погрешность базирования будет определяться радиусом  $R$ , на котором производится измерение, и углом наклона образующей оправки  $\alpha$ :

$$\omega_B = A \times \operatorname{tg} \alpha = 2 \times R \times \operatorname{tg} \alpha.$$

При расчёте конических оправок не следует забывать, что уменьшение погрешности базирования связано с уменьшением конусности оправок, а, следовательно, и с увеличением их длины, что приводит к снижению жёсткости самой оправки.

*Базирование детали в установочно-разжимном узле с двумя неподвижными и одним подвижным кулачком.* Установочно-разжимные оправки с двумя неподвижными и одним подвижным кулачком применяются в контрольных приспособлениях, когда при измерении детали требуется её закрепление (рис. 3.4).

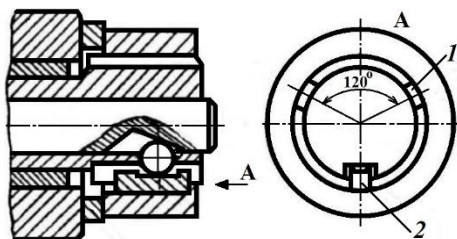


Рис. 3.4. Установочно-разжимная оправка с двумя неподвижными и одним подвижным кулачком

Подвижный кулачок 2 отжимается либо эксцентриковым механизмом, либо с помощью пневматического цилиндра, на конце штока которой имеется наклонная площадка. При перемещении шток сообщает шариком и подвижному кулачку 2 вертикальное перемещение вниз, в результате чего на оправке закрепляется проверяемая деталь. Последняя своим отверстием устанавливается на неподвижные кулачки 1, выполненные как одно целое с оправкой. Деталь при установке поджимается торцом к кольцу 3.

Диаметры кулачков  $D_K$  выполняют на 0,01...0,02 мм меньше минимального диаметра отверстий  $D_A$  (рис. 3.5).

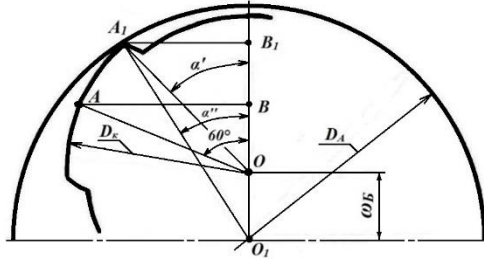


Рис. 3.5. Схема базирования детали на установочно-разжимной оправке

Центр отверстия проверяемых деталей при указанном сочетании размеров всегда будет смещаться вниз относительно центра кулачков оправки на величину  $\omega_6$ . Обозначим:  $O_1$  – центр отверстия проверяемой детали;  $O$  – центр кулачков оправки. Погрешность базирования детали на рассматриваемой оправке

$$\omega_6 = O_1B_1 - OB_1 .$$

Зная  $OB_1$  и  $O_1B_1$ , определяем погрешность базирования:

$$A_1B_1 = O_1B_1 \times \operatorname{tg}\alpha'' = (OB_1 + \omega_6) \times \operatorname{tg}\alpha' ,$$

$$A_1B_1 = O_1B_1 \times \operatorname{tg}\alpha' .$$

Получим

$$\omega_6 = \frac{O_1B_1 \times (\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha'')}{\operatorname{tg}\alpha''} = \frac{A_1B_1 \times (\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha'')}{\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha''} .$$

Погрешность базирования деталей на рассматриваемой установочно-зажимной оправке удобнее определять не через  $A_1B_1$ , а через  $\Delta R = 0,5 \times (D_A - D_K)$ , тогда:

$$\Delta R = 0,5(D_A - D_K) = \frac{A_1B_1}{\sin\alpha''} - \frac{A_1B_1}{\sin\alpha'} = A_1B_1 \left( \frac{\sin\alpha' - \sin\alpha''}{\sin\alpha' \times \sin\alpha''} \right) ,$$

получим

$$\omega_6 = \frac{\Delta R \times (\operatorname{tg}\alpha' - \operatorname{tg}\alpha'') \times \cos\alpha' \times \cos\alpha''}{\sin\alpha' - \sin\alpha''} .$$

Погрешность базирования  $\omega_6$  растёт с увеличением разности  $\Delta R$  между радиусами кулачков оправки и радиусом отверстия проверяемой детали. В общем случае  $\omega_6 \approx 1,8\Delta R$ .

Установочно-зажимную оправку данной конструкции целесообразно применять при контроле неперпендикулярности торцов, непараллельности осей, расстояний между осями и между торцами.

*Базирование детали на призму.* Наиболее часто в качестве установочного элемента для наружных цилиндрических поверхностей применяются призмы. Их используют при контроле размеров, погрешностей взаимного расположения поверхностей. Следует учитывать, что изменение диаметра цилиндрической базирующей поверхности детали в пределах поля допуска  $T$  даёт определённую погрешность базирования (рис. 3.6).

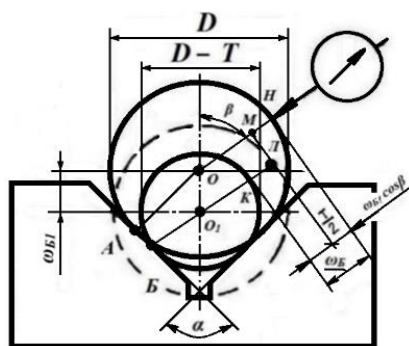


Рис. 3.6. Схема контроля детали на призме

Размер её зависит не только от допуска на диаметр базирующей поверхности детали, но и от угла призмы  $\alpha$  и направления измерения, т.е. от угла  $\beta$  между осью симметрии призмы и направлением измерения. Из схемы рисунка 3.6 видно, что вследствие изменения диаметра детали на величину допуска  $T$  возникает погрешность в направлении оси детали  $OO_1$ .

Так как

$$OA - O_1B = \frac{T}{2},$$

то

$$\omega_{Б1} = \frac{T}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} .$$

Погрешность базирования в направлении измерения (под углом  $\beta$  к оси  $OO_1$ ) может быть определена из треугольника ЛМН,

Очевидно, что  $ЛН = \omega_{Б1}$  и  $МН = \omega'_{Б1}$ . Отсюда  $\omega'_{Б1} = \omega_{Б1} \times \cos \beta$ .

Суммарная погрешность базирования будет равна

$$\omega_{Б1} = КЛ + МН = \frac{T}{2} + \omega_{Б1} \times \cos \beta = \frac{T}{2} \times \left( 1 + \frac{\cos \beta}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) .$$

Анализ формулы показывает, что с точки зрения уменьшения погрешности базирования, лучшим является направление измерения, перпендикулярное к оси симметрии призмы ( $\beta = 90^\circ$ ) при любом угле призмы.

*Базирование детали на роликовую призму.* Для измерения величины несовпадения осей наружных цилиндрических поверхностей ступенчатые валы в контрольных приспособлениях по крайним диаметрам устанавливаются на призмы, наклонные грани которых обычно изнашиваются, что значительно ухудшает точность измерения. Для устранения этого недостатка призмы, предназначенные для установки валов средних и крупных габаритов, выполняют с роликами (рис. 3.7).

Вал крайними диаметрами 1 устанавливают на две пары роликов 2 и 3, которые вращаются на осях 4.

Для определения погрешности базирования  $\omega_{Б}$  вследствие биения роликов рассмотрим схемы на рис. 3.7, а и б. Погрешность базирования валов на роликовые призмы при наличии у них биения  $2\epsilon$  принимают предельные значения, если:

- эксцентриситеты  $e$  роликов 2 и 3 направлены к центру вала или от центра (рис. 3.7, а);
- эксцентриситет  $e$  ролика 3 направлен к центру, а ролика 2 – от центра вала или наоборот (рис. 3.7, б).

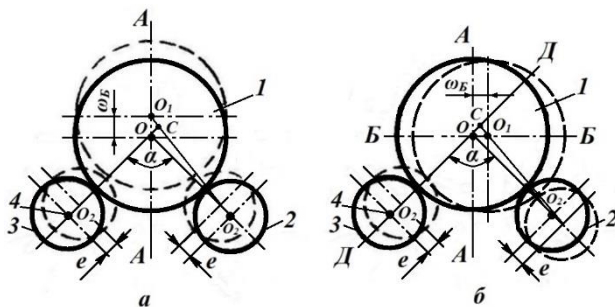


Рис. 3.7. Схема базирования детали на вращающихся роликах при разных направлениях их эксцентриситета: а – к центру детали; б – в разные стороны

Учитывая высокую точность изготовления роликов, можно с большой достоверностью предположить, что биения  $2e$  у всех роликов данного приспособления будут различаться незначительно.

Рассмотрим схему базирования, представленную на рис. 3.7, а. При  $\alpha = 90^\circ$  треугольник  $ОСО_1$  с достаточным приближением может быть принят за прямоугольник с гипотенузой  $\omega_B$  и катетами  $e$ . Тогда искомая погрешность базирования определится как

$$\omega_B = \frac{e}{\cos \frac{\alpha}{2}} \approx 1,41e. \quad (3.2)$$

Для схемы базирования на рис. 3.7, б погрешность  $\omega_B$  в плоскости Б-Б определяется по аналогичной формуле. При повороте роликов 2 и 3 на  $180^\circ$ , когда значения их эксцентриситетов меняют знаки, погрешность базирования в плоскостях А-А и Б-Б удваивается, и тогда

$$\omega_{B_{\max}} = \frac{2e}{\cos \frac{\alpha}{2}} \approx 2,83e.$$

Величина  $\omega_{\text{бmax}}$  характеризует максимальную погрешность базирования валов на роликовые призмы в плоскостях А-А и Б-Б.

Эксцентриситет  $e$  в плоскости  $O_1O_2$  (рис. 3.7, а) при вращении роликов непрерывно меняется, в связи с чем непрерывно меняется и погрешность базирования валов на роликовых призмах. Погрешность базирования  $\omega_{\text{б}}$  в плоскости А-А будет максимальной в том случае, когда эксцентриситеты  $e$  роликов одновременно направлены к центру вала. При этом погрешность базирования в плоскости Б-Б приближается к нулю. Максимальная погрешность базирования  $2\omega_{\text{б}}$  плоскости Б-Б будет, когда эксцентриситет ролика 2 направлен от центра вала, а эксцентриситет ролика 3 - к центру вала. При этом в плоскости А-А погрешность базирования приближается к нулю. Наименее влиятельна погрешность базирования в том случае, когда контроль осуществляется в плоскости Д-Д, расположенной под углом  $45^\circ$  к плоскостям А-А и Б-Б. Для этой плоскости.

Влияние собственного биения роликов на погрешность базирования деталей в роликовых призмах значительно, поэтому в контрольных приспособлениях ролики выполняются с биением не более 0,001...0,005 мм.

### **3.4. Расчёт погрешности передаточных устройств**

В контрольных приспособлениях стержни индикаторов и других измерительных средств редко соприкасаются с контролируемыми деталями, т.к. не всегда можно подвести стержень индикатора непосредственно к детали. В таких случаях между ними устанавливается рычажная или прямая передача. Передачи выполняют роль буферов, предохраняя механизмы индикаторов от быстрого износа и толчков.



В контрольных приспособлениях разнообразие рычажных и прямых передач обусловлено конструктивной необходимостью, а также рядом других причин:

- необходимостью обеспечения в передачах удовлетворительного порога чувствительности;
- стремлением уменьшить погрешность передаточных звеньев и предельную погрешность передачи;
- повышением износостойкости передачи.

Вследствие неточности линейных и угловых размеров рычагов могут возникать погрешности в запроектированном передаточном отношении рычажных передач. Такие погрешности связаны с допусками на выполнение длин плеч и на их угловое расположение. Погрешности в передачах возникают также вследствие непропорциональности между линейным перемещением измерительного стержня индикатора и угловым перемещением рычага.

В общем случае погрешность передаточных устройств контрольного приспособления состоит из погрешности  $\omega_p$ , вызванной неточностью изготовления передаточных элементов, и погрешности  $\omega_n$  возникающей по причине зазоров между осями рычагов.

Суммарная погрешность рычажных передач равна сумме составляющих погрешностей:

$$\omega_p = \omega_{p.д.} + \omega_{p.у.} + \omega_{p.л.} + \omega_{p.с.} + \omega_{p.пр.}, \quad (3.3)$$

где  $\omega_{p.д.}$  – погрешность от неточности изготовления длин плеч рычагов;

$\omega_{p.у.}$  – погрешность от неточности углового расположения плеч рычагов;

$\omega_{p.л.}$  – погрешность от непропорциональности перемещения рычагов;

$\omega_{p.с.}$  – погрешность от перемещения точки контакта рычагов;

$\omega_{p.пр.}$  – погрешность прямых передач.

Составляющие погрешности  $\omega_p$  являются систематическими и могут быть определены расчётным путём.

*Погрешность от неточности изготовления длин плеч рычагов.* Длины плеч рычагов выполняют с определёнными погрешностями. Так как длины и отклонения плеч неодинаковы, перемещения концов плеч рычагов будут различными, т.е. один конец плеча перемещается на величину  $a_1$ , а другой – на  $a_2$  (рис. 3.8).

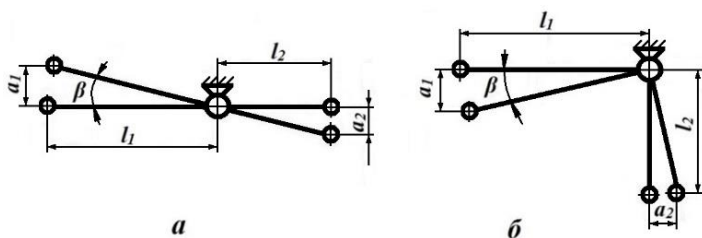


Рис. 3.8. Схема перемещения прямых (а) и угловых (б) рычагов при неточном изготовлении длины их плеч

Тогда погрешность

$$\omega_{p.d.} = a_1 - a_2 = (l_1 - l_2) \times \sin\beta.$$

Принимая  $\sin\beta = \frac{a_1}{l_1}$ , находим  $\omega_{p.d.} = a_1 \times \left(1 - \frac{l_2}{l_1}\right)$ .

Отсюда следует, что наибольшая погрешность получается при изготовлении одного плеча по наибольшему предельному размеру, а другого по наименьшему:

$$\omega_{p.d.max} = 1 - \frac{l_{1min}}{l_{2max}}. \quad (3.4)$$

Погрешность  $\omega_{p.d.}$  может оказаться большой у рычагов с передаточным отношением 2,5.

*Погрешность от неточности углового расположения плеч рычагов.* В ряде случаев возникает погрешность углового расположения плеч рычагов на величину  $\gamma$  (рис. 3.9).

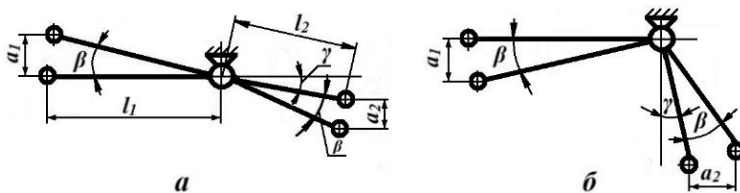


Рис. 3.9. Схема перемещения прямых (а) и угловых (б) рычагов при неточном угловом расположении их плеч между собой

Погрешность передачи в этом случае

$$\omega_{\text{п.у.}} = a_1 - a_2 = l_1 \times \sin\beta - [l_2 \times \sin(\beta + \gamma) - l_2 \times \sin\gamma].$$

В случае равенства длин рычагов ( $l_1 = l_2 = l$ ) с учётом малости углов  $\beta$  и  $\gamma$  получим следующую расчётную формулу для определения погрешности вследствие неточного углового расположения плеч рычагов относительно друг друга:

$$\omega_{\text{п.у.}} = l \times \sin\gamma \times (1 - \cos\beta). \quad (3.5)$$

*Погрешность от непропорциональности перемещений рычагов.*

В передачах контрольных приспособлений одно плечо рычага передаёт движение измерительному стержню индикатора, который перемещается поступательно; в то же время плечо рычага имеет угловое перемещение (рис. 3.10). В связи с этим в рычажных передачах возникает погрешность  $\omega_{\text{рп}}$  и передаточном отношении, вызываемая непропорциональностью между линейным перемещением измерительного стержня индикатора и угловым перемещением рычага.

Обозначив через  $a$  линейное перемещение измерительного стержня индикатора при повороте рычага с плоским концом на угол  $\alpha$ , через  $l$  – плечо рычага, получим  $a = l \times \text{tg}\alpha$ .

Чтобы выявить погрешности в передаточном отношении рычажных передач, возникающие вследствие непропорциональности линейного перемещения рычага, разложим  $\text{tg}\alpha$  в ряд Тейлора:

$$\text{tg}\alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \frac{2\alpha^5}{5} + \dots,$$

( $\alpha$  – в радианах).

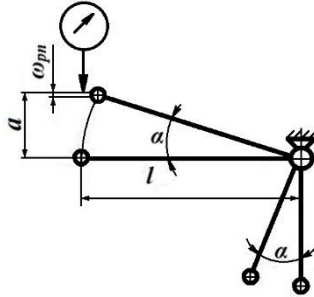


Рис. 3.10. Схема непропорционального перемещения плеча рычага и измерительного стержня индикатора

Так как  $\alpha$  значительно меньше единицы, пренебрегая величинами пятого порядка и выше, получим

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3}.$$

Тогда

$$a = l\alpha + \frac{l\alpha^3}{3}.$$

Второй член данного выражения и есть погрешность от непропорциональности перемещений рычагов:

$$\omega_{\text{р.п.}} = \frac{l\alpha^3}{3}. \quad (3.6)$$

Длинные рычаги имеют углы поворота, равные  $1 \dots 3^\circ$ .

*Погрешность от перемещения точки контакта рычагов.* Рабочие концы плеч рычагов выполняют обычно таким образом, чтобы обеспечивался точечный контакт с поверхностью измеряемой детали и концом стержня измерительного прибора. Для этой цели один, а иногда и оба конца плеч у рычагов выполняют в виде сферы с радиусом 2...3 мм или плоскими контактирующими со сферическими поверхностями. При таких схемах рычажных передач неизбежна погрешность, т.к. при повороте рычага точка контакта перемещается (рис. 3.11).

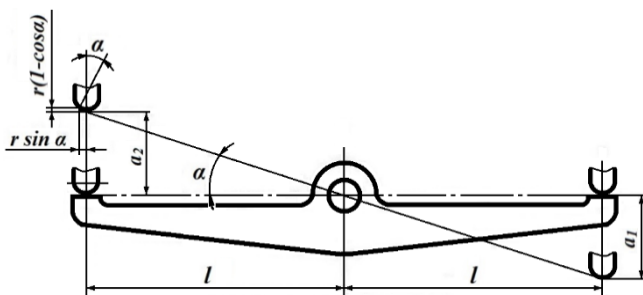


Рис. 3.11. Схема контакта плоских концов рычага со сферическими наконечниками

Концы обоих плеч рычага плоские и имеют контакт со сферическими поверхностями с радиусом закругления  $r$ .

При повороте рычага на угол  $\alpha$  контакт концов плеч будет различным на правом и левом концах рычага. При этих условиях в передаточном отношении получим погрешность  $\omega_{\text{р.с}}$  для равноплечих рычагов, которую найдём, определив

$$a_2 = l \times \text{tg} \alpha + r \times \left( \sqrt{1 - \text{tg}^2 \alpha} - 1 \right) \quad \text{и} \quad a_1 = l \times \text{tg} \alpha - r \times \left( \sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha} - 1 \right),$$

$$\omega_{\text{р.с.}} = \frac{a_2}{a_1} - 1. \quad (3.7)$$

Возможны и другие погрешности, вызванные технологическими отклонениями и конструктивными особенностями, однако вследствие малых перемещений рычагов большинство этих факторов не вызовет существенного увеличения погрешности  $\omega_{\text{р}}$ .

*Погрешность прямых передач.* Прямые передачи играют роль буферов для предохранения индикаторов и других измерительных средств от резких толчков и ударов. Наличие такого промежуточного звена вносит в измерения незначительные погрешности, которыми иногда можно пренебречь. Это объясняется рядом причин. Диаметры стержня и втулки передачи, выполняемые по посадке

H7/g6 CT СЭВ (обычно они равны 4...5 мм), совместно притирают, вследствие чего максимальный зазор не превышает 0,01 мм. Ось стержня  $O_1O_1$  может не совпадать с центром  $O$  проверяемой детали и может повернуться на угол  $\beta$  (рис. 3.12).

При перемещении стержня в процессе измерения деталей угол наклона  $\beta$  его оси может колебаться от нуля до максимума, что вызывает погрешность  $\omega_{p.пр.}$  в передаче. Эта погрешность будет увеличиваться по мере смещения оси измерительного стержня индикатора от оси стержня передачи и оси детали.

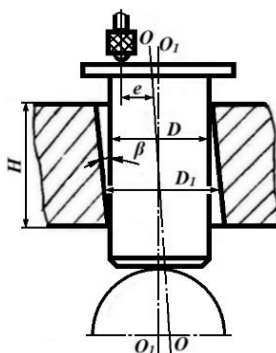


Рис. 3.12. Схема прямой передачи со стержнем, смещённым относительно оси измерительного стержня индикатора

При измерении деталей с предельными размерами стержень переместится по направлению оси  $O_1O_1$  на величину  $AB$  (рис. 3.13). Стержень индикатора при этом пройдёт путь, равный  $AC$ . Согласно рис. 3.12 и 3.13.

$$AB = AC \cos \beta; \quad \omega_{p.пр.} = AC - AB;$$

$$\omega_{p.пр.} = \frac{AB}{\cos \beta} - AB; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{D_1 - D}{H}.$$

Обычно  $H=20...25$  мм, тогда  $\operatorname{tg} \beta=0,001$ . Для такого угла  $\cos \beta \approx 1$ . Следовательно, при этих условиях погрешность  $\omega_{p.пр.}$  в передаче близка к нулю.

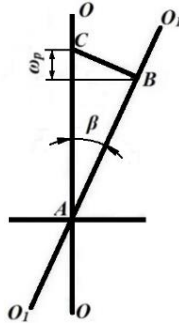


Рис. 3.13. Схема перемещения стержней прямой передачи и индикатора при несовпадении их осей

Смещение оси измерительного стержня индикатора относительно оси стержня передачи на величину  $e$  в горизонтальной плоскости и поворот последнего во втулке на угол  $\beta$  также вызывает погрешность в передаче

$$\omega_{p,пр.} = e \times \text{tg}\beta. \quad (3.8)$$

Обычно  $e \leq 0,2 \dots 0,3$  мм. При  $\text{tg}\beta \leq 0,001$  максимальное значение  $\omega_{p,пр.} = 0,003$  мм, что при определении точности работы передачи можно не учитывать.

*Погрешность от зазоров между осями рычагов.* Большинство контрольных приспособлений имеют рычажные передачи, которые могут поворачиваться вокруг осей (рис. 3.14).

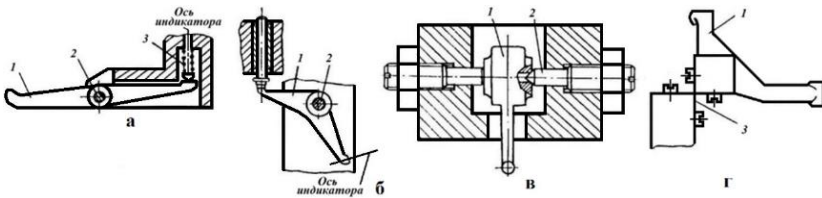


Рис. 3.14. Типы передач контрольных приспособлений:  
 а – с рычагом на оси; б – прямая в сочетании с рычажной; в – с рычагом в центрах; г – с угловым рычагом на пластинчатых пружинах

Для обеспечения надёжного контакта с контролируемой деталью рычаги передач подпираются пружинами 3. Давление пружин должно быть тщательно подобрано и отрегулировано с учётом давления измерительных средств контрольного приспособления.

В соединении рычага 1 с осью 2 всегда имеется зазор, который приводит к погрешности  $\omega_n$ , являющейся величиной случайной и зависящей от колебания зазора в соединении рычага с осью и усилия, создаваемого пружиной. Погрешность  $\omega_n$  определяется экспериментально в зависимости от типа передачи. В таблице 3.2. приведены предельные значения  $\omega_n$ .

Таблица 3.2. Предельные значения  $\omega_n$

Тип передачи	Погрешность $\omega_n$ , мм
С рычагом на оси	0,006...0,01
Прямая в сочетании с рычажной	0,004...0,006
С рычагом в центрах	0,006...0,008
С рычагом на пластинчатых пружинах	0,003...0,005
Сложная с рычагами на осях	0,01...0,03

### 3.5. Определение остальных составляющих суммарной погрешности измерения

#### Составляющие погрешности установки

*Погрешности изготовления установочных элементов и их расположения на корпусе приспособления  $\omega_{у.з.}$ .* В авиадвигателестроении многие детали должны изготавливаться с высокой точностью. Часто точность размеров погрешностей взаимного расположения поверхностей контролируемых деталей составляет 0.01...0.03 мм. Нередко даже малые погрешности изготовления установочных узлов контрольных приспособлений имеют существенное значение, поэтому рабочие поверхности установочных узлов изготавливают с допусками 0,001...0,005 мм, а по располо-



жению поверхностей выдерживают следующие требования: непараллельность и перпендикулярность не выше 0,01 мм на длине 100 мм, смещение от номинального положения не выше  $\pm 0,003$  мм.

Действительные отклонения в размерах установочных элементов являются величинами постоянными и могут быть определены после изготовления и аттестации контрольного приспособления.

*Погрешность смещения измерительной базы детали от заданного положения  $\omega_c$ .* Эта погрешность является величиной случайной и возникает в результате неточности совмещения измерительных базовых поверхностей контролируемых деталей с рабочими поверхностями установочных элементов приспособления. Это несовмещение происходит из-за деформации стыковых поверхностей установочного узла и контролируемой детали под действием измерительного усилия. Погрешности от измерительного усилия бывают трёх видов:

- возникающие в результате упругих деформаций в зоне контакта измерительного наконечника приспособления с контролируемой деталью;

- вызванные упругими деформациями детали, исключая зону контакта;

- появляющиеся в результате упругих деформаций установочного узла и деталей приспособления.

При измерениях первые два вида погрешностей определяются величиной действующего в момент измерения усилия, а третий – разностью этого усилия и усилия, действовавшего при установке показывающего прибора приспособления на нуль.

Контактная деформация в месте соприкосновения измерительного наконечника с поверхностью детали зависит от материала

ла наконечника и детали, их формы и измерительного усилия. Для наконечника из твёрдого сплава с радиусом закругления 2,0 мм при значении измерительного усилия 5...10 Н деформация по закалённой стали не превышает 0,0009...0,0012 мм.

При измерении деталей небольшого поперечного сечения расположенных на двух опорах или консолю, а также при контроле тонкостенных деталей возможен их прогиб под действием измерительного усилия. Если имеются опасения, что величина прогиба может быть сопоставлена с допустимой погрешностью измерения, необходимо произвести расчёт по формулам сопротивления материалов.

Под деформацией установочных узлов приспособления от измерительного усилия понимают деформацию стоек или штативов, где установлен показывающий прибор. Для используемых в приспособлениях стоек и штативов прогиб при нагрузке в 2 Н не превысит 0,0002...0,0005 мм.

Таким образом, при расчётах погрешность  $\omega_c$  может принимать значения 0,001...0,002 мм.

*Погрешность закрепления  $\omega_3$ .* В отдельных конструкциях контрольных приспособлений, когда требуется обеспечить неизменность положения проверяемой детали, применяют ручные, пневматические, гидравлические и другие зажимные устройства. Чтобы не нарушать постоянства установки деталей относительно измерительных средств, зажимные устройства в контрольных приспособлениях должны развивать небольшие усилия.

Погрешность  $\omega_3$  имеет случайный характер и определяется колебаниями прилагаемой силы, изменением места её приложения, конструкцией зажимного устройства. В таблице 3.3 приведены предельные значения  $\omega_3$  в зависимости от типа зажимного устройства.

Таблица 3.3. Предельные значения погрешности закрепления  $\omega_3$

Тип зажимного устройства	Погрешность $\omega_3$ , мм
С байонетным зажимом	0,004...0,006
С двумя неподвижными и одним подвижным кулачком	0,015...0,09
С цангой	0,007...0,02
На оправку и призму	0,005...0,01
С прижимным зажимом и неподвижной опорой	0,006...0,01
С двумя плоскими взаимно перпендикулярными поверхностями	0,008...0,015

### Составляющие погрешности установочных мер

Погрешности от установочных мер или установочных образцов вносят ошибку в результаты измерения, когда определяют размер детали относительным методом. Если для настройки какого-либо измерительного приспособления используют цилиндрический валик, то погрешность определения его размера войдёт систематической ошибкой в результаты измерения деталей. Однако если этот валик имеет ещё и погрешность геометрической формы, то величина вносимой систематической ошибки будет иметь случайный характер.

*Систематическая погрешность, учитывающая отклонения установочных размеров от номинальных  $\omega_n$ .* Установочные меры используются либо в виде плоскопараллельных концевых мер длины, либо в виде аттестованных деталей, являющихся полным или частичным прототипом контролируемой.

Одной из основных частей погрешности, вносимых при пользовании концевыми мерами длины, является погрешность их аттестации (т.е. когда действительный размер принимается с определённой достоверностью). Могут возникнуть также погрешности от притирки, которые для некоторых концевых мер превышают погрешность аттестации.

Для размеров до 500 мм погрешность от притирки составляет до 0,5 мкм. Для некоторых измерений такие ошибки являются существенными и соизмеримыми с погрешностями разрядной аттестации. Для малых размеров погрешность притирки в несколько раз больше погрешности аттестации. В связи с этим концевые меры 1 и 2-го разрядов должны применяться только в виде отдельных мер, например, для аттестации относительным методом более грубых разрядов, а также для настройки приборов, но без сборки их в блок. В таблице 3.4 приведены значения погрешности  $\omega_n$ .

*Погрешность при отклонении установочных мер от правильной геометрической формы  $\omega_{н.с.}$ .* С точки зрения метрологии погрешность геометрической формы детали приводит к тому, что у детали нет единого размера и по контролируемому параметру она имеет бесчисленное множество размеров, отличающихся друг от друга.

Таблица 3.4. Погрешность блоков концевых мер с погрешностью аттестации  $\omega_n$ .

Интервалы размеров, мм	Состав блока наименее благоприятных размеров, мм	Погрешность, мкм				
		Разряд концевых мер				
		1	2	3	4	5
1...10	Две меры до 10	0,21	0,22	0,25	0,35	0,60
10...30	Две меры до 10, одна мера 10...18	0,22	0,24	0,27	0,43	0,78
30...50	Две меры до 10, одна мера 30...50, две меры до 10	0,22	0,25	0,32	0,46	0,78
50...80	Одна мера 50...80, две меры до 10	0,27	0,30	0,38	0,55	0,86
80... 120	Одна мера 10, одна мера 100, две меры до 10	0,33	0,36	0,46	0,68	1,10
120... 180	Одна мера 50...80, одна мера 100, две меры до 10	0,33	0,37	0,51	0,76	1,19
180...260	Одна мера 30...50, одна мера 180...250, две меры до 10	0,35	0,45	0,63	1,13	1,70
260...360	Одна мера 80...50, одна мера 300, две меры до 10	0,46	0,55	0,76	1,38	2,18
360...500	Одна мера 80...120, одна мера 400, две меры до 10	0,57	0,70	1,00	1,69	2,72

Отклонения от правильной геометрической формы влияют на погрешность измерения в той мере, в какой при разовом измерении можно определить размер контролируемой фигуры.

При измерении образцовых, настроенных деталей оценка и настройка по случайному размеру приводят к тому, что прибор настраивается на случайный размер, и если он оказался неверным, то ошибка отразится на всех последующих измеренных размерах. Поэтому для установочных деталей необходимо нормировать искажения геометрической формы в тех пределах, в которых этими искажениями можно пренебречь.

При случайности выявления размера детали, если в ней имеются отклонения от требуемой геометрической формы, вносимые в результаты погрешности не всегда равны полной величине искажения формы. В таблице 3.5. приводятся возможные погрешности при различных видах отклонений формы.

Таблица 3.5. Возможные погрешности  $\omega_{н.с}$  от отклонений геометрической формы

Вид погрешности формы	Какая часть отклонений формы влияет на погрешность
Овальность и огранка четкая	0...1
Огранка нечеткая	1
Волнистость	0...1
Конусность (измерение в среднем сечении)	0,5
Конусность (измерение на концах)	0...1
Бочкообразность (измерение в среднем сечении)	0
Бочкообразного» (измерение на концах)	1
Корсетность (измерение в среднем сечении)	1
Корсетность (измерение на концах)	0
Изогнутость оси	0

### Погрешность метода измерения $\omega_m$

Погрешность  $\omega_m$ , свойственная данному методу измерения, зависит от многих факторов, в том числе от конструктивных особенностей приспособлений, погрешности измерительных средств (показывающих приборов), классификации контролёров, условий

эксплуатации приспособлений и т.д. Как уже отмечалось,  $\omega_m$  является величиной случайной. Наибольшая доля погрешности метода  $\omega_m$  приходится на погрешность измерительных средств.

В таблице 3.6 представлены погрешности наиболее часто применяемых в приспособлениях измерительных средств.

Таблица 3.6. Погрешность измерительных средств

Тип показывающего прибора	Предельная погрешность при измерении, мкм
Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 и пределом измерений 1 мм	$\pm 7,2$
То же с пределом измерений 5 мм	$\pm 10,8$
То же с пределом измерений 10 мм	$\pm 13,2$
Индикатор многооборотный с ценой деления 0,001 мм	$\pm 3,5$
Нутромер индикаторный с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений 10...18 мм	$\pm 8$
Нутромер индикаторный с ценой деления 0,002 мм и пределом измерений 18...50 мм	$\pm 3,5$

### 3.6. Пример расчёта на точность КИП

Приспособление, представленное на рис. 3.15, применяется для биения двух внутренних цилиндрических поверхностей. По техническим условиям чертежа готовой детали это радиальное биение не должно превышать 0,05 мм.

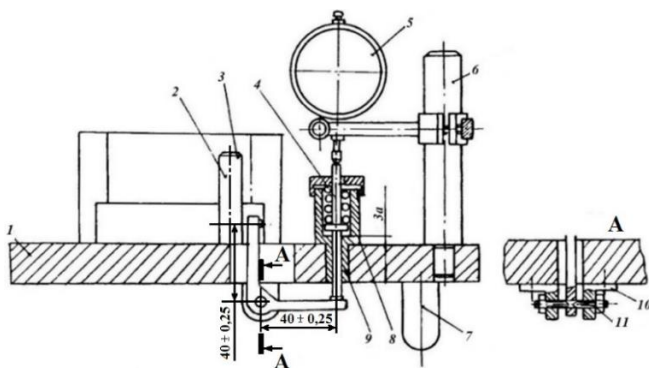


Рис. 3.15. Контрольное приспособление для проверки радиального биения внутренних цилиндрических поверхностей

На плите приспособления 1 установлены два цилиндрических штифта 2, предназначенные для базирования контролируемой детали. К контролируемой поверхности подходит рычаг 3, перемещение которого через палец 4 передаётся на индикатор 5. Индикатор закреплён на стойке 6, которая установлена на плите 1. Палец 4 перемещается в стакане 9, в котором находится пружина 8, создающая измерительное усилие. Рычаг 3 поворачивается вокруг двух конических осей 11, расположенных в стойках 10. В плите 1 снизу установлены две ножки 7, создающие её наклон. За счёт этого деталь под собственным весом базируется на штифтах 2.

При контроле деталь проворачивается вручную вокруг своей оси, и по показанию индикатора судят о величине радиального биения одной внутренней поверхности относительно другой.

Произведём расчёт на точность приспособления, т.е. определим суммарную погрешность измерения. Для этого выясним составляющие суммарной погрешности.

Погрешность изготовления установочных элементов приспособления (штифтов) не влияет на процесс измерения, поэтому  $\omega_{у,з} = 0$ . Установочные элементы, образующие роликовую призму, неподвижные, поэтому эксцентриситет  $e = 0$ , а погрешность базирования (см. 3.2)  $\omega_6 = 0$ .

В данном приспособлении при контроле не произойдёт смещения измерительной базы детали от заданного положения. Объясняется это тем, что контролёр всегда поджимает внутреннюю базовую поверхность к установочным элементам и тем самым препятствует измерительному усилию, создаваемому пружиной. Поэтому  $\omega_с = 0$ .

В конструкции приспособления отсутствуют зажимные элементы, следовательно,  $\omega_з = 0$ .

Таким образом, погрешность установки в контрольном приспособлении равна нулю.

Оценим погрешность передаточных устройств, к которым относятся рычаг 3 и палец 4.

Погрешность от неточности изготовления длин плеч рычагов определяется по формуле (3.4):

$$\omega_{\text{п.д.}} = \left(1 - \frac{l_{1\text{min}}}{l_{2\text{max}}}\right) \times a = \left(1 - \frac{39,75}{40,25}\right) \times 0,05 = 0,0006 \text{ мм.}$$

Погрешность  $\omega_{\text{п.у.}}$  находят по формуле (3.5), но при малых перемещениях от неточности углового расположения плеч рычагов  $\omega_{\text{п.у.}} = 0$ .

Погрешность от непропорционального перемещения рычагов согласно определяется по формуле (3.6). Для нашего случая ( $l = 40$  мм,  $\alpha = 3^\circ$  или  $\alpha = 0,05236$  рад).

$$\omega_{\text{п.п.}} = \frac{l \times \alpha^3}{3} = \frac{40 \times 0,05236}{3} = 0,002 \text{ мм.}$$

Погрешность от перемещения точки контакта рычагов определяется по формуле (3.7):

$$\omega_{\text{п.с.}} = \frac{a_2}{a_1} - 1 = \frac{l \times \text{tg}\alpha + r \times \left(\sqrt{1 - \text{tg}^2\alpha} - 1\right)}{l \times \text{tg}\alpha - r \times \left(\sqrt{1 + \text{tg}^2\alpha} - 1\right)} - 1.$$

Для нашего случая ( $l = 40$  мм,  $\alpha = 3^\circ$ ,  $r = 2$  мм)

$$\omega_{\text{п.с.}} = \frac{40 \times 0,05241 + 2 \times \left(\sqrt{1 - 0,05241^2} - 1\right)}{40 \times 0,05241 - 2 \times \left(\sqrt{1 + 0,05241^2} - 1\right)} - 1 = 0,0032 \text{ мм.}$$

Найдём погрешность прямой передачи пальца 4, который перемещается в направляющей втулке высотой 30 мм. Зазор между втулкой и пальцем 0,02...0,03 мм, смещение оси индикатора относительно оси пальца не превышает 0,2...0,3 мм. Погрешность прямой передачи согласно (3.8)

$$\omega_{\text{п.пр.}} = e \times \text{tg}\beta = 0,3 \times \text{tg} \frac{0,03}{30} = 0,0003 \text{ мм.}$$



Таким образом, погрешность передаточных устройств определяется по формуле (3.3) как

$$\begin{aligned}\omega_p &= \omega_{рд} + \omega_{ру} + \omega_{рп} + \omega_{рс} + \omega_{р.лр} = \\ &= 0,006 + 0 + 0,002 + 0,0032 + 0,0003 = 0,0061 \text{ мм.}\end{aligned}$$

В приспособлении рычаг 3 поворачивается на двух конических осях. По табл. 3.2 погрешность от зазоров между осями рычагов  $\omega_{п} = 0,008$  мм. Данное приспособление работает без установочных мер, поэтому  $\omega_{н} = 0$  и  $\omega_{н.с} = 0$ . Показывающим прибором в контрольном приспособлении является индикатор часового типа с ценой деления 0,001 и пределом измерения 1 мм. По табл. 3.6 погрешность метода измерения  $\omega_{м} = 0,007$  мм.

Суммарную погрешность измерения определим по формуле (3.1):

$$\omega_{\Sigma} = \omega_p + \sqrt{\omega_m^2} = 0,00613 + \sqrt{0,007^2} = 0,013 \text{ мм.}$$

Погрешность КИП составляет 25% допуска контролируемого параметра детали, что полностью удовлетворяет требованиям точности измерительной оснастки.

## Глава 4. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

### 4.1. Конструкции приспособлений для контроля отклонений линейных размеров деталей

Для контроля линейных размеров (диаметров, длин, глубин, толщин и т.п.) наряду с универсальными средствами измерения (штанген-инструментами, микрометрами, штихмассами, индикаторными скобками, нутромерами и др.) и калибрами широко применяются и специальные приспособления, позволяющие повысить точность, достоверность и производительность контроля.

Рассмотрим некоторые конструкции приспособлений для контроля отклонений линейных размеров в различных деталях.

Показанная на рисунке 4.1 скоба состоит из линейки 6, в пазах которой находятся корпуса 1 и 5, где расположены направляющие 2 и 8.

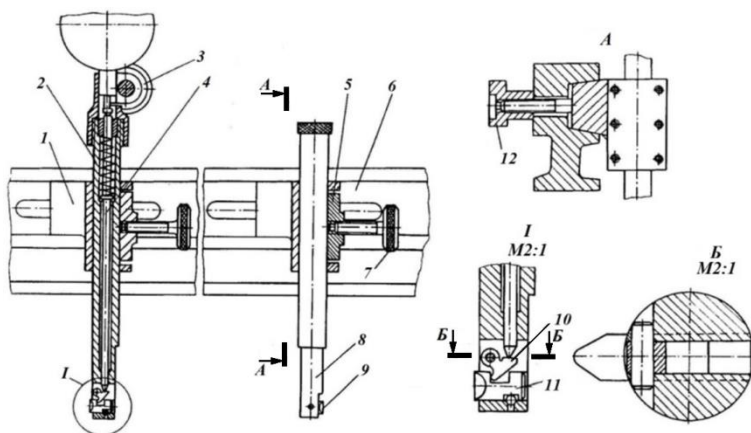


Рис. 4.1. Универсальная индикаторная скоба для контроля внутренних и наружных диаметров в интервале 250 – 290 мм

В направляющей 8 установлен жёсткий упор 9, в направляющей 2 размещены измерительная вставка 11, рычаг 10, шток 4 и державка 3 с индикатором. При настройке скобы для контроля заданного размера отверстия передвигают корпуса 1 и 5 и соответственно направляющие 2 и 8 с упором 9 и измерительной вставкой 11. Корпуса закрепляют винтами 12. Направляющие устанавливают на высоте и закрепляют винтами 7. Настройку производят по соответствующему эталонному кольцу, при этом стрелку индикатора устанавливают на нулевое деление. При контроле скоба опирается линейкой 6 на торец детали, и по показанию индикатора фиксируют отклонения измеряемого диаметра от эталонного размера.

При использовании скобы для контроля наружного диаметра детали направляющие 2 и 8 поворачивают на  $180^\circ$ . Настройку осуществляют так же, как при измерении отверстия. В этом случае в качестве эталона используют наружный диаметр эталонного кольца или эталон-стержень.

Приспособление для контроля отклонения радиуса сферы от номинального размера (рис. 4.2) состоит из основания 1, в котором на осях 2 поворачивается планка 4 с закреплённым в ней индикатором.

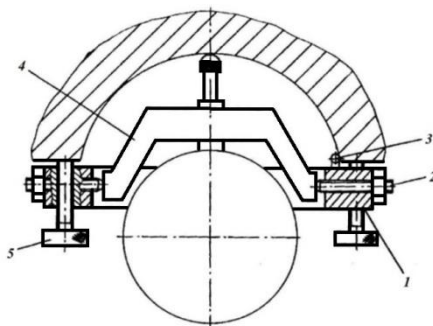


Рис. 4.2. Приспособление для контроля радиуса сферы

Винты 5 позволяют осуществлять регулировку на заданный размер контролируемого радиуса и установить ось индикатора перпендикулярно опорной поверхности контролируемой детали. Установка приспособления по сфере выполняется с помощью двух упоров 3. Настройка приспособления производится по эталону.

С помощью приспособления для контроля форсунок (рис. 4.3) определяется размер  $l$  относительно наружного диаметра  $D$  форсунки.

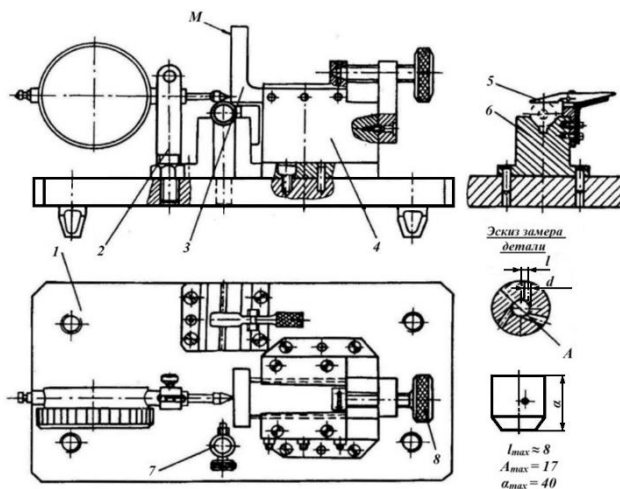


Рис. 4.3. Приспособление для контроля форсунок

Форсунка по наружной цилиндрической поверхности диаметром  $D$  устанавливается в призму 6, к которой поджимается пружинным рычагом 5. Призма 6 крепится к плите 1. На этой же плите установлен держатель индикатора 2 и подушка 4. В подушке по направляющим перемещается угольник 3. С помощью угольника и индикатора определяется размер относительно наружного диаметра.

Настройка прибора осуществляется по эталону, который устанавливается в призму 6 и упирается в упор 7. В отверстие  $d$  эталона конической частью вставляется оправка, имеющая цилиндриче-

ский поясок, по которому с помощью угольника 3 она выставляется вертикально. При этом индикатор упирается в угольник 3, и его шкала устанавливается на нуль. Эталон снимают, устанавливают вместо него контролируемую деталь с оправкой, к которой винтом 8 подводят угольник 3, и по показаниям индикатора определяют отклонения размера от номинального положения. Аналогично проверяют и остальные два отверстия форсунки.

Контроль межосевого расстояния двух отверстий у деталей типа «фланец» осуществляется с помощью приспособления, показанного на рисунке 4.4.

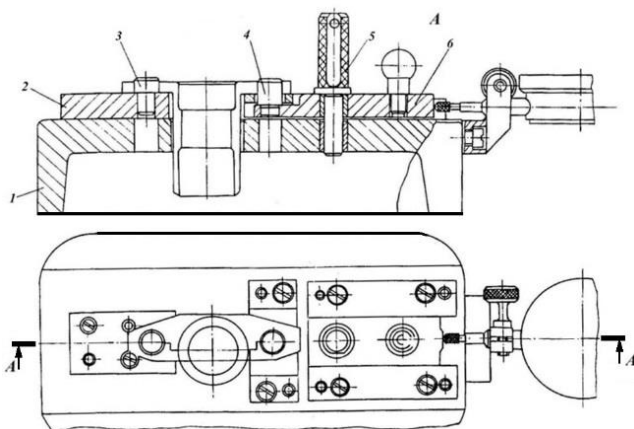


Рис. 4.4. Приспособление для контроля межосевого расстояния

Оно состоит из основания 1, подставки 2, каретки 6. Для контроля деталь устанавливается по базовому отверстию на палец 3 с упором на торец. В противоположное отверстие детали входит мерительный щуп 4. Номинальное межосевое расстояние между пальцем 3 и щупом 4 устанавливается с помощью фиксатора 5, при этом индикатор устанавливается на «0», что соответствует номиналу межосевого расстояния. После удаления фиксатора 5 происходит расфиксирование каретки 6. Перемещение каретки в

одну и другую сторону до упора щупа 4 в образующую отверстия даёт отклонение индикатора  $+\delta_1$  и  $-\delta_2$ . Сумма показаний  $\Delta\delta$ , делённая пополам, и есть фактическое отклонение межосевого расстояния.

Контроль смещения выступов относительно внутреннего диаметра у деталей типа «кольцо» производят с помощью приспособления, представленного на рисунке 4.5. Оно состоит из основания 1, ползуна 2, который перемещается по направляющим 5, рычага 3 и держателя индикатора 4, установленных в ползуне. При контроле деталь своими выступами А базируется по пазу в основании 1. Приспособление – универсальное, позволяет контролировать размеры в диапазоне 30...65 мм. Контроль смещения выступов относительно внутреннего диаметра осуществляется поворотом детали на  $180^\circ$  (перестановкой детали выступами по пазу).

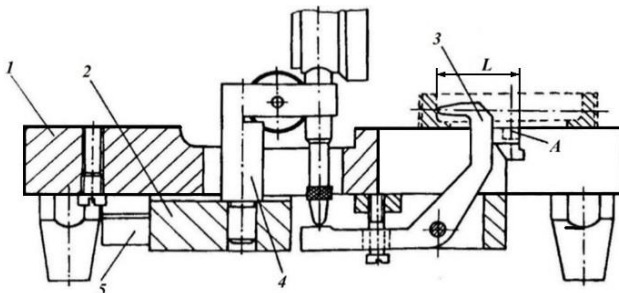


Рис. 4.5. Приспособление для контроля смещения выступов

## 4.2. Приспособления для контроля отклонений формы поверхностей деталей

Точность формы цилиндрических, конических, плоских и других поверхностей имеет исключительно важное значение для правильного выполнения деталями своих функций в конструкции узла или изделия, от неё зависит качество изделий. При отсутствии

в чертеже указаний о предельных отклонениях формы поверхностей эти отклонения ограничиваются полем допуска на размер.

Под отклонением формы понимается отклонение формы реальной поверхности (ограничивающей тело и отделяющей его от окружающей среды) или реального профиля (сечение реальной поверхности плоскостью) от формы геометрической поверхности или геометрического профиля. Отсчёт отклонения формы ведётся от прилегающей поверхности (плоскость, цилиндр) или прилегающего профиля (прямая, окружность). Шероховатость поверхности при рассмотрении отклонений формы не учитывается.

Отклонения от правильной геометрической формы вызываются различными погрешностями технологической системы и бывают весьма разнообразными.

*Неплоскостность* можно контролировать на проверочной плите с помощью стойки с измерительной головкой. Деталь выверяется так, чтобы три точки проверяемой поверхности, не лежащие на одной плоскости и по возможности наиболее удалённые друг от друга, находились на одинаковом расстоянии от проверочной плиты. Неплоскостность определяется как наибольшая разность показаний измерительной головки в различных точках проверяемой поверхности.

Неплоскостность также может быть проверена простыми приспособлениями: линейкой с индикатором, закреплённым в средней части линейки или перемещающимся вдоль неё, лекальной линейкой «на просвет» и т.п. Неплоскостность торцов может быть проверена на кругломерах.

*Непрямолинейность* определяется профилограммой в проверяемом сечении. На профилограмме проводится прилегающая прямая, от которой отсчитываются отклонения: наибольшее из отклонений определяет непрямолинейность.

Упрощенно непрямолинейность можно проверить на поверочной плите с помощью стойки с измерительной головкой и направляющего упора.

Деталь выверяется так, чтобы две, по возможности наиболее удалённые друг от друга, точки проверяемого отрезка находились на одинаковом расстоянии от поверочной плиты. Считается, что при этом прилегающая прямая параллельна плоскости поверочной плиты. Непрямолинейность определяется как разность между наибольшим и наименьшим показаниями измерительной головки. Если необходимо определить непрямолинейность линии пересечения двух плоскостей, плоскость измерения должна проходить через биссектрису угла между этими плоскостями.

*Некруглость, огранка и овальность* могут быть проверены с помощью кругломеров. При обработке профилограмм, записанных в полярных координатах, влияние остаточного эксцентриситета проверяемого сечения относительно оси вращения исключается проведением прилегающей окружности (описанной при контроле наружной поверхности и вписанной при контроле внутренней), от которой отсчитывается отклонение. Если профилограмма записана в прямоугольных координатах, для аналогичных целей используется прилегающая (соответственно сверху или снизу) синусоида.

Овальность как наибольшую разность двух взаимно перпендикулярных диаметров одного сечения можно контролировать и универсальными средствами измерения. Огранка как наибольшее расстояние прилегающей окружности от точек реального профиля, представляющего собой многогранную фигуру, измеряют при помощи кольца или призмы. При проверке огранки вала в кольце измерительная головка показывает действительную величину огранки без пересчётов, но поскольку диаметр кольца должен быть равен диаметру прилегающей окружности, необходимо иметь це-



лый набор колец, причем число их должно быть тем больше, чем большая точность измерения требуется. Для измерения огранки вала на призме разность показаний измерительной головки должна быть пересчитана с учётом числа граней и угла призмы [4, 6].

*Отклонение профиля продольного сечения* при отсутствии изогнутости может быть определено двухконтактным прибором как полуразность между наибольшими и наименьшими диаметрами сечения или с помощью профилограммы сечения.

*Конусообразность* определяется как разность диаметров, измеренных по краям продольного сечения детали, а бочкообразность и седлообразность – по краям и в середине сечения. Проверку производят универсальными средствами измерения диаметров.

*Изогнутость* определяется с помощью измерительной головки при вращении детали на двух разнесённых ножевых опорах. Колебание показаний головки равно удвоенной величине изогнутости.

Точность формы криволинейных поверхностей, например профиля пера лопаток турбины, задаётся в чертеже допуском на отклонение координат точек профиля поперечного сечения пера от расчётного. Отклонения, как правило, задаются перпендикулярно к линии расчётного профиля сечения и могут быть расположены как внутри, так и снаружи от указанной линии.

Универсальные средства измерения отклонений формы плоских и цилиндрических поверхностей широко освещены в литературе и нами не рассматриваются. Контроль отклонений формы поверхностей универсальными средствами измерения не всегда обеспечивает требуемую точность контроля, при этом может быть низкой производительность. В авиационном двигателестроении часто используют контрольно-измерительные приспособления для проверки отклонений формы поверхности различных деталей.

Рассмотрим некоторые конструкции приспособлений для контроля отклонений формы поверхностей деталей. Показанное на рис. 4.6 приспособление состоит из контрольной стойки 4 с индикатором 1 и сменной наладки 3 (рис. 4.6, а). Сменная наладка (рис. 4.6, б) включает призму 6, упор 5 и прижимную пружину 7. При контроле наладка 3 устанавливается на столик 4, в неё ставится контролируемый валик 2 и подводится под индикатор. При вращении валика в призме по показаниям индикатора определяют отклонение формы.

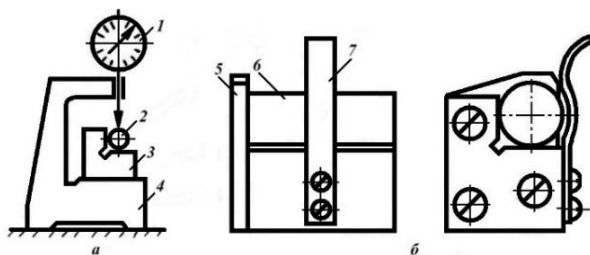


Рис. 4.6. Приспособление для контроля отклонений формы у деталей типа «валик»

Приспособление, представленное на рис. 4.7, служит для контроля неплоскостности торцов деталей типа «кольцо».

Приспособление состоит из основания 1, плиты 2, рычага 7, стойки 5, миниметра 6. При контроле деталь устанавливается торцом на поверхность А плиты 2 и центрируется по двум упорам 4 так, чтобы щуп 3 находился в зоне торца детали. При вращении детали вокруг своей оси происходят перемещения щупа 3 и рычага 7; они передаются на миниметр, по показаниям которого определяется отклонение торца детали от плоскостности. Универсальность приспособления достигается за счёт передвижения упоров 4 на соответствующий размер контролируемого кольца.

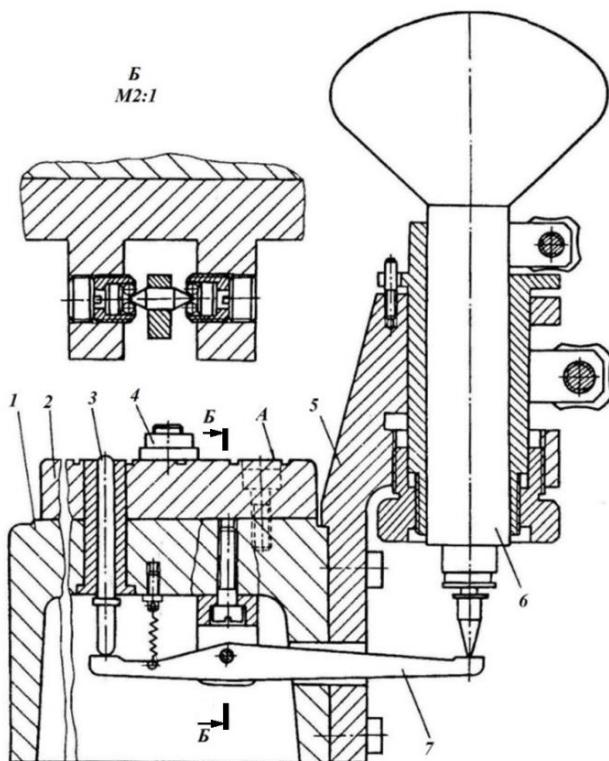


Рис. 4.7. Универсальное приспособление для контроля неплоскости торцов деталей типа «кольцо»

Конструкция приспособления для контроля внутренней сферы приведена на рис. 4.8. Корпус 1 выполнен в виде части сферы с диаметром, равным номинальному диаметру контролируемой детали. При вращении корпуса по контролируемой поверхности подпружинный измерительный наконечник 2 (предварительно выставленный на нуль), соприкасаясь с последней, показывает отклонение формы от номинального положения.

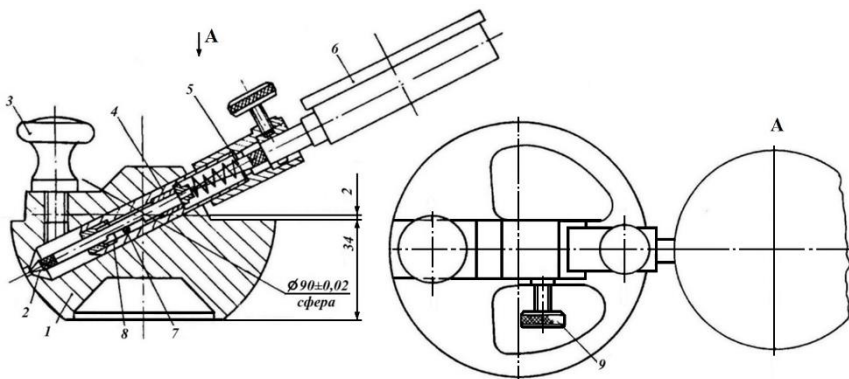


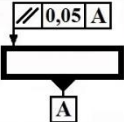
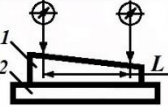
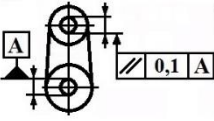
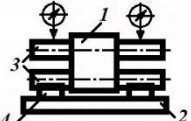


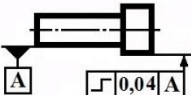
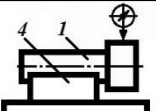

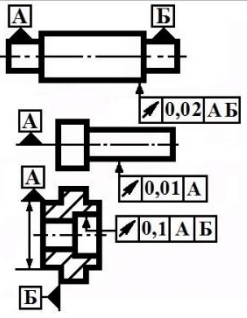
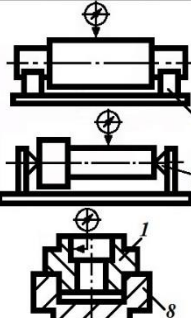
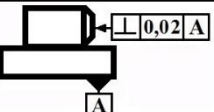

Рис. 4.8. Приспособление для контроля формы открытой внутренней сферической поверхности

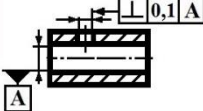
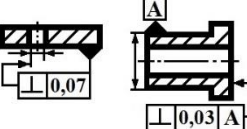
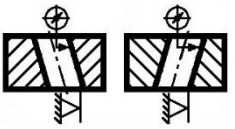
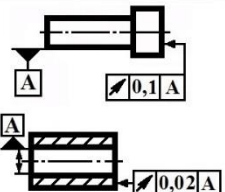
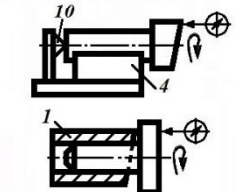
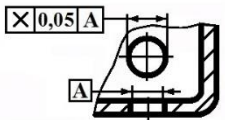
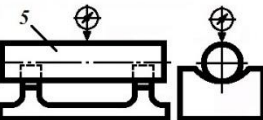
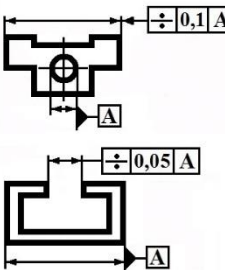
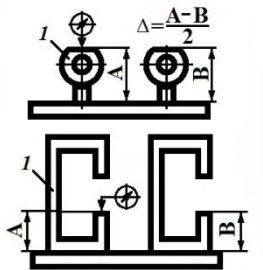
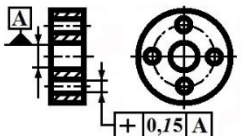
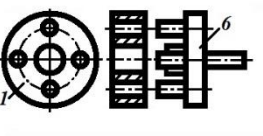
Измерительный наконечник поджимается к контролируемой сфере пружиной 5; для его направления служат втулки 8, которые запрессованы в переходник 4. Поворот устройства осуществляется рукояткой 3, замер – индикатором 6. Переходник 4 и индикатор 6 крепятся винтами 9. Ограничение перемещения наконечника 2 происходит с помощью штифта 7.

### 4.3. Приспособления для контроля отклонений взаимного расположения поверхностей деталей

Под отклонением расположения поверхностей понимается отклонение от номинального расположения рассматриваемой поверхности, её оси или плоскости симметрии относительно базовых поверхностей либо отклонение от номинального взаимного расположения рассматриваемых поверхностей. В общем случае отклонение формы поверхности исключается из рассмотрения отклонений расположения (кроме радиального и торцевого биений), при этом реальные поверхности заменяются прилегающими. Виды отклонений расположения поверхностей и схемы измерения отклонений приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Отклонения расположения поверхностей и схемы измерения

<i>Наименование отклонений</i>	<i>Условное обозначение</i>	<i>Схемы измерения отклонений</i>
<i>Непараллельность плоскостей</i>		
<i>Непараллельность осей поверхностей вращения</i>		
<i>Непараллельность оси поверхности вращения и плоскости</i>		
<i>Несоосность относительно базовой поверхности</i>		
<i>Несоосность относительно общей оси</i>		
<i>Радиальное биение</i>		
<i>Неперпендикулярность плоскостей</i>		

Наименование отклонений	Условное обозначение	Схемы измерения отклонений
<i>Неперпендикулярность осей</i>		
<i>Неперпендикулярность оси и плоскости</i>		
<i>Торцевое биение</i>		
<i>Непересечение осей</i>		
<i>Отклонение от симметричности</i>		
<i>Смещение оси от номинального положения</i>		

*Непараллельность плоскостей* определяется разностью наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими плоскостями на заданной площади или длине. Для проверки непараллельности плоскостей деталь 1 устанавливается базовой поверхностью на поверочной плите 2, относительно которой определяется разность размеров на заданной длине с помощью измерительной головки. Для исключения неплоскостности, входящей в данном случае в погрешность измерений, могут быть использованы контрольная линейка или призматическая подкладка.

*Непараллельность осей поверхности вращения* практически определяется в одной плоскости как разность расстояний между осями на заданной длине. Непараллельность и перекося осей могут быть определены индикаторным прибором, деталь 1 при этом устанавливается на призмах 4 и выверяется так, чтобы базовая ось была параллельна плоскости поверочной плиты.

Для контроля непараллельности осей отверстий применяются индикаторные приспособления с контрольными оправками 3, которые вводятся в проверяемые отверстия. Чтобы исключить влияние изменения диаметров отверстий, в пределах, установленных на них допусков применяют ступенчатые оправки, подбор оправок по градациям диаметров или самоцентрирующиеся разжимные оправки. Для сквозных и коротких отверстий обычно используют оправки с мерными поясками на обоих концах оправки.

Для глухих и длинных отверстий мерные пояски, контактирующие с измерительным наконечником индикатора, выполняются на наружном конце оправки разнесёнными на заданную длину.

*Непараллельность оси поверхности вращения и плоскости* определяется как разность расстояний между прилегающей плоскостью и осью поверхности вращения. Для контроля непараллельности оси отверстия и плоскости деталь 1 устанавливается базовой поверхностью на поверочную плиту 2 и с помощью стойки с ин-

дикатором измеряется разность расстояний от плоскости до контрольной оправки. Если базой является наружная цилиндрическая поверхность, то деталь устанавливается базой на поверочной плите и определяется разность показаний измерительной головки на заданной длине.

*Несоосность относительно базовой поверхности* – это наибольшее расстояние между осью базовой поверхности и осью рассматриваемой поверхности на всей длине её или расстояние между этими осями в заданном сечении. Несоосность относительно базовой поверхности определяется обычно измерением радиального биения проверяемой поверхности в заданном сечении или в крайних сечениях при вращении детали вокруг оси базовой поверхности, устанавливаемой на призме 4; при этом величина радиального биения вдвое больше величины несоосности.

*Несоосность относительно общей оси* двух или нескольких номинально соосных поверхностей вращения (например шеек вала) определяется при вращении вала на ножевых опорах 5 с помощью измерительной головки. Так как за общую ось двух поверхностей принимается прямая, проходящая в средних сечениях рассматриваемых поверхностей, ножевые опоры размещаются в средних сечениях шеек. Несоосность является результатом относительного взаимного смещения осей, а также их перекоса. При зависимых допусках несоосность обычно контролируют с помощью калибров 6.

*Радиальное биение* определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний от проверяемой поверхности до базовой оси вращения детали в сечении, перпендикулярном этой оси. Эксцентриситет рассматриваемого сечения относительно оси вращения вызывает вдвое большее по величине радиальное биение. На радиальное биение влияют также отклонения геометрической формы – некруглость, овальность, изогнутость и т.п.



Радиальное биение может определяться с помощью измерительной головки при вращении детали относительно центровых отверстий на центрах 7 или в призмах 4 относительно базовой цилиндрической поверхности, которая номинально соосна с проверяемой. Выбор схемы измерения радиального биения определяется указанной в чертеже или технологии базой, относительно которой необходимо производить измерение. При недостаточной длине установочной цилиндрической поверхности относительно опорного торца в технических требованиях чертежа должна быть оговорена дополнительная упорная база в торец. Такое комбинированное базирование [9, 21] характерно при соотношении 1:5 и более между длиной центрирующей поверхности и диаметром опорного торца и применяется при контроле радиального и торцевого биений. В этом случае деталь 1 практически устанавливается по плоскости торца и дополнительно центрируется по короткой цилиндрической поверхности. Центрирование может быть проведено с помощью базирующей поверхности приспособления 8 или выверкой базовой поверхности детали с помощью измерительной головки.

Для поверхности вращения, образующая которых непараллельна базовой оси (например конических), величина биения оговаривается и измеряется в направлении, перпендикулярном к проверяемой поверхности.

*Неперпендикулярность плоскостей, осей или осей и плоскости* понимается как отклонение от прямого угла между плоскостями, осями или осью и плоскостью, выраженное в линейных единицах на заданной длине. Неperпендикулярность плоскостей определяется от прилегающих плоскостей или линий. Её можно контролировать при установке детали базовой плоскостью на поверочной плите измерением разности показаний измерительной головки, перемещаемой на заданную длину перпендикулярно плоскости плиты 9.

Нередко в чертежах деталей встречается нетехнологичное задание условий на отклонение от перпендикулярности поверхностей, когда за базу принимается меньшая из них. Установка деталей на меньшую от проверяемых поверхностей часто является причиной нестабильности замера, поэтому целесообразнее принимать за базу большую поверхность с соответствующим пересчётом допусков.

*Неперпендикулярность оси цилиндрической поверхности и плоскости* можно определять методом двойного измерения с помощью индикаторного приспособления. Для этого деталь устанавливается базовой плоскостью на поверочную плиту до соприкосновения одной точки образующей цилиндрической поверхности с неподвижным упором. Измерительный наконечник отсчётной головки подводится до соприкосновения с той же образующей на заданном расстоянии. После отсчёта показаний деталь поворачивается на  $180^\circ$  относительно оси цилиндра и вновь вводится в соприкосновение с упором и измерительным наконечником по образующей цилиндра, диаметрально противоположной первой. Разность показаний отсчётной головки даст удвоенную величину неперпендикулярности оси цилиндра к торцу.

Аналогичным способом можно проверять неперпендикулярность осей отверстий.

*Торцевое биение* определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения. Если диаметр не задан, то биение определяется на наибольшем диаметре торцевой поверхности.

Торцевое биение является результатом неперпендикулярности торцевой поверхности к базовой оси и отклонения формы торца по линии измерения. Торцевое биение вала относительно

наружной цилиндрической поверхности может контролироваться по разности показаний измерительной головки при установке и вращении вала на базовой поверхности в призмах 4 с фиксацией в осевом направлении упором 10.

*Непересечение осей*, т.е. кратчайшее расстояние между номинально пересекающимися осями, можно контролировать на поверочной плите с помощью измерительной головки и оправок 3; при этом измеряется высота образующей соответствующей оправки над базовой поверхностью в точке пересечения осей и определяется разность показаний головки с учётом диаметров применяемых оправок.

*Несимметричность* – наибольшее расстояние между плоскостью (осью) симметрии рассматриваемой поверхности и плоскостью (осью) симметрии базовой поверхности. Несимметричность относительно оси цилиндрической поверхности можно проверять на плите в центрах с помощью измерительной головки. Несимметричность определяется как полуразность расстояний А и В при повороте детали 1 в центрах на 180°. Несимметричность относительно базовой поверхности определяется при кантовке детали на 180°.

При зависимых допусках несимметричность целесообразно контролировать калибрами.

*Смещение плоскостей или осей симметрии от номинального расположения* определяется наибольшим расстоянием между действительным и номинальным расположением оси (плоскости симметрии) на всей длине рассматриваемой поверхности. Если заданы базы – номинальное расположение определяется относительно баз. Предельное смещение осей или плоскостей симметрии от номинального расположения можно контролировать калибром 6, измерительные поверхности которого имеют размеры, определённые с учётом предельного смещения, и расположение, совпадающее

с номинальным расположением контролируемых поверхностей. Действительное смещение осей от номинального положения можно контролировать универсальными или специальными приборами как толщину перемычек между стенками отверстий с учётом их фактического диаметра на делительной головке и т.п.

Рассмотрим типовые схемы наиболее распространённых способов контроля взаимного расположения поверхностей корпусных деталей. В каждом конкретном случае эти способы могут совершенствоваться.

Контроль перпендикулярности осей отверстий (рис. 4.9) производят специальным приспособлением, состоящим из валика 2, на котором закреплена индикаторная головка 1.

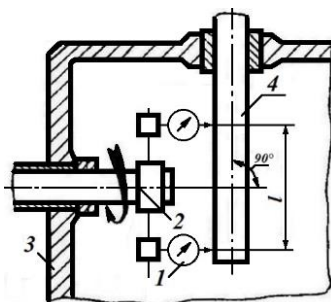


Рис. 4.9. Схема контроля перпендикулярности осей отверстий в корпусных деталях

Валик 2 вставляют в отверстие корпуса 3, а в перпендикулярное отверстие вставляют валик 4. Изменение показаний индикаторной головки 1 при повороте вала 2 на  $180^\circ$  соответствует отклонению от перпендикулярности осей отверстий на длине  $l$ .

Схема проверки непараллельности между плоскостями направляющих 5 и 7, а также между осью отверстия и плоскостями направляющих корпуса приведена на рисунке 4.10, а.

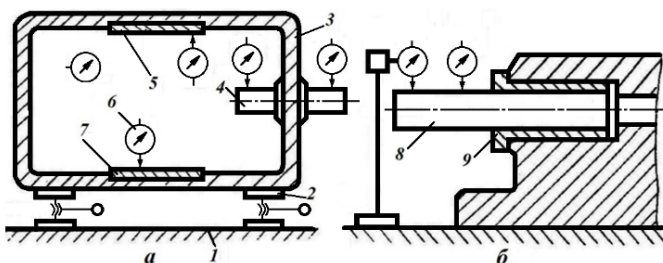


Рис. 4.10. Схема контроля непараллельности плоскостей и осей отверстий в корпусных деталях

На поверочную плиту 1 ставят домкраты 2, на них – контролируемую деталь 3. Используя микронную головку 6, закреплённую на стойке, и домкраты, выравнивают направляющую плоскость 7 параллельно плоскости поверочной плиты. Затем с помощью этой же головки проверяют параллельность плоскости 5 относительно плоскости поверочной плиты и параллельности оси контрольного валика 4, вставленного в отверстие детали. В отдельных случаях можно применять также контрольные валики 8 совместно со втулками 9 (рис. 4.10, б).

Приспособление для контроля биений диаметров деталей типа «втулка» (рис. 4.11) состоит из плиты 1 с закреплённым на ней кронштейном 3.

В зависимости от размеров контролируемых втулок кронштейн может перемещаться по пазу в плите 1. На кронштейне установлен рычаг 2, с помощью которого замеряется биение внутренних диаметров втулки. Перемещение рычага 2 передаётся на индикатор. Для замера биения наружных диаметров втулки на индикаторном штативе 4 имеется второй индикатор. Контролируемая втулка устанавливается на переходнике с двумя роликами 5. Переходник крепится на плите 1 в отверстии диаметром  $D$  гайкой.

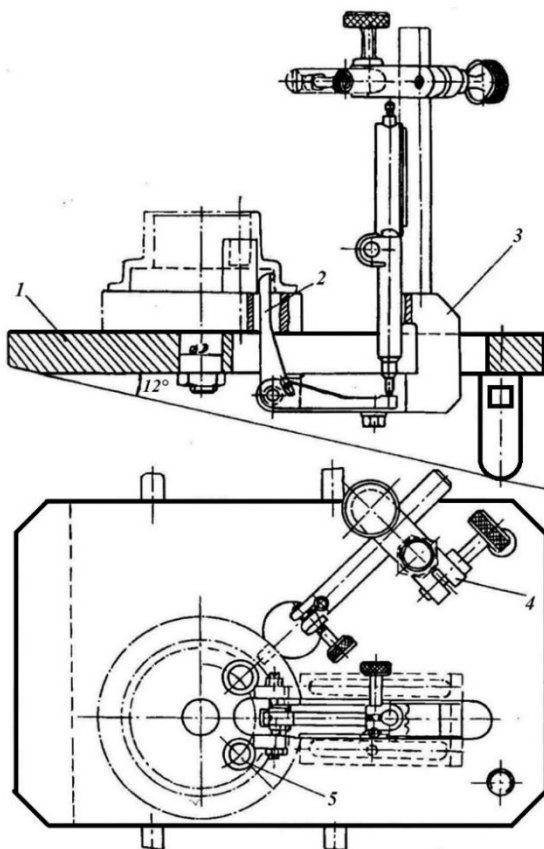


Рис. 4.11. Приспособление для контроля биений диаметров деталей типа «втулка»

Для контроля биения предназначено приспособление, состоящее из плиты 6 и каретки 4, перемещающейся по направляющим 3 (рис. 4.12). Положение каретки регулируется с помощью установочного винта 5 и пружины 7. В каретке имеется индикатор, который крепится на ней винтом 8. Контролируемая деталь устанавливается на переходнике, который с помощью винта 1 закрепляется на втулке 2.

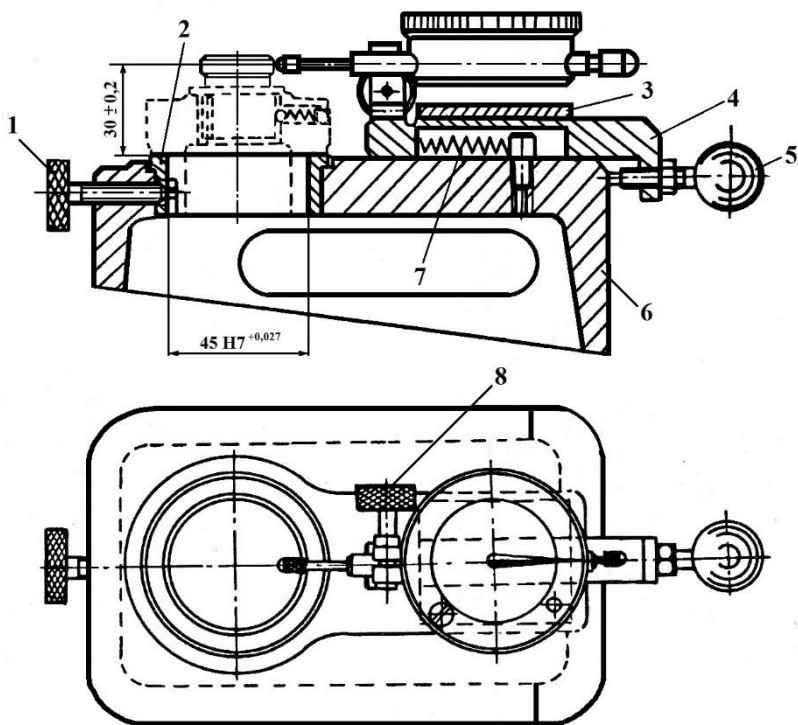


Рис. 4.12. Приспособление для контроля биения

Приспособление для контроля биения канавок относительно базового отверстия, показанное на рис. 4.13, состоит из корпуса 1, штока 5, рычага 3 с наконечниками 4 и 8, пружины 2 и двух роликов 7. Шток 5 с рычагом имеет возможность перемещаться вдоль своей оси в корпусе 1, что позволяет устанавливать наконечник 8 в нужную канавку. Рычаг вращается на оси 6, плечи рычага выполнены одинаковыми. Перемещение наконечника 4 фиксируется индикатором. Установка корпуса 1 по базовому отверстию детали 9 осуществляется роликами 7.

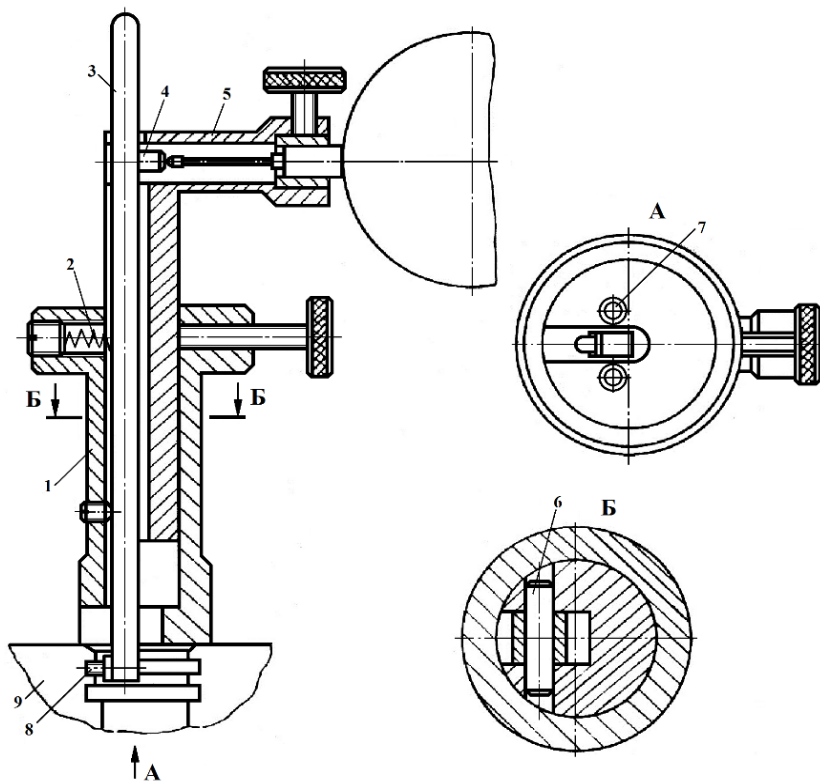


Рис. 4.13. Приспособление для контроля биения канавок относительно базового отверстия

Для замера биения торцевых поверхностей деталей относительно наружного диаметра служит приспособление (рис. 4.14), состоящее из плиты 5, на которой с помощью эксцентрикового валика 4 закрепляется ползун 3 с призмой 2.



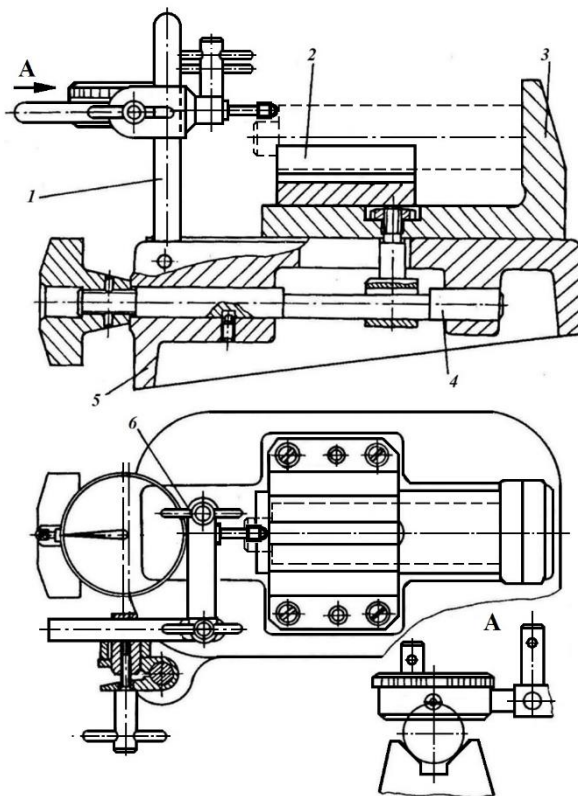


Рис. 4.14. Приспособление для контроля торцевого биения

В этой призме устанавливается контролируемая деталь. Индикатор для замера биения устанавливается на скалке 1 и крепится держателем 6. Возможность изменения положения ползуна 3 относительно призмы 2 позволяет контролировать детали различной длины.

Контроль биения деталей типа ступенчатый валик малого диаметра осуществляется приспособлением (рис. 4.15), которое состоит из основания 1, стойки 2 с индикатородержателем 3.

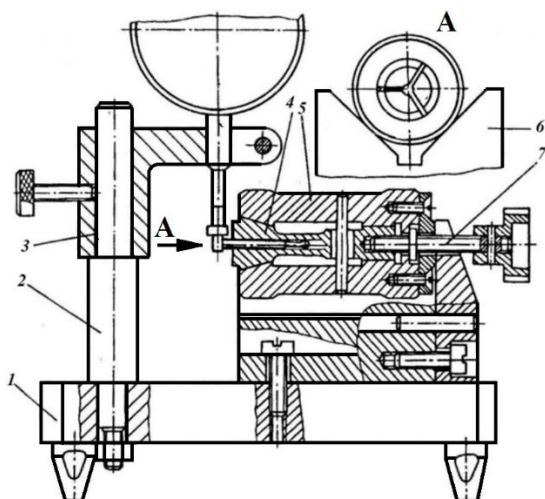


Рис. 4.15. Приспособление для контроля биения ступенчатого валика

На основании закреплена призма 6, в которой устанавливается оправка 5 с цангой 4. Контролируемая деталь базовой цилиндрической поверхностью устанавливается в цангу 4 оправки 5. Зажим цанги осуществляется винтом 7. Оправка 5 с контролируемой деталью устанавливается в призме 6 и вращается в ней. По показанию индикатора определяется величина биения.

Приспособление, показанное на рисунке 4.16, служит для контроля биения внутреннего торца относительно внутреннего диаметра втулки. Оно состоит из плиты 1, на которой с помощью винтов 13 крепится стойка 2 с кронштейном 4. Кронштейн крепится на стойке винтами и штифтами. Внутри цилиндрической части кронштейна 4 установлены кольцо 12 и втулка 9, по которым перемещается шток 6. На правом конце штока 6 имеется планка 7 с пальцем 8, с помощью которого осуществляется контакт с проверяемым торцом детали. Шток поджимается к проверяемому торцу пружиной 11. Винт 10 служит для ограничения перемещения штока 6.

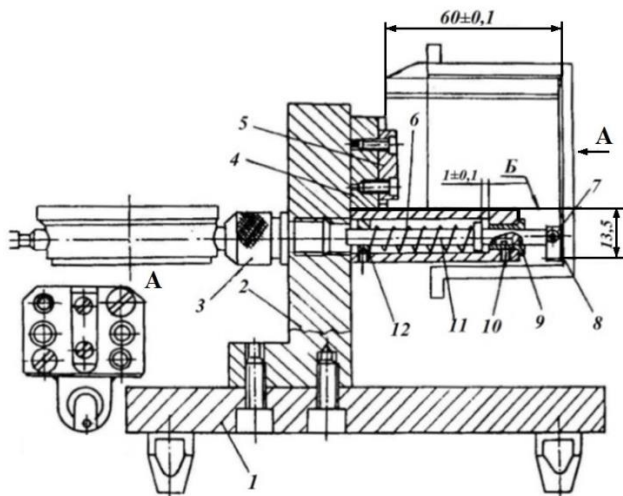


Рис. 4.16. Приспособление для контроля биения внутреннего торца втулки

Сменные подналадки устанавливаются по шпонке 5 и крепятся винтами по двум резьбовым отверстиям в кронштейне 4. Подналадки имеют по два выступа, расположенных под углами  $30^\circ$  к вертикальной оси и упор, ось которого горизонтальна. По выступам осуществляется установка втулки по внутреннему диаметру. Упор служит для фиксации осевого положения втулки. Индикатор часового типа, установленный в зажиме 3, показывает удвоенное отклонение при повороте детали на  $180^\circ$ .

Конструкция универсального приспособления для контроля перпендикулярности образующей поверхности D относительно торца для деталей типа «шайба», «втулка» приведена на рисунке 4.17.

Контролируемая деталь устанавливается на столик 2 с упором в стойку 3. Контроль перпендикулярности осуществляется индикатором, установленным в ползуне 4, который вручную перемещают в вертикальной плоскости по направляющим. Настройка ползуна 4 на заданную высоту производится с помощью сухаря 5.

Сухарь крепится гайкой 7. Столик 2 установлен во втулке 1 с зазором  $0,002...0,005$  мм.

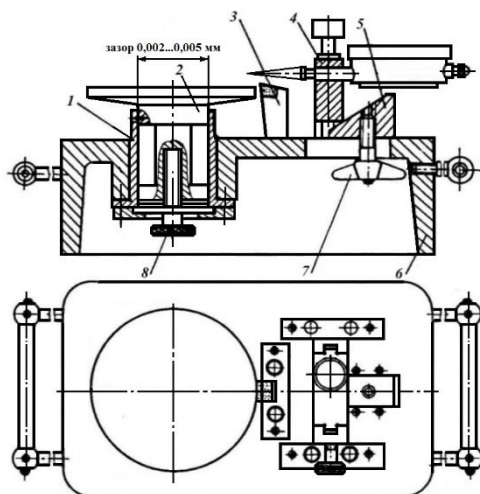


Рис. 4.17. Приспособление для контроля неперпендикулярности образующей деталей типа «шайба»

Втулка 1 находится в плите 6. Установка стола 2 по высоте осуществляется винтом 8, а фиксация ползуна 4 в вертикальной плоскости – винтом 9.

На рис. 4.18 представлено приспособление для замера неперпендикулярности торца детали относительно общей оси двух отверстий с разными диаметрами. Приспособление состоит из разжимной гидропластмассовой оправки и измерительного устройства. Оправка состоит из корпуса 1, упругих тонкостенных втулок 2 и 3, нажимного винта 6 и плунжера 5. В измерительное устройство входит кронштейн 9, в котором смонтированы упор 4, держатель 8, индикатор 7 и удлинитель 10. При контроле оправка вставляется в соосные отверстия вращением винта 6; упругие втулки 2 и 3, разжимаясь, точно центрируют контролируемую деталь. Упор 4 контактирует с торцом детали. При вращении кронштейна 9 отно-

сительно оси оправки индикатор показывает отклонение от перпендикулярности.

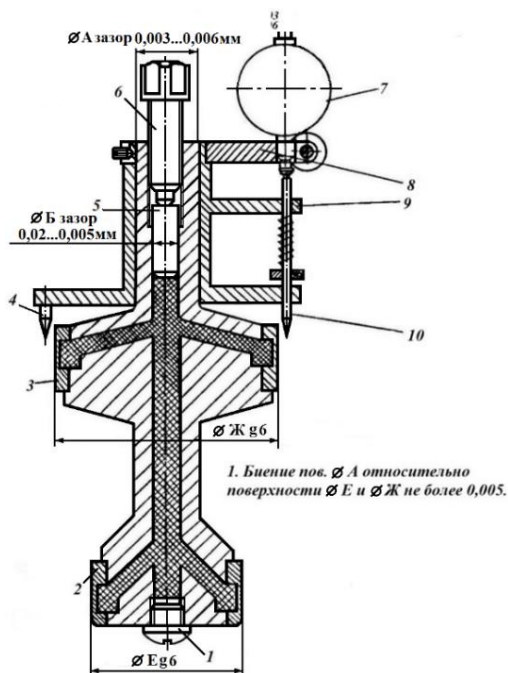


Рис. 4.18. Приспособление для замера неперпендикулярности торца детали к общей оси двух отверстий разных диаметров

Для контроля неперпендикулярности от поперечного отверстия относительно наружного диаметра у деталей типа «валик» предназначено приспособление на рис. 4.19. Оно состоит: из основания 1, призмы 5, рычага 6, стойки 2, индикатородержателя 3. При контроле неперпендикулярности в отверстие валика вставляется палец 4, по которому и определяется отклонение от перпендикулярности. Чтобы найти фактическое отклонение, необходимо деталь с пальцем повернуть на  $180^\circ$  и показание индикатора разделить пополам. До поворота на  $180^\circ$  индикаторные часы необходимо установить на нуль.

Контроль перпендикулярности оси резьбовых шпилек относительно плоскости ввёртывания осуществляется приспособлением, со стоящим из корпуса 1, ползуна 2 и крышки 3 с индикаторе держателем (рис. 4.20).

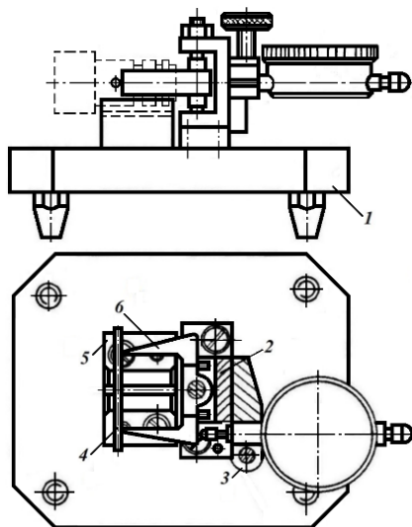


Рис. 4.19. Приспособление для контроля перпендикулярности радиального отверстия по наружному диаметру детали

Снизу в корпусе 1 имеется отверстие, боковые стороны которого образуют призму. Приспособление устанавливается на шпильку до контакта с плоскостью ввёртывания А и прижимается призмой (поверхность Б) к образующей шпильки. При этом ползун 2 касается шпильки на заданном расстоянии от плоскости А и передает отклонение на индикатор. Перед контролем индикатор устанавливается на «0». Отклонение от перпендикулярности определяется при повороте индикатора на  $180^\circ$  поджимом приспособления по поверхности Б. При этом индикатор показывает двойную величину, а истинное значение отклонения равно полу сумме показаний.

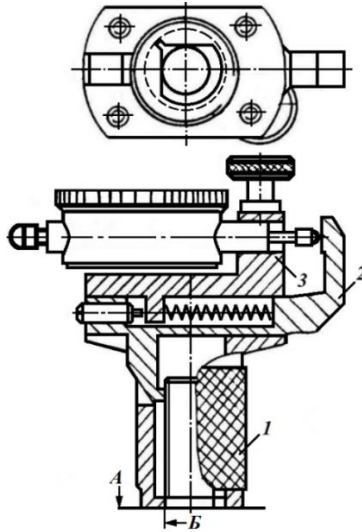


Рис. 4.20. Приспособление для контроля неперпендикулярности оси резьбовых шпилек относительно плоскости свертывания

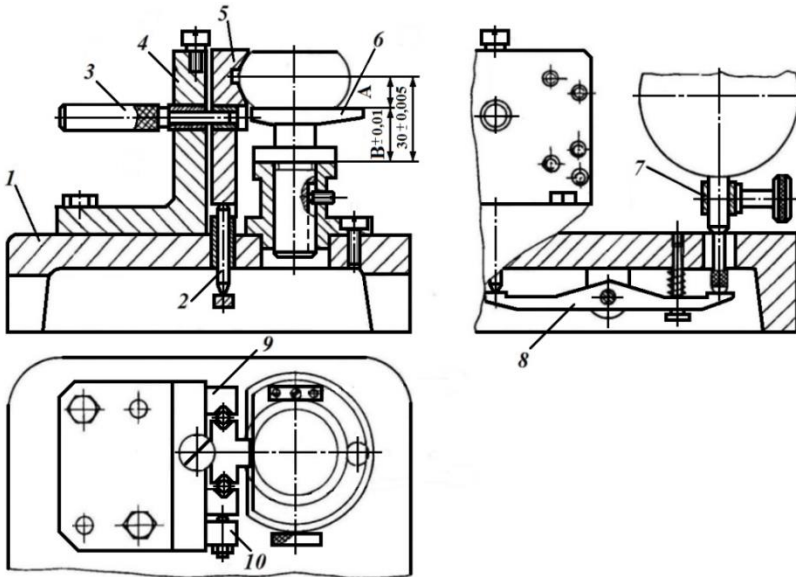


Рис. 4.21. Приспособление для контроля смещения сферы относительно торцов

Для контроля у деталей смещения сферы относительно торцов предназначено приспособление на рис. 4.21 В состав его входят: основание 1, столик 6, призма 5, стойка 4 с фиксатором 3, рычаг 8, индикатородержатель 7.

Призма 5 может перемещаться вертикально по направляющим 9 и 10. Перемещение призмы передаётся через толкатель 2 на рычаг 8, а затем на индикатор. С помощью фиксатора 3 призма 5 устанавливается на размер А относительно опорной поверхности столика 6 в зависимости от размера В. При контроле деталь ставится торцом на столик 6, при этом призма 5 устанавливается по сфере детали, перемещаясь вверх или вниз. 1 На индикаторе устанавливается «0». Сняв деталь и повернув её на 180°, её базируют по другому торцу. При этом призма занимает другое положение, фиксируемое индикатором. Для определения истинного смещения сферы относительно торцов показание индикатора необходимо разделить пополам.

Унифицированное приспособление для контроля параллельности двух осей отверстий корпуса форсунки (рис. 4.22) состоит из плиты 1, на которой установлен ложемент 7 с планкой 3. По ним перемещается основание 6 со стойкой 4 и индикатородержателем 5. В ложементе 7 запрессована втулка 9. С другой стороны на плите 1 крепится стойка 2 с упором 3. При контроле параллельности осей у корпуса форсунки базовым отверстием является резьбовое отверстие А. В это отверстие ввинчивается оправка, гладкий диаметр которой является установочной базой во втулке 9. В контролируемое отверстие Б подбирается оправка 10 с минимальным зазором. При контроле основание 6 вместе со стойкой 4, индикатородержателем 5 и индикаторами перемещаются вдоль планки 8 по ложементу 7. Контроль параллельности в двух плоскостях осуществляется на длине гладкой цилиндрической части оправки 10 двумя индикаторами, предварительно установленными на «0».



Для контроля пересечения двух перпендикулярных осей отверстий картера служит приспособление, показанное на рисунке 4.23.

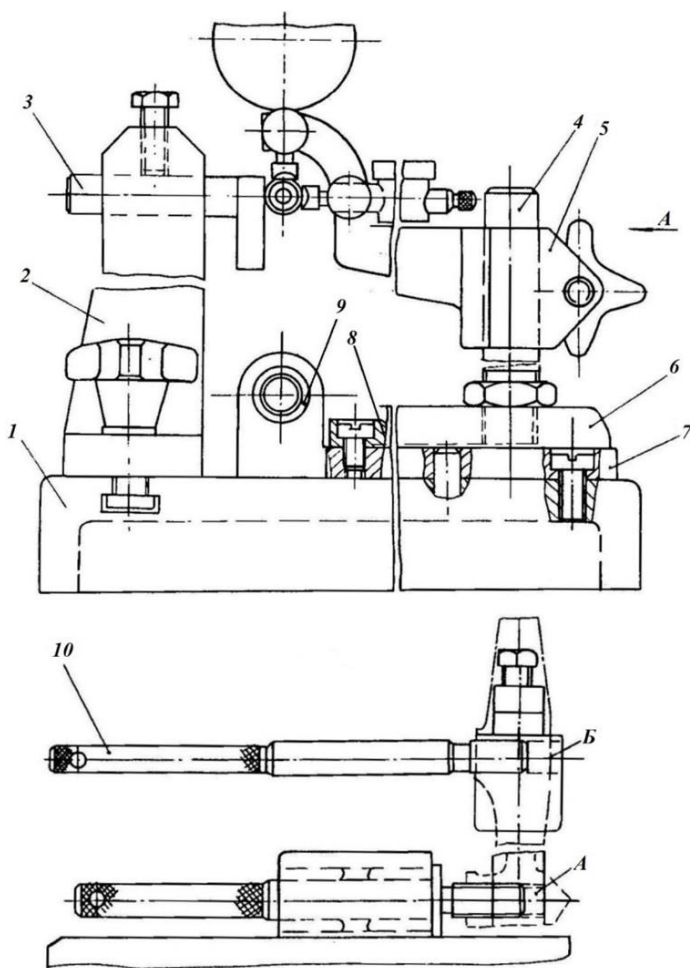


Рис. 4.22. Приспособление для контроля параллельности осей отверстий

Оно состоит из корпуса 3 с центрирующим диаметром  $\text{Ø}6$  и углового ( $45^\circ \pm 1'$ ) калибра 2, на котором установлен индикаторо-держатель 5. Приспособление работает совместно с цилиндриче-

ской оправкой 4. Контроль происходит следующим образом. В базовое отверстие вставляется цилиндрическая оправа 4, в контролируемое отверстие – центрирующий элемент 3 с калибром 2, который своей угловой поверхностью ( $45^\circ \pm 1'$ ) упирается в образующую поверхность оправки 4.

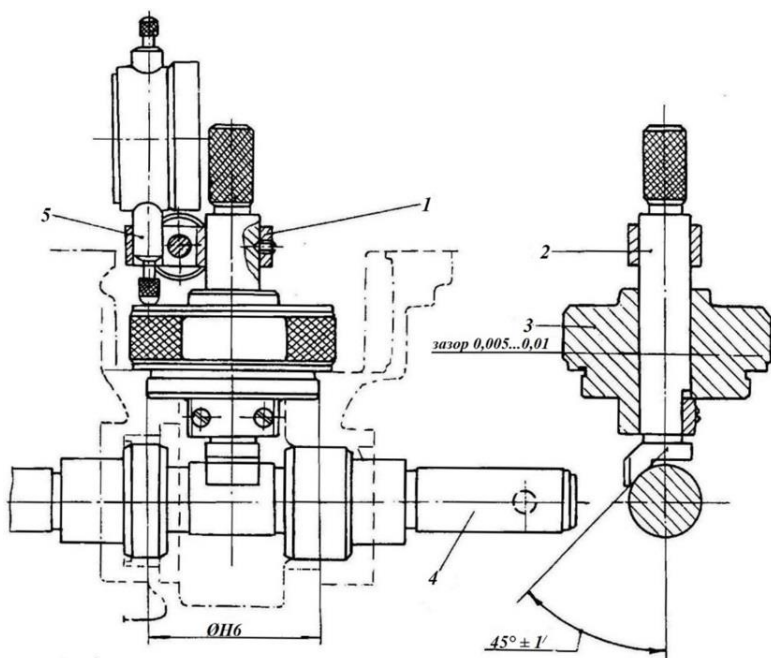


Рис. 4.23. Приспособление для контроля пересечения двух осей отверстий картера

При этом на индикаторе устанавливается «0». Затем корпус 3 вынимается и вместе с калибром 2 поворачивается относительно вертикальной оси на  $180^\circ$  и снова вставляется в отверстие. В зависимости от расположения осей калибр 2 установится выше или ниже первоначального положения, что зафиксирует индикатор. Величина смещения осей будет равна половине показания индикатора.

Контроль смещения пересекающихся осей картера редуктора осуществляется приспособлением, показанным на рисунке 4.24. Оно состоит из двух мерных оправок. Одна оправка – «базовая», по её диаметру С происходит замер отклонения осей. Эта оправка состоит из комплекта втулок 2, ручки 1 и трёхступенчатой втулки 3. Вторая оправка имеет центрирующие элементы по диаметрам А и К, состоит из втулок 5, 7 и 6.

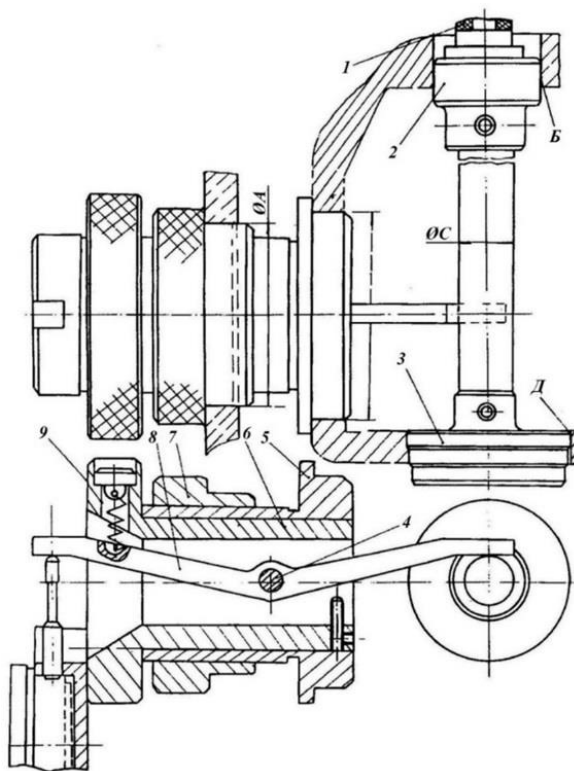


Рис. 4.24. Приспособление для контроля смещения пересекающихся осей в картере редуктора

Во втулке 6 установлен рычаг 8, который вращается на оси 4. Контакт рычага 8 с поверхностью С ручки 1 осуществляется с по-

мощью пружины 9. Контроль смещения осей происходит следующим способом. Базовая оправка устанавливается по поверхностям Б и Д с минимальным зазором. В проверяемое отверстие вставляется оправка с центрирующими элементами А и К. Правый конец рычага приводится в соприкосновение с поверхностью С базовой оправки, индикатор устанавливается на «0». Предварительно переместив втулку 6 с рычагом 8 влево, повернув на  $180^\circ$  и переместив до упора вправо, измеряем отклонение на противоположной поверхности С. Полученную величину двойного смещения осей разделим пополам. Результатом будет фактическое смещение осей.

## **Глава 5. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

Методы контроля деталей сложной формы и особенно с криволинейными поверхностями трудоёмки и технически сложны. В авиадвигателестроении к таким деталям можно отнести: лопатки компрессора и турбины, диски с профильными пазами, зубчатые колеса, детали с резьбой и шлицами. Сложную форму имеют также штампы и вальцовочные секторы для изготовления лопаток, калибры и шаблоны с криволинейными поверхностями, сложнофасонный инструмент для обработки криволинейных поверхностей.

Контроль деталей сложной формы может осуществляться как профильными шаблонами на приспособлениях, так и индикаторными, опико-механическими, пневматическими и электрическими приспособлениями.

В настоящее время в аэрокосмической промышленности наиболее важными универсальными измерительными приборами для контроля деталей сложной формы являются координатно-измерительные машины (КИМ), которые могут быть оснащены как контактными, так и бесконтактными измерительными системами. Кроме того, для контроля крупногабаритных криволинейных объектов (корпусные детали) применяют приборы оптического 3D сканирования.

### **5.1. Приспособления для контроля геометрических параметров лопаток**

Лопатки компрессора и турбины являются сложными деталями как по конструкции, так и по технологическому исполнению. Это представляет определённые трудности при изготовлении и контроле, главным образом из-за отсутствия у лопаток до-

статочно протяжённых или простых по форме технологических и измерительных баз.

Лопатки проверяются как на этапе операционного, так и окончательного контроля. При контроле геометрических параметров лопаток проверяют:

- отклонение формы профиля спинки и корыта;
- расположение пера относительно замка (смещение и закрутка профилей);
- размер максимальной толщины пера в определённых сечениях;
- толщину входной и выходной кромок пера;
- длину пера, хорды, радиусы сопряжения пера лопатки с замком;
- размеры замка и полок замка;
- размеры бандажных полок.

В контрольных приспособлениях, предназначенных для измерения окончательно обработанных деталей, в качестве измерительной в основном используется конструкторская база детали. Конструкторской базой у лопаток компрессора и турбины является условная геометрическая ось  $Z$ , относительно которой ориентируются все поверхности лопатки.

Надёжность базирования и уменьшение погрешности измерения зависят от стабильности положения детали в базирующем устройстве приспособления. В качестве установочной базы при контроле геометрических параметров лопаток (профиля пера, бандажной и замковой полок) используется поверхность замка.

Настройка контрольно-измерительных приборов на нужный размер производится с помощью эталонной лопатки, геометрические параметры которой соответствуют чертёжным, но допуски на размеры ужесточены в 10 раз.

Благодаря сравнительной простоте широкое распространение получил метод контроля профиля пера лопаток с помощью шаблонов на специальных контрольных приспособлениях. Контроль с помощью шаблонов применяется на этапах предварительной обработки профиля пера лопаток.

В приспособлении для контроля в расчётных сечениях профиля спинки и корыта рабочих лопаток компрессора с базированием по поверхностям замка типа «ласточкин хвост» (рис. 5.1) сменная плита 2 наладки со штырями, образующими пазы для направления шаблонов в расчётных сечениях пера лопатки, фиксируется в продольном направлении на основании 1 с помощью двух пальцев 12. На основании 1 плита 2 удерживается болтами 4. В кронштейне 7, закреплённом на основании 1, размещён шпиндель 6 с фиксирующим пальцем 11 для установки сменной наладки 5, крепящейся к торцу шпинделя 6 винтами. На наружном диаметре шпинделя выполнен точный паз, в который входит фиксирующий штифт 10. Ширина паза больше диаметра штифта, что позволяет использовать допуск на угловой разворот сечений профиля лопатки.

Контролируемая лопатка 3 вставляется замком в паз наладки 5 до упора в торец замка и закрепляется с помощью толкателя 9, управляемого рукояткой 8 с эксцентриком. Контроль профиля спинки и корыта лопатки производится шаблонами «на просвет» или щупами при упоре заплечиков шаблона в боковые плоскости плиты.

Контроль лопаток с помощью шаблонов имеет существенные недостатки: невысокую точность измерения, необходимость наличия большого числа шаблонов, низкую производительность измерений.

Недостаточная точность измерения обусловлена большим количеством составляющих суммарной погрешности: погрешностей изготовления контршаблона и зазора между рабочим шаблоном и

контршаблоном, погрешностей определения зазора между шаблоном и контролируемой поверхностью. Число шаблонов для контроля профиля спинки и корыта лопатки должно соответствовать числу контролируемых сечений.

Применение многомерных и высокопроизводительных приборов и измерительных машин для контроля профиля пера лопаток снижает трудоёмкость контроля и повышает точность измерения.

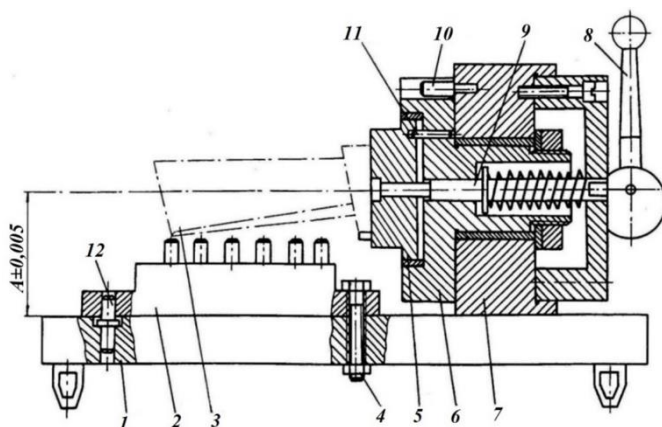


Рис. 5.1. Приспособление для контроля профиля спинки и корыта рабочих лопаток компрессора

В авиадвигателестроении для этой цели широко применяются оптико-механические приборы типа ПОМКЛ-4, ОММ-50.

ПОМКЛ-4 предназначен для одновременного контроля профиля пера, смещения пера относительно оси замка, угла закрутки и толщины пера в поперечных сечениях пера рабочих лопаток компрессора.

Проверяемая лопатка устанавливается поверхностями замка в захвате, смонтированном на подвижной в осевом направлении каретке. С профилями контролируемого сечения пера лопатки соприкасаются контактные стержни, размещённые в блоке с определённым шагом между ними. Противоположные концы контактных



стержней при помощи эталона приведены к единой плоскости измерения. Отклонения профиля пера от заданного вызывают перемещения контактных стержней, передающих на измерительные стержни и далее на рычажки с соотношениями плеч 5:1. Концы рычажков проецируются на экран с увеличением 10:1 (общее увеличение 50:1).

По границам поля допуска, нанесённым на экран, определяется пригодность контролируемого сечения пера. При перемещении каретки с лопаткой с каждым контролируемым сечением последовательно контактирует свой ряд контактных стержней. ПОМКЛ-4 используется для контроля лопаток с длиной пера до 250 мм и шириной – до 100 мм.

Оптико-механический магазинный прибор ОММ-50 (рис. 5.2) со сменными магазинами предназначен для контроля профиля пера лопаток компрессора шириной до 50 мм. От прибора ПОМКЛ-4 он отличается конструкцией магазина с измерительными стержнями и наличием устройств для автоматизации контроля. На схеме экран и зеркала условно повёрнуты. Каретка 3 с закреплённой на ней лопаткой 1 передвигается на шариках вертикально по направляющим 2. Для остановки каретки в заданных сечениях служит фиксатор 5 и рейка 4, которая соединена с кареткой.

В проверяемом сечении на лопатку опираются несколько измерительных стержней 6 (сечение А-А). Перемещения стержней, вызванные отклонениями профиля лопатки, передаются через рычаги 7 на рычаги 10. Изображение концов рычагов 10 проецируется на экран. Оптическая система состоит: из осветителя 11, объективов 12, зеркал 14 и экрана 13. Общее увеличение прибора – 100-кратное.

Настройка на номинальный размер производится упорными винтами 8. Для перехода на другое сечение магазин 9 отводится,

при этом фиксатор 5 выходит из паза рейки. Одновременно с магазином передвигается на следующее сечение и каретка с лопатками.

По экрану прибора можно одновременно определить погрешности профиля спинки и корыта, толщину, смещение и угол закрутки профиля в проверяемом сечении. Допуски на угол и смещение устанавливаются упорами, ограничивающими поворот и перемещение рамки 15, на которой в масштабе 100:1 нанесены поля допусков на профиль спинки и корыта

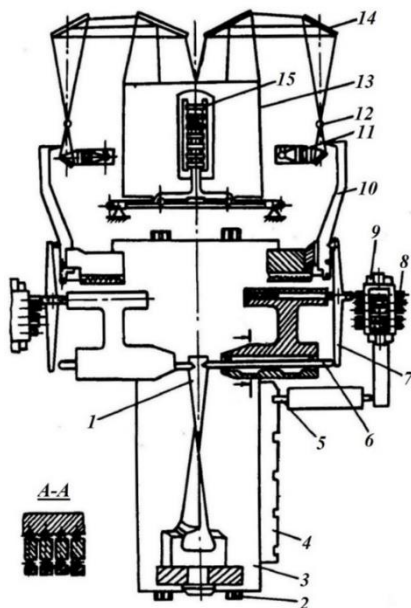


Рис. 5.2. Схема прибора ОММ-50

Для переналадки прибора для контроля другого наименования лопатки необходимо переналадить магазин, сменить рейку и приспособление для базирования и закрепления лопатки. Прибор ОММ-50 используется для контроля лопаток с длиной пера 15–120 мм и шириной 10–50 мм.

Особые трудности возникают при контроле профиля пера крупногабаритных лопаток компрессора. В этом случае контрольное приспособление представляет собой устройство вертикального типа. Конструктивное исполнение приспособления (рис. 5.3) позволяет контролировать как само сечение пера лопатки, так и его расположение относительно хвостовика.

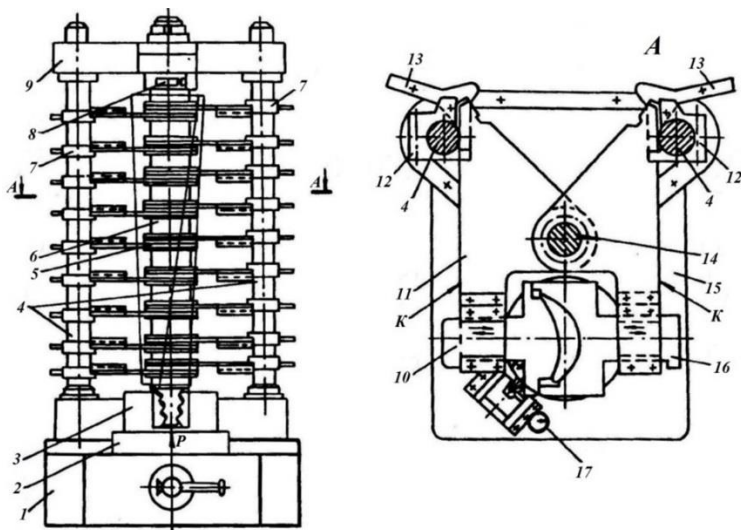


Рис. 5.3. Приспособление для контроля профиля пера крупногабаритных лопаток

В приспособлении использованы три направляющих валика: центральный, ось которого является общей для рамок с шаблонами внутренней и наружной поверхности профиля, и два боковых, служащих для ориентации рамок в рабочее положение и фиксации их. Лопатку закрепляют за хвостовик в сменном узле крепления 3, смонтированном на поворотном столе 2 основания 1. Если же лопатка ещё имеет технологическую прибыль, то по этой базе она дополнительно закрепляется в верхнем поворотном столике 8 на кронштейне 9.

На центральной скалке 14 нанизаны блоки поворотных рамок 5, состоящие из левой рамки 11 с шаблоном внутреннего профиля 10 и правой рамки 15 с шаблоном наружного профиля 16. Между блоками поворотных рамок 5 установлены промежуточные кольца 6, обеспечивающие необходимое расстояние между контролируемыми сечениями. На боковых валиках 4 закреплены узлы фиксации 7 поворотных рамок, состоящие из корпуса 12 и подпружиненного рычага 13.

При контроле профиля сечения пера одну из поворотных рамок 11 или 15 (в зависимости от контролируемой поверхности) поворачивают до соприкосновения базовой поверхности К рамки с боковым валиком 4.

Рабочее положение рамки автоматически фиксируется рычагом 13 узла фиксации 7.

Для контроля угла разворота сечения относительно хвостовика обе поворотные рамки с профильными шаблонами устанавливаются в рабочее положение, шаблоны 10 и 16 перемещают в рамках до касания с лопаткой. Под действием шаблонов лопатка поворачивается вместе с узлом крепления хвостовика относительно оси поворотного стола. По индикатору 17, закреплённому на корпусе 1, отсчитывают линейное отклонение углового поворота контролируемого сечения. Смещение профиля сечения лопаток определяют, измеряя расстояние зацепа шаблона от базовой поверхности К поворотной рамки.

Рассматриваемое приспособление универсально. При контроле лопаток различных типоразмеров заменяют профильные шаблоны 10 и 16 и промежуточные кольца 6. Приспособление позволяет производить независимый контроль профиля спинки и корыта и положения всего сечения относительно хвостовика. Вертикальное расположение лопатки в приборе способствует повышению

точности контроля, т.к. уменьшается влияние деформации изделия под действием собственного веса.

Для контроля толщины выходной кромки пера рабочих лопаток компрессора и турбины используется индикаторная скоба (рис. 5.4). Она применяется в случае, когда выходная кромка задана постоянной толщиной по длине пера.

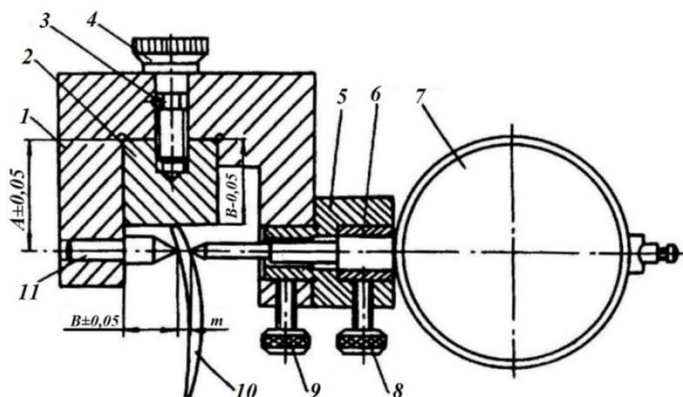


Рис. 5.4. Унифицированная индикаторная скоба для контроля толщины выходной кромки лопатки

Настройка скобы на проверяемый размер  $m$  осуществляется по эталону или блоку плоскопараллельных концевых мер длины. В корпусе 1 располагается сменный упор 2, который обеспечивает заданное по чертежу расстояние от кромки до линии измерения. Упор закрепляется в пазу корпуса с помощью винта 4, который удерживается в скобе штифтом 3. Державка 5 служит для закрепления индикатора 7, который фиксируется в ней с помощью разрезной втулки 6 и винта 8. Державка 5 в корпусе 1 закрепляется винтом 9. При контроле лопатка 10 устанавливается до касания в упор 2 и штырь 11. Пределы измерения толщины – до 3 мм, цена деления индикатора 0,01 мм.

Контроль размеров от торца замка до входной кромки пера рабочих лопаток компрессора осуществляется с помощью приспособ-

собрания (рис. 5.5), состоящего из плиты 11 с поворотным диском 10 и стойки 3, на которой закрепляется держатель 2 с индикатором 1, соединённым с измерительным наконечником 4.

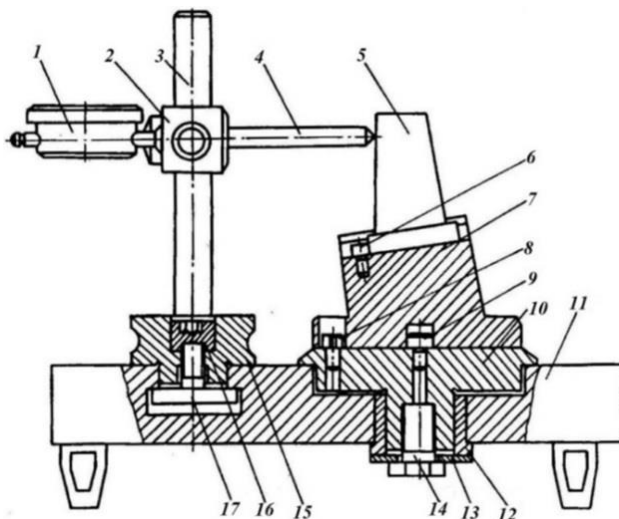


Рис. 5.5. Унифицированное перенастраиваемое приспособление для контроля размеров от торца замка до входной кромки пера рабочих лопаток компрессора

Проверяемая лопатка 5 устанавливается в пазу типа «ласточкин хвост» сменной наладки 7 до упора торцом замка в палец 6. Диск 10 вместе с закреплённой наладкой поворачивается на требуемый угол наклона оси замка по круговой шкале диска. Измерительный наконечник 4 контактирует с кромкой лопатки в расчётном сечении пера. Отклонение стрелки индикатора 1 от нулевого положения, настроенного по специальному эталону, показывает отклонение проверяемого размера. Поворотный диск 10 устанавливается в плите 11 посредством втулки 12, шайбы 13 и болта 14. Втулка 12 и хвостовик диска 10 образуют подшипник скольжения. Зазор между втулкой и хвостовиком не превышает 0,005...0,01 мм. Сменная наладка 7 центрируется на поворотном диске 10 с помощью двух пальцев: цилиндрического 9 и срезанного 8. Стойка 3

жёстко закреплена в основании 15, которое имеет возможность перемещения в поперечном пазу плиты 11. Фиксация основания 15 в требуемом положении осуществляется гайкой 16 и болтом 17.

Переналадка приспособления обеспечивается установкой сменной наладки на диске и возможностью разворота диска на требуемый угол, возможностью перемещения держателя с индикатором на высоте стойки с установкой измерительного наконечника в расчётном сечении пера лопатки по линейке стойки и перемещения стойки в пазу плиты в поперечном направлении.

В связи со сложной геометрической формой профиля ёлочных замков рабочих лопаток турбины и необходимостью высокой точности контроля этих профилей проверка является одной из наиболее сложных и ответственных операций. Контролируемыми параметрами ёлочного профиля замка лопаток являются: шаг зубьев, относительное смещение и перекося рабочих поверхностей зубьев, толщина замка по средней линии зубьев (размеры по рамкам), высота зубьев от средней линии, высота замка от оси роликов первой впадины до основания замка, углы впадин и выступов, радиусы сопряжений и т.д.

Для отдельных параметров профиля замка лопаток (шага зубьев, радиуса зубьев, сопряжений радиусов впадин) широко распространённым способом контроля является комплексная проверка ёлочного профиля на стационарном проекторе. Проверка состоит в сравнении на экране ёлочного контура, образуемого проходящими через контролируемый профиль световыми лучами проектора, с увеличенным образцовым профилем (масштаб 50:1 или 100:1) с нанесёнными на нём полями допусков.

В производстве часто толщину замка по средней линии зубьев при малых партиях лопаток измеряют при помощи роликов, устанавливаемых во впадины ёлочного замка. Измерение ведётся микрометром или индикаторной скобой.

Для контроля размеров ёлочного замка лопатки по роликам служит прибор, представленный на рис 5.6. Валик 11, расположенный в корпусе 1 приспособления, своими шлицами входит в зацепление с рейкой толкателя 14, снабжённого пружиной 13.

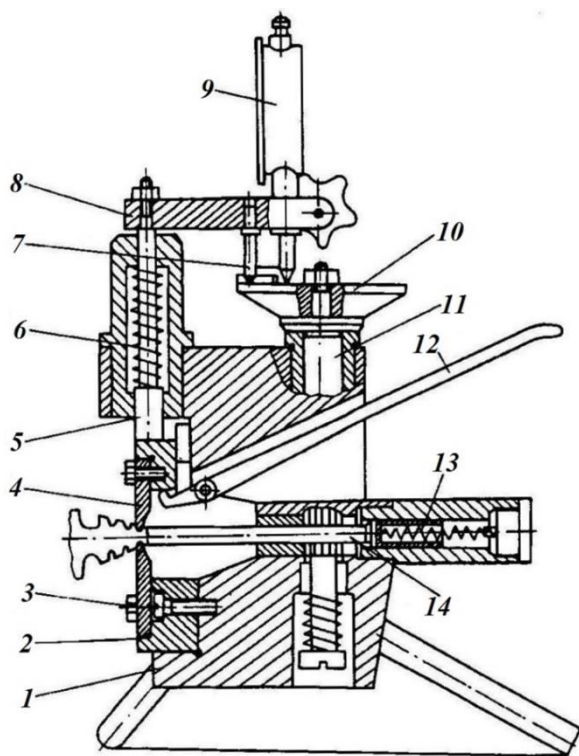


Рис. 5.6. Индикаторный прибор для контроля размеров ёлочного замка

Неподвижная губка 3 и подвижная губка 4, измерительные твёрдосплавные поверхности которой выполнены с размером, равным радиусу измерительного ролика, закрепляются соответственно в колодке 2 и в посадочном гнезде штока 5. Пружина 6 прижимает шток 5 в нижнее положение, а рычаг 12 служит для отвода штока 5.



На штоке закреплена державка 8 с ограничителем 7 и индикатором 9. Измерительный наконечник индикатора 9 контактирует с торцевой поверхностью сменного эталона 10, закреплённого на валике 11. Эталон 10 выполнен в виде втулки со ступенчатым торцом. Количество уступов на торце эталона 10 и их высота соответственно равны количеству впадин профиля замка и перепадам размеров по роликам.

Для измерения размеров замка лопатки на приборе шток 5 с помощью рычага 12 отводится в верхнее положение, и лопатка устанавливается ближайшей к основанию замка впадиной профиля на неподвижную губку 3. При освобождении рычага 12 под действием пружины 6 шток 5 досылает губку 4 в противоположную впадину профиля замка, а отклонение конечного положения губки 4 со штоком 5, равное отклонению проверяемого размера, определяется по индикатору 9. Для измерения размеров по роликам следующей впадины профиля лопатка переустанавливается на губке 3 на один шаг, при этом основание замка лопатки упирается в торец толкателя 14 и перемещает его вправо. Толкатель 14 через реечно-зубчатую передачу поворачивает на соответствующий угол валик 11с эталоном 10. При повороте эталона 10 под измерительный наконечник индикатора 9 подойдёт следующий уступ эталона 10, в результате настройка нулевого положения индикатора 9 не нарушится.

Ширина измерительных поверхностей губок принимается равной 5...8 мм, что позволяет измерять конусность размеров с использованием роликов по длине замка лопатки. Переналадка прибора обеспечивается заменой губок и эталона

Высокие требования предъявляются к контролю бандажных и замковых полок турбины. Это объясняется тем, что по бандажным полкам стыкуются лопатки при сборке колеса турбины. Колебание размеров стыковочных поверхностей лопаток приводит к колеба-

нию натягов в ободу колеса турбины. Схемы контроля бандажной полки лопатки показаны на рисунке 5.7.

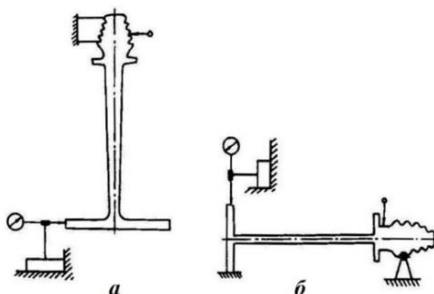


Рис. 5.7. Схемы контроля контура бандажной полки лопатки турбины:  
а – со стороны корыта; б – со стороны спинки

Настройка прибора для контроля контура бандажной полки турбинной лопатки со стороны корыта (рис. 5.8) производится по эталону. Измеряемую лопатку 7 устанавливают в зажимной узел 1. Установочной базой детали являются профиль замка и его торец со стороны входа. Зажимной узел крепится на кронштейне 2 и выставляется относительно копира 3 по эталонной лопатке.

Форма копира повторяет форму бандажной полки лопатки. При настройке эталонная лопатка устанавливается и закрепляется в зажимном узле 1. Колодка 4 с закреплённой на ней индикаторной головкой 5 подводится к копиру до упора, при этом вставка в индикаторной головке упирается в поверхность контура эталона. В этом положении стрелка индикатора устанавливается на нулевую отметку. При измерении устанавливают лопатку, подводят колодку 4 до упора в копира 3. Ножка индикатора при этом входит в контакт с бандажной полкой лопатки, а по отклонению стрелки от нулевого положения определяют погрешность. Контрольный прибор изготавливается с высокой точностью: смещение от паза зажимного узла от номинального положения не превышает 0,005 мм. В приборе используется индикатор с ценой деления 0,01 мм.

Наибольшей погрешности измерения следует ожидать в том случае, когда эталон в зажимном узле при настройке прибора максимально отклонится в одну сторону, а контролируемая лопатка – в противоположную. Расчёты показали, что предельное значение погрешности измерения данного прибора не превышает 0,045 мм.

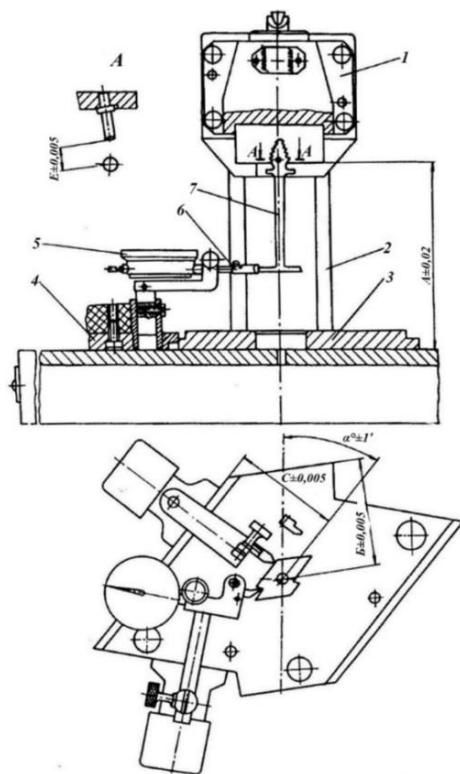


Рис. 5.8. Конструкция приспособления для контроля контура бандажной полки со стороны корыта

Прибор для контроля бандажной полки со стороны спинки (рис. 5.9) состоит из плиты 1, на которой закреплены стойка 3 и упор 2, используемые для базирования лопатки. Дополнительной базой приспособления является угольник 4, на который лопатка

упирается двумя поверхностями бандажной полки со стороны корыта. К базам приспособления лопатка прижимается штоком 5 под действием пружины, узел крепления располагается в стойке 6.

Настройка прибора осуществляется по эталонной лопатке. При этом стойка 7, в которой закреплён индикатор часового типа, доводится до упора 8. Стрелка индикатора выставляется на нулевую отметку. О погрешности размера бандажной полки судят по отклонению стрелки индикатора при установке в приспособление измеряемой лопатки.

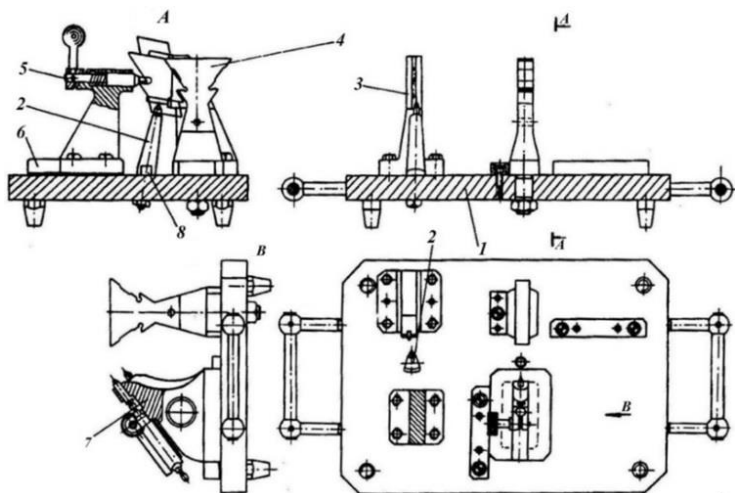


Рис. 5.9. Конструкция для контроля бандажной полки со стороны спинки

Погрешность измерения поверхности бандажной полки относительно оси лопатки на данном приборе составляет 0,06...0,08 мм.

В схеме контроля полок замка лопатки турбины одновременно с двух сторон (рис. 5.10) измеряемая лопатка базируется и закрепляется в приспособлении по замку типа «ёлка». Размер полочки контролируется индикаторами, которые предварительно настраиваются на размеры по эталонной каретке.

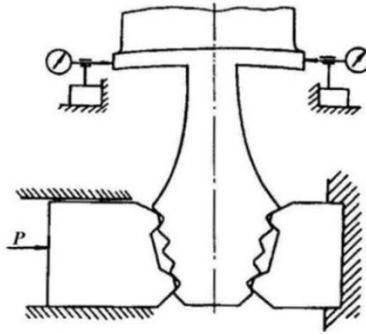


Рис. 5.10. Схема контроля размеров замковой полки

В конструкции приспособления (рис. 5.11) основанием является плита 1, на которой закреплена неподвижная колодка 2 с профильным сухарём 3.

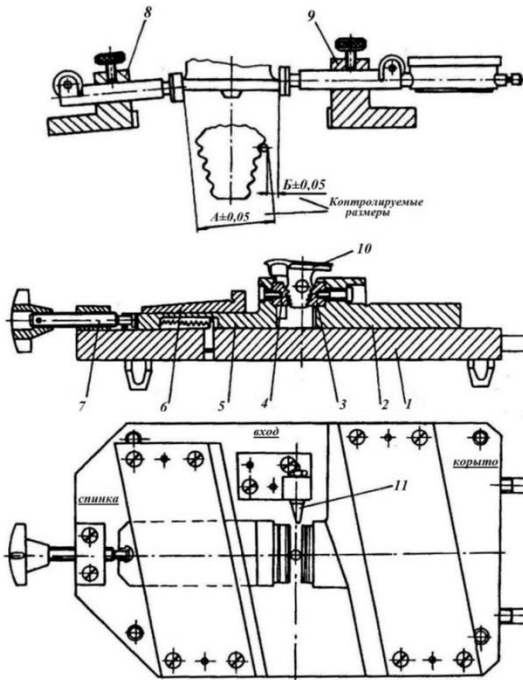


Рис. 5.11. Приспособление для контроля размеров замковой полки

К этому сухарю контролируемая лопатка 10 поджимает вторым профильным сухарём 4, который закреплён на подвижном ползуне 5. Ползун 5 получает поступательное движение от винта 7. Лопатка ориентируется в сухарях по первой и последней впадинам замка. При закреплении лопатка поджимается к упору 11, точка контакта которого проходит через пересечение базовой плоскости и оси симметрии хвостовика.

Контроль размеров полочки замка осуществляется по индикаторам, которые закрепляются в стойках 8 и 9. Стойки при контроле устанавливаются на измерительные площадки неподвижной колодки 2 и подвижной колодки 6. Площадка колодки 6 сделана наклонной таким образом, чтобы ось индикатора была перпендикулярна торцу измеряемой поверхности полочки замка.

О погрешности контролируемых размеров судят по величине отклонения индикаторов.

## **5.2. Координатные измерения в промышленном производстве**

В настоящее время одним из перспективных направлений обеспечения конкурентоспособности предприятия является повышение эффективности технологической подготовки производства (ТПП) выпускаемых изделий. Целью ТПП является оптимальное по срокам и ресурсам обеспечение технологической готовности производства к изготовлению изделий в соответствии с требованиями заказчика или рынка данного класса изделий.

Необходимость повышения эффективности ТПП изделий объясняется увеличением номенклатуры выпускаемой продукции во всех типах производств и высокой скоростью её обновления. Применение измерительных систем, которые позволяют сократить сроки ТПП, приведёт к ускорению выпуска продукции, сократит временные издержки и несогласованность на разных участках производств и приведёт к достаточно высокому экономическому

эффекту. Если рассматривать цикл ТПП с точки зрения применения CALS-технологий в производстве, то применение координатно-измерительных машин и 3D-сканеров и созданных с помощью них моделей можно отобразить в виде схемы, показанной на рисунке 5.12 [25].

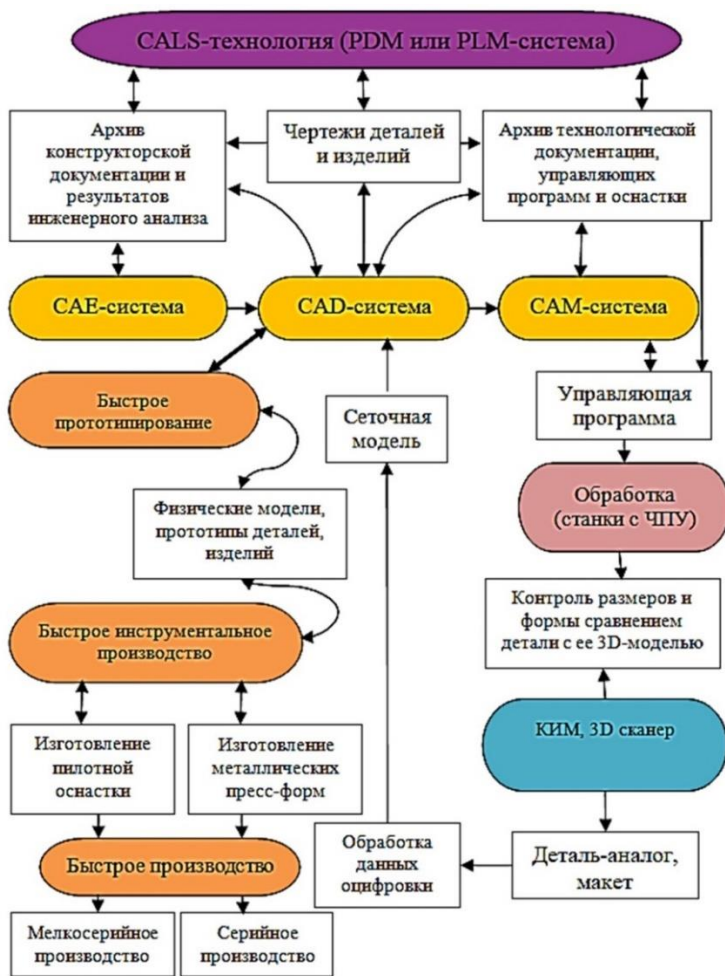


Рис. 5.12. Применение 3D-сканированных моделей в технологическом процессе с применением CALS-технологии

Определение параметров поверхности произвольной формы являются актуальными задачами для метрологов. Соответствующие производственные технологии в значительной степени зависят от возможностей метрологической системы, которая передаёт данные об изделии после производства или процессе для стабилизации производства.

Характерные погрешности измерений разных систем приведены на рисунке 5.13.

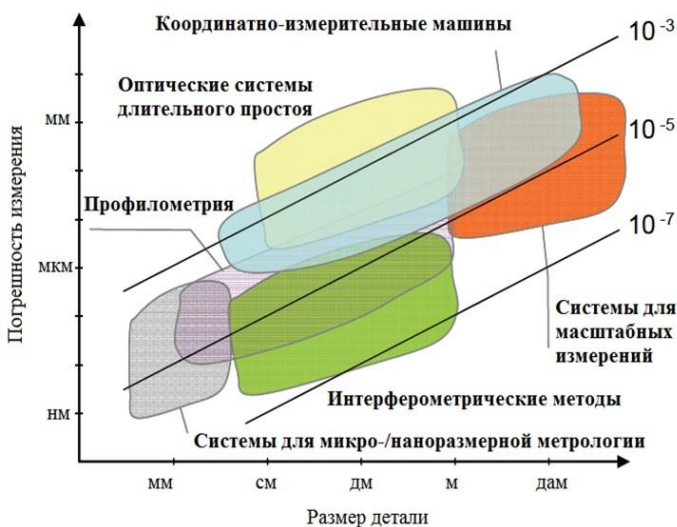


Рис. 5.13. Характерный диапазон погрешности измерения в зависимости от размера детали для различных классов измерительных систем

Измерительные системы для поверхностей сложной формы используют разнообразные физические процессы, чтобы удовлетворить потребностям конкретных метрологических задач. Метрологические задачи можно сравнить с требованиями, которые могут быть получены из классов размера детали, сложности формы, чистоты поверхности и свойств материала, таких как твёрдость и светопроницаемость (табл. 5.1) [26]. Некоторые методы можно



лучше понять, чем другие, в контексте единства измерения и этот показатель для разных приборов отображается в последней строке таблицы 5.1.

КИМ является гибкой измерительной системой, удовлетворяющей условиям многономенклатурного производства ГТД и необходимости контроля широкого спектра геометрических параметров: линейно-угловых, формы, расположения. Диапазон погрешностей измерений (см. рис. 5.13) для КИМ соответствует жёстким требованиям двигателестроения.

Таблица 5.1. Оценка некоторых методов измерения

	Лазерный трекер	Непосредственное сличение	Тактильная КИМ	Оптическая КИМ	Рентгеновская томография	Проекция интерферен. полос	Отражение интер. полос/Дефлектометрия	Фотограмметрия	Интерферометрия	Тактильная микрогеометрия пов-ти и профилометрия	Оптическая микрогеометрия пов-ти и профилометрия	Конфокальная микроскопия	Сканирующая силовая микроскопия
<b>Размер детали</b>													
Крупногабаритная	●	◐	●	●		◐	●	◐					
Среднегабаритная	●	◐	●	●		◐	●	◐					
Малобагабитная		●	●	●	●	●	●	●	●	◐	◐	◐	
Микро			◐	◐	●	◐	◐	●	●	●	●	●	◐
<b>Сложность формы</b>													
Низкая	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Средняя	◐	◐	●	●	●	◐		◐		◐	◐	◐	◐
Высокая	◐		◐	◐	●								
<b>Материал и поверхность</b>													
твёрдый, неточная	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
нетвёрдый	●	◐	◐	●	●	●	●	●	◐	◐	●	●	●
зеркальная	●	●	●		●			●	●			◐	●
светопроницаемый	●	◐	●	●	●		●	●	●	●		◐	●
светонепроницаемый	●	●	●	●	●	◐	◐	●	●	●	●	●	●
<b>Единство измерений</b>													
	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐	●	●	◐	◐	●
Легенда	полная совместимость												●
	частичная совместимость												◐

Несмотря на то, что оптические 3D сканеры обладают большей скоростью сбора информации, контактные КИМ применимы в

том числе для зеркальных поверхностей (например, перо лопатки), в контексте единства измерений занимают одну из лидирующих позиций.

### **5.3. Координатные измерительные машины**

Автоматизированные и автоматические координатные измерительные машины относятся к классу технических средств высокоточных измерений, позволяющих исключить ручной труд на контрольных операциях в механообрабатывающих производствах. Современные универсальные КИМ позволяют измерять самые различные корпусные детали, валы, втулки и другие изделия, поверхности которых образуют плоскости, цилиндры, конусы, сферы, а также геометрические элементы пересечения различных поверхностей. КИМ обладают так называемой основной универсальной техникой программирования, поскольку могут не только измерять типовые поверхности, но и определять систему координат положения различных специальных поверхностей относительно базовых. При этом результаты измерений представляются потребителям в виде отпечатанных протоколов аттестации или в виде оперативных сообщений на средствах отображения буквенно-цифровой и графической информации; в то же время эти данные могут накапливаться в ЭВМ для последующей статистической обработки [27].

Работа КИМ основана на координатных измерениях, т.е. на поочерёдном измерении координат определённого числа точек поверхности детали и последующих расчётах линейных и угловых размеров, отклонений размера, формы и расположения в соответствующих системах координат. В КИМ используются три основные системы координат: абсолютная система координат машины (СКМ), относительная система координат машины (СКО) и система координат детали (СКД). СКМ образуют направляющие коор-

динатных перемещений и измерительные системы КИМ; начало СКМ выбирается произвольно. Направление осей СКО совпадает с направлением осей СКМ, а начало совмещается с центром или другой точкой калибратора (геометрического элемента, неподвижного во время измерения). СКО обеспечивает единство координатных данных при измерении несколькими чувствительными элементами КИМ, взаимодействующими с измеряемой поверхностью, в случае изменения их параметров или положения в СКМ. Результаты измерения представляются в СКД, которая формируется путём измерения положения в СКМ выбранных базовых поверхностей детали. Все операции по расчёту систем координат и трансформации значений координатных данных выполняются по программе автоматически, на основе данных измерений, вводимых в системы координат машины.

Координатные измерения реализуются комплексом аппаратных и программных средств. Условно КИМ можно разделить на базовую часть (в неё входят: узлы координатных перемещений, измерительные преобразователи (ИП), измерительная головка (ИГ), предназначенная для непосредственного измерения координат точек) и управляющий вычислительный комплекс (УВК) на основе ЭВМ, предназначенный для управления процессом измерения, обработки и представления данных измерения. Габариты, конструкция, точность базовой части в основном определяются параметрами измеряемых деталей и условиями эксплуатации. Структура УВК зависит главным образом от типа ИП и ИГ базовой части КИМ, от требуемой степени автоматизации измерения, показателей программно-математического обеспечения и требований к форме представления результатов измерения. Состав и показатели программно-математического обеспечения зависят от спектра метрологических задач и степени автоматизации КИМ.

Структурная схема КИМ представлена на рисунке 5.14 (1 – ошупывающая подсистема; 2 – подвижные узлы базовой части машины; 3 – чувствительные элементы измерительных преобразований; 4 – электромеханические приводы; 5 – поворотный стол; 6 – калибратор; так же в систему входят НП – нормирующий преобразователь; ИП – измерительный преобразователь; УВК – управляющий вычислительный комплекс). Координаты точек детали измеряются в СКМ ( $X_M, Y_M, Z_M$ ), реализуемой прецизионными линейными перемещениями ИГ 1 относительно измеряемой детали. Деталь (или измерительная головка) перемещается с помощью узлов 2 координатных перемещений базовой части машины. Перемещения отсчитываются посредством ИП 3 в направлении всех координатных осей СКМ.

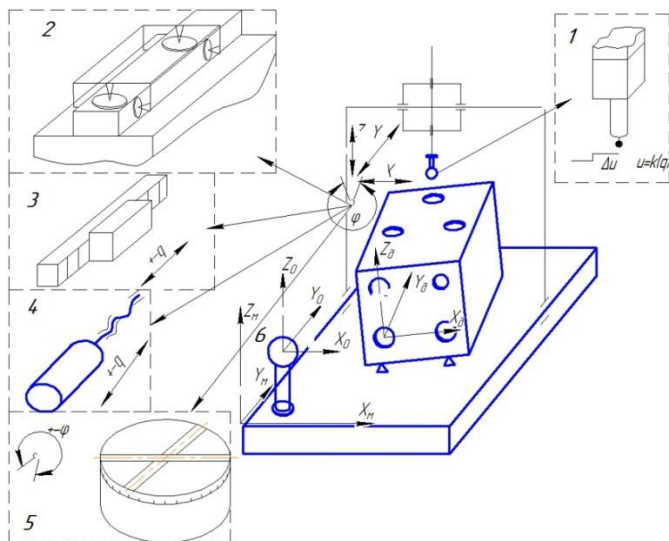


Рис. 5.14. Структурная схема координатной измерительной машины

Перемещения измерительных головок или детали механизированных, или автоматических КИМ производятся электромеханическими приводами 4 либо вручную. Для обеспечения доступа к

измеряемым поверхностям определённого класса деталей и упрощения расчётных операций при измерении в полярной, цилиндрической и сферической системах координат базовая часть КИМ снабжается поворотными столами 5, предоставляющими возможность поворачивать детали относительно одной или нескольких осей, расположенных под различными углами в пространстве.

Компоновка в значительной степени определяет характеристики КИМ и требования к конструкции и параметрам основных узлов. В свою очередь компоновка зависит от габаритных размеров и массы измеряемых деталей; расположения измеряемых поверхностей; необходимого числа координатных перемещений для реализации оптимального в отношении точности и производительности процесса измерения.

Компоновка КИМ, предназначенной для решения определённых задач, должна оптимально удовлетворять следующим, отчасти противоречивым, требованиям:

- Минимальное отклонение от принципа Аббе;
- Обеспечение оптимальных динамических свойств;
- Минимизация деформаций узлов в КИМ, возникающих из-за действия переменной массы измеряемых деталей, ИГ, перемещения подвижных узлов;
- Возможность, удобство и точность компенсации деформаций;
- Наличие открытого измерительного пространства, обеспечивающего удобство установки детали и хорошую её обзорность в процессе измерения.

Принцип Аббе состоит в том, что минимальные ошибки измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии – линии измерения. Этот принцип справедлив для поступательно перемещающихся звеньев. Последовательное расположение контролируемого образ-

цового элемента по одной линии приводит к увеличению габаритных размеров СИ, поэтому в ряде случаев применяют параллельное расположение сравнительных элементов, но и тогда нужно соблюдать условия, при которых ошибки измерения минимальны.

**Портальные компоновки** наиболее распространены и представлены рядом различных вариантов. Характерной особенностью этих компоновок является П-образный портал (рис. 5.15).

Портал с колоннами перемещается по основной оси. По горизонтальной оси перемещается каретка, несущая подвижную вдоль вертикальной оси пиноль, на которой крепится ИГ.

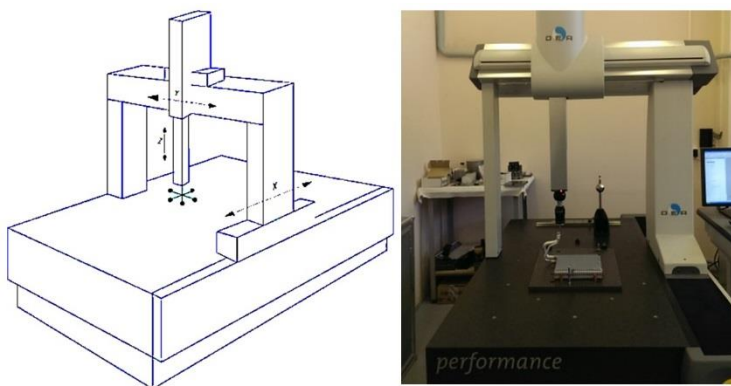


Рис. 5.15. Портальная компоновка КИМ

Портальные компоновки обладают высокой жёсткостью основных узлов, точностью, хорошими динамическими свойствами, достаточно открытым пространством для установки детали и её обзорностью в процессе измерения, удобством для развития отдельных КИМ в конструктивно унифицированные типоразмерные ряды, обеспечивающие широкий диапазон габаритов измеряемых деталей.

При повышенных требованиях к точности и увеличении диапазона измерений механические направляющие заменяются системами на воздушных подшипниках. Высокоточные направляю-

щие производятся в основном из природного твёрдого камня (например, гранита). Подвижные компоненты перемещаются по каменным поверхностям на воздушной подушке толщиной всего в несколько микрометров, предназначенной для минимизации трения. Усилие, необходимое для передвижения кареток, является относительно небольшим, а отсутствие какого-либо запаздывания в системе позиционирования приводит к снижению погрешности измерения.

Портальные компоновки с подвижным порталом рекомендуются для прецизионных среднегабаритных КИМ с перемещением каретки вдоль портала до 1000 мм, пиноли до 800 мм и для средне- и крупногабаритных производственных КИМ с перемещением вдоль портала до 1600 мм, пиноли до 1400 мм. Перемещение портала вдоль основания определяется размерами последнего в пределах до нескольких метров.

Портальная компоновка с неподвижным порталом, как правило, используется для прецизионных среднегабаритных КИМ с координатными перемещениями до 1200 мм.

Повышенной жёсткостью и стабильностью несущего подвижного звена при сравнительно небольшой его массе обладают КИМ с подвижным Г-образным полупорталом (рис. 5.16, а), образованным из жёсткой горизонтальной поперечины и лёгкой опоры.

Полупортал одним концом поперечины базируется на поднятой и жёстко прикреплённой относительно основания балке с направляющими, а свободным концом посредством подшипников опирается на направляющие основания. Привод и ИП полупортала прикреплены к балке. Имеется свободный доступ с двух сторон для установки детали и достаточная обзорность при измерении. Такая компоновка рекомендуется для прецизионных КИМ средних габаритов с увеличенным перемещением по вертикальной оси, для которых измерительное пространство близко к кубу.

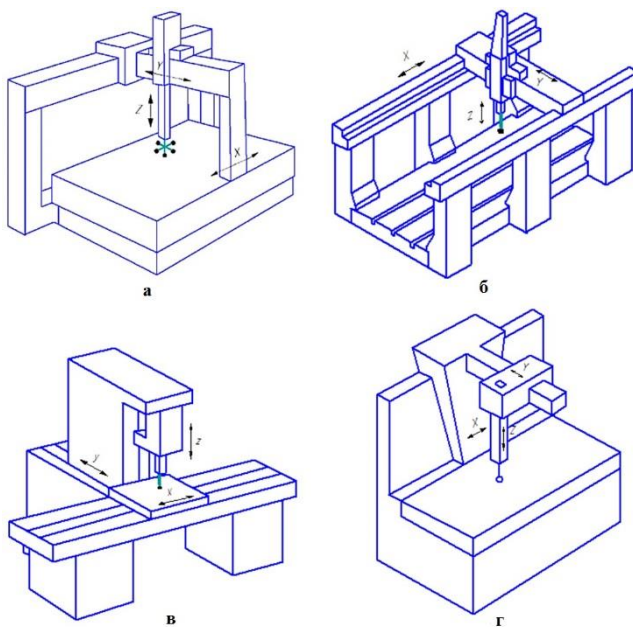


Рис. 5.16. Компоновки измерительных машин:  
 а) порталная компоновка с полупорталами; б) мостовая компоновка;  
 в) стоечная компоновка; г) консольная компоновка

**Мостовая компоновка** позволяет получить меньшую по сравнению с другими компоновками массу подвижных узлов при высокой их жёсткости и устойчивости. Она используется в крупногабаритных КИМ разных классов точности (рисунок 5.16, б) и является для них основной компоновкой. У мостовой компоновки каретка с пинолью перемещается по подвижной траверсе, обеими своими концами базирующейся на горизонтальных неподвижных балках, которые на колоннах подняты над столом для установки детали. Привод и ИП измерительной системы траверсы крепятся к одной из балок. КИМ такой компоновки имеет ограниченный с трёх сторон доступ для загрузки деталей и наблюдения за измерением.



**Стоечные компоновки** характеризуются наличием подвижной или неподвижной относительно основания стойки, по которой, как правило, в вертикальном направлении перемещается пиноль или суппорт. Наиболее характерный вариант исполнения данных компоновок представлен на рисунок 5.16, в. Имея высокую универсальность, стоечная компоновка уступает ранее рассмотренным компоновкам по возможности достижения высокой точности измерения средне- и крупногабаритных деталей. Ей присущи недостатки, свойственные компоновкам с подвижной деталью.

**Консольные компоновки** (рис. 5.16, г) отличаются наличием подвижной по одной или двум горизонтальным осям горизонтальной консоли. Когда консоль подвижна по одной оси относительно основания, по консоли перемещается каретка, несущая вертикально подвижную пиноль с ИГ. Если консоль перемещается в каретке. Подвижной относительно основания, то пиноль движется по вертикальной оси относительно консоли.

КИМ консольной компоновки обладают лучшими по сравнению с порталной компоновкой доступом для установки детали и обзорностью, а также лучшим соблюдением принципа Аббе. Однако этой компоновке присущи значительные деформации консоли, подшипников и узлов их базирования, снижающие точность КИМ. Машины этих компоновок очень чувствительны к изменению массы узлов, подвижных относительно консоли.

Помимо вышперечисленных компоновок этого координатно-измерительные машины подразделяются на:

- машины с ручным управлением;
- машины с автоматическим перемещением по осям и джойстиком ручного управления,
- машины с автоматическим перемещением по осям и числовым программным управлением (CNC).

Кроме того, существуют различные комбинированные схемы, применяемые для машин, которые объединяют все вышеуказанные принципы.

Высокая точность измерения на КИМ обеспечивается:

- прецизионными направляющими, выполненными из твердых каменных пород, например, из гранита (основание, балка портала, ползун);

- конструкцией портала, выполненного в виде жёсткой замкнутой рамы;

- предметным столом, исключающим деформации основания и направляющих портала, возникающих под действием массы измеряемых тяжёлых деталей;

- жёсткими, виброустойчивыми, прецизионными аэростатическими опорами с малым воздушным зазором и минимальным расходом воздуха;

- виброизолирующими опорами, автоматически поддерживающими горизонтальное положение основания КИМ;

- прецизионными фотоэлектрическими системами измерения перемещений узлов КИМ по всем координатам.

Высокую производительность обеспечивают современные электроприводы на базе высокомоментных двигателей с плавным регулированием скоростей перемещения узлов КИМ в широком диапазоне; автоматическое управление процессом измерения производят при помощи персонального компьютера, обеспечивающего обработку результатов измерений и их выдачу в удобной для потребителя форме. Универсальность КИМ достигается развитым программно-математическим обеспечением с большим набором модульных программ для измерения деталей с различными простыми и сложными поверхностями; системой измерительных головок касания с большим набором щупов различной конфигурации. Измерительные головки оснащаются наборами измеритель-

ных наконечников, обеспечивающих возможность контроля максимально большого числа геометрических параметров при одном установе детали, а также контроля диаметров отверстий, концентричности, межосевых расстояний и т.п.

Измерительные системы предназначены для отсчёта перемещения подвижных узлов КИМ при измерении координат точек. Рассмотрим отображающий метод считывания, часто применяемого в измерительных датчиках линейных перемещений.

В упрощённом виде отображающий метод – это генерация сигнала на основе значений свет/тьнь: две шкалы со штрихами одинакового или похожего периода (шкала и шаблон) двигаются друг относительно друга. Носитель штрихов шаблона делается из прозрачного материала, носитель самой шкалы тоже может быть прозрачным или иметь металлическую рефлектирующую поверхность (рис. 5.17).

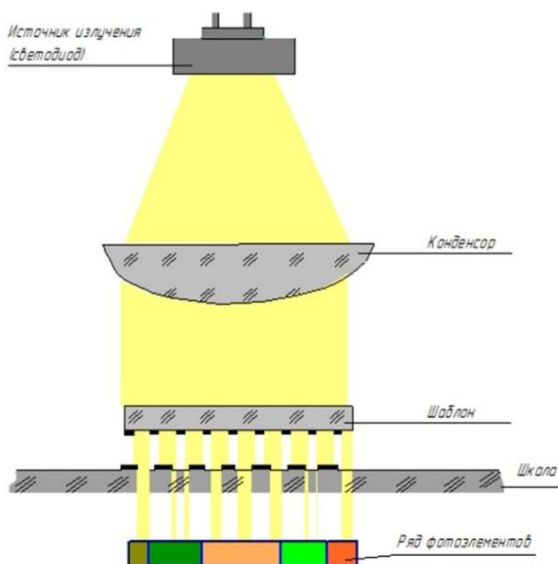


Рис. 5.17. Отображающий метод считывания

После прохождения параллельных лучей света через шаблон образуется определённая светотеневая последовательность. Далее прошедшее излучение попадает на шкалу. При движении шаблона вдоль шкалы штрихи на шаблоне могут совпадать со штрихами на шкале, образуя в местах просветов на выходе «свет», либо штрихи накладываются на просветы и на выходе получается «тьень». Ряд фотоэлементов преобразует этот световой сигнал в электрический. Штрихи на шаблоне, структурированные специальным образом, фильтруют световой поток так, чтобы он приближался к синусоидальной форме. Чем меньше расстояние между штрихами, тем меньше и точнее должно быть расстояние между шкалой и считывающим элементом.

### **Измерительные головки касания.**

ИГ являются одним из основных узлов КИМ, взаимодействующих с измеряемой деталью. Они в равной степени с ИП и узлами координатных перемещений участвуют в измерении координат точек и определяют точность, универсальность и производительность КИМ.

Тип и функциональные параметры головок определяют реализуемые на КИМ способы измерения, требования к системе управления, номенклатуру решаемых метрологических задач. На рис. 5.18 представлена схема измерительной головки касания с основными составляющими её узлами и системами, которые для головок различного назначения имеют разное конструктивное исполнение и осуществляют различные функции.

Таковыми характерными для измерительной головки элементами являются: корпус 1, в котором монтируются все остальные узлы; узел 2 установки (базирования, подсветки), измерительного наконечника; простой или сложный измерительный наконечник 3, состоящий из отдельных соединённых между собой стержней 4, к концам которых крепятся контактные элементы 5, в процессе

измерения контактирующие с измеряемой поверхностью; предохранитель 6 от поломки в случае большого смещения наконечника (например, при аварийном столкновении с деталью); чувствительные элементы или ИП 7, реагирующие на перемещения измерительного наконечника; узел создания измерительного усилия и ориентации 8; электронная схема 9 питания и обработки сигналов. Узел установки измерительного наконечника позволяет ему перемещаться по определённому закону при соприкосновении наконечника с деталью и передаёт данное перемещение на чувствительный элемент.

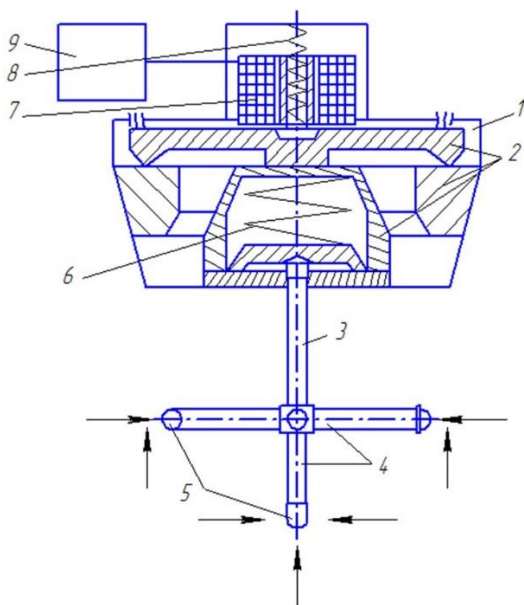


Рис. 5.18. Схема измерительной головки

При отклонении наконечника 3 в любом из показанных стрелками направлений опорный диск узла 2 поворачивается относительно оси, перпендикулярной оси головки, или смещается вдоль

её оси и смещает связанный с ним якорь индуктивного датчика 7. Это вызывает изменения электрического сигнала, что и используется для определения момента соприкосновения измерительного наконечника с деталью. При значительном смещении наконечника связанный с ним диск предохранителя 6 от поломки перемещается относительно втулки, соединённой с диском узла 2, имеющего значительно меньший предел перемещения, чем диск предохранителя 6.

Стоит отметить, что измерительные головки, подобные применяемым на КИМ, находят широкое распространение в станках с ЧПУ для промежуточного измерения деталей, контроля настройки и изнашивания режущего инструмента на станках. Они могут быть применены в различных измерительных приборах, машинах для измерения длины и т.п.

По функциональному назначению измерительные головки подразделяются на две большие группы: измерительные головки касания (ИГК, также иногда называемые триггерными) и сканирующие измерительные головки. Для измерения деталей имеющих сложные поверхности важно измерять большое количество точек, расположенных на контролируемой поверхности. В настоящее время триггерным измерительным головкам касания предпочитают сканирующие контактные головки. Они могут измерять до 200 точек/с на скорости до 150 мм/с.

В измерительных головках касания измерительное усилие, возникающее при контакте наконечника с поверхностью, или небольшое перемещение наконечника вызывает измерение состояния чувствительного элемента и дискретное измерение электрического сигнала, формирующего командный сигнал на считывание координат и управление движением подвижных узлов КИМ.

Зона калибровки – часть рабочей зоны КИМ, предназначенная для калибровки измерительных наконечников измерительных го-

ловок. Её размеры определяются размерами калибратора и измерительной головки. В качестве калибратора как правило используются прецизионные сферы, точность размеров и формы которых составляет доли микрометров.

При измерении детали с размерами, которые являются предельно большими для определённой КИМ и образуют составные измерительные головки, следует не только учитывать возможность доступа к измеряемым поверхностям, но и оптимально устанавливать головки для обеспечения минимальной потери измерительного пространства. Возможно совмещение зон аттестации и измерения: выполнив калибровку наконечника до начала измерения, калибратор удаляют. Но это возможно только в том случае, если в процессе измерения не потребуются новая калибровка положения центров измерительных наконечников в системе координат КИМ.

Более рационально измерительное пространство используется при установке измерительных головок на поворотных узлах (рис. 5.19). Для этого могут быть использованы только работающие с различной ориентацией в пространстве измерительной головки или построенные на их основе составные головки.

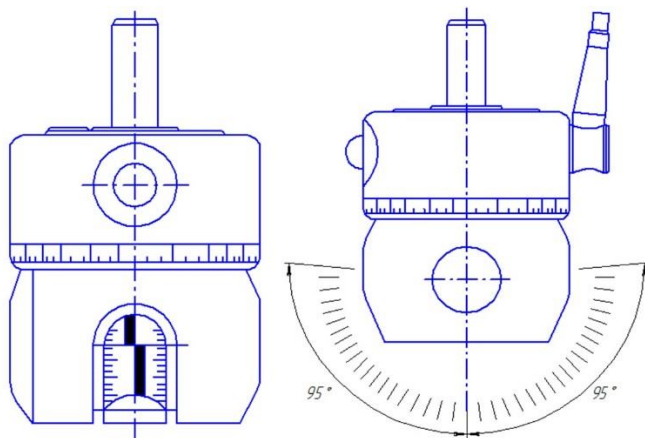


Рис. 5.19. Поворотная относительно двух осей головка КИМ

Поворот производится относительно одной и двух взаимно перпендикулярных осей от привода автоматически. Если поворотное устройство содержит прецизионные угловые измерительные системы, обеспечивающие поворот головки с необходимой для измерения точностью, то не требуется калибровка положения головки после каждого поворота. В противном случае необходимая после каждого поворота головки калибровка снижает производительность и точность измерений.

#### **5.4. Системы для бесконтактного измерения деталей**

Более быстрые измерения возможны на бесконтактных измерительных системах, основанных на оптических принципах, таких как автофокусировка, триангуляция и голография. Их преимуществами являются, как правило, бесконтактный характер измерения, быстрый сбор данных о большом количестве точек и высокая степень гибкости в измерительных настройках [28]. Подробная информация о принципах бесконтактных измерений представлена в [29].

Сильно отражающие поверхности могут быть измерены на КИМ с помощью, например, специального триангуляционного оптического датчика [30], который использует три падающих луча света, проходящих через поляризационные пластины таким образом, что отражённый свет в значительной степени устраняется и только рассеянный свет может достигать ПЗС-камеру. Оптические измерительные системы представляют собой дистанционные датчики, которые в зависимости от количества и положения измеряемых точек можно разделить на три основных типа: точечные датчики, линейные (полосковые) датчики и барьерные датчики. Пример полоскового датчика, установленного на измерительной машине, представлен на рисунке 5.20.



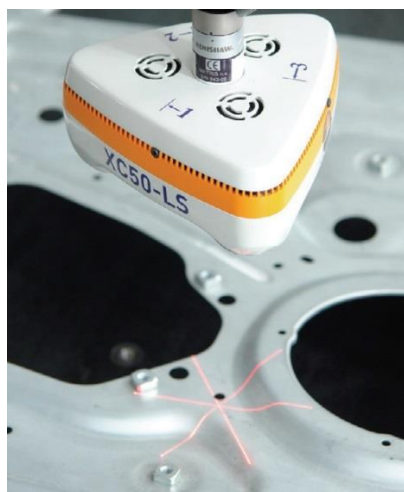


Рис. 5.20. Пример оптической измерительной системы, установленной на КИМ:  
мульти полосковый лазерный датчик

### **Рука шарнирной конструкции и другие системы.**

Механическая связь между неподвижным положением и измерительной системой также может обеспечиваться группой связанных сегментов с датчиками угловых и линейных перемещений, называемой «рукой шарнирной конструкции». Зона измерений может достигать в радиусе нескольких метров. Устройство управляется вручную и передвигается; оно может быть полезно для измерения деталей произвольной формы с трудностями доступа к рабочим поверхностям, таких как полость штампа, тяжёлое оборудование или просто детали, которые не могут быть перемещены.

### **Оптические системы статического действия.**

Оптические системы статического действия не требуют перемещения рабочих органов. В основе таких систем заложены два метода: 1) проекция интерференционных полос и 2) отражение интерференционных полос/Дефлектометрия.

### **Проекция интерференционных полос.**

Проекция интерференционных полос – метод, в котором положение измеряемых точек рассчитывается с помощью оптической триангуляции. В рассматриваемом методе измерение отдельных координат точек поверхности осуществляется без использования физических маркеров. Физические маркеры используются для совмещения отдельных измерений габаритных объектов с разных позиций.

В данном методе различают два подхода [31]: первый основан на проекции образца на поверхность и как минимум двух различных полей зрения камеры. В данном случае образец предназначен исключительно для формирования гомологических (соответственных) точек для триангуляции в пределах оптических изображений, выдаваемых камерой. Второй подход находит численное значение искажения формы измеряемой детали. В этом случае проекционный прибор образца исполняет роль одной камеры. Метод проекции интерференционных полос также реализовывался различными исследовательскими группами в сочетании с другими, более точными датчиками. Более того, в настоящее время исследуется адаптивный метод проекции интерференционных полос с тем, чтобы расширить диапазон измеряемых поверхностей по их шероховатости и углам наклона поверхностей [32].

Стандартный объём измерения системы проекций интерференционных полос находится в диапазоне значений между 0,1 м и 1 м, с относительной точностью до  $10^{-4}$ . Пример системы проекций интерференционных полос представлен на рисунке 5.21.

Рассмотрим принцип работы проекции интерференционных полос, схема которого представлена на рисунке 5.21, б. Проектор проецирует интерференционный рисунок полос, закодированный с помощью специального процесса, на измеряемый объект. Топография объекта приводит к деформации и отклонениям на интер-

ференционном рисунке полос. Благодаря этому поверхность объекта становится видимой в 3D для систем с одной или несколькими камерами, которые образуют вторую ключевую часть сканера интерференционных полос белого света. Для определения отдельных точечных координат 3D, триангуляционный расчёт (отношения в прямоугольном треугольнике) производится из каждого пикселя камеры на основе пересечения лучей (проектор-камера) и кодирования.

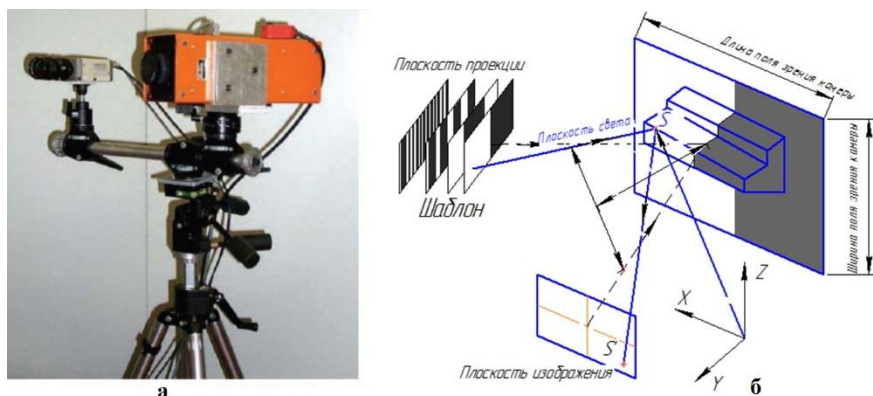


Рис. 5.21. Пример средства измерения, основанного на проекции интерференционных полос,  $S$  – измеренная точка поверхности:  
а) фотография прибора; б) оптическая схема

В зависимости от разрешающей способности камеры и используемого объёма измерений, грубый или мелкий 3D точечный рисунок (разрешение) помещается на объект. Чем мельче рисунок, тем лучше можно представить сложные элементы (радиусы, кромки и т.д.).

### **Отражение интерференционных полос/Дефлектометрия.**

Общим недостатком систем проекций интерференционных полос является их неспособность измерить отражающие поверхности, например, зеркальные поверхности. В методе отражения ин-

терференционных полос (рис. 5.22), также называемый дефлектометрией, экран проецирует черные и белые полосы на отражающую поверхность.

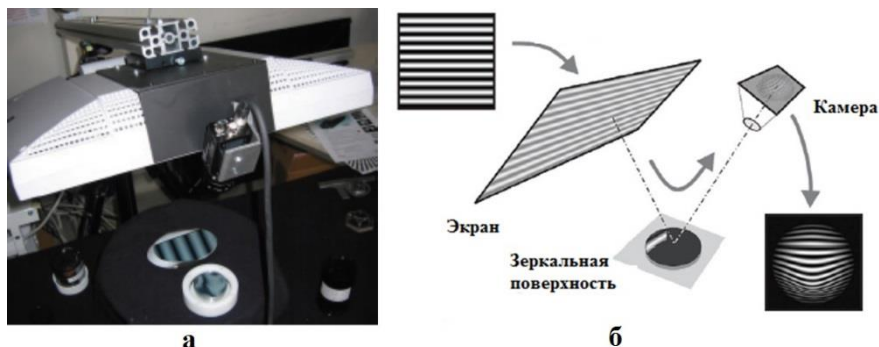


Рис. 5.22. Пример системы отражения интерференционных полос:  
а) изображение горизонтальной настройки малогабаритных объектов;  
б) оптическая схема [25]

Отражённая интерференционная картина просматривается с помощью видеокамеры и подвергается анализу посредством программного обеспечения. Таким образом, углы отражения могут быть определены для каждого пиксела, а локальные градиенты могут быть рассчитаны с высоким поперечным разрешением. Данные о поверхности получаются путём интеграции, с большим вертикальным разрешением, чем при проекции интерференционных полос. На рисунке 5.22 приведён пример горизонтальной настройки при измерении зеркальной поверхности произвольной формы.

### **Конструкция оптического средства измерений СОМЕТ 6.**

В данном разделе будет рассмотрено устройство прибора для оптических координатных измерений СОМЕТ 6. Перечислим основные компоненты прибора:

- датчик СОМЕТ 6 состоит из модуля камеры, модуля проектора и крепёжных модулей с крючковым гаечным ключом.

Размеры крепёжных модулей: крепёжный модуль 70 мм для полей обзора 150 и 250; крепёжный модуль 170 мм для полей обзора 400 и 700; крепёжный модуль 400 мм для поля обзора 1200;

- объективы: по одному объективу камеры для каждого поля обзора и использование объективов проектора для нескольких полей обзора при помощи распорных колец;

- блок питания Powerpack 300;

- комплект кабелей;

- ПК СОМЕТ 6, включая программное обеспечение *colin3D* или *СОМЕТplus*, а также аппаратный ключ *CodeMeter*;

- калибровочная пластина с соответствующим калибровочным шаблоном и калибровочным файлом.

Датчик СОМЕТ 6 представляет собой датчик проецированных интерференционных полос, состоящий из модуля камеры и модуля проектора. Эти два компонента привинчены к крепёжному модулю, который соответствует определённому полю обзора (рис. 5.23). Выбрав подходящее место для установки датчика (столешницы, стол и т.д.), необходимо обеспечить надёжную опору для системы и, как частное, для луча. Установка модуля проектора к модулю «луч» осуществляется с использованием крепёжной гайки стороны «луч» к фланцу модуля без накладной гайки.

На рисунке 5.24 изображены главные модули системы.



Рис. 5.23. Датчик СОМЕТ 6

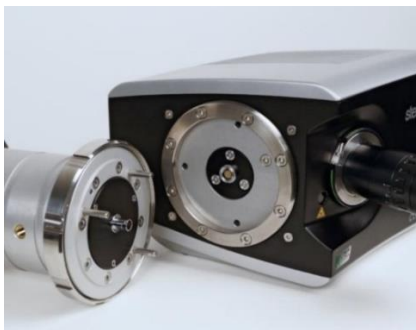


Рис. 5.24. Проектор и «луч» (фланцевая часть)

Трёх координатная головка крепится к руке штатива через пластиковую переходную втулку. Трёх координатная головка вставляется в руку штатива до упора, насколько это позволяет втулка.

При достижении упора, трёх координатная головка выравнивается таким образом, что три регулировочных рычага находятся в верхнем положении. Детально трёх координатная головка представлена на рис.инке 5.25. Трёх координатная головка закрепляется на штативе с помощью шестигранного торцевого ключа, с моментом затяжки равным 5 Н\*м. Наклоня ослабленный рычаг блокировки в сторону рычага вращения, осуществляется разблокировка датчика. Держатель датчика после этого можно открыть. Стопорный рычаг возвращается в вертикальное положение с помощью возвратной пружины.



Рис. 5.25. Трёх координатная головка

Датчик СОМЕТ 6 устанавливается в трёх координатную головку. Модуль «луч» размещён в опоре датчика таким образом, что две линзы привинчены к модулям в направлении от рычагов трёх координатной головки (рис. 5.26). Стопорный рычаг захватывает верхнюю часть опоры датчика около места закрепления.



Рис. 5.26. Установка датчика СОМЕТА 6 в трёх координатную головку

### **Выполнение измерений при помощи прибора СОМЕТ 6.**

Размер поля обзора зависит от длины крепёжного модуля и выбранных объективов. Для каждого поля обзора существует комбинация объектива камеры и объектива проектора. При изменении поля обзора вы должны заменить объективы или использовать распорные кольца на стороне проектора. Расстояние между датчиком СОМЕТ 6 и центром поля обзора следующее:

- 600 мм для полей обзора 150 и 250;
- 785 мм для полей обзора 400 и 700;
- 1400 мм для поля обзора 1200.

Во время измерения камера датчика СОМЕТ 6 должна быть расположена вертикально по отношению к поверхности объекта (рис. 5.27). Эта ориентация обеспечивает наилучший захват камеры и позволяет измерить интерференционную картину проектора.

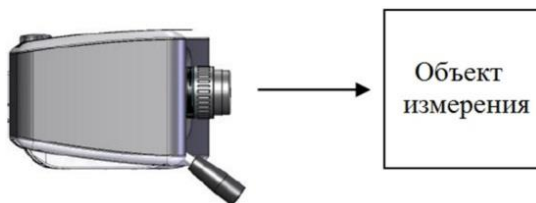


Рис. 5.27. Расположение камеры во время измерения

Лазеры камеры и проектора пересекаются в центре измеряемой области. Это гарантирует расположение объекта в центре измерительной области (рисунок 5.28).

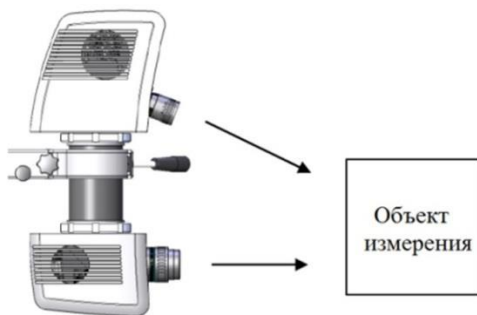


Рис. 5.28. Лазеры камеры и проектора при измерении

Затемнённые зоны не обеспечивают заданных характеристик измерений. Термин "затемнение" относится к области, на которой не может быть создана сетка или в которой камера не может захватить сетку. Для проведения измерений в этих областях, с необходимой точностью, требуется изменить положение датчика СОМЕТ 6 или объекта измерения.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Активный контроль размеров / Под ред. С.С. Волосова. – М.: Машиностроение, 1984. – 223 с.
2. Нормирование точности в машиностроении: учебник для машиностроительных специальностей вузов / Н. Н. Марков, В. В. Осипов, М. Б. Шабалина; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа; Академия, 2001. – 335 с.
3. Вальков В. М. Контроль в ГАИ. – Л.: Машиностроение, 1986. – 230 с.
4. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении: учебник / С. А. Зайцев, А. Д. Куранов, А. Н. Толстов. – 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 239 с.
5. Высоцкий А. В., Курочкин А. Л. Пневматические средства измерений линейных величин в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1979. – 206 с.
6. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебное пособие для вузов по машиностроительным специальностям / А. Д. Никифоров. – Изд. 4-е, стер. – М.: Высшая школа, 2007. – 510 с.
7. Кайнер Г. Б. Измерение линейных размеров высокоточных деталей. – М.: Машиностроение, 1975. – 168 с.
8. Каплунов Р. С. Точность контрольных приспособлений. – М.: Машиностроение, 1968.
9. Коваленко А. В. Контроль деталей, обработанных на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1980. – 167 с.
10. Координатные измерительные машины и их применение / А. А. Гапшис, А. Ю. Каспарайтис, М. Б. Модестов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 326 с.

11. Короткое В. П., Тайц Б. А. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 352 с.
12. Марков А. Л. Измерение зубчатых колес. – Л.: Машиностроение, 1968. – 274 с.
13. Марков Н. Н., Ганевский Г. М. Конструкция, расчёт и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. – М.: Машиностроение, 1993. – 416 с.
14. Марков К. Н., Кайнер Г. Б., Сацедотов П. А. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях. – М.: Машиностроение, 1967. – 392 с.
15. Маханько А. М. Контроль станочных и слесарных работ. – М.: Высшая школа, 1986. – 272 с.
16. Ознобишин К. С., Лурье А. М. Технический контроль в механических цехах. – М.: Высшая школа, 1979. – 221 с.
17. Палей С. М., Васильев С. В. Контроль состояния режущего инструмента на станках с ЧПУ. – М.: НИИмаш, 1983. – 52 с.
18. Первушин Е. Л. Ремонт мер и измерительных приборов. – Л.: Машиностроение, 1974. – 152 с.
19. Покровский Б. С. Механосборочные работы и их контроль. – М.: Высшая школа, 1989. – 271 с.
20. Рубинов А. Д. Контроль больших размеров в машиностроении. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1982. – 215 с.
21. Технический контроль в машиностроении. Справочник проектировщика / Под ред. В. Д. Чупырина, А. Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1989. – 512 с.
22. Точность и производственный контроль в машиностроении. Справочник / Под ред. А. Х. Кутая, В. Н. Сорочкина. – Л.: Машиностроение, 1983. – 368 с.
23. Чудов В. А., Цицулко Ф. В., Фрейдгейм Н. И. Размерный контроль в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.

24. Шубников К. В., Баранов С. Е., Шнитман Л. И. Унифицированные переналаживаемые средства измерения. – Л.: Машиностроение, 1978. – 200 с.

25. Savio E. Metrology of freeform shaped parts / E. Savio, L. De Chiffre, R. Schmitt // CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY. – 2007. – Vol. 53, Issue 2. – P. 810-835.

26. Probing Systems in Dimensional Metrology, Keynote paper / A. Weckenmann, T. Estler, G. Peggs, D. McMurtry // Annals of the CIRP. – 2004. – 53, Issue 2. – P.657-684.

27. Координатные измерительные машины и их применение: учебное пособие / В. А. Гапшис, А. Ю. Каспарайтис, М. Б. Модестов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.

28. Геометрические спецификации изделий (GPS). Приёмочные и повторные проверочные испытания координатно-измерительных машин (СММ). Часть 2: СММ, используемые для линейных измерений. – М.: Издательство стандартов, 2010. – 36 с.

29. A System for Measuring High-reflective Sculptured Surfaces Using Optical Noncontact Probe / G.X. Zhang, Y.C. Xu, Z.X. Xie [et al.] // Annals of the CIRP. – 2001. – Vol.50, Issue. 1. – P. 369-372.

30. Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering Keynote paper/ H. Schwenke, U. Neuschaefer-Rube, T. Pfeifer, H. Kunzmann // Annals of the CIRP. – 2002. – Vol. 51, Issut 2. – P. 685-699.

31. Denkena, B. Three-dimensional optical Measurement with locally Adapted Projection / B. Denkena, W. Acker // Advanced Material Research. – 2007. – Vol. 22. – P. 83-90.

32. Knauer, M. C. Phase Measuring Deflectometry: a new approach to measure specular free-form surfaces / M. C. Knauer, J. Kaminski, G. Häusler // Proc. SPIE. – 2004. – Vol. 5457. – P. 366-376.

Учебное издание

*Шулепов Александр Павлович,  
Мещеряков Александр Викторович,  
Печенин Вадим Андреевич*

**СОВРЕМЕННОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ  
ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ**

*Учебное пособие*

Редакционно-издательская обработка А.В. Ярославцевой

Подписано в печать 28.11.2022. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 10,25.

Тираж 25 экз. Заказ № . Арт. – 24(Р2УП)/2022.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Издательство Самарского университета.

443086, Самара, Московское шоссе, 34