

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Лабораторный практикум

для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»,
6-05-0722-05 «Производство изделий на основе трехмерных технологий»

Витебск
2023

УДК 621:53.08+621.713

Составители:

А. Н. Голубев, С. М. Кузьменков

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 3 от 30.11.2022.

Нормирование точности и технические измерения : лабораторный практикум / А. Н. Голубев, С. М. Кузьменков. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – 60 с.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных работ по курсу «Нормирование точности и технические измерения» студентами специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», 6-05-0722-05 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» высших учебных заведений. Рассмотрены применяемые средства и методы измерений, дана методика проведения измерений и обработки результатов, приведены контрольные вопросы для подготовки к защите работ.

УДК 621:53.08+621.713

© УО «ВГТУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Лабораторная работа 1. Механические средства измерений и концевые меры длины	6
1.1 Основные сведения об измерениях	6
1.2 Штангенинструменты	7
1.3 Микрометрический инструмент	10
1.4 Плоскопараллельные концевые меры длины	13
1.5 Порядок выполнения работы	16
1.6 Содержание отчета	17
1.7 Контрольные вопросы	17
Лабораторная работа 2. Контроль размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей	19
2.1 Исходные данные	19
2.2 Определение предельных размеров для диаметра и длины ...	20
2.3 Понятие о допуске круглости и допуске профиля продоль- ного сечения.....	21
2.4 Схема измерений и обработка результатов.....	24
2.5 Измерения на микрокаторе	27
2.6 Порядок выполнения работы.....	28
2.7 Содержание отчета.....	29
2.8 Контрольные вопросы	29
Лабораторная работа 3. Контроль размеров гладких внутренних цилиндрических поверхностей	30
3.1 Исходные данные	30
3.2 Схема измерений и порядок обработки результатов	31
3.3 Измерения на индикаторе часового типа	32
3.4 Измерения на индикаторном нутромере	35
3.5 Порядок выполнения работы	38
3.6 Содержание отчета.....	38
3.7 Контрольные вопросы	39
Лабораторная работа 4. Контроль размеров валов предельными калибрами.....	40
4.1 Назначение и устройство регулируемой скобы.....	40
4.2 Расчет исполнительных размеров скобы.....	41
4.3 Настройка скобы и контроль валов.....	43
4.4 Порядок выполнения работы	43
4.5 Содержание отчета.....	44

4.6 Контрольные вопросы	44
Лабораторная работа 5. Измерение угла внутреннего конуса детали с помощью шариков	45
5.1 Методика проведения измерений.....	45
5.2 Обработка результатов измерений.....	46
5.3 Порядок выполнения работы	47
5.4 Содержание отчета.....	47
5.5 Контрольные вопросы	47
Лабораторная работа 6. Контроль радиального и торцевого биения. ...	48
6.1 Исходные данные	48
6.2 Понятие о торцевом и радиальном биении	49
6.3 Методика снятия измерений	49
6.4 Порядок выполнения работы	51
6.5 Содержание отчета.....	52
6.6 Контрольные вопросы	52
Лабораторная работа 7. Контроль параметров, характеризующих нормы бокового зазора зубчатых колес	53
7.1 Параметры, характеризующие нормы бокового зазора.....	53
7.2 Измерения штангензубомером	54
7.3 Методика выполнения измерений.....	55
7.4 Обработка результатов измерений.....	55
7.5 Порядок выполнения работы	57
7.6 Содержание отчета.....	58
7.7 Контрольные вопросы	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	59

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы, приведенные в настоящем практикуме, направлены на приобретение студентами практических навыков в области технических измерений линейных и угловых величин.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных работ студентами высших учебных заведений по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» в соответствии с учебными планами специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», 6-05-0722-05 «Производство изделий на основе трехмерных технологий», определенными стандартом ОКРБ 011-2022.

В практикуме рассматривается ход выполнения лабораторных работ, предполагающих самостоятельное выполнение измерений студентами, обработку результатов и формулировку выводов. В каждой из работ описываются применяемые средства и методы измерения, дается методика проведения измерений и обработки результатов. Приведены пункты отчета и контрольные вопросы для подготовки к защите работ.

Для определения значений стандартных допусков и предельных отклонений в ходе выполнения лабораторных работ рекомендуется пользоваться справочной частью методических указаний к выполнению курсовой работы по данной дисциплине [1].

МЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНЦЕВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ

Цель работы: изучить основные понятия о видах измерений; научиться пользоваться штангенинструментом, микрометром; освоить приемы работы с наборами концевых мер длины.

Средства измерений: штангенциркуль; микрометр; наборы концевых мер длины.

1.1 Основные сведения об измерениях

Измерением называют процесс экспериментального получения одного или более значения величины, которые могут быть обоснованно приписаны этой величине. Измерение подразумевает сравнение величин или включает счет объектов. Измерение предусматривает описание величины в соответствии с предполагаемым использованием результата измерения, методику измерений и средство измерений [2].

Прямым называют измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений. Например, измерение диаметра и длины валика штангенциркулем или микрометром (лабораторные работы 1, 2); измерение диаметра отверстия нутромером (лабораторная работа 3), измерение длины постоянной хорды зуба штангензубомером (лабораторная работа 7) относятся к прямым видам измерений, поскольку по шкале прибора отсчитывается именно измеряемый размер (а не какая-либо промежуточная величина). Если же искомое значение величины находят на основании известной функциональной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, то такое измерение называют **косвенным**. Измерение угла внутреннего конуса с помощью двух шариков (лабораторная работа 5) является косвенным измерением, поскольку искомое значение угла определяется как функция непосредственно измеряемых величин (диаметров шариков и расстояний от шариков до торца детали). Сам угол напрямую в данном случае не измеряется.

Метод сравнения с мерой предполагает сравнение измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой. Часто он реализуется в виде **дифференциального метода**, когда измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при этом измеряется разность между этими двумя величинами. Примером являются измерения с помощью миниметра (лабораторная работа 2) и нутромера (лабораторная работа 3), которые настраиваются на «0» по концевым мерам длины и показывают разность между измеряемым размером и размером концевой меры. Результат измерения, снимаемый со шкалы прибора, может выгля-

деть следующим образом: +0,002 мм; -0,05 мм. Для того, чтобы получить абсолютное значение размера, показание прибора необходимо сложить (с учетом знака) с размером концевой меры.

Размером в машиностроении называют числовое значение линейной величины, выраженное в миллиметрах (мм); для цилиндрических соединений – это диаметр, для плоских – это расстояние между параллельными плоскостями по нормали к ним.

Истинное значение размера, хоть и существует, является неизвестным. Вместо него для размеров, получаемых на детали в ходе ее обработки, используется понятие действительного размера. **Действительным размером** называют значение величины размера, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. При этом **погрешностью** измерения называют разность между показанием средства измерений и известным действительным значением размера. Различают абсолютную и относительную погрешности измерения.

Абсолютная погрешность измерения – это погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta_{abc} = l_{изм} - l_{\partial}, \quad (1.1)$$

где $l_{изм}$ – измеренное значение размера; l_{∂} – известное действительное значение размера.

Относительная погрешность измерения – это погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к известному действительному значению измеряемой величины:

$$\Delta_{отн} = (\Delta_{abc} / l_{\partial}) \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где Δ_{abc} – абсолютная погрешность измерения; l_{∂} – известное действительное значение размера.

1.2 Штангенинструменты

Штангенинструменты применяются для линейных измерений, не требующих высокой точности. Существует три основных типа штангенинструментов¹, которые отличаются друг от друга расположением измерительных поверхностей: штангенциркуль (рис. 1.1 а); штангенглубиномер (рис. 1.2 б); штангенрейсмас (рис. 1.3 в).

¹ К штангенинструментам относится также штангензубомер; как инструмент специального назначения, он рассмотрен в лабораторной работе 7.

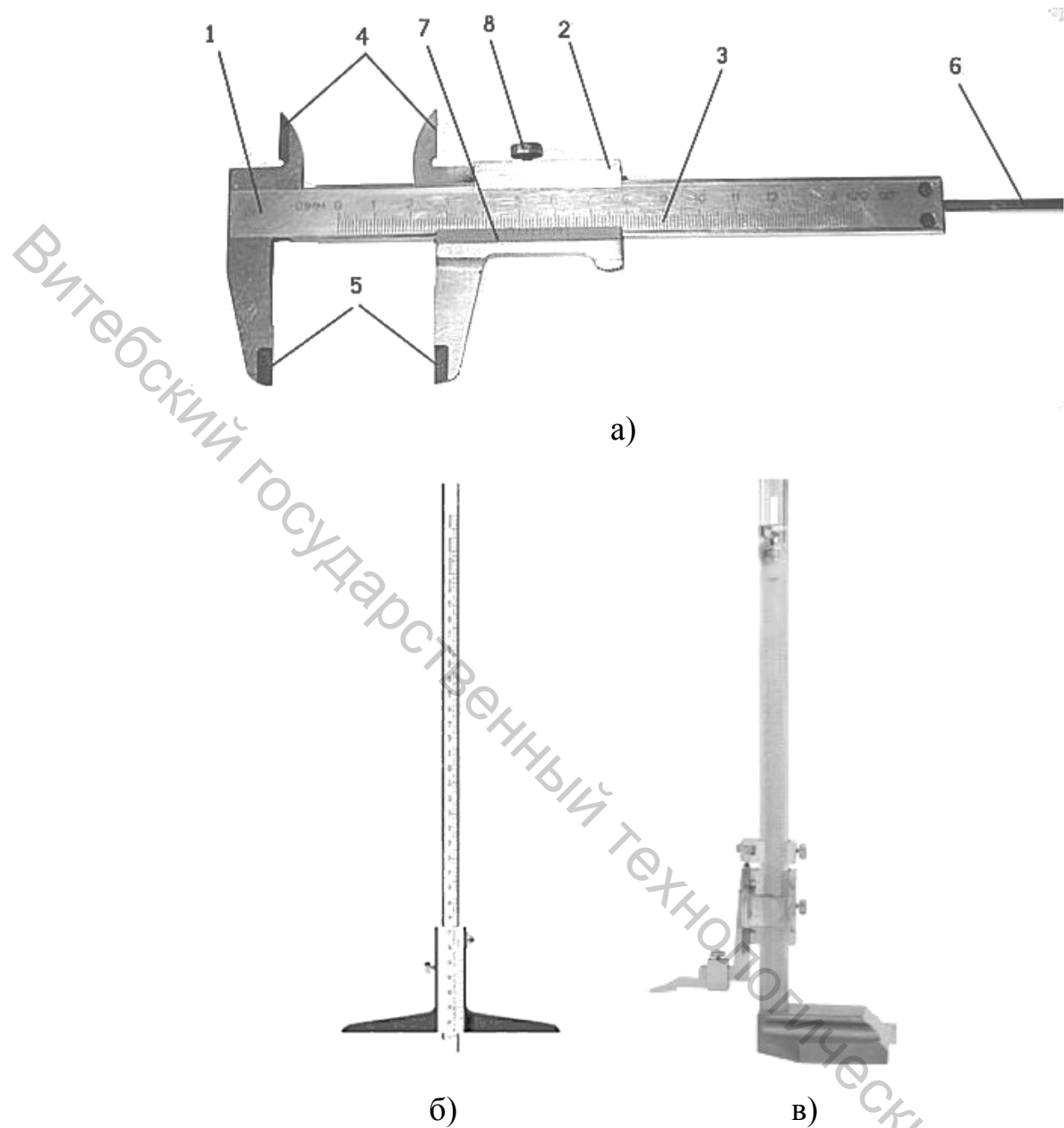


Рисунок 1.1 – Штангенинструмент: а) штангенциркуль, б) штангенглубиномер, в) штангенрейсмас:

1 – штанга; 2 – подвижная рамка; 3 – основная шкала на штанге; 4 – губки для внутренних измерений; 5 – губки для наружных измерений; 6 – линейка; 7 – нониус; 8 – зажим

Отсчетными устройствами у всех конструкций штангенинструментов (кроме приборов с цифровой индикацией, рис. 1.2) служит шкала штанги и линейный нониус. **Нониусом** называется приспособление в виде дополнительной линейки со шкалой, служащее для отсчета дробных долей интервала основной шкалы.

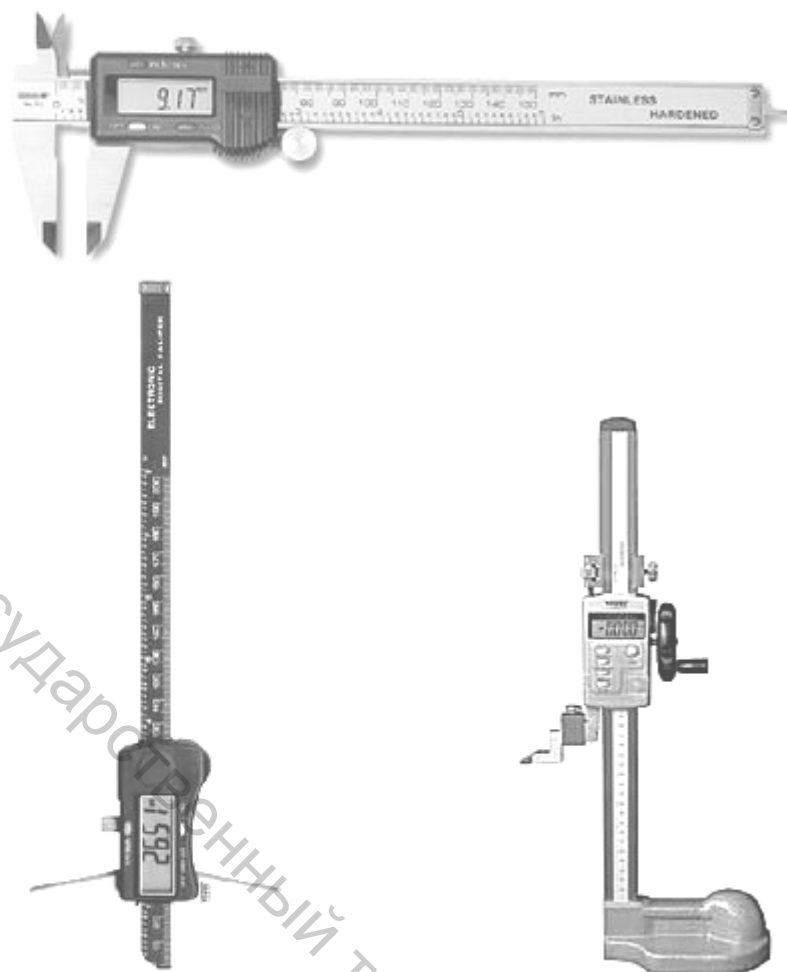


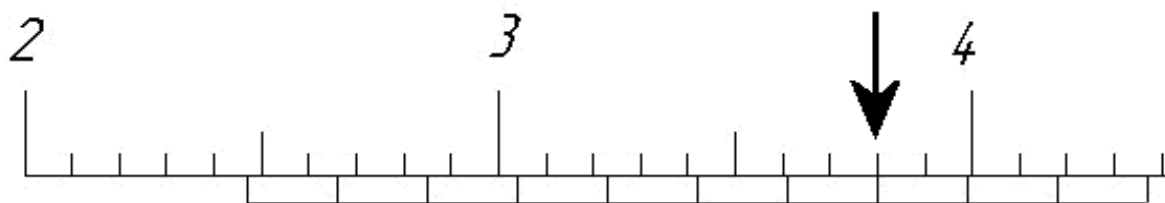
Рисунок 1.2 – Штангенинструмент с цифровой индикацией

На штанге нанесена основная шкала. Основные шкалы в штангенинструментах наносятся с интервалом 1 мм или 0,5 мм. Шкала нониуса размещается на подвижной рамке инструмента. Нониусы изготавливаются с величиной отсчета 0,1 мм, 0,05 мм и 0,02 мм.

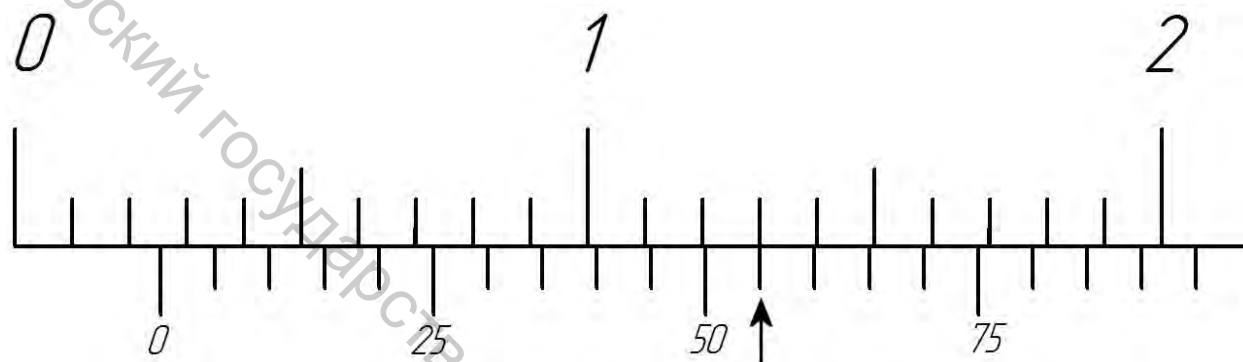
При нулевом показании инструмента ноль шкалы нониуса совпадает с нулевым штрихом основной шкалы. При измерении детали подвижная рамка с нониусом смещается, и по основной шкале и шкале нониуса отсчитывается расстояние между нулевыми штрихами этих шкал, равное измеряемому размеру (рис. 1.3). **Целое число** миллиметров, содержащееся в размере детали, определяется целым числом интервалов шкалы штанги, заключенным между нулевым делением штанги и нулевым делением нониуса. **Дробная доля** миллиметра, содержащаяся в размере детали, равна порядковому номеру штриха (считая от нулевого) шкалы нониуса, совпадающего с каким-либо штрихом шкалы штанги, умноженному на величину отсчета по нониусу. Таким образом, показания на шкалах приборов, изображенных на рисунке 1.3, будут определяться следующим образом:

а) нулевой штрих нониуса расположен между 24 и 25 штрихами основной шкалы штанги, поэтому целое число миллиметров равно 24; седьмой (считая от

нулевого) штрих шкалы нониуса совпадает со штрихом основной шкалы штанги, поэтому дробная доля миллиметра составляет $7 \times 0,1 = 0,7$; абсолютное значение размера составляет $24 + 0,7 = 24,7$ мм;



а)



б)

Рисунок 1.3 – Чтение показаний: а – штангенинструмент с отсчетом по нониусу 0,1 мм; б – штангенинструмент с отсчетом по нониусу 0,05 мм

б) нулевой штрих нониуса расположен между 2 и 3 штрихами основной шкалы штанги, поэтому целое число миллиметров равно 2; одиннадцатый (считая от нулевого) штрих шкалы нониуса совпадает со штрихом основной шкалы штанги, поэтому дробная доля миллиметра составляет $11 \times 0,05 = 0,55$; абсолютное значение размера составляет $2 + 0,55 = 2,55$ мм.

Под штрихами нониуса иногда сразу подписывают значения дробных долей миллиметра, соответствующие этому штриху. Например, «0, 1, 2, 3...» – для нониуса с величиной отсчета 0,1 мм (подписан каждый штрих); «0, 25, 50, 75» – для нониуса с величиной отсчета 0,05 мм (подписан каждый пятый штрих, как на рисунке 1,3 б) и т. д. Это облегчает снятие показаний, избавляя от необходимости подсчета штрихов.

1.3 Микрометрический инструмент

Различают следующие типы микрометрического инструмента общего назначения: микрометр для наружных измерений (рис. 1.4); микрометрический глубиномер; микрометрический нутромер. Существуют также микрометры

специального назначения: микрометр со вставками для измерений резьб; рычажно-зубчатый микрометр. Основным узлом в микрометрических инструментах является винтовая пара, преобразующая вращательное движение микровинта в поступательное движение. Рабочая часть микрометрического винта имеет длину 25 мм, поэтому пределы измерений микрометров таковы: 0–25, 25–50, 50–75 и т. д.

Отсчетное устройство микрометрических инструментов состоит из двух шкал, нанесенных на стемпель (с ценой деления 0,5 мм) и на барабан (с ценой деления 0,01 мм), и двух указателей (кроме микрометров с цифровой индикацией, рис. 1.5). Для шкалы с ценой деления 0,5 мм на стемпеле указателем является край скошенного торца барабана, а для шкалы барабана с ценой деления 0,01 мм – продольная линия, нанесенная на стемпеле.

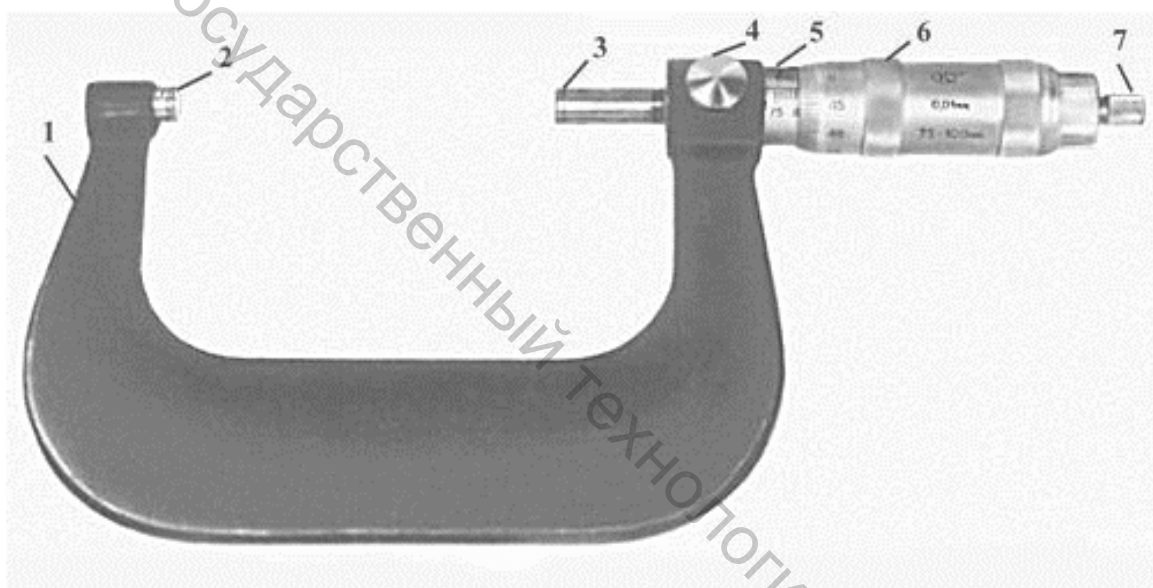


Рисунок 1.4 – Микрометр для наружных измерений:

- 1 – скоба; 2 – пятка; 3 – торец микрометрического винта; 4 – стопорный винт;
5 – стемпель; 6 – барабан; 7 – трещотка

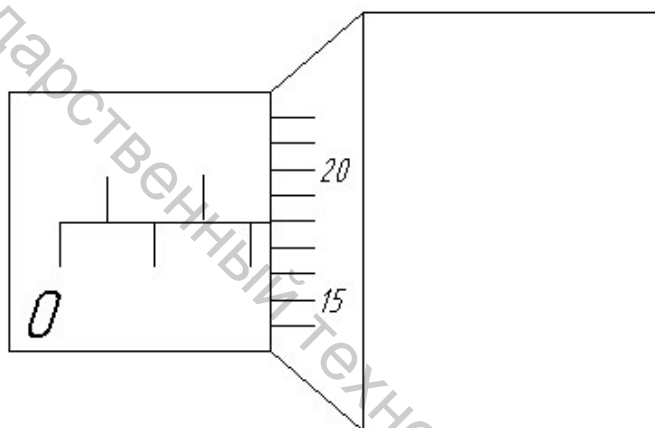


Рисунок 1.5 – Микрометр с цифровой индикацией

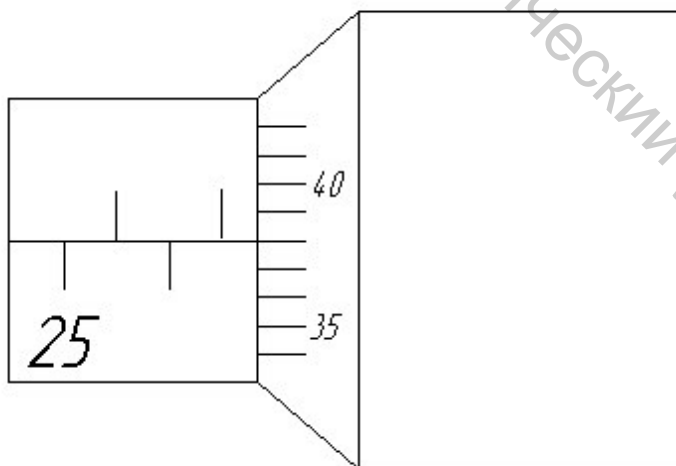
По одну сторону продольного штриха стебля наносится одна группа штрихов с интервалом в 1 мм, а по другую сторону продольного штриха – вторая группа штрихов также с интервалом в 1 мм, но сдвинутых на 0,5 мм по отношению к первой. Таким образом, обе группы штрихов образуют единую шкалу с ценой деления 0,5 мм.

На круговую шкалу барабана нанесено 50 делений (рис. 1.6). Шаг микро-винта 0,5 мм, следовательно, одному обороту барабана соответствует линейное перемещение скошенного края барабана на 0,5 мм. Величина отсчета по круговой шкале барабана составляет $0,05/50 = 0,01$ мм.

Размер проверяемого объекта вначале с точностью до 0,5 мм отсчитывают по шкале стебля, принимая за указатель скошенный край барабана. Число сотых долей отсчитывается по шкале барабана, при этом указателем служит продольная линия на стебле. Для получения абсолютного значения размера снятые с двух шкал показания складываются.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Снятие показаний со шкал микрометрического инструмента: а – показание 2,18 мм, б – показание 26,88 мм

Таким образом, показания шкал будут определяться следующим образом:

а) скошенный край барабана находится между штрихами шкалы стебля, соответствующими 2 мм и 2,5 мм, поэтому показание по шкале стебля равно 2; с продольной линией на стебле совпадает 18-й штрих барабана, поэтому показание по шкале барабана равно 0,18 мм; абсолютное значение размера будет $2+0,18=2,18$ мм;

б) скошенный край барабана находится между штрихами шкалы стебля, соответствующими 26,5 мм и 27 мм, поэтому показание по шкале стебля равно 26,5; с продольной линией на стебле совпадает 38-й штрих барабана, поэтому показание по шкале барабана равно 0,38 мм; абсолютное значение размера будет $26,5+0,38=26,88$ мм.

Снятие показаний обычно производят в следующей последовательности:

1) по «нижним» штрихам шкалы стебля определяют целое число миллиметров;

2) сотые доли миллиметра находят так: если «верхний» штрих шкалы стебля не вышел из-за края барабана, берут показание шкалы барабана; если «верхний» штрих шкалы стебля вышел из-за края барабана, к показаниям барабана прибавляют еще 50 сотых долей миллиметра.

Перед началом измерений микрометр в обязательном порядке должен быть установлен на «0». В правильно настроенном микрометре в нулевом положении край барабана должен быть установлен на начальное деление шкалы стебля, соответствующее нижнему пределу измерений, а нулевое деление шкалы барабана должно быть установлено напротив продольной линии стебля.

1.4 Плоскопараллельные концевые меры длины

Мерой называется средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины с приписанным ей значением. В машиностроении наиболее широкое применение находят плоскопараллельные концевые меры длины.

Плоскопараллельными концевыми мерами длины называют меры в форме плитки или стержня, для определения значения (размера) которых служат две взаимнопараллельные измерительные плоскости. Обычно меры представляют собой стальные (твердосплавные, керамические) плитки прямоугольного сечения с двумя плоскопараллельными измерительными поверхностями (рис. 1.7 а). Концевые меры являются основным средством сохранения единства мер в машиностроении и служат для передачи размера от государственного эталона длины – основной световой волны – до изделий. С их помощью производится установка, градуирование и проверка измерительных приборов, а также непосредственное измерение и разметка изделий, наладка станков и приспособлений и т. д.

Рабочий размер концевой меры – это длина перпендикуляра, опущенного из любой точки измерительной поверхности концевой меры на противоположную измерительную поверхность.

Точность концевых мер длины определяется главным образом допуском размера или точностью его аттестации. При выполнении различных работ могут использоваться меры различной точности. Для концевых мер длины установлено семь классов точности, обозначаемых в порядке ее возрастания: 5, 4, 3, 2, 1, 0 и 00. При этом изготавливаются концевые меры только пяти классов точности (от 00 до 3). Меры других двух классов (4 и 5) не изготавливаются. Допуски по эти классам используются только при ремонте концевых мер длины с целью их дальнейшего применения для измерений, не требующих высокой точности. Допускаемые отклонения длины плоскопараллельных концевых мер 1, 2 и 3 класса точности приведены в таблице 1.1.

Измерительные (рабочие) поверхности концевых мер доведены и обладают способностью прочно сцепляться друг с другом при надвигании измерительной поверхности одной плитки на измерительную поверхность другой плитки. Эта способность концевых мер, называемая притираемостью, позволяет составлять блоки из нескольких концевых мер разных размеров для получения требуемого размера (рис. 1.7 б).

Установлено пять градаций плоскопараллельных концевых мер с различной разностью между размерами «соседних» плиток:

- 1) 0,001 мм (с размерами от 0,991 до 1,01 мм);
- 2) 0,01 мм (с размерами от 1 до 1,5 мм);
- 3) 0,1 мм (с размерами от 1 до 2 мм);
- 4) 0,5 мм (с размерами от 0,5 до 25 мм);
- 5) 10 мм (с размерами от 10 до 100 мм).

Такие градации позволяют составлять любой требуемый размер с точностью до 1 мкм. Для практического применения в условиях цехов и измерительных лабораторий из концевых мер комплектуют наборы (рис. 1.7 в). Наиболее широко применяют наборы № 1 (83 меры), № 2 (38 мер) и № 3 (112 мер).

Таблица 1.1 – Допускаемые отклонения длины плоскопараллельных концевых мер

Номинальная длина меры, мм	Допускаемые отклонения (мкм) для меры класса точности					
	1		2		3	
	от номинального значения (±)	от плоскопараллельности	от номинального значения (±)	от плоскопараллельности	от номинального значения (±)	от плоскопараллельности
1	2	3	4	5	6	7
До 10	0,20	0,16	0,40	0,30	0,80	0,30
Св. 10 до 25	0,30	0,16	0,60	0,30	1,20	0,30

Окончание таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Св. 25 до 50	0,40	0,18	0,80	0,30	1,60	0,30
Св. 50 до 75	0,50	0,18	1,00	0,35	2,00	0,35
Св. 75 до 100	0,60	0,20	1,20	0,35	2,50	0,35
Св. 100 до 150	0,80	0,20	1,60	0,40	3,00	0,40
Св. 150 до 200	1,00	0,22	2,00	0,40	4,00	0,40
250	1,20	0,25	2,50	0,40	5,00	0,40

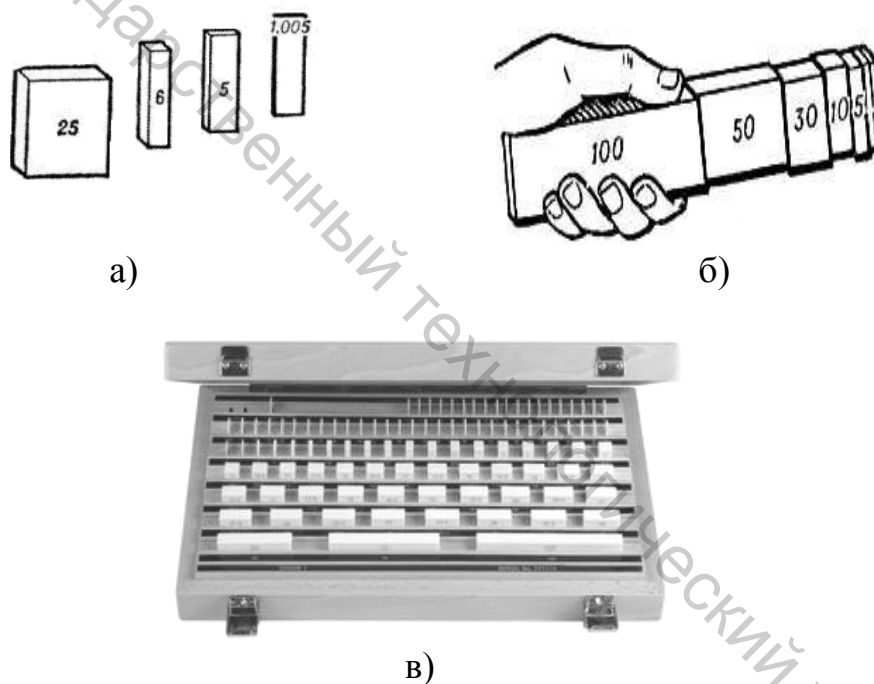


Рисунок 1.7 – Плоскопараллельные концевые меры длины:
 а – меры, воспроизводящие различные размеры; б – меры, собранные в блок; в – набор концевых мер

При составлении блока из концевых мер следует стремиться, чтобы блок состоял из возможно меньшего количества мер. Для размера до 100 мм максимальное количество мер равно четырем. Составлять блок более чем из пяти мер обычно не рекомендуется. Перед составлением блока следует провести предварительный расчет, подбирая в первую очередь концевые меры, имеющие тысячные доли, затем сотые доли миллиметра и т. д. Например, при необходимости собрать размер 29,873 мм расчет может быть таким:

29,873	(размер)
- 1,003	(1-я мера)

28,87	(остаток)
- 1,37	(2-я мера)

27,5	(остаток)
- 7,5	(3-я мера)

20	(4-я мера)

Приемы составления блока сводятся к следующему. Концевые меры, предназначенные для составления блока, прочищают от смазки и насухо вытирают. Затем одну из мер накладывают на вторую примерно на треть длины рабочей поверхности, и, плотно прижимая пальцами, продвигают вдоль длинной стороны до полного контакта рабочих поверхностей. Если после этого с помощью легкого усилия не удастся разъединить собранный блок, меры считаются притертыми. После притирки двух концевых мер к ним притирают третью и т. д., при этом вначале притираются меры малых размеров, собранный из них блок – к мере среднего размера и затем уже к плитке большого размера. Во избежание царапания рабочих поверхностей концевых мер и для продления их срока службы следует класть концевые меры размером свыше 5,5 мм на стол только нерабочими поверхностями, а также не притирать рабочую поверхность одной концевой меры к нерабочей поверхности другой меры. По окончании работы блок следует разобрать, плитки тщательно протереть и разложить по соответствующим ячейкам набора.

Концевые меры длины применяют также со специальными принадлежностями, позволяющими осуществлять контроль наружных и внутренних размеров изделий и разметочные работы. В набор таких принадлежностей обычно входят державки для крепления мер боковиками, стяжки, зажимные сухари. В комплект каждого набора входят также защитные концевые меры, предназначенные для предохранения рабочих мер от быстрого износа и повреждения.

1.5 Порядок выполнения работы

1. Собрать с помощью концевых мер длины заданные преподавателем размеры². Перед сборкой выполнить предварительный расчет блока.
2. Измерить каждый из собранных блоков штангенциркулем и микрометром.

² Поскольку количество мер в наборе ограничено, рекомендуется, выполнив п. 1–2 для одного размера, разобрать блок и переходить к следующему размеру.

3. Определить абсолютную и относительную погрешности выполненных измерений по формулам (1.1) и (1.2).

4. Записать результаты измерений и вычислений в таблицу (см. табл. 1.2). В колонку «Размер блока» должны быть записаны размеры, выданные преподавателем и собранные из концевых мер (т. е. действительные размеры³). В колонке «Измеренный размер» следует указать результаты измерений собранного блока концевых мер. В колонке «Погрешность измерения» указываются результаты расчетов абсолютной и относительной погрешностей выполненных измерений.

5. Подготовить отчет по лабораторной работе.

Таблица 1.2 – Результаты и погрешности измерений

Размер блока	Измеренный размер		Погрешность измерения			
	штц.	микр.	штц.		микр.	
			абс.	отн.	абс.	отн.

1.6 Содержание отчета

- название и цель лабораторной работы;
- расчетные формулы для погрешностей;
- таблица с результатами измерений и вычислений.

1.7 Контрольные вопросы

1. Что такое прямое и косвенное измерение? Приведите примеры.
2. Чем отличается истинный размер от действительного размера?
3. Дайте определение абсолютной и относительной погрешности измерений.
4. Перечислите разновидности штангенинструментов, их назначение и составные части.

³ Погрешности размеров концевых мер (см. табл. 1.1) на 1–2 порядка меньше цены деления шкал микрометра и штангенциркуля. Поэтому в данном случае размер блока можно считать действительным размером.

5. Какова цена деления основной шкалы и шкалы нониуса штангенциркуля?

6. Объясните правила снятия показаний при измерении штангенциркулями.

7. Объясните устройство микрометра для наружных измерений.

8. Как осуществляется настройка на «0» микрометрического инструмента?

9. Объясните правило чтения показаний со шкал микрометра.

10. В чем состоит назначение плоскопараллельных концевых мер длины?

11. Как определяется рабочий размер концевой меры? Какие бывают классы точности концевых мер?

12. Какие существуют градации размеров концевых мер? Как осуществляется предварительный расчет блока при сборке размера?

13. Перечислите порядок сборки размера из блока концевых мер.

КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ГЛАДКИХ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы: приобрести навыки контроля гладких наружных цилиндрических поверхностей; изучить определение и измерение допуска круглости и допуска профиля продольного сечения; научиться измерять размеры на микрометре (миниметре).

Объект измерений: гладкий шлифованный валик; номинальные размеры: диаметр 20...30 мм, длина 50...55 мм.

Средства измерений: штангенциркуль ШЦ-I или ШЦ-II; микрометр с пределами измерений 0–25 или 25–50; микрокатор или миниметр на штативе; набор плоскопараллельных концевых мер.

2.1 Исходные данные

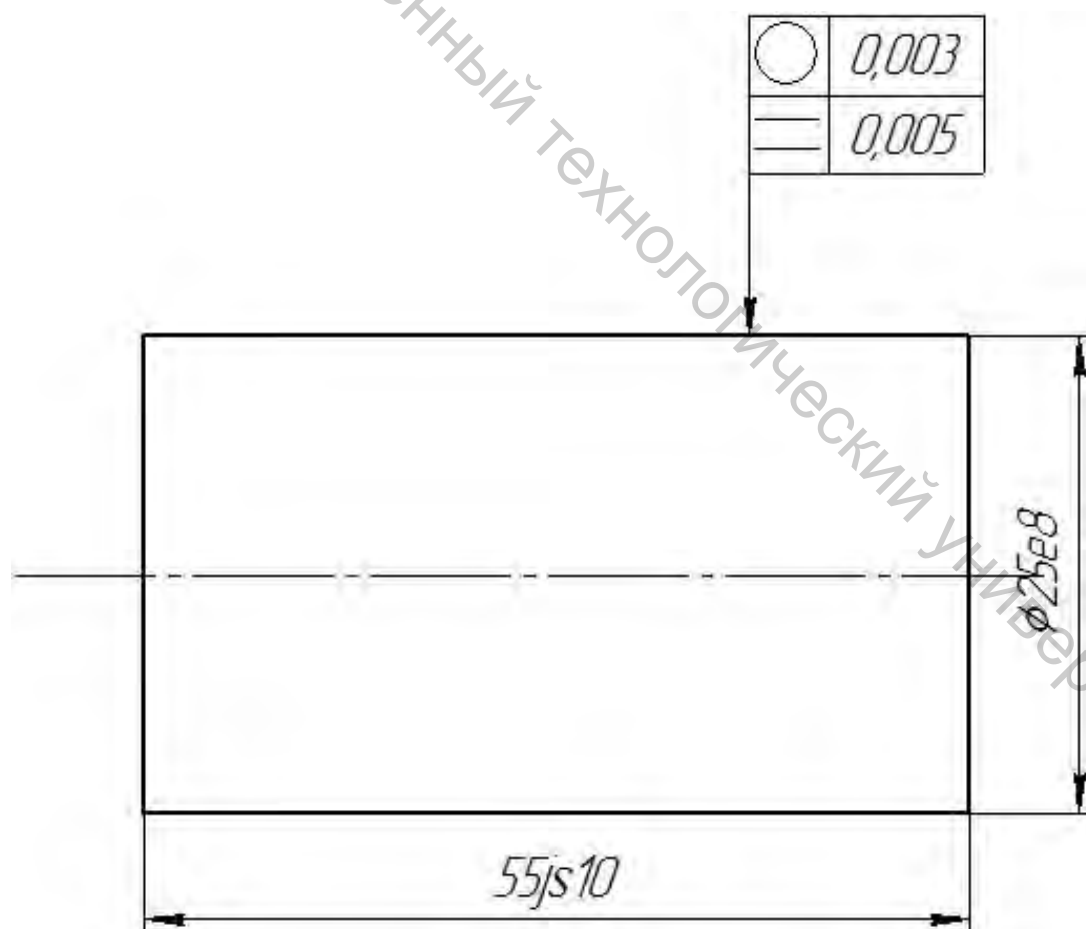


Рисунок 2.1 – Фрагмент чертежа вала

Задан чертеж вала (см. пример на рис. 2.1), устанавливающий следующие четыре требования к его точности⁴:

- номинальный диаметр с классом допуска ($\varnothing 25e8$);
- номинальная длина с классом допуска ($55js10$);
- допуск круглости ($T_{кр} = 0,003$ мм);
- допуск профиля продольного сечения ($T_{np} = 0,005$ мм).

К чертежу выдается изготовленный в соответствии с ним вал. Проведя ряд требуемых измерений, необходимо определить, соответствует ли изготовленный вал всем четырем перечисленным требованиям (по отдельности). Результаты записать в качестве выводов по лабораторной работе.

2.2 Определение предельных размеров для диаметра и длины

На чертеже (рис. 2.1) задан класс допуска для диаметра вала $\varnothing 25e8$. Данная запись означает, что номинальный размер вала равен 25 мм, буквенное обозначение основного отклонения – e , а квалитет (степень точности), по которому должен быть изготовлен вал – IT8.

Таким образом, точностные требования к размеру диаметра чертежом полностью определены. Для того, чтобы ответить на вопрос о годности вала по диаметру, необходимо определить предельные размеры.

Предельными размерами называют два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться (или может быть равным одному из них) действительный размер [3, 9]. Для вала

$$\begin{aligned}d_{\max} &= d_n + es; \\d_{\min} &= d_n + ei,\end{aligned}\tag{2.1}$$

где d_{\max} – верхний предельный размер; d_{\min} – нижний предельный размер; es и ei – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения вала.

Предельные отклонения находим в соответствии с системой допусков и посадок по ГОСТу 25347-2013 [4]. Для номинального размера 25 мм (в интервале от 18 до 30 мм) и для класса допуска $e8$ по таблицам⁵ находим:

⁴ Числовые данные на чертеже задаются преподавателем и приведены здесь для примера.

⁵ В ходе выполнения лабораторных работ можно использовать вторую (справочную) часть методических указаний для выполнения курсовой работы [1].

$$es = -40 \text{ мкм} = -0,040 \text{ мм};$$

$$ei = -73 \text{ мкм} = -0,073 \text{ мм}.$$

Тогда предельные размеры

$$d_{\max} = d_H + es = 25 + (-0,040) = 24,960 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d_H + ei = 25 + (-0,073) = 24,927 \text{ мм}.$$

Аналогично находим для класса допуска длины вала 55js10 (симметричный интервал допуска):

$$es = +T/2 = 120/2 = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм};$$

$$ei = -T/2 = -120/2 = -60 \text{ мкм} = -0,06 \text{ мм};$$

$$l_{\max} = l_H + es = 55 + 0,06 = 55,06 \text{ мм};$$

$$l_{\min} = l_H + ei = 55 + (-0,06) = 54,94 \text{ мм}.$$

Деталь считается годной по диаметру (длине), если действительный размер диаметра (длины) не выходит за пределы интервалы допуска, т. е. выполняются неравенства:

$$\begin{aligned} d_{\min} &\leq d_{\delta} \leq d_{\max}; \\ l_{\min} &\leq l_{\delta} \leq l_{\max}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где d_{δ} – действительный размер диаметра вала; l_{δ} – действительный размер длины вала.

2.3 Понятие о допуске круглости и допуске профиля продольного сечения

Отклонение от круглости [5] определяется в сечении, перпендикулярном оси вала (рис. 2.2 а), и отсчитывается от прилегающей окружности.

Прилегающей окружностью (для вала) называют окружность минимального диаметра, описанную вокруг реального профиля наружной поверхности вращения.

Отклонением от круглости $\Delta_{кр}$ называется наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 2.2 б).

Существуют следующие частные случаи отклонения от круглости:

а) **овальность** – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший

диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2.3 а);

б) *огранка* – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру (рис. 2.3 б).

Допуск круглости в числовом выражении – это максимально допустимое значение отклонения от круглости (пример нормирования допуска круглости на чертеже см. на рис. 2.1).

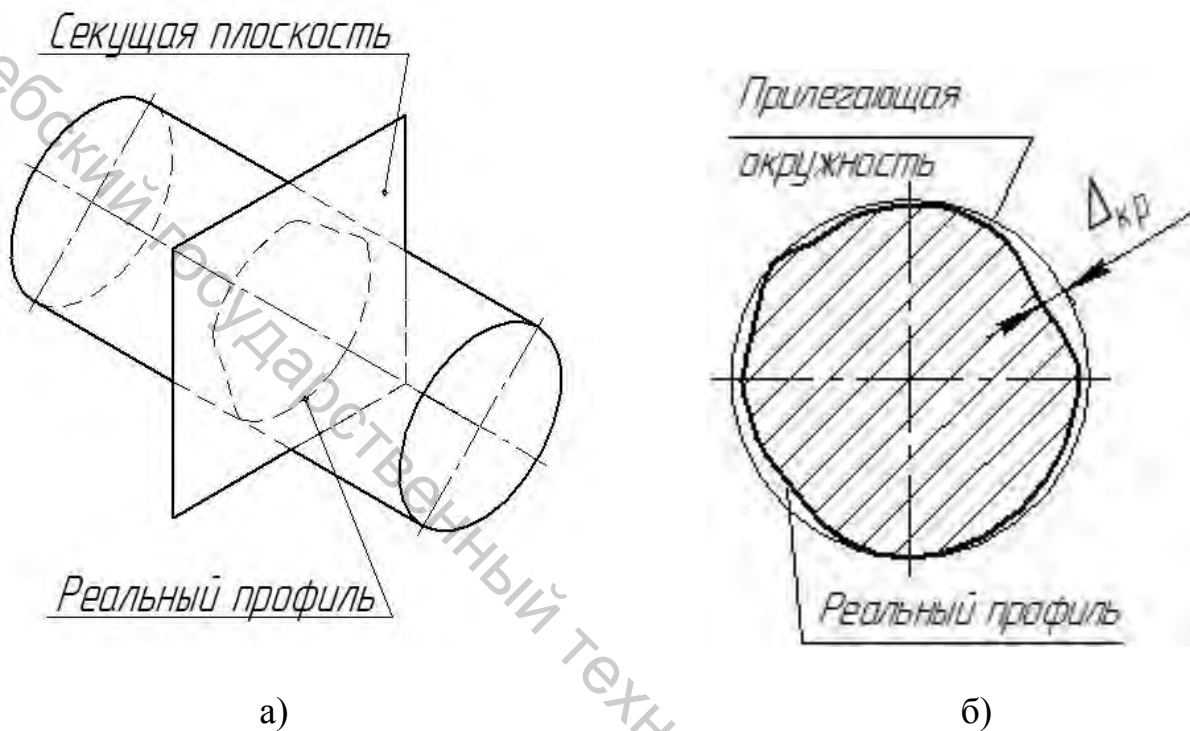


Рисунок 2.2 – Отклонение от круглости для вала: а – положение секущей плоскости, в пределах которой измеряется отклонение; б – прилегающая окружность и отклонение от круглости

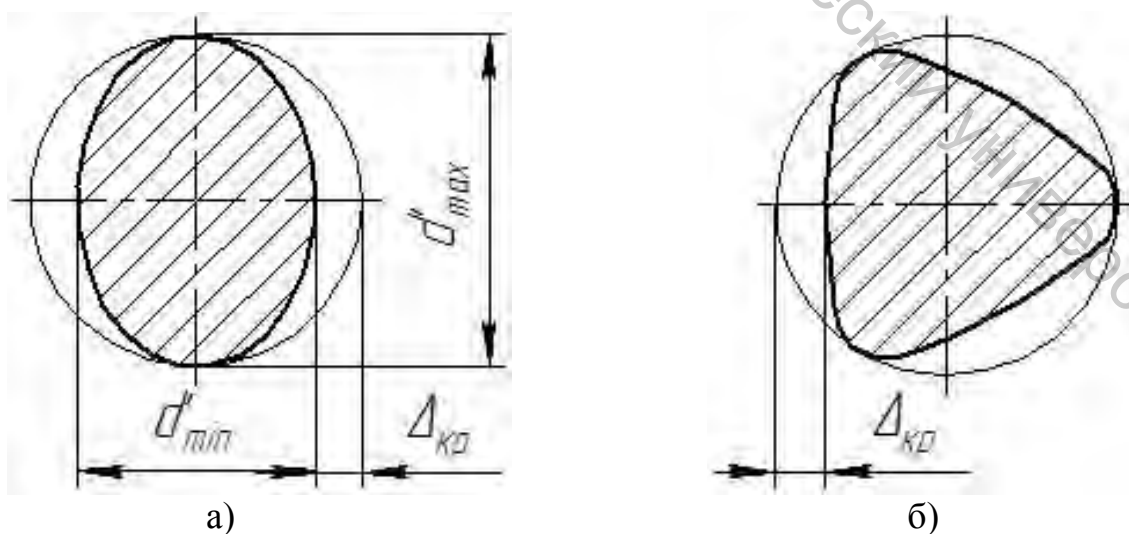


Рисунок 2.3 – Частные случаи отклонения от круглости: а – овальность; б – огранка

Отклонение от профиля продольного сечения определяется в продольном сечении вала и отсчитывается от прилегающего профиля продольного сечения (рис. 2.4 а).

Прилегающим профилем продольного сечения называют две параллельные прямые, соприкасающиеся с реальным профилем (двумя реальными образующими, лежащими в продольном сечении) и расположенные вне материала детали так, чтобы наибольшее отклонение точек образующих профиля от соответствующей стороны прилегающего профиля имело минимальное значение.

Отклонением профиля продольного сечения называют наибольшее расстояние от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах длины нормируемого участка L (рис. 2.4 б).

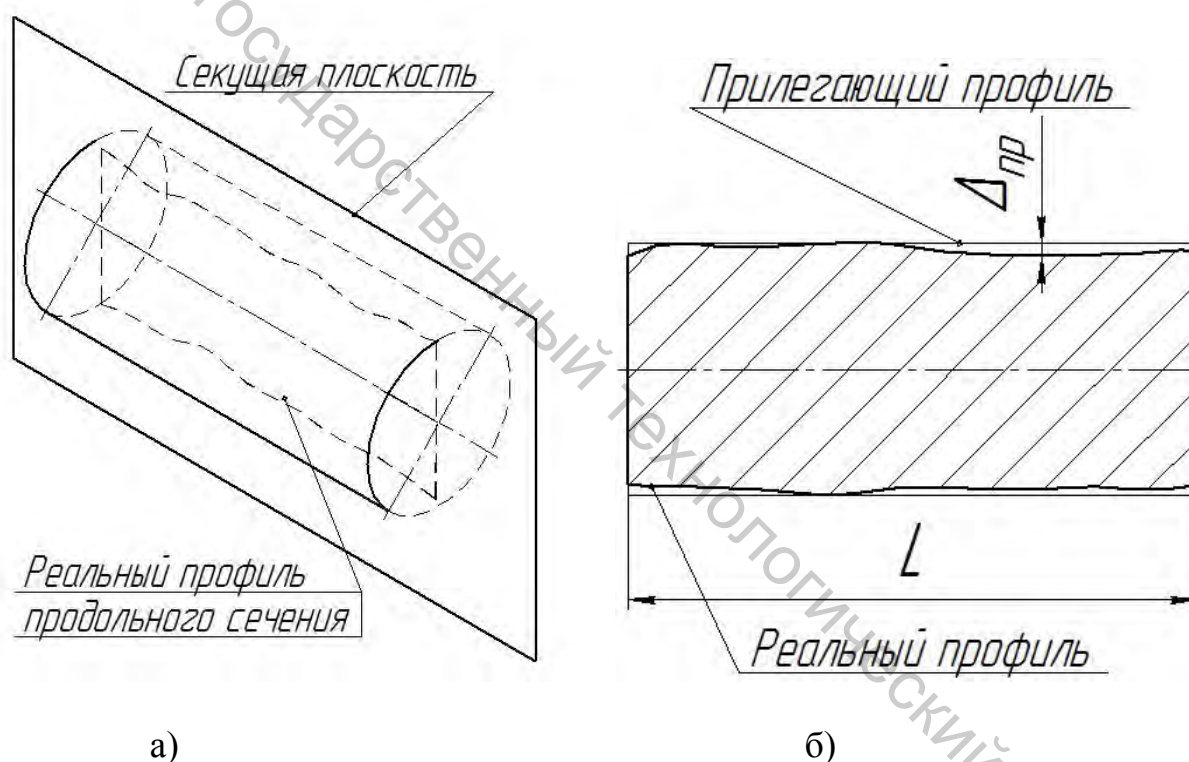


Рисунок 2.4 – Отклонение профиля продольного сечения для вала:
 а – положение секущей плоскости, в пределах которой измеряется отклонение; б – прилегающий профиль и отклонение профиля продольного сечения

Различают следующие частные случаи отклонения профиля продольного сечения:

а) **конусообразность** – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 2.5 а);

б) **бочкообразность** – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны и диаметры *увеличиваются* от краев к середине сечения (рис. 2.5 б);

в) *седлообразность* – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны и диаметры *уменьшаются* от краев к середине сечения (рис. 2.5 в).

Допуск профиля продольного сечения в числовом выражении – это максимально допустимое значение отклонения профиля продольного сечения (пример нормирования допуска профиля продольного сечения на чертеже см. на рис. 2.1).

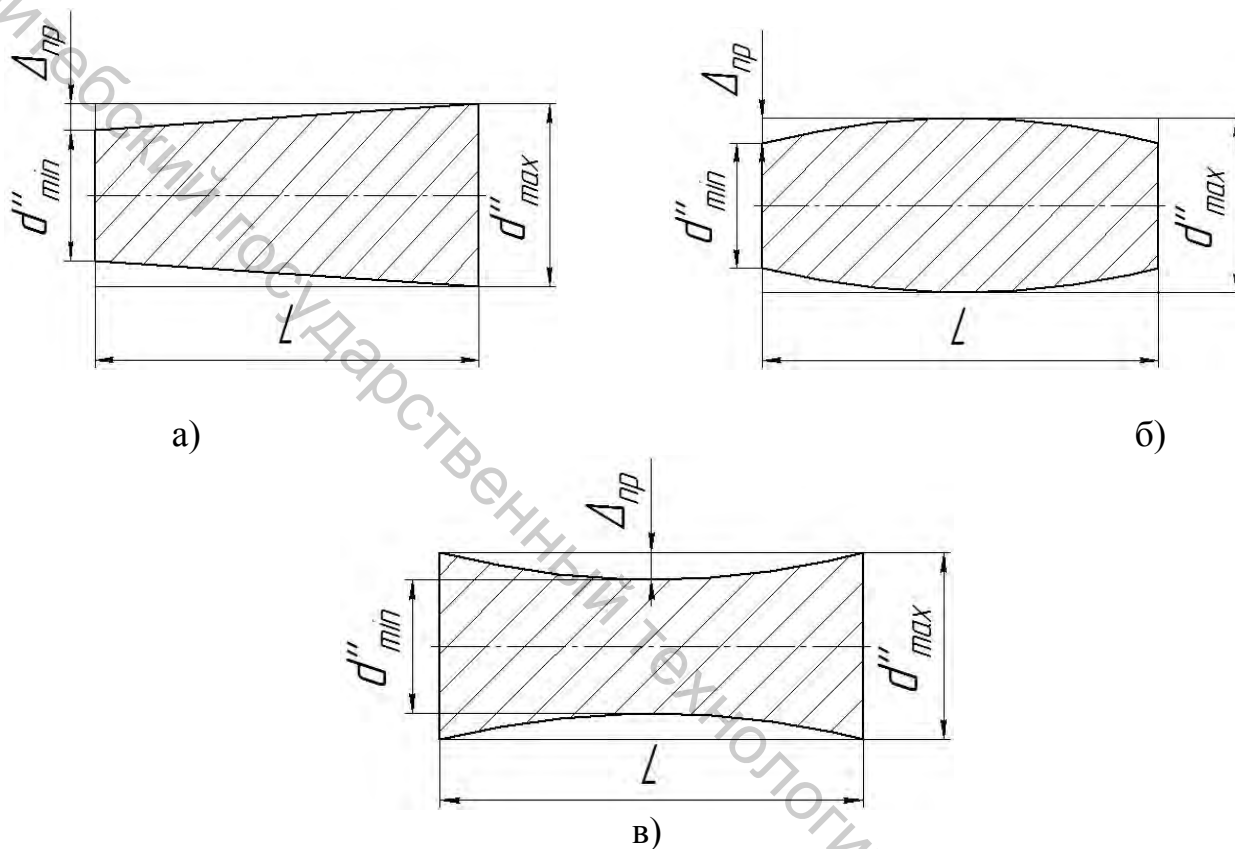


Рисунок 2.5 – Частные случаи отклонения профиля продольного сечения:
а – конусообразность; б – бочкообразность; в – седлообразность

Деталь считается годной по допуску круглости (допуску профиля продольного сечения), если отклонение не превышает числового значения допуска:

$$\Delta_{кр} \leq T_{кр} ; \quad (2.3)$$

$$\Delta_{пр} \leq T_{пр} . \quad (2.4)$$

2.4 Схема измерений и обработка результатов

Для контроля наружной гладкой цилиндрической поверхности чаще всего применяют схему контроля, представленную на рисунке 2.6. Годность детали

проверяется по результатам шести измерений: в трех сечениях по длине детали 1–1, 2–2, 3–3 и двух взаимно перпендикулярных направлениях А–А и Б–Б.

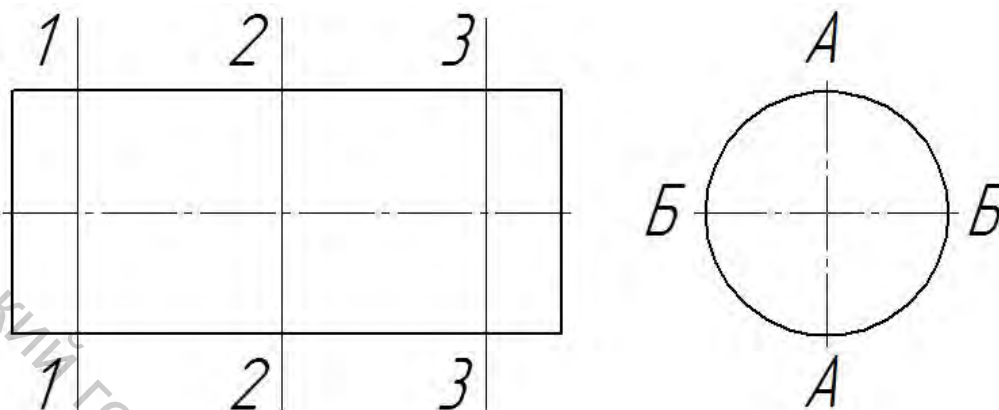


Рисунок 2.6 – Схема контроля размеров гладкой наружной цилиндрической поверхности

Результаты измерений (шесть действительных размеров d_{δ}) сводятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений диаметра вала

Направление измерения	Размеры, мм, в сечении			Отклонение Δ_{np}
	1—1	2—2	3—3	
А—А	24,941	24,948	24,944	0,0035
Б—Б	24,935	24,950	24,949	0,0075
Отклонение $\Delta_{кр}$	0,003	0,001	0,0025	

Обработка результатов измерений и заключение о годности детали производятся следующим образом.

1. Из таблицы 2.1 выбирают наибольший и наименьший действительные размеры. Деталь считается годной по диаметру, если оба действительных размера находятся в пределах допуска, т. е. для каждого из них выполняется неравенство (2.2). В приведенном примере:

$$d_{\min} = 24,927; d_{\max} = 24,960;$$

$$d_{\delta\min} = 24,935; \text{условие } 24,927 \leq 24,935 \leq 24,960 \text{ выполняется;}$$

$$d_{\delta\max} = 24,950; \text{условие } 24,927 \leq 24,950 \leq 24,960 \text{ выполняется.}$$

Действительные размеры диаметра вала находятся в пределах допуска (класс допуска $25e8$). Следовательно, вал по диаметру годен.

2. По таблице 2.1 определяют значения отклонения от круглости в трех сечениях 1–1, 2–2, 3–3 по формуле

$$\Delta_{кр} = \frac{d'_{\max} - d'_{\min}}{2}. \quad (2.5)$$

При этом в качестве d'_{\max} и d'_{\min} следует выбирать наибольшее и наименьшее значение в столбце, который соответствует данному сечению. Деталь по круглости считается годной, если наибольшее из отклонений не превышает значения допуска круглости, т. е. выполняется неравенство (2.3). В приведенном примере:

$$\Delta_{кр1} = (24,941 - 24,935) / 2 = 0,003; \quad \Delta_{кр2} = (24,950 - 24,948) / 2 = 0,001; \\ \Delta_{кр3} = (24,949 - 24,944) / 2 = 0,0025; \quad \text{условие } 0,003 \leq 0,003 \text{ выполняется.}$$

Отклонение от круглости не превышает допуск. Следовательно, вал по круглости годен.

3. По таблице 2.1 определяют значения отклонения профиля продольного сечения в двух направлениях А–А и Б–Б по формуле

$$\Delta_{пр} = \frac{d''_{\max} - d''_{\min}}{2}. \quad (2.6)$$

При этом в качестве d''_{\max} и d''_{\min} следует выбирать наибольшее и наименьшее значение в строке, которая соответствует данному направлению. Деталь по профилю продольного сечения считается годной, если наибольшее из отклонений не превышает значения допуска профиля продольного сечения, т. е. выполняется неравенство (2.4). В приведенном примере:

$$\Delta_{пр1} = (24,948 - 24,941) / 2 = 0,0035; \quad \Delta_{пр2} = (24,950 - 24,935) / 2 = 0,0075; \\ \text{условие } 0,0075 \leq 0,005 \text{ не выполняется.}$$

Отклонение профиля продольного сечения превышает допуск. Следовательно, вал по профилю продольного сечения не годен.

4. Вывод о годности вала по длине в этой лабораторной работе делается на основании двух-трех измерений длины вала штангенциркулем. Действительные размеры длины сравниваются с предельными размерами аналогично тому, как это сделано для диаметра.

2.5 Измерения на микрокаторе

Микрокаторы (пружинные приборы) и миниметры (рычажные приборы) применяют для измерений наружных размеров. Метод измерения – дифференциальный. Небольшое перемещение измерительного стержня преобразовывается с помощью пружины (или неравноплечего рычага) в увеличенное перемещение указателя (стрелки) прибора. Общий вид микрокатора показан на рисунке 2.7 а.

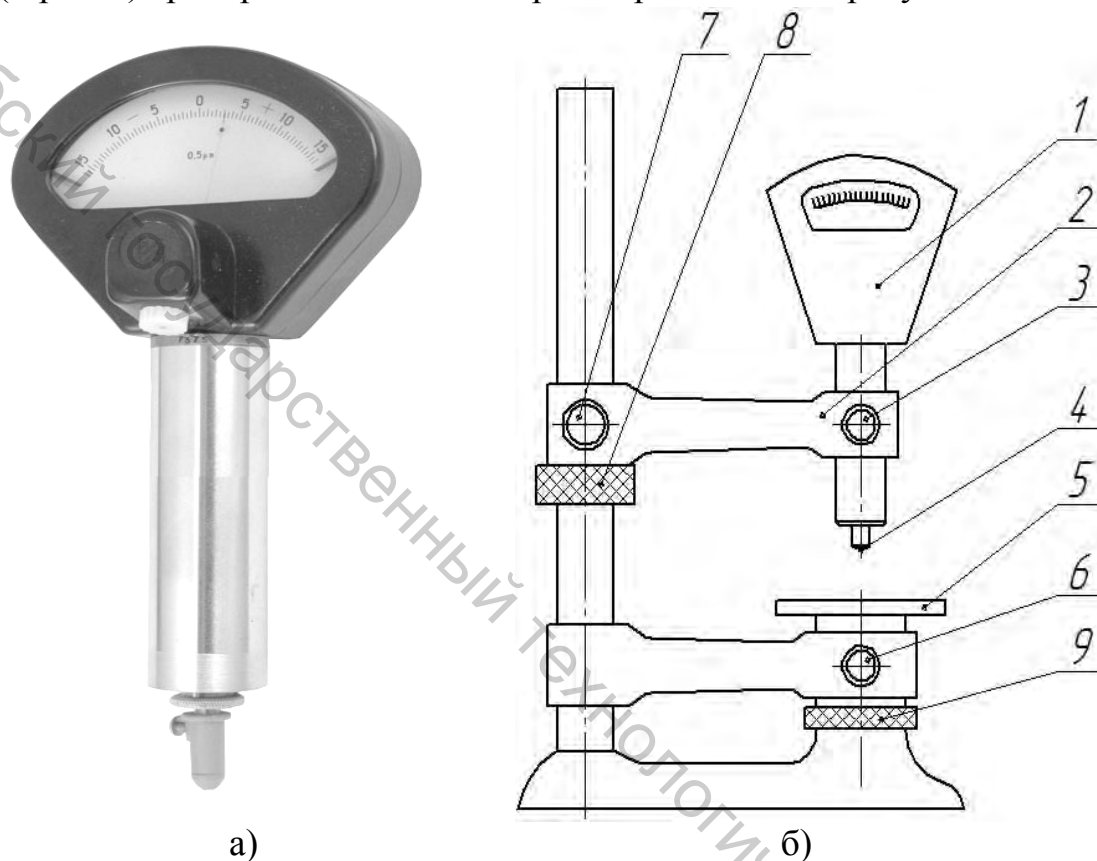


Рисунок 2.7 – Измерение на микрокаторе: а – общий вид прибора; б – установка прибора в измерительной стойке:

- 1 – микрокатор; 2 – кронштейн; 3 – зажимной винт микрокатора;
- 4 – измерительный наконечник; 5 – столик; 6 – зажимной винт столика;
- 7 – зажимной винт кронштейна; 8 – гайка перемещения кронштейна;
- 9 – гайка перемещения столика

При измерениях микрокатор устанавливается в измерительной стойке (рис. 2.7 б). По шкале прибора отсчитывается только отклонение измеряемого объекта от размера установочной меры, по которой прибор был предварительно настроен на «0». Пределы измерений в целом зависят от размеров стойки, в которой закреплен прибор. Цена деления микрокаторов составляет, в зависимости от модели, от 0,01 до 0,0005 мм.

Измерения на микрокаторе выполняют следующим образом.

Микрокатор 1 закрепляется винтом 3 в кронштейне 2 (рис. 2.7 б). На измерительном стержне прибора укрепляется наконечник 4. Для измерений цилиндрических деталей применяют сферические или ножевидные наконечники. Перед измерением необходимо произвести настройку прибора на «0». Для этого по чертежу измеряемого объекта или по результатам предварительно выполненных измерений определяется размер блока из концевых мер A , по которому будет осуществляться настройка. Собранный блок притирается одной из своих рабочих поверхностей к столику 5. Винт 6 должен быть при этом отstopорен и столик вращением гайки 9 переведен почти в самое нижнее положение. Отstopорив винт 7, вращая поддерживающую гайку 8, опускают кронштейн 2 вместе с микрокатором 1 до тех пор, пока измерительный наконечник 4 не коснется верхней свободной поверхности блока. Опускать кронштейн следует плавно, не допуская удара наконечника о блок. В момент касания наконечника стрелка начнет перемещаться вправо. Постепенным вращением гайки 8 стрелку доводят примерно до нулевого штриха шкалы, после этого кронштейн закрепляют в данном положении стопорным винтом 7. Окончательная установка стрелки прибора на «0» производится вращением гайки 9. Столик 5 вместе с блоком поднимают до тех пор, пока стрелка микрокатора не совместится с нулевым штрихом шкалы. После этого винтом 6 закрепляют положение столика. Нулевую установку прибора следует проверить, поднимая и опуская 2–3 раза наконечник прибора.

Произведя настройку, приподнимают наконечник прибора, и, удалив со столика блок из концевых мер, помещают на его место объект измерений. В случае измерения диаметра цилиндрического валика его следует прокатывать под измерительным наконечником, определяя наибольшее показание прибора. Это показание (с учетом знака) будет соответствовать отклонению Δ размера от установочной меры. Абсолютное значение действительного диаметра будет определяться как сумма размера настройки и найденного отклонения:

$$d_0 = A + \Delta . \quad (2.7)$$

После окончания измерений проверяют, сохранилась ли нулевая настройка, с помощью того же блока концевых мер. Ошибка в положении стрелки не должна превышать половины деления шкалы, в противном случае измерение считается недействительным.

2.6 Порядок выполнения работы

1. Выполнить чертеж вала с заданными преподавателем требованиями к точности (рис. 2.1).
2. Определить предельные размеры для диаметра и длины вала (см. п. 2.2).
3. Измерить диаметр вала в одном из сечений с точностью до 0,01 мм с помощью микрометра. Приняв это значение за установочный размер A , собрать его

из плоскопараллельных мер длины и настроить по нему микрокатор (см. п. 2.5).

4. Измерить диаметр вала на микрокаторе в трех сечениях и двух направлениях согласно принятой схеме измерений (рис. 2.6). Пересчитать отклонения в абсолютные размеры согласно формуле (2.7). Результаты занести в таблицу 2.1.

5. Рассчитать отклонения от круглости и профиля продольного сечения (см. п. 2.4).

6. Замерить действительную длину вала l_0 штангенциркулем.

7. Сделать выводы о годности вала по четырем критериям: по диаметру; по длине; по круглости; по профилю продольного сечения.

8. Подготовить отчет по лабораторной работе.

Таблица 2.2 – Результаты измерений

Направление измерения	Размеры, мм, в сечении			Отклонение Δ_{np}
	1—1	2—2	3—3	
А—А				
Б—Б				
Отклонение $\Delta_{кр}$				

2.7 Содержание отчета

- тема и цель лабораторной работы;
- чертеж вала;
- расчет предельных размеров для диаметра и длины;
- таблица с результатами измерений (табл. 2.1);
- выводы о годности детали отдельно по четырем критериям: по диаметру; по длине; по круглости; по профилю продольного сечения.

2.8 Контрольные вопросы

1. Что называют предельными размерами для вала? Как они определяются?
2. В каком случае вал по диаметру считают годным?
3. Дайте определение отклонения от круглости.
4. Какие вы знаете частные случаи отклонения от круглости?
5. Что такое отклонение профиля продольного сечения?
6. Какие бывают частные случаи отклонения профиля продольного сечения?
7. В каком случае деталь годна по круглости (по профилю продольного сечения)?
8. Приведите схему измерений при контроле наружной цилиндрической поверхности. Какое количество измерений при этом выполняется?
9. Опишите порядок настройки на «0» микрокатора.
10. Опишите порядок выполнения измерений на микрокаторе.

КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ГЛАДКИХ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы: приобрести навыки контроля гладких внутренних цилиндрических поверхностей; научиться пользоваться индикатором часового типа и индикаторным нутромером.

Объект измерений: цилиндрическая втулка с гладким шлифованным отверстием; номинальные размеры: диаметр отверстия 20...30 мм, длина втулки 50...55 мм.

Средства измерений: микрометр с пределами измерений 0–25 или 25–50; индикатор часового типа на штативе; индикаторный нутромер с набором измерительных вставок; набор плоскопараллельных концевых мер.

3.1 Исходные данные

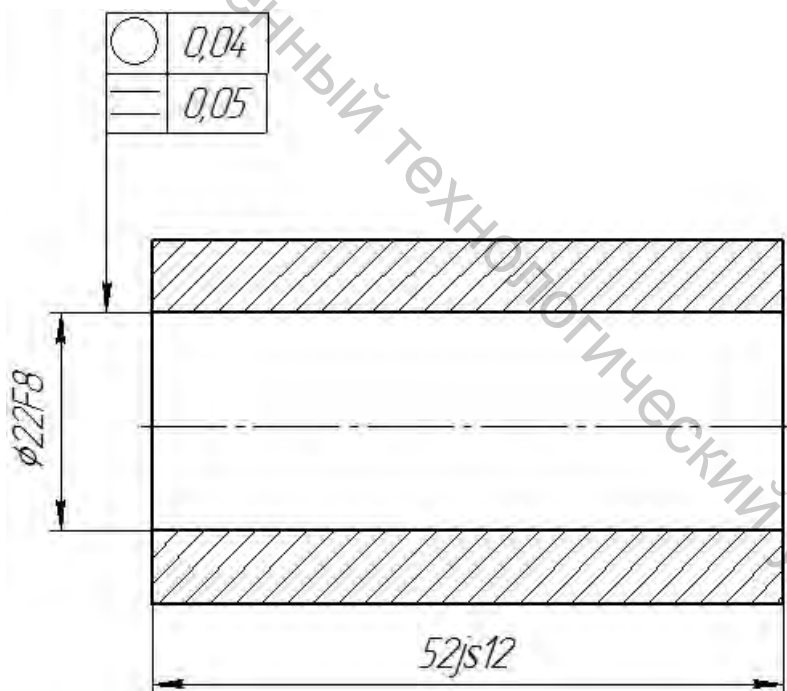


Рисунок 3.1 – Фрагмент чертежа втулки

Задан чертеж втулки (см. пример на рис. 3.1), устанавливающий следующие четыре требования по точности ее изготовления⁶:

⁶ Числовые данные на чертеже задаются преподавателем и приведены здесь для примера.

- номинальный диаметр отверстия с классом допуска ($\varnothing 22F8$);
- номинальная длина втулки с классом допуска ($52js12$);
- допуск круглости отверстия ($T_{кр} = 0,04$ мм);
- допуск профиля продольного сечения отверстия ($T_{пр} = 0,05$ мм).

К чертежу выдается изготовленная в соответствии с ним втулка. Проведя ряд требуемых измерений, необходимо определить, годна ли втулка всем четырем перечисленным критериям (по отдельности). Результаты записать в качестве выводов по лабораторной работе.

3.2 Схема измерений и порядок обработки результатов

При контроле гладкого цилиндрического отверстия применяется такая же схема измерений, как и в случае контроля вала (см. рис. 2.6). Отклонения и допуски круглости и профиля продольного сечения, их частные случаи определяются аналогично (см. п. 2.3). Поэтому рекомендуется еще раз проработать соответствующий материал из предыдущей лабораторной работы. Ниже приводится пример обработки результатов измерений.

1. Находим предельные отклонения отверстия по ГОСТу 25347-2013 [4]. Для номинального размера 22 мм (в интервале от 18 до 30 мм) и для класса допуска $F8$ по таблицам находим:

$$ES = +53 \text{ мкм} = +0,053 \text{ мм};$$

$$EI = +20 \text{ мкм} = +0,020 \text{ мм}.$$

Тогда предельные размеры

$$D_{\max} = D_H + ES = 22 + 0,053 = 22,053 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D_H + EI = 22 + 0,020 = 22,020 \text{ мм}.$$

Для класса допуска длины втулки $52js12$ (симметричный интервал допуска):

$$es = +T/2 = 0,3/2 = 0,15 \text{ мм};$$

$$ei = -T/2 = -0,3/2 = -0,15 \text{ мм};$$

$$l_{\max} = l_H + es = 52 + 0,15 = 52,15 \text{ мм};$$

$$l_{\min} = l_H + ei = 52 + (-0,15) = 51,85 \text{ мм}.$$

2. Результаты измерений длины (об измерениях на индикаторе часового типа см. п. 3.3)

$$l_{\delta_{\min}} = 52,03 \text{ мм}; l_{\delta_{\max}} = 52,07 \text{ мм}.$$

3. Результаты измерений диаметра отверстия (об измерениях на индикаторном нутромере см. п. 3.4) приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений диаметра отверстия

Направление измерения	Размеры, мм, в сечении			Отклонение Δ_{np}
	1—1	2—2	3—3	
А—А	22,01	22,01	22,02	0,005
Б—Б	22,03	22,03	22,00	0,015
Отклонение $\Delta_{кр}$	0,01	0,01	0,01	

Выводы:

- наименьший действительный размер отверстия (22,00) не входит в пределы интервала допуска $\varnothing 22F8$ (предельные размеры $D_{\min} = 22,020$, $D_{\max} = 22,053$), поэтому отверстие по диаметру является не годным;
- наибольшее отклонение от круглости (0,01 мм) не превышает допуска круглости (0,04 мм), поэтому отверстие годно по круглости;
- наибольшее отклонение профиля продольного сечения (0,015 мм) не превышает допуска профиля продольного сечения (0,05 мм), поэтому отверстие годно по профилю продольного сечения.
- поскольку оба действительных размера входят в пределы интервала допуска 52js12 (предельные размеры $l_{\min} = 51,85$, $l_{\max} = 52,15$), втулка по длине годна.

3.3 Измерения на индикаторе часового типа

Индикатор часового типа относится к зубчатым приборам и применяется в качестве измерительного устройства в различных приборах и установках (например, нутромерах, глубиномерах). Кроме того, индикатор часового типа широко применяют для измерения отклонений формы и расположения (например, биения, см. лабораторную работу 6).

Наиболее распространены индикаторы с ценой деления 0,01 мм и пределами измерений по шкале 0–5 или 0–10 мм. В таком приборе (рис. 3.2) поступательному перемещению измерительного стержня 1 на 0,01 мм соответствует перемещение большой стрелки 2 на одно деление шкалы 3. Эта шкала имеет 100 делений, следовательно, полный оборот большой стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1 мм. В зависимости от пределов из-

мерений по шкале прибора большая стрелка делает 5 или 10 оборотов. Каждый полный оборот большой стрелки соответствует повороту на одно деление маленькой стрелки по шкале указателя поворотов 4, следовательно, цена деления шкалы поворотов равна 1 мм.

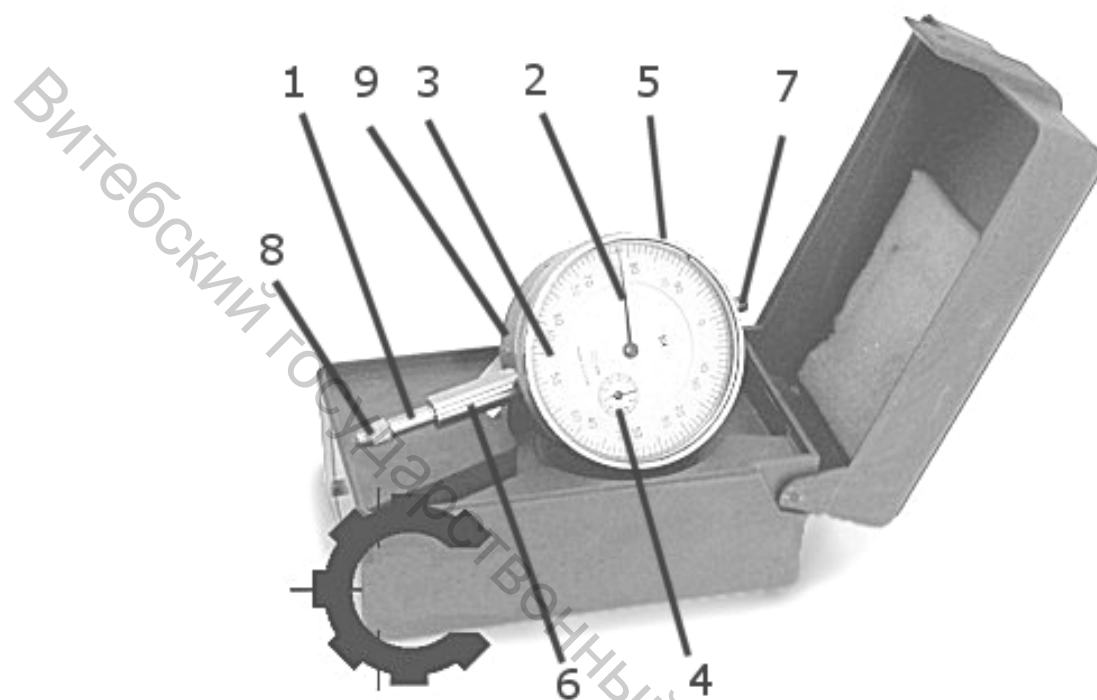


Рисунок 3.2 – Индикатор часового типа:

- 1 – измерительный стержень; 2 – большая стрелка; 3 – шкала большой стрелки;
- 4 – шкала указателя поворотов, 5 – поворотный ободок шкалы; 6 – неподвижная гильза; 7 – головка; 8 – измерительный наконечник, 9 – корпус



Рисунок 3.3 – Измерительная стойка (штатив) с индикатором часового типа

Шкала индикатора вместе с ободком 5 может поворачиваться относительно корпуса прибора так, что против большой стрелки прибора можно установить любой штрих шкалы. Это используется при установке прибора в нулевое положение, когда против большой стрелки устанавливается нулевой штрих. Некоторые модели индикаторов снабжаются стопорным устройством, предотвращающим случайный поворот шкалы.

Для работы индикатор закрепляют в различных стойках (штативах). В зависимости от конструкции стойки и индикатора, последний может закрепляться за неподвижную гильзу 6 или ушки корпуса 9 (на рисунке не видны). Измерительный наконечник 8 ввинчивается в торец измерительного стержня 1. Для выполнения измерений стержень 1 приподнимается рукой за головку 7. Измерительное усилие создается пружиной, действующей на измерительный стержень. Величина усилия составляет 1–2,5 Н.

Индикатор применяют как для измерений методом непосредственной оценки, так и для измерений дифференциальным методом.

Первым методом измерения можно выполнять в том случае, если величина измеряемого размера не превышает пределов измерений по шкале прибора (т. е. 5 или 10 мм). В этом случае настройка закрепленного в штативе прибора на «0» проводится по столику штатива. Затем под измерительный наконечник подводится проверяемая деталь и по шкале 3 прибора (рис. 3.2) и указателю поворотов 4 отсчитывается полный размер диаметра вала.

В случае дифференциального метода измерений настройку на «0» проводят не по столику, а по блоку концевых мер, а по шкале прибора отсчитывается только отклонение проверяемого размера от размера блока. Этот метод является более точным, так как погрешность прибора, накопленная на нескольких оборотах стрелки индикатора, всегда будет больше, чем сумма ошибки прибора в пределах одного оборота стрелки. Участок шкалы 0,1 мм в пределах второго оборота большой стрелки называется «аттестованным» участком. В пределах этого участка погрешности показаний прибора имеют наименьшие значения.

Измерения длины втулки дифференциальным методом выполняется следующим образом.

Из плоскопараллельных концевых мер собирается блок для настройки прибора. В данном случае в качестве размера настройки можно принять номинальный размер, т. е. размер из чертежа втулки. Блок устанавливают на столике стойки. Прибор на штативе располагают вертикально. Измерительный наконечник прибора приводят в соприкосновение с поверхностью блока концевых мер. При этом индикатор подводят так, чтобы стрелка сделала 1–2 оборота. Таким образом, индикатору дается «натяг» для того, чтобы в процессе измерений индикатор мог показывать как отрицательные, так и положительные отклонения от начального положения. Придерживая индикатор за корпус, поворачивают ободок вместе со шкалой так, чтобы нулевой штрих шкалы совместился с большой стрелкой. При этом обязательно замечают положение стрелки указателя поворотов.

Далее, приподнимая измерительный стержень за головку, на столик штатива вместо блока торцом устанавливают измеряемую втулку и отпускают измерительный стержень. Величина отклонения от настроечного размера считывается по шкалам 4 (целое число миллиметров) и 3 (сотые доли миллиметра). Как правило, при относительном методе измерений большая стрелка проходит менее одного оборота. Обязательно учитывается знак отклонения:

- по часовой стрелке от нуля «+» (черная оцифровка шкалы индикатора);
- против часовой стрелки от нуля «-» (красная оцифровка шкалы индикатора).

Складывая (с учетом знака) отклонение с размером блока, получают абсолютное значение действительного размера.

При измерении длины втулки следует, при опущенном измерительном стержне, плавно повернуть деталь на один полный оборот, замечая наибольшее и наименьшее показания прибора. При этом будут получены наибольший l_{dmax} и наименьший l_{dmin} действительные размеры.

3.4 Измерения на индикаторном нутромере

Измерительным устройством в индикаторном нутромере служит индикатор часового типа 1 с ценой деления 0,01 мм (рис. 3.4).

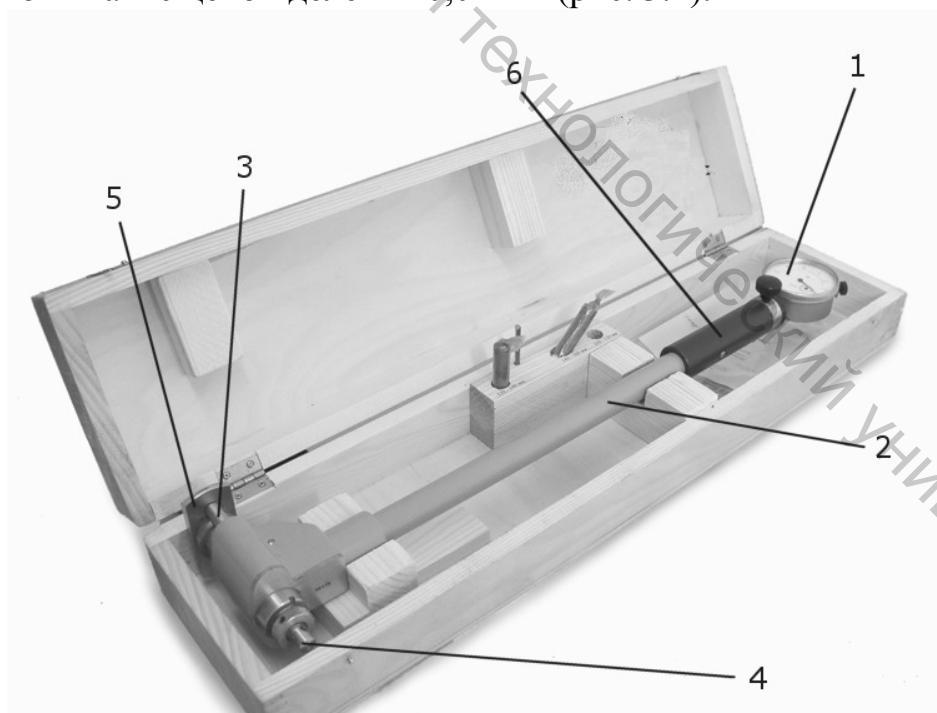


Рисунок 3.4 – Индикаторный нутромер:

- 1 – индикатор часового типа; 2 – трубчатый корпус; 3 – измерительный стержень; 4 – сменная измерительная вставка; 5 – центрирующий мостик; 6 – термоизолирующая ручка

Индикатор устанавливается в трубчатый корпус 2 прибора. На другом конце трубчатого корпуса имеется измерительная головка. Ее конструкция отличается у приборов с различными пределами измерений. Измерительная головка с одной стороны имеет измерительный стержень 3, с другой стороны закрепляется сменная измерительная вставка 4. Центрирующий мостик 5 служит для совмещения линии измерения с диаметральной плоскостью измеряемого отверстия. При работе с прибором его следует держать за термоизолирующую ручку 6 (температурные деформации могут внести дополнительную погрешность в результаты измерений).

При измерении отверстия перемещение измерительного стержня передается подвижному стержню, находящемуся внутри трубчатого корпуса, и далее – измерительному стержню индикатора. Передача перемещения осуществляется при помощи клина или рычажной передачи. Передаточное отношение равно единице.

Измерение индикаторным нутромером осуществляется следующим образом.

Вначале по номинальному размеру измеряемого отверстия подбирается измерительная вставка 5. Вставка ввинчивается в корпус измерительной головки (в некоторых конструкциях она также фиксируется гайкой). К нутромеру прилагается набор измерительных вставок для размеров, отличающихся друг от друга на 1 мм.

Установка прибора на «0» производится либо по установочному кольцу, либо по блоку из концевых мер по размеру, равному номинальному размеру измеряемого отверстия. Отжимая центрирующий мостик или измерительный стержень 3 (рис. 3.5), измерительную головку вводят внутрь установочного кольца 4. Небольшим покачиванием, как показано на рисунке, находят крайнее положение большой стрелки индикатора при движении ее по часовой стрелке. К этому положению стрелки поворотом шкалы подводят нулевое деление. После поворота шкалы в нулевое положение следует повторным покачиванием прибора проверить правильность нулевой установки и заметить показание стрелки указателя поворотов.

Далее настроенный на «0» нутромер вводят в проверяемое отверстие. Небольшим покачиванием прибора находят наименьшее показание, которое будет соответствовать диаметру измеряемого отверстия. Это показание соответствует крайнему положению стрелки при ее движении по часовой стрелке. *Обратите внимание, что знак отклонения противоположен знаку при наружных измерениях и определяется так:*

- против часовой стрелки от нуля «+» (красная оцифровка шкалы индикатора);
- по часовой стрелке от нуля «-» (черная оцифровка шкалы индикатора).

При определении отклонения следует учитывать положение стрелки указателя поворотов.

Абсолютное значение действительного размера определяется суммированием размера блока (установочного кольца) и отклонения (с учетом знака). После окончания измерений проверяют нулевое показание прибора. В случае нарушения его более чем на половину деления шкалы, измерения считают недействительными.

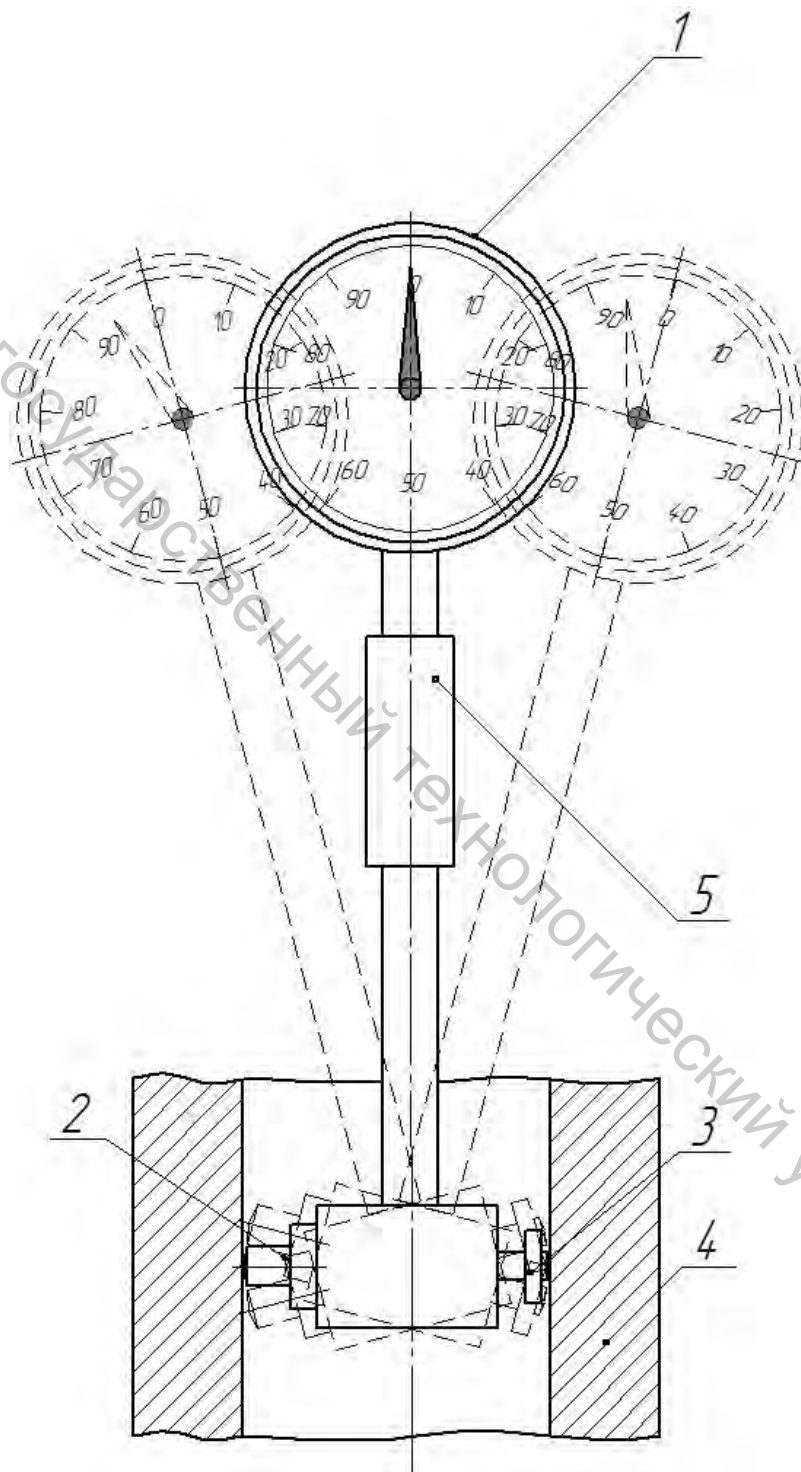


Рисунок 3.5 – Измерение индикаторным нутромером:
1 – индикатор; 2 – сменная измерительная вставка; 3 – измерительный стержень; 4 – измеряемая деталь или установочное кольцо;
5 – термоизолирующая ручка прибора

3.5 Порядок выполнения работы

1. Выполнить чертеж втулки с заданными преподавателем требованиями к точности (рис. 3.1).
2. Определить предельные размеры для диаметра отверстия и длины втулки (п. 3.2).
3. Установить индикатор часового типа в штативе. Выполнить настройку прибора на «0» по номинальному размеру длины втулки.
4. Найти наибольшее и наименьшее значение действительного размера длины втулки.
5. Подобрать и установить в индикаторный нутромер измерительную вставку, соответствующую номинальному диаметру отверстия втулки.
6. Настроить индикаторный нутромер на «0» по номинальному размеру отверстия⁷.
7. Измерить действительный диаметр отверстия шесть раз согласно схеме измерений (рис. 2.6). Результаты занести в таблицу 3.2.
8. Рассчитать отклонения от круглости и профиля продольного сечения.
9. Сделать выводы о годности втулки по четырем критериям: по диаметру отверстия; по длине; по круглости отверстия; по профилю продольного сечения отверстия.
10. Подготовить отчет по лабораторной работе.

Таблица 3.2 – Результаты измерений

Направление измерения	Размеры, мм, в сечении			Отклонение Δ_{np}
	1—1	2—2	3—3	
А—А				
Б—Б				
Отклонение $\Delta_{кр}$				

3.6 Содержание отчета

- тема и цель лабораторной работы;
- чертеж втулки;
- расчет предельных размеров для диаметра и длины;
- таблица с результатами измерений;

⁷ При отсутствии установочного кольца или державки настройку допускается (в учебных целях) произвести от пятки микрометра. Для этого в микрометр предварительно зажимается (трещоткой) блок концевых мер, соответствующий номинальному диаметру отверстия.

- выводы о годности детали отдельно по четырем критериям: по диаметру; по длине; по круглости; по профилю продольного сечения.

3.7 Контрольные вопросы

1. Для каких измерений применяют индикатор часового типа?
2. Какова цена деления и чему равны пределы измерений индикатором часового типа?
3. Как настраивается индикатор часового типа при измерениях методом непосредственной оценки?
4. Как настраивается индикатор часового типа при дифференциальном методе измерений? Почему этот метод измерений точнее?
5. Что такое аттестованный участок шкалы индикатора часового типа?
6. Объясните, как определить величину и знак показаний индикатора часового типа при наружных измерениях.
7. Перечислите составные части индикаторного нутромера.
8. Приведите порядок настройки индикаторного нутромера на «0».
9. Зачем при настройке индикаторного нутромера и при измерениях им выполняют покачивание прибора?
10. Как определить величину и знак показаний при измерениях индикаторным нутромером?

КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ ВАЛОВ ПРЕДЕЛЬНЫМИ КАЛИБРАМИ

Цель работы: научиться настраивать регулируемые скобы на размер по концевым мерам; научиться контролировать годность валов калибрами-скобами.

Объект измерений: наборы (по 10–15 шт.) пронумерованных гладких шлифованных валиков диаметром 20...25 мм, изготовленных по различным классам допусков.

Средства измерений: регулируемая гладкая скоба; набор плоскопараллельных концевых мер.

4.1 Назначение и устройство регулируемой скобы

Соответствие размеров изготовленных деталей требованиям (предельным отклонениям), установленным при проектировании изделия, определяется с помощью контроля. Контроль может осуществляться путем измерения размеров деталей универсальными измерительными средствами (приборами), позволяющими установить действительные значения размеров, которые затем сравниваются с предельными размерами. Именно такой способ контроля применялся в лабораторных работах 2 и 3 при измерениях диаметров и длин вала и втулки.

Кроме измерения на приборах, существует метод контроля *предельными калибрами*. При применении предельных калибров действительные размеры детали непосредственно не измеряются. Калибры лишь позволяют установить, находятся ли действительные размеры в заданных пределах или выходят за них. Контроль калибрами отнимает значительно меньше времени, чем контроль с помощью измерения действительного размера универсальными приборами, и по этой причине находит широкое применение в условиях массового и крупносерийного производства.

Гладкие предельные калибры для контроля валов называют *скобами*. Для контроля каждого размера необходимо два предельных калибра – проходной и непроходной, которые конструктивно могут быть объединены (в этом случае различают проходную и непроходную сторону скобы). Существуют нерегулируемые скобы, изготовленные для контроля только определенного сочетания номинального размера и класса допуска (например, для класса допуска 22k6). Такую скобу невозможно перенастроить на контроль другого номинального размера или другого класса допуска. Поэтому на нерегулируемые скобы всегда наносят маркировку, включающую обозначение номинального размера и класса допуска, предельные отклонения вала, соответствующие этому классу допуска, а также обозначение проходной (ПР) и непроходной (НЕ) части скобы. Нерегулируемыми скобами можно контролировать годность валов с допусками не точнее 6 квалитета. Для более точных квалитетов гладкие калибры не предусмотрены.

Регулируемые гладкие скобы (рис. 4.1 а) выпускаются для контроля валов, номинальный размер которых принадлежит определенному интервалу. В пределах этого интервала скобу можно настроить на контроль валов любого размера с требуемым классом допуска⁸.

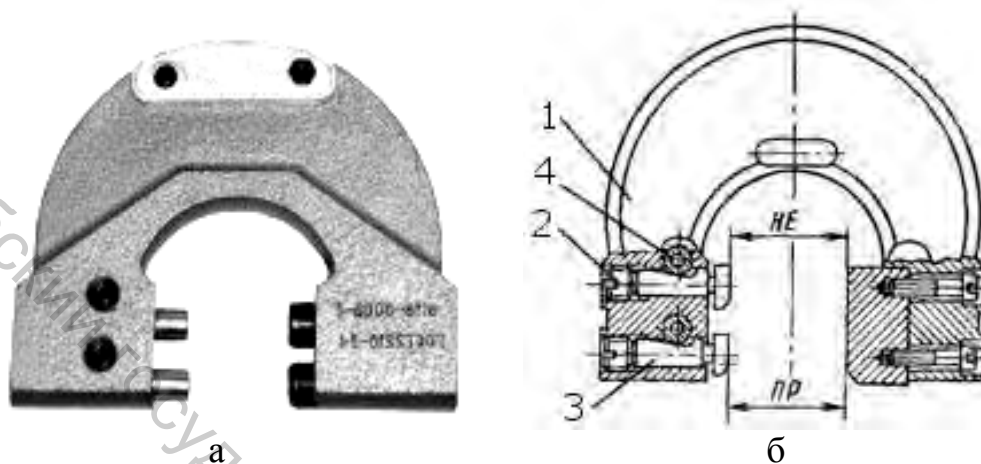


Рисунок 4.1 – Устройство регулируемой скобы:

- 1 – корпус; 2 – установочный винт; 3 – регулируемая вставка;
4 – затяжной винт

Перемещение вставок 3 (рис. 4.1 б) в сторону уменьшения размера осуществляется установочными винтами 2 с помощью отвертки. При необходимости увеличения размера перемещение вставок производится при отвернутых установочных винтах непосредственным нажимом на головку вставки.

Крепление вставок осуществляется при помощи затяжных винтов 4. В производственных условиях после установки размера установочные винты 2 опечатываются и клеймятся личным клеймом контролера.

Проходной (ПР) и непроходной (НЕ) пределы регулируемой скобы предварительно необходимо настроить. С этой целью вначале рассчитывают исполнительные размеры скобы.

4.2 Расчет исполнительных размеров скобы

Допуски и отклонения гладких калибров устанавливает ГОСТ 24853-81 [6]. Схема расположения интервалов допусков калибров-скоб для контроля валов размером до 180 мм приведена на рисунке 4.2.

⁸Точность и надежность таких скоб, по сравнению с нерегулируемыми, ниже. Поэтому регулируемые скобы применяют для контроля валов с допусками не точнее 8 качества.

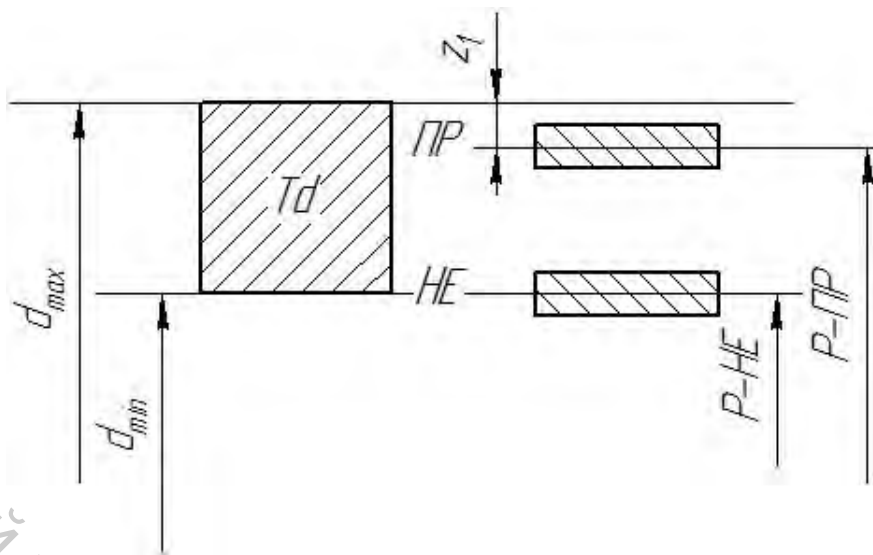


Рисунок 4.2 – Схема расположения интервалов допусков калибров-скоб (до 180 мм)

При контроле деталей калибрами проходной и непроходной пределы определяют следующим образом.

Проходной предел (ПР) соответствует тому из двух предельных размеров, который соответствует *максимальному* количеству материала детали. Для вала проходным пределом является верхний предел (d_{max}).

Непроходной предел (НЕ) соответствует тому из двух предельных размеров, который соответствует *минимальному* количеству материала детали. Для вала непроходным пределом является нижний предел (d_{min}).

Исполнительные размеры скобы – это размеры, по которым изготавливаются (или настраиваются) проходная и непроходная части скобы. В случае нерегулируемой скобы нормируются по два исполнительных размера для каждой из частей: наибольший и наименьший размеры проходной части скобы ($P - ПР_{max}$, $P - ПР_{min}$), наибольший и наименьший размеры непроходной части скобы ($P - НЕ_{max}$, $P - НЕ_{min}$). Разность между двумя предельными размерами представляет собой величину допуска, по которому изготавливается соответствующий размер скобы. Величины этих допусков, а также расположение интервалов допусков исполнительных размеров относительно интервала допуска вала стандартизованы.

Настройку пределов регулируемой скобы ведут по размеру, соответствующему середине интервала допуска данного размера (рис. 4.2):

$$\begin{aligned} P - ПР &= d_{max} - z_1; \\ P - НЕ &= d_{min}. \end{aligned} \quad (4.1)$$

Величину z_1 определяют по ГОСТу 24853-81 [1, 6] в зависимости от номинального размера и качества.

В качестве примера рассчитаем исполнительные размеры для настройки скобы на класс допуска $21u8$. Находим предельные отклонения:

$$21u8\left(\begin{matrix} +0,074 \\ +0,041 \end{matrix}\right).$$

Предельные размеры вала равны

$$d_{\max} = 21 + 0,074 = 21,074 \text{ мм}; \quad d_{\min} = 21 + 0,041 = 21,041 \text{ мм}.$$

Для качества IT8 в интервале номинальных размеров от 18 до 30 мм $z_1 = 5$ мкм. Исполнительные размеры скобы равны

$$P - PP = 21,074 - 0,005 = 21,069 \text{ мм}; \quad P - HE = 21,041 \text{ мм}.$$

По этим размерам настраиваются проходная и непроходная части скобы.

4.3 Настройка скобы и контроль валов

Из плоскопараллельных концевых мер длины собирают блоки, соответствующие исполнительным размерам, определенным по формулам (4.1).

По блоку Р-PP устанавливаются наружные, а по блоку Р-HE – внутренние губки скобы. Для этого освобождается затяжной винт 4 (рис. 4.1), и подвижная вставка 3 вращением установочного винта 2 подводится к поверхности блока. При правильной настройке между блоком и губками скобы нет зазора, но блок можно сдвинуть, прикладывая небольшое усилие. По окончании настройки вставка закрепляется затяжным винтом 4.

Контроль валов осуществляется следующим образом. Скоба накладывается на вал в его среднем сечении, при этом усилие нормируется весом самой скобы. *Вал считается годным только в том случае, если он проходит через проходной предел скобы и не проходит через непроходной предел скобы.* Если вал не проходит через проходной предел, то он должен быть забракован, так как его действительный размер будет больше наибольшего предельного. Если вал проходит через непроходной предел, то он также должен быть забракован, поскольку действительный размер будет меньше наименьшего предельного.

4.4 Порядок выполнения работы

1. Для номинального размера и класса допуска, выданного преподавателем, рассчитать предельные размеры вала и исполнительные размеры скобы.
2. Вычертить схему расположения интервалов допусков (рис. 4.2). Обозначить на схеме числовые значения размеров.

3. Выбрать регулируемую скобу с подходящим интервалом настройки. Собрать размеры Р-ПР и Р-НЕ из блоков концевых мер и произвести настройку скобы по этим блокам.

4. С помощью скобы отсортировать валы на годные и негодные. Переписать номера годных и негодных валов.

5. Подготовить отчет по лабораторной работе.

4.5 Содержание отчета

- схема расположения интервалов допусков, соответствующая заданному классу допуска (рис. 4.2);
- формулы для определения предельных размеров вала и исполнительных размеров скобы;
- номера годных и негодных валов, определенные по результатам контроля.

4.6 Контрольные вопросы

1. Что такое контроль? Назовите два основных способа контроля.
2. В чем преимущество применения калибров для контроля? Каковы недостатки этого метода контроля?
3. Объясните различие между регулируемыми и нерегулируемыми скобами.
4. Опишите устройство регулируемой скобы.
5. Дайте определение проходного и непроходного предела.
6. Изобразите схему расположения интервалов допусков калибров-скоб. Как по ней определить исполнительные размеры скобы?
7. Как настраивается регулируемая скоба?
8. Как определить годность вала с помощью скобы?

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА ВНУТРЕННЕГО КОНУСА ДЕТАЛИ С ПОМОЩЬЮ ШАРИКОВ

Цель работы: ознакомиться с косвенными методами измерений углов и конусов.

Объект измерения: деталь с коническим отверстием, ось которого перпендикулярна торцам.

Средства измерения: штангенциркуль; штангенглубиномер; микрометр; аттестованные шарики.

5.1 Методика проведения измерений

При контроле используется метод сравнения с мерой, при котором конус моделируется с помощью двух сечений измерительных мер (шариков), расположенных на определенном расстоянии. Измерение является косвенным.

Аттестованные⁹ шарики последовательно закладывают в контролируемый конус 2, установленный вертикально торцом с меньшим диаметром внутреннего конуса на плите 1 (рис. 5.1), и измеряют расстояния h_1 и h_2 от верхних точек шариков 3 и 4 до одного из торцов детали. Диаметры закладываемых шариков могут быть любыми, но желательно подбирать их таким образом, чтобы расстояние между шариками было возможно большим. Расстояния h_1 и h_2 измеряются штангенглубиномером.

Значение разности ординат верхних точек шариков A определяется в зависимости от расположения большего шарика по отношению к верхнему торцу детали. В случае, показанном на рисунке 5.1, а, искомая ордината равна

$$A = h_2 - h_1, \quad (5.1)$$

где h_2 и h_1 – расстояния от верхней точки соответственно меньшего и большего шариков до верхнего торца детали.

Если больший шарик выступает за верхний торец детали (рис. 5.1, б), то

$$A = h_2 + h_1. \quad (5.2)$$

⁹ То есть имеется аттестат, выданный измерительной лабораторией, в котором указаны действительный диаметр шарика и погрешность, с которой производились измерения. В учебных целях допускается использовать неаттестованные шарики, тогда их действительный диаметр следует измерить микрометром в ходе выполнения лабораторной работы.

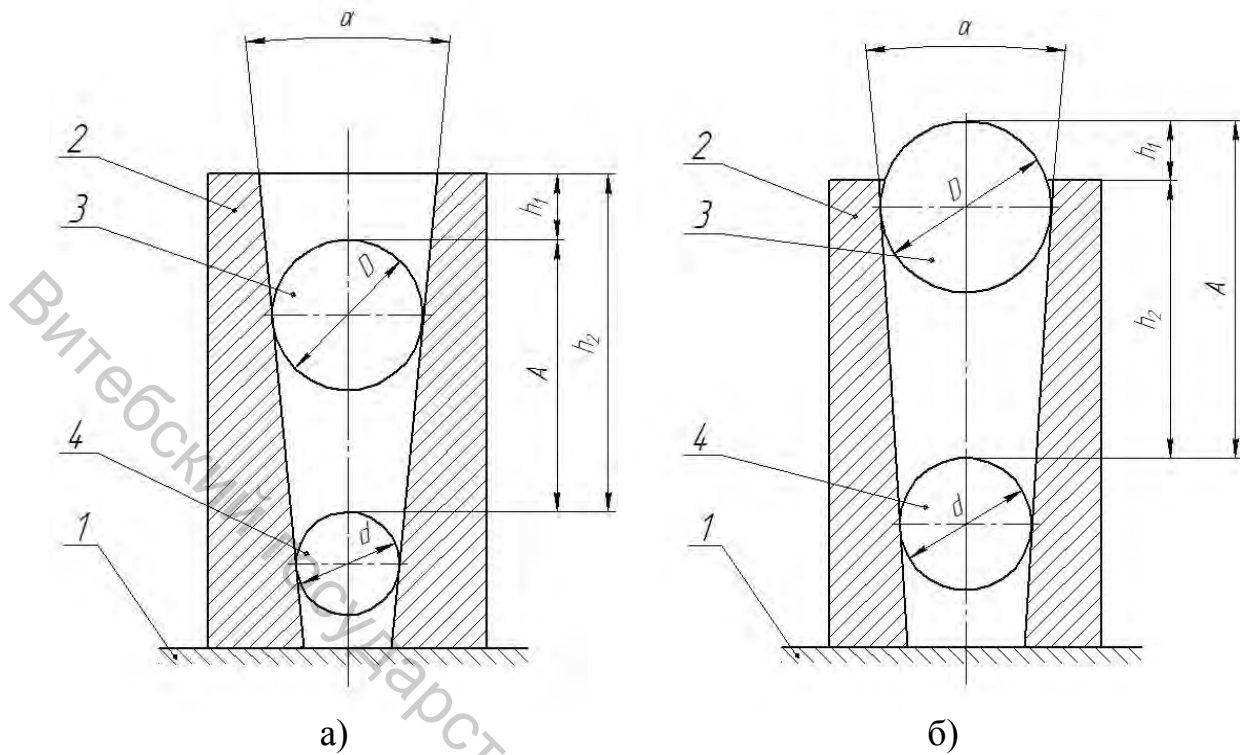


Рисунок 5.1 – Измерение внутреннего конуса детали с помощью шариков:
1 – плита, 2 – деталь, 3, 4 – аттестованные шарики

5.2 Обработка результатов измерений

Синус половины угла конуса при вершине

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R - r}{A - (R - r)}, \quad (5.3)$$

где R и r – радиусы соответственно большего и меньшего аттестованных шариков.

Найденный по формуле (5.3) угол α должен быть выражен в градусах и минутах, например, $\alpha = 12^\circ 27'$.

Результаты измерений оформляются в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерений

h_1 , мм	h_2 , мм	A , мм	R , мм	r , мм	$\sin \frac{\alpha}{2}$	α

5.3 Порядок выполнения работы

1. Выбрать два аттестованных шарика подходящего размера.
2. Закладывая шарики внутрь конуса, измерить штангенглубиномером величины h_1 и h_2 .
3. Рассчитать разность ординат верхних точек шариков A и радиусы шариков R и r .
4. Определить по формуле (5.3) угол внутреннего конуса α . Заполнить таблицу с результатами измерений и расчетов (табл. 5.1).
5. Подготовить отчет по лабораторной работе.

5.4 Содержание отчета

- тема и цель лабораторной работы;
- схема измерений (рис. 5.1);
- расчетные формулы;
- таблица с результатами.

5.5 Контрольные вопросы

1. Что такое косвенное измерение?
2. От чего зависит погрешность измерения угла внутреннего конуса косвенным методом?
3. Опишите последовательность измерений и расчетов при определении угла внутреннего конуса косвенным методом.

КОНТРОЛЬ РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦЕВОГО БИЕНИЯ

Цель работы: изучение методов базирования детали и методики измерения радиального и торцевого биения.

Объект измерения: ступенчатый вал.

Средства измерения: стойка с индикатором часового типа; призмы измерительные; упор с перемещающимся сферическим наконечником.

6.1 Исходные данные

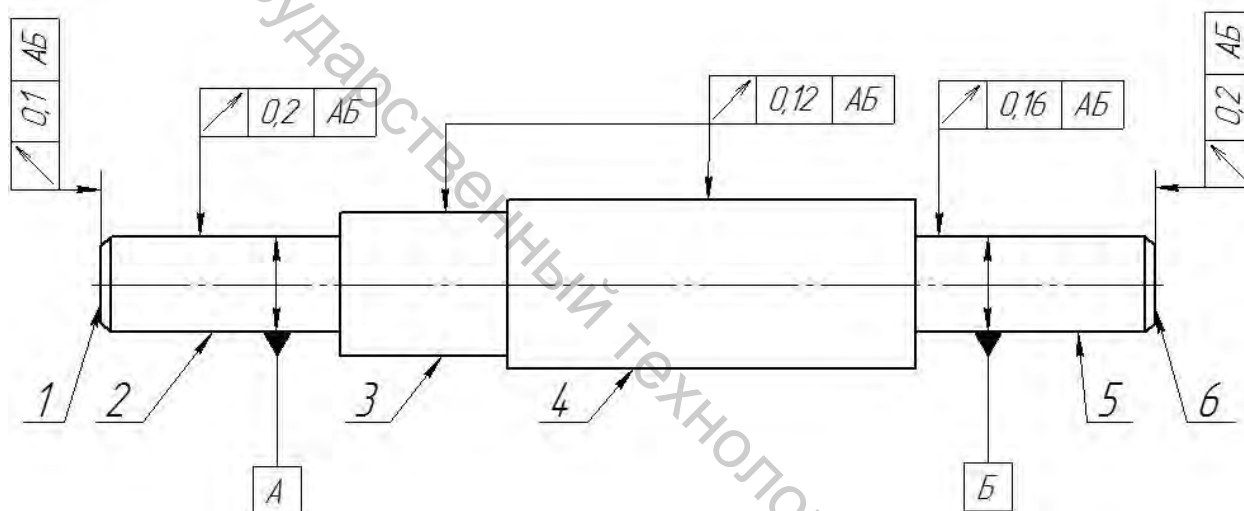


Рисунок 6.1 – Фрагмент чертежа детали с допусками биения

Задан чертеж ступенчатого вала¹⁰ (рис. 6.1), на котором указаны допуски биения: торцевое биение для поверхностей № 1 и № 6, радиальное биение для поверхностей №№ 2, 3, 4 и 5. Базой во всех случаях является общая ось поверхностей № 2 и № 5. Необходимо измерить биение каждой из поверхностей и дать заключение о ее годности¹¹.

¹⁰ Значения допусков задаются преподавателем и приведены здесь для примера.

¹¹ Номера поверхностей на чертежах не указываются и приведены на рисунке 6.1 в методических целях.

6.2 Понятие о торцевом и радиальном биении

В зависимости от направления измерений по отношению к базовой оси различают радиальное биение, торцевое биение и биение в заданном направлении [5].

Радиальное биение – это разность Δ_r наибольшего R_{\max} и наименьшего R_{\min} расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси (оси базовой поверхности или общей оси), в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 6.2 а). Радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой оси.

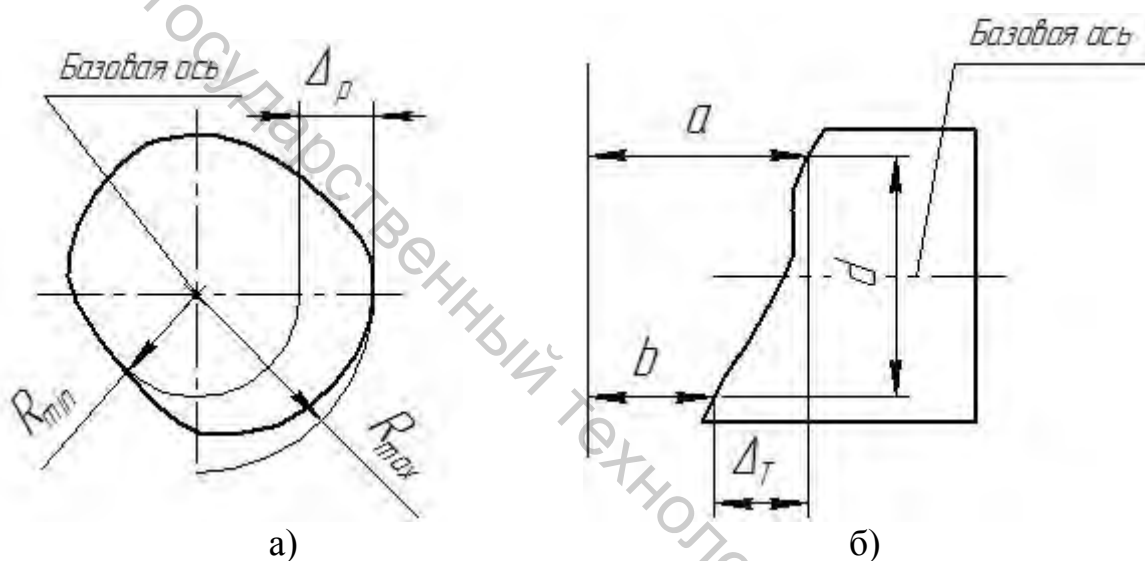


Рисунок 6.2 – Определение биения: а – радиальное биение; б – торцевое биение

Торцевое биение – это разность Δ_T наибольшего a и наименьшего b расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Определяется на заданном диаметре d или любом (в том числе и наибольшем) диаметре торцевой поверхности (рис. 6.2 б).

Допуск биения в числовом выражении – это наибольшее допустимое значение биения. Деталь годна в том случае, если наибольшее значение биения из измеренных на данной поверхности *не превышает* допуска биения.

6.3 Методика снятия измерений

Радиальное и торцевое биения измеряются методом непосредственной оценки в нормальном направлении (по радиусу детали – радиальное биение,

вдоль оси – торцевое). Биение определяется как разность максимального и минимального показаний прибора.

Воспроизведение базовой оси может осуществляться следующими способами: вращение детали, закрепленной по базовой поверхности, в самоцентрирующем патроне; вращение детали, установленной базовыми поверхностями на призмы. Поскольку в данной лабораторной работе базой АБ является общая ось двух поверхностей 2 и 5, базовая ось воспроизводится вращением на двух призмах. Схема контроля биения в призмах показана на рисунке 6.3.

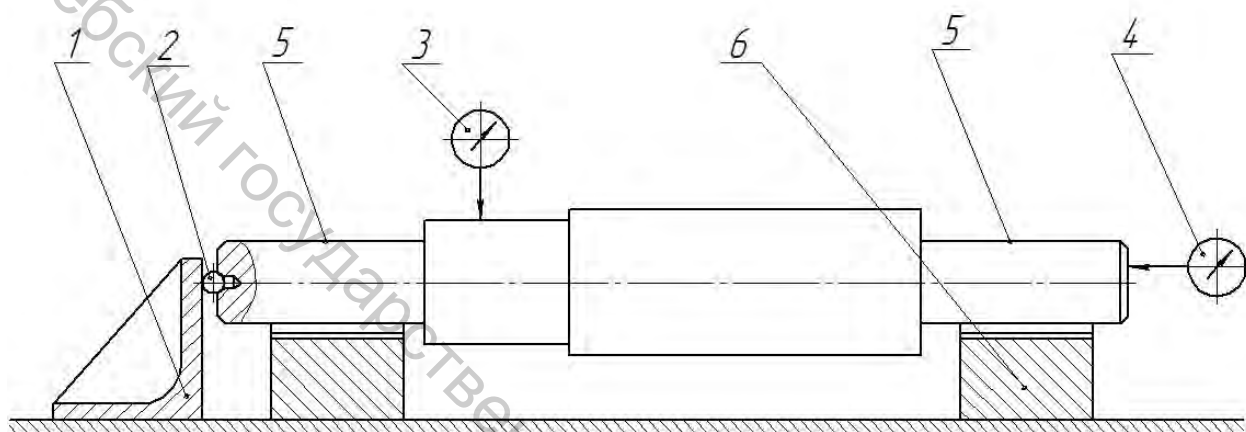


Рисунок 6.3 – Схема контроля биения в призмах:

- 1 – упор; 2 – шарик; 3 – положение индикатора при контроле радиального биения; 4 – положение индикатора при контроле торцевого биения;
- 5 – образующие базовых поверхностей; 6 – призмы

При установке детали на две измерительные призмы 6 на плите ось детали должна быть параллельна поверхности плиты. В случае необходимости это обеспечивается установкой призмы на прокладках. Один из торцов контролируемой детали должен упираться в жесткий упор 1 через шарик 2 в точке на оси вращения детали, чтобы исключить влияние биения этого торца на результат измерений.

Для контроля радиального биения измерительная головка 3 (в данной лабораторной работе применяется индикатор часового типа, закрепленный в штативе) устанавливается так, чтобы линия измерения совпадала с направлением радиуса контролируемой поверхности, и настраивается на «0» по произвольной точке поверхности. Записи подлежит модуль максимальной алгебраической разности показаний в каждом контролируемом сечении за полный оборот детали. Число контролируемых сечений должно обеспечивать выявление наибольшего значения радиального биения поверхности. Как правило, измерения проводятся не менее чем в трех сечениях: на середине длины поверхности и ближе к ее краям.

Для контроля торцевого биения индикатор 4 устанавливается так, чтобы линия измерения проходила параллельно общей оси базовых поверхностей, а

исследуемая точка находилась на предписанном радиусе. Если этот радиус не оговорен, контроль ведут максимально близко к периферии поверхности, отступив от края настолько, чтобы фаски, «завалы» края и другие возможные дефекты не оказывали на результат существенного влияния. Настройка на «0» индикатора производится по произвольной точке поверхности, искомое биение определяют как модуль алгебраической разности показаний за полный оборот детали.

Результаты измерений записывают в таблицу 6.1.

При контроле торцового биения (поверхности №№ 1 и 6) наибольшее и наименьшее показания индикатора записываются один раз, и по их разности определяется значение биения на данной поверхности.

При контроле радиального биения (поверхности №№ 2–5) показания записываются трижды (для каждого из сечений, в которых проводились измерения). Разность наибольшего и наименьшего показаний в каждом сечении дает три значения величины биения. За окончательную величину биения для всей поверхности в целом выбирают наибольшее из этих трех значений.

Сравнивая измеренное значение биения с допуском биения, нормируемым для данной поверхности чертежом, делают вывод о годности.

Таблица 6.1 – Результаты измерений

№ поверхности	Базовая ось	Показания индикатора		Биение, мм	Допуск, мм	
		наибольшее	наименьшее			
1	Общая ось поверхностей №№ 2 и 5					
2						
3						
4						
5						
6						

6.4 Порядок выполнения работы

1. Изобразить чертеж детали (рис. 6.1). Указать на чертеже обозначения допусков биения для заданных преподавателем поверхностей.

2. Установить деталь в призмах согласно принятой схеме контроля (рис. 6.3).

3. Закрепить индикатор часового типа в штативе и выставить его для измерения радиального (торцевого) биения для заданной поверхности.

4. Настроить индикатор на «0» и замерить биение. Результаты занести в таблицу 6.1.

5. Сделать вывод о годности поверхности (поверхностей) по допуску биения.

6. Подготовить отчет по лабораторной работе.

6.5 Содержание отчета

- чертеж ступенчатого вала с допусками биения на заданных поверхностях;
- схема контроля биения в призмах;
- таблица с результатами измерений;
- выводы о годности поверхностей детали по допуску биения.

6.6 Контрольные вопросы

1. Какие виды биений различают в зависимости от направления измерения по отношению к базовой оси?
2. Дайте определение радиальному биению.
3. Что такое торцевое биение?
4. Как воспроизводится базовая ось при измерении биения?
5. Изложите методику измерения радиального биения.
6. В какой последовательности измеряют торцевое биение?
7. Как на чертежах указываются допуски биения?

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ НОРМЫ БОКОВОГО ЗАЗОРА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Цель работы: изучение методов и средств контроля параметров, характеризующих боковой зазор зубчатого колеса.

Объект контроля: цилиндрическое прямозубое колесо с модулем от 1 до 5 мм и числом зубьев 18...50; степень точности зубчатого колеса 8...10; вид сопряжения и допуск бокового зазора – произвольные.

Средства измерений: штангензубомер; штангенциркуль.

7.1 Параметры, характеризующие нормы бокового зазора

Для нормальной работы зубчатой передачи необходимо нормировать (и контролировать при изготовлении) боковой зазор, определяющий взаимное положение разноименных профилей зубьев. Одним из показателей бокового зазора, подлежащих контролю, является толщина зуба по постоянной хорде \bar{s}_c . Предельные значения величины постоянной хорды зуба и высота до постоянной хорды \bar{h}_c (наряду с другими показателями) указываются в чертежах зубчатых колес.

Постоянной хордой \bar{s}_c называется хорда между точками касания исходного контура с обоими профилями зуба в сечении, перпендикулярном к направлению зуба исходной рейки (рис. 7.1) [7].

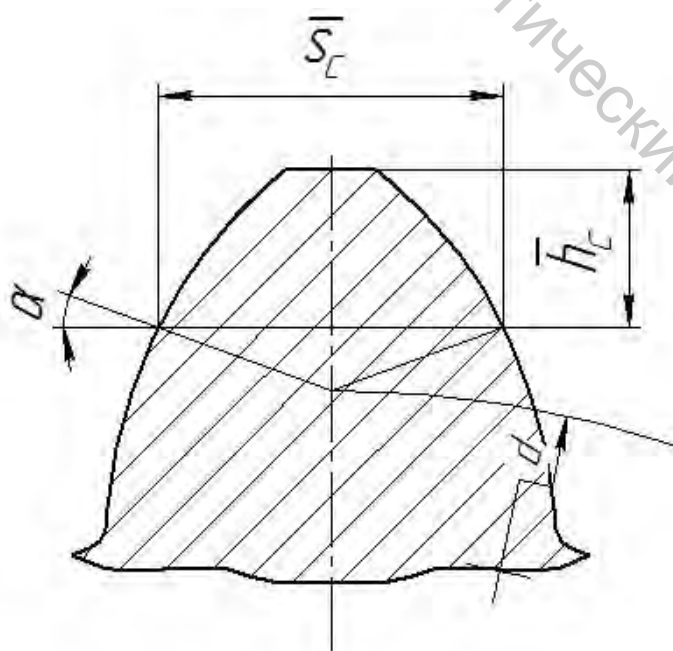


Рисунок 7.1 – Определение толщины зуба по постоянной хорде

Высота до постоянной хорды \bar{h}_c от окружности выступов определяется по зависимости

$$\bar{h}_c = \frac{d_{ad}}{2} - G, \quad (7.1)$$

где \bar{h}_c – высота до постоянной хорды; d_{ad} – действительное значение наружного диаметра зубчатого колеса; G – величина, определяемая по зависимости

$$G = \frac{d}{2} + \left(\frac{\pi}{8} \sin 2\alpha + x \sin^2 \alpha \right) m, \quad (7.2)$$

где d – диаметр делительной окружности; x – коэффициент смещения исходного контура; α – угол профиля исходной рейки; m – модуль.

Для измерения толщины зубьев по постоянной хорде (либо на любой другой заданной высоте от окружности выступов зубьев) предназначен штангензубомер.

7.2 Измерения штангензубомером

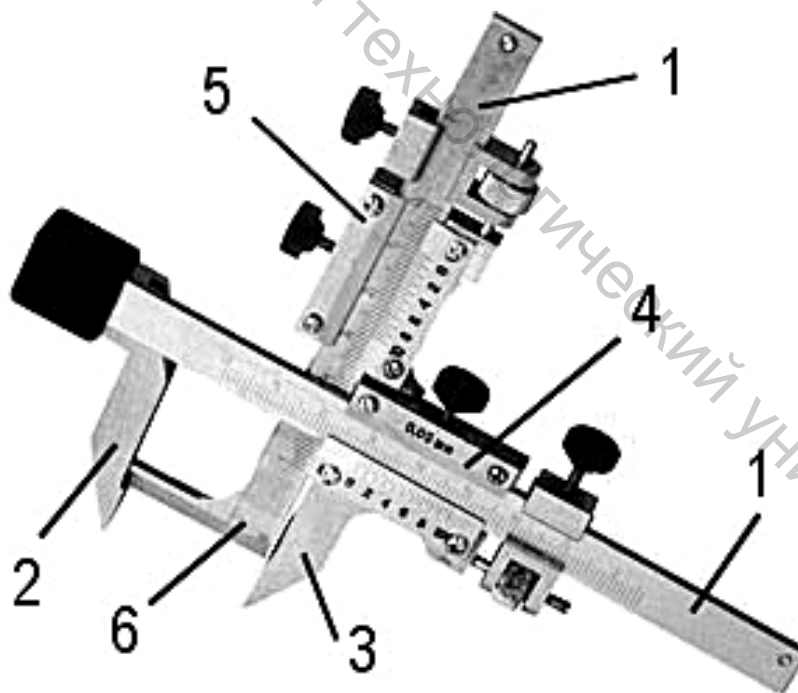


Рисунок 7.2 – Штангензубомер:

1 – штанги; 2 – неподвижная губка; 3 – подвижная губка; 4 – передвижная рамка с нониусом для отсчета толщины; 5 – передвижная рамка с нониусом для отсчета высоты; 6 – высотная линейка

Штангензубомер (рис. 7.2) состоит из двух взаимно перпендикулярных штанг 1, неподвижной губки 2, передвижной рамки с нониусом 4 с подвижной губкой 3, а также второй передвижной рамки с нониусом 5 с высотной линейкой 6. Величина отсчета по нониусам штангензубомера равна 0,02 мм.

Перед началом измерений необходимо установить высотную линейку 6 на требуемую величину. В случае измерения длины зуба по постоянной хорде высотная линейка настраивается на величину \bar{h}_c , определяемую по формулам (7.1) и (7.2). Рассчитанное по этим формулам значение выставляется по нониусу шкалы рамки 5 штангензубомера. Для точной настройки размера следует воспользоваться устройством микрометрической подачи рамки. После настройки рамка фиксируется зажимным винтом.

Далее прибор переносится на зуб измеряемого колеса, торец высотной линейки совмещается с головкой зуба. Губка 3 с рамкой 4 перемещается таким образом, чтобы обе губки 2 и 3 стали без просвета по профилю зуба. По нониусу рамки 4 подсчитывается действительное значение толщины измеряемого зуба.

7.3 Методика выполнения измерений

Вначале штангенциркулем следует измерить действительное значение наружного диаметра зубчатого колеса d_{ad} , после чего по формулам (7.1) и (7.2) определить высоту до постоянной хорды \bar{h}_c . На это значение выставляется высотная линейка штангензубомера, и выполняется измерение толщины постоянной хорды диаметрально расположенных зубьев на нескольких взаимно перпендикулярных диаметрах. Результаты измерений \bar{s}_{co} (действительные значения толщины постоянной хорды) и расчеты записываются в таблицу 7.1.

7.4 Обработка результатов измерений

Номинальное значение длины постоянной хорды для прямозубого колеса с $\alpha = 20^\circ$ определяется по формуле

$$\bar{s}_c = 1,387m. \quad (7.3)$$

Наибольшая и наименьшая допустимая толщина зуба по постоянной хорде

$$\begin{aligned} \bar{s}_{c \max} &= \bar{s}_c - E_{cs \text{ пр}}; \\ \bar{s}_{c \min} &= \bar{s}_c - (E_{cs \text{ пр}} + T_{c \text{ пр}}), \end{aligned} \quad (7.4)$$

где \bar{s}_c определяется по (7.3), $E_{cs\text{пр}}$ – производственное наименьшее отклонение толщины зуба; $T_{c\text{пр}}$ – производственный допуск толщины зуба.

Производственные допуски и отклонения¹² связаны со стандартными значениями отклонений E_{cs} и T_c следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} E_{cs\text{пр}} &= |E_{cs}| + 0,09T_c, \\ T_{c\text{пр}} &= 0,8T_c. \end{aligned} \quad (7.5)$$

Входящие в расчетные формулы наименьшее отклонение толщины зуба E_{cs} и допуск толщины зуба T_c находят по ГОСТу 1643-81 [1, 8], исходя из допуска радиального биения зубчатого венца F_r , вида сопряжения, вида допуска бокового зазора и степени точности зубчатого колеса.

Зубчатое колесо считается годным, если действительные значения толщины постоянной хорды \bar{s}_{c0} , измеренные штангензубомером, лежат в найденных по формулам (7.4) пределах

$$\bar{s}_{c\text{min}} \leq \bar{s}_{c0} \leq \bar{s}_{c\text{max}}. \quad (7.6)$$

В качестве примера определим предельные значения толщины постоянной хорды для зубчатого колеса со следующими характеристиками: $m = 2$ мм, $z = 30$, степень точности 9-B.

По (7.1) находим номинальное значение толщины постоянной хорды:

$$\bar{s}_c = 1,387m = 1,387 \cdot 2 = 2,774 \text{ мм.}$$

Делительный диаметр колеса

$$d = mz = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мм.}$$

В зависимости от номинального диаметра, модуля и степени точности по таблицам [1, 8] находим допуск на радиальное биение зубчатого венца: $F_r = 71$ мкм. Определяем стандартные значения наименьшего отклонения толщины зуба и допуска толщины зуба: $E_{cs} = -120$ мкм, $T_c = 140$ мкм. Переходим к производственным значениям по формулам (7.5):

¹² Необходимость использования производственных (т. е. уменьшенных по сравнению со стандартными) допусков связана с тем, что базой при измерениях толщины зуба является действительный наружный диаметр колеса, а стандартные допуски справедливы только при измерениях от рабочей оси.

$$E_{cs\text{ пр}} = |E_{cs}| + 0,09T_c = 120 + 0,09 \cdot 140 = 132,6 \text{ мкм} = 0,133 \text{ мм};$$

$$T_{c\text{ пр}} = 0,8T_c = 0,8 \cdot 140 = 112 \text{ мкм} = 0,112 \text{ мм}.$$

По (7.4) находим предельные значения толщины постоянной хорды:

$$\bar{s}_{c\text{ max}} = \bar{s}_c - E_{cs\text{ пр}} = 2,774 - 0,133 = 2,641 \text{ мм};$$

$$\bar{s}_{c\text{ min}} = \bar{s}_c - (E_{cs\text{ пр}} + T_{c\text{ пр}}) = 2,774 - (0,133 + 0,112) = 2,529 \text{ мм}.$$

Таким образом, у годного зубчатого колеса с указанными выше характеристиками действительные значения толщины постоянной хорды должны принадлежать интервалу [2,529; 2,641].

Таблица 7.1 – Результаты измерений и расчетов

Исходные данные	m , мм	
	z	
	степень точности	
Результаты измерений	d_{aD} , мм	
	G , мм	
	\bar{h}_c , мм	
	\bar{s}_{cD} , мм	
Стандартные отклонения и допуски	E_{cs} , мкм	
	F_r , мкм	
	T_c , мкм	
Производственные отклонения и допуски	$E_{cs\text{ пр}}$, мм	
	$T_{c\text{ пр}}$, мм	
Расчетная толщина постоянной хорды	\bar{s}_c , мм	
	$\bar{s}_{c\text{ max}}$, мм	
	$\bar{s}_{c\text{ min}}$, мм	
Вывод о годности зубчатого колеса		

7.5 Порядок выполнения работы

1. Замерить штангенциркулем действительное значение наружного диаметра зубчатого колеса и рассчитать высоту до постоянной хорды.

2. Настроить штангензубомер на расчетное значение высоты постоянной хорды. Выполнить измерения толщины по постоянной хорде для 3–4 зубьев колеса. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 7.1.

3. Определить номинальное и предельные значения толщины постоянной хорды.
4. Сделать вывод о годности зубчатого колеса по нормам бокового зазора.
5. Подготовить отчет по лабораторной работе.

7.6 Содержание отчета

- схема определения толщины зуба по постоянной хорде (рис. 7.1);
- таблица с результатами измерений и расчетов.

7.7 Контрольные вопросы

1. Дайте определение постоянной хорде.
2. Как определить высоту до постоянной хорды?
3. Опишите устройство штангензубомера.
4. Опишите порядок выполнения измерений с помощью штангензубомера.
5. Почему при определении предельных значений постоянной хорды переходят от стандартных к производственным значениям допусков?
6. В каком случае зубчатое колесо считается годным по толщине постоянной хорды?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нормирование точности деталей машин и приборов : методические указания по выполнению курсовой работы : в двух частях. Ч. 2. Справочные данные / А. Н. Голубев, В. В. Пятов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 69 с.

2. РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 2019-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 60 с.

3. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки : ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). – Введ. 2017-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 52 с.

4. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов : ГОСТ 25347-2013 (ISO 286-2:2010). – Введ. 2017-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 62 с.

5. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения : ГОСТ 24642-81. – Введ. 1981-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 46 с.

6. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски : ГОСТ 24853-81. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.

7. Передачи зубчатые цилиндрические. Термины, определения и обозначения : ГОСТ 16531-83. – Введ. 1984-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 32 с.

8. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски : ГОСТ 1643-81. – Введ. 1981-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 44 с.

9. Клименков, С. С. Нормирование точности изделий / С. С. Клименков, А. Н. Голубев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 260 с.

Учебное издание

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Лабораторный практикум

Составители:

Голубев Алексей Николаевич
Кузьменков Сергей Михайлович

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *А.В. Пухальская*

Компьютерная верстка *С.М. Кузьменков*

Подписано к печати 09.01.2023. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 3,9.
Уч.-изд. листов 4,8. Тираж 50 экз. Заказ № 2.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.