



тольяттинский
государственный
университет

Д.Ю. Воронов

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Лабораторный практикум

Тольятти
Издательство ТГУ
2025

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

Д.Ю. Воронов

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Лабораторный практикум

Тольятти
Издательство ТГУ
2025

УДК 006.91(075.8)

ББК 30.10я73

В 754

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, начальник конструкторско-технологического отдела ООО «Научно-производственное предприятие „Авис“» *Д.Е. Салабаев*;

канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства» Тольяттинского государственного университета *Д.А. Расторгуев*.

В 754 Воронов, Д.Ю. Метрология, стандартизация и сертификация : лабораторный практикум / Д.Ю. Воронов. — Тольятти : Издательство ТГУ, 2025. — 198 с. — ISBN 978-5-8259-1732-0.

Практикум содержит лабораторные работы по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация». Приведены теоретический материал, варианты заданий, примеры выполнения лабораторных работ и их материально-техническое обеспечение.

Предназначен для бакалавров направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»; 20.03.01 «Техносферная безопасность»; 13.03.03 «Энергетическое машиностроение»; 15.03.01 «Машиностроение»; 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»; 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Может быть полезно преподавателям, инженерно-техническим работникам.

УДК 006.91(075.8)

ББК 30.10я73

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© Воронов Д.Ю., 2025
ISBN 978-5-8259-1732-0 © ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2025

Введение

Цель изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» — дать студентам комплекс знаний, умений и навыков, который позволит им в производственных условиях руководить работами по настройке, наладке, эксплуатации измерительных комплексов, приборов и инструментов, а также осуществлять выбор методов измерения, оборудования и инструмента, проводить необходимые расчеты при разработке технологических процессов и метрологического обеспечения производства.

Выполнение лабораторного практикума позволит освоить следующие компетенции:

- способность участвовать в разработке и практическом освоении средств и систем машиностроительных производств, подготовке планов освоения новой техники и технологий, составлении заявок на проведение сертификации продукции, технологий, указанных средств и систем (ПК-8).

По результатам освоения данной компетенции студенты должны:

- *знать* законодательную базу метрологии и сертификации;
- *уметь*: обеспечивать техническое оснащение рабочих мест, осваивать вводимое оборудование;
- *владеть*: методами осуществления метрологической поверки основных средств измерения, показателей качества выпускаемой продукции, навыками технического оснащения рабочих мест и размещения технологического оборудования;

- способность участвовать в разработке программ и методик контроля и испытания машиностроительных изделий, средств технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления, осуществлять метрологическую поверку средств измерения основных показателей качества выпускаемой продукции в оценке ее брака и анализе причин его возникновения, разработке мероприятий по его предупреждению и устранению (ПК-18).

По результатам освоения данной компетенции студенты должны:

- *знать*: основы стандартизации, современные методы и средства анализа состояния и функционирования машиностроитель-

ных производств, разработки методики программ испытаний изделий и метрологического обеспечения производства;

— *уметь*: осуществлять подготовку к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, проводить метрологическую поверку основных средств измерения;

— *владеть* методами организации метрологического обеспечения технологических процессов с использованием типовых методов контроля качества выпускаемой продукции.

Освоение указанных выше компетенций в будущей профессиональной деятельности позволит студентам решать следующие производственные задачи:

1) организацию эффективного контроля качества материалов, технологических процессов, готовой машиностроительной продукции;

2) производить оценку уровня брака машиностроительной продукции и анализ причин его возникновения, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению;

3) производить метрологическую поверку средств измерения основных показателей качества выпускаемой продукции; подтверждать соответствие выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации;

4) участвовать в работах по стандартизации и сертификации технологических процессов, средств технологического оснащения, автоматизации и управления, выпускаемой продукции машиностроительных производств;

5) осуществлять выбор методов и средств измерения эксплуатационных характеристик изделий машиностроительных производств, производить анализ характеристик.

Лабораторная работа 1

Порядок проведения контроля размеров деталей

Цель работы: ознакомиться с понятиями в области метрологии и стандартизации, необходимыми для проведения контроля размеров деталей; приобрести практические навыки в анализе размеров чертежа и построении графического изображения полей допусков размеров.

Основные положения

В практике метрологических процессов различают термины «контроль» и «измерение».

Измерение — это процесс нахождения физической величины с помощью технических средств.

Контроль — измерительный процесс, состоящий в установлении годности изделия по контролируемому параметру.

Изделие считается годным, если контролируемый параметр находится в пределах допуска.

Результатом контроля являются качественные оценки изделия: «годное» или «брак».

Для изучения порядка проведения контроля размеров деталей ознакомимся с основными понятиями о размерах, отклонениях и допусках.

Размеры (в выбранных единицах измерения) разделяются на номинальные, действительные и предельные, определения которых даны в ГОСТ 25346–82.

Номинальный размер — размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений.

Это основной размер, представляемый на чертеже и обозначаемый для отверстия D , для вала d .

Действительный размер — размер, устанавливаемый измерением с допустимой погрешностью. Он отличается от номинального тем, что при изготовлении и измерении деталей возникают погрешности, которые не позволяют получить абсолютно одинаковые размеры у всех изготавливаемых деталей. Обозначается D_d , d_d .

Для получения определенного характера соединений (посадки) размеры соединяемых деталей должны быть с определенными отклонениями от номинального размера, задаваемыми конструктором.

Предельные размеры — два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или соответствовать им действительный размер. Они делятся на наибольший предельный размер и наименьший. Для отверстий — $D_{\text{нб}}$ и $D_{\text{нм}}$, а для вала — $d_{\text{нб}}$ и $d_{\text{нм}}$. Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется *допуском* и обозначается T .

Допуск на обработку в чертежах показывается в виде двух отклонений от номинального размера — верхнего и нижнего. Отклонения обозначаются буквами латинского алфавита: прописными для отверстия и строчными для вала.

Верхнее отклонение ES (es) — алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами:

$$ES(es) = D(d)_{\text{нб}} - D(d). \quad (1.1)$$

Нижнее отклонение EI (ei) — алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:

$$EI(ei) = D(d)_{\text{нм}} - D(d). \quad (1.2)$$

Когда предельный размер больше номинального, то на чертеже отклонение ставится со знаком «+». Если предельный размер (наибольший или наименьший) менее номинального, то отклонение является отрицательным и на чертеже ставится со знаком «-».

Если один из предельных размеров равен номинальному, то отклонение оказывается равным нулю и в чертеже не проставляется.

На рис. 1.1 и 1.2 показаны размеры отверстия и вала с отклонениями.

Для наглядного представления о возможном соотношении размеров применяется метод графического построения предельных отклонений, при котором принято величины возможных отклонений откладывать только с одной стороны рассматриваемого размера. Величины положительных отклонений откладываются вверх относительно номинального размера, а отрицательные отклонения — соответственно вниз.

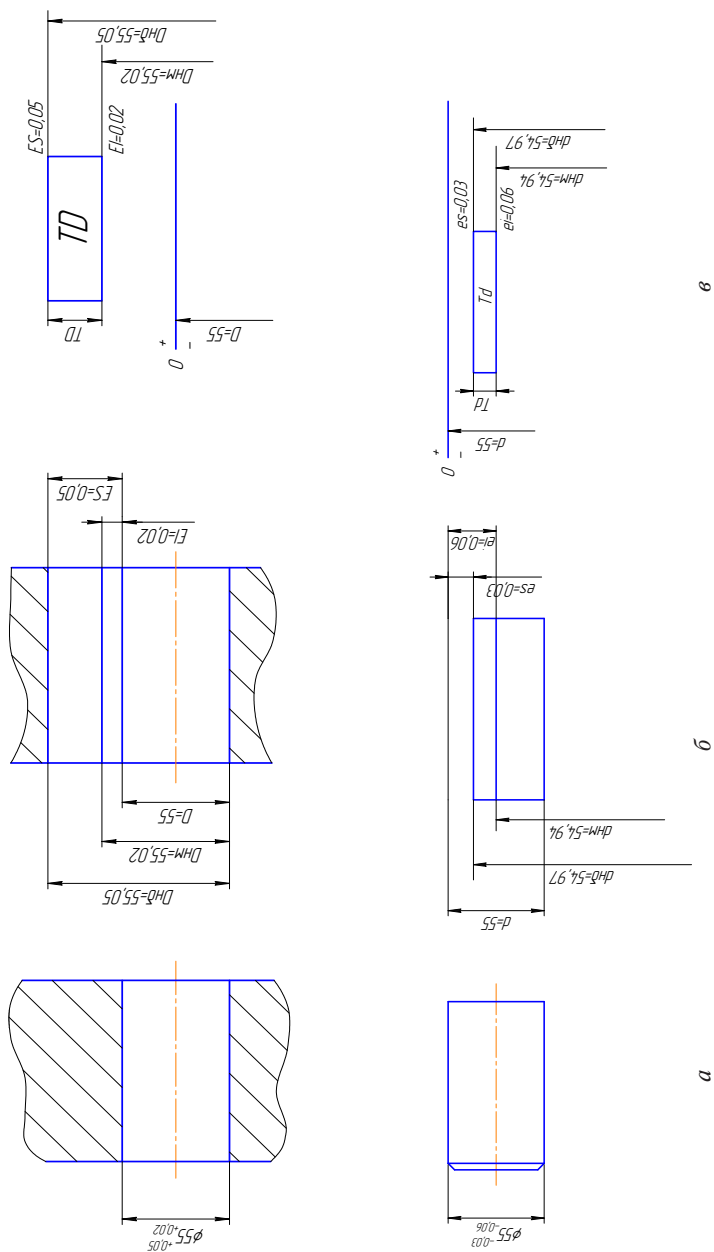


Рис. 1.2. Размеры вала с отклонениями

Так на рис. 1.1, *а*, *б* изображено отверстие с двумя положительными отклонениями, а на рис. 1.2, *а*, *б* – вал с двумя отрицательными отклонениями.

Поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями, называется *полем допуска*.

Более распространено упрощенное графическое построение полей допусков, при котором схемы отверстия и вала не изображаются, а проводятся только контуры предельных отклонений относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру. Положительные отклонения в масштабе откладываются вверх от нее, а отрицательные вниз.

Графическое построение полей допусков для отверстия показано на рис. 1.1, *в*, для вала – на рис. 1.2, *в*. Зная значения номинального размера, верхнего и нижнего отклонения, можно рассчитать наибольший и наименьший предельные размеры и величину допуска.

Наибольший предельный размер равен:

$$D(d)_{\text{нб}} = D(d) + ES(es). \quad (1.3)$$

Наименьший предельный размер определяется:

$$D(d)_{\text{нм}} = D(d) + EI(ei). \quad (1.4)$$

Величину допуска *T* можно рассчитать как разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами, а также как абсолютную величину алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями.

$$TD(Td) = D_{\text{нб}}(d_{\text{нб}}) - D_{\text{нм}}(d_{\text{нм}}) = ES(es) - EI(ei). \quad (1.5)$$

Допуск – всегда величина положительная.

Как указывалось выше, действительные размеры детали получают измерением. Для данной работы они заданы для отверстия и вала по вариантам.

Сравнивая действительные размеры с предельными, определяют годность размеров детали.

Порядок выполнения работы

1. Найти вариант задания в табл. 1.1 (см. методические материалы).
2. Оформить протокол отчета. Содержание отчета представлено в табл. 1.2.

3. Рассчитать предельные размеры, допуск отверстия и вала по формулам, приведенным в «Основных положениях».
4. Начертить в отчете графическое изображение допуска отверстия вала в масштабе.
5. Проставить на графическом изображении величину действительного размера.
6. Дать заключение о годности размеров деталей.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, угрожающей рабочему месту посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 1.1

Варианты заданий

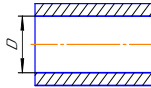
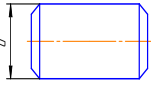
№ варианта	Размеры на чертеже, мм		Действительные размеры, мм	
	Отверстия D	Вала d	Отверстия Dq	Вала dq
1	$10^{+0,009}$	$10^{-0,005}_{-0,014}$	10,01	9,990
2	$12^{+0,006}_{-0,012}$	$12^{+0,023}_{+0,012}$	11,8	12,02
3	$14^{+0,024}_{+0,006}$	$14_{-0,011}$	14,015	13,9
4	$8^{+0,015}$	$8^{-0,025}_{-0,040}$	8,1	7,950
5	$28^{-0,014}_{-0,035}$	$28^{+0,01}_{-0,01}$	27,97	28,02
6	$90^{+0,047}_{+0,012}$	$90^{-0,036}_{-0,058}$	90,05	89,97
7	$35^{+0,039}$	$35^{-0,025}_{-0,050}$	35,04	34,950
8	$56^{+0,014}_{-0,032}$	$56^{-0,030}_{-0,060}$	56,02	55,970
9	$42^{+0,100}$	$42^{-0,120}_{-0,159}$	42,1	41,9
10	$20^{-0,025}_{-0,050}$	$20^{+0,035}_{+0,022}$	19,95	20,05
11	$50^{+0,025}$	$50^{-0,025}_{-0,041}$	50,03	49,96
12	$30^{+0,072}_{+0,020}$	$30_{-0,021}$	30,05	29,820
13	$25^{+0,084}$	$25^{-0,020}_{-0,053}$	25,01	24,980
14	$75^{+0,076}_{+0,030}$	$75_{-0,046}$	75,05	74,850
15	$120^{+0,140}$	$120^{+0,080}_{-0,080}$	120,1	120,15
16	$17^{+0,043}_{+0,016}$	$17^{-0,016}_{-0,043}$	17,03	17,04
17	$26^{+0,027}$	$26^{-0,040}_{-0,061}$	26,05	26,00
18	$22^{+0,053}_{+0,020}$	$22^{-0,020}_{-0,033}$	22,13	21,980
19	$105^{-0,024}_{-0,059}$	$105^{+0,045}_{+0,023}$	104,97	105,05
20	$95^{+0,035}$	$95^{-0,036}_{-0,071}$	95,0	94,90
21	$15^{+0,075}_{+0,032}$	$15^{-0,050}_{-0,089}$	15,1	14,950

№ варианта	Размеры на чертеже, мм		Действительные размеры, мм	
	Отверстия D	Вала d	Отверстия Dq	Вала dq
22	$16^{+0,013}_{-0,009}$	$16^{-0,005}_{-0,009}$	16,05	16,0
23	$140^{-0,020}_{-0,045}$	$140^{+0,040}_{+0,015}$	139,96	140,05
24	$38^{+0,025}_{-0,021}$	$38^{-0,050}_{-0,075}$	38,04	37,95
25	$24^{+0,021}_{-0,021}$	$24^{-0,021}_{-0,021}$	24,05	23,980
26	$80^{+0,074}_{-0,020}$	$80^{+0,050}_{+0,020}$	80,08	80,03

Содержание отчета

Таблица 1.2

Вариант № _____

№ п/п	Наименование параметра	Размеры на чертеже	
		отверстия	вала
			
1	Номинальный размер, мм	$D =$	$d =$
2	Верхнее предельное отклонение, мм	$ES =$	$es =$
3	Нижнее предельное отклонение, мм	$EI =$	$ei =$
4	Наибольший предельный размер, мм	$D_{нб} =$	$d_{нб} =$
5	Наименьший предельный размер, мм	$D_{нм} =$	$d_{нм} =$
6	Допуск размера, мм	$TD =$	$Td =$
7	Номинальный размер сопряжения, мм	$D = d =$	
8	Действительный размер, мм	$D_d =$	$d_d =$
9	Заключение о годности размеров детали		
10	Графическое изображение полей допусков		

Контрольные вопросы

1. В чем различие метрологических процессов измерения и контроля размеров?
2. Какие существуют оценки результатов контроля размеров детали?
3. Дать определение номинального размера.
4. Чему равен наибольший предельный размер?
5. Чему равен наименьший предельный размер?
6. Что такое допуск и чему равно его значение?
7. Как производится графическое построение полей допусков?
8. Как дается заключение о годности размеров детали?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347–82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. Крылова, Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии = Standardization certification metrology essentials : учебник для студентов вузов / Г. Д. Крылова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ЮНИТИ, 1999. — 711 с. — ISBN 5-238-00106-1.

Лабораторная работа 2

Нормирование точности гладких цилиндрических деталей

Цель работы: ознакомиться с причинами и понятиями, действующими в области взаимозаменяемости при нормировании точности деталей машин и их соединений; приобрести практические навыки в работе с таблицами «Единой системы допусков и посадок».

Основные положения

Точность — это степень приближения, измеренного с известной погрешностью размера к номинальному, то есть предписанному. Абсолютно точно получить размер в принципе не представляется возможным. Но практикой установлено, что для нормальной работы механизма совсем не обязательно, чтобы действительный размер (действительный размер — это размер, полученный в результате измерения с известной погрешностью) совпадал с номинальным. Допустимое несовпадение регламентируется допуском *IT* (англ. *international tolerance* — международный допуск).

Расположение полей допусков относительно нулевой линии (номинальный размер при этом считается нулевой линией) определяется индексами для допуска *A* (*a*), *B* (*b*), *ZA* (*za*), *ZB* (*zb*), *ZC* (*zc*) (рис. 2.1) через основное отклонение.

Основное отклонение — это расстояние ближайшей границы поля допуска до нулевой линии. Оно может быть нижним *EI* (*ei*) или верхним *ES* (*es*) (рис. 2.2). Другое отклонение допуска определяется через величину допуска *IT* соответствующего качества.

Величины допусков приведены в методических материалах, табл. 2.3. С учетом величины допуск *Td* или *TD* второе отклонение у валов может быть рассчитано по соотношениям (рис. 2.2) в случае 1: $ei = es - Td$, в случае 2: $es = ei + Td$, у отверстий в случае 3: $EI = ES - TD$, в случае 4: $ES = EI + TD$.

Легкость сборки-разборки соединения определяется предельными величинами зазоров и натягов, которые задаются сочетанием полей допусков соединяемых деталей. Можно ограничиться пока одним понятием зазор, который в случае натяга примет отрицательное значение.

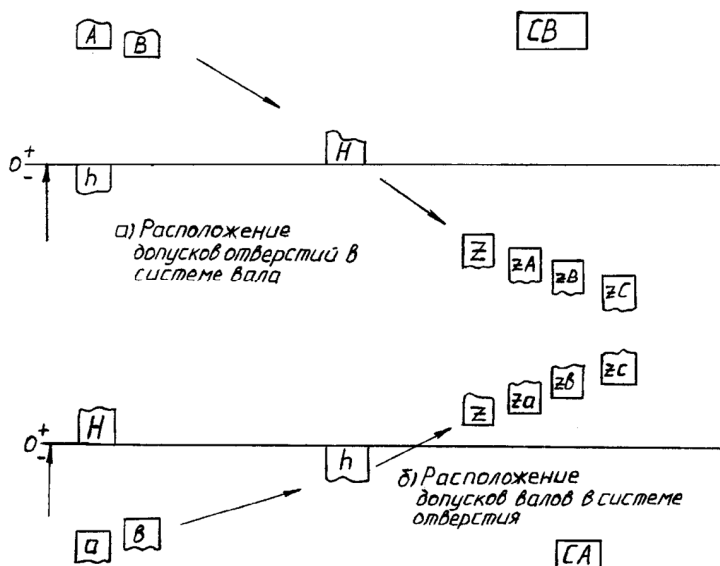


Рис. 2.1. Расположение допусков отверстий и вала

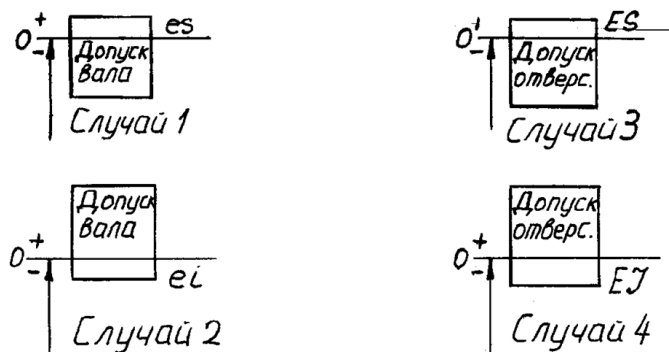


Рис. 2.2. Случаи расположения основных отклонений

Наибольшим зазором называют разность наибольшего предельного значения отверстия и наименьшего предельного значения вала (отрицательная разность этих размеров указывает на наличие наименьшего натяга).

Наименьшим зазором называют разность наименьшего предельного значения отверстия и наибольшего предельного значения вала (отрицательная разность этих размеров указывает на наличие наибольшего натяга).

Порядок выполнения работы

1. Номер вашего варианта соответствует вашему номеру в списке журнала группы. В табл. 2.1 (см. методические материалы) найдите исходные данные варианта.
2. Оформить протокол отчета. Содержание указано в табл. 2.2.
3. По табл. 2.3 определить значения допусков вала (ТВ) и отверстия (ТА) по известному номинальному размеру и качеству.
4. По табл. 2.4, 2.5 определить вид (нижнее или верхнее) и величину основного отклонения по известному качеству, индексу поля допуска и номинальному размеру.
5. Определить вид неосновного отклонения и рассчитать его величину.
6. Определить, используя рис. 2.1, систему посадки (СА или СВ).
7. Рассчитать определенные размеры вала ($d_{\text{нм}} = d + ei$, $d_{\text{нб}} = d + es$) и отверстия ($D = D_{\text{нм}} + EI$, $D_{\text{нб}} = D + ES$).
8. Рассчитать предельные зазоры и натяги.
9. Построить расположение полей допусков деталей в заданной посадке.

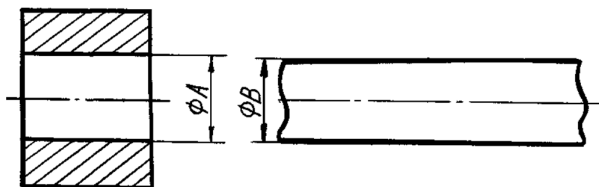
Построение производится в масштабе 1:200, 1:500. За нулевую линию принимается номинальный размер посадки. Выше нулевой линии откладываются положительные отклонения, ниже — отрицательные.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, угрожать рабочему месту посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.



Размеры отверстия и вала, заданные по чертежу

№ п/п	Диаметр отверстия в мм, А	Диаметр вала в мм, В	№ п/п	Диаметр отверстия в мм, А	Диаметр вала в мм, В
1	90H9	90e8	14	105H7	105K6
2	70H8	70d8	15	80F8	80h8
3	8H5	8h4	16	120H8	120m7
4	14F8	14h6	17	85K7	85h6
5	28K7	28h6	18	35H7	35f6
6	95H11	95d11	19	22H7	22h6
7	72H8	72h8	20	10H11	10h11
8	15H7	15h6	21	360K7	360h6
9	32H6	32h6	22	140H7	140r6
10	10F8	10h5	23	126E9	126h8
11	30Is7	30h6	24	35N7	35h6
12	16P7	16h6	25	42P7	42h6
13	75E8	75h8	26	56F8	56h7

Содержание отчета

Таблица 2.2

Вариант № _____

Диаметр отверстия _____

Диаметр вала _____

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Величина
1	Допуск отверстия, мм		
2	Допуск вала, мм		
3	Основное отклонение отверстия, мм		
4	Основное отклонение вала, мм		
5	Неосновное отклонение отверстия, мм		
6	Неосновное отклонение вала, мм		
7	Номинальный размер соединения, мм		
8	Система посадки		
9	Предельные размеры отверстия, мм: наибольший наименьший		
10	Предельные размеры вала, мм: наибольший наименьший		
11	Предельные зазоры, мм: наибольший наименьший		
12	Предельные натяги, мм: наибольший наименьший		

Изобразить графически расположение полей допусков.

Таблица 2.3

Значения допусков для качитетов (выдержка из ГОСТ 25347–82)

Интервалы размеров, мм	Значения допусков для качлитетов, мкм																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	10	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
Свыше 3 до 6	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
Свыше 6 до 10	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
Свыше 10 до 18	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	10	15	22	36	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
Свыше 18 до 30	1,2	2,0	3,5	5,0	8,0	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
	2,0	3,0	4,5	7,0	10,0	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
Свыше 30 до 50	2,5	4,0	6,0	8,0	12,0	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
	3,0	5,0	7,0	9,0	13,0	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
Свыше 50 до 80	4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Таблица 2.4

Значения основных отклонений отверстий в мкм

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение EI										Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение ES			
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J	K
	Квалитеты													
	Все										$IT \pm \frac{IT}{2}$			
До 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	6	7	8
Свыше 3 до 6	270	140	70	46	30	20	14	19	6	4	0	2	4	6
Свыше 6 до 10	280	150	80	56	540	25	18	13	8	5	0	5	6	10
Свыше 10 до 14	290	150	95	—	50	32	—	16	—	6	0	5	8	12
Свыше 14 до 18	290	150	95	—	50	32	—	16	—	6	0	6	10	15
Свыше 18 до 24	300	160	110	—	65	40	—	20	—	7	0	8	12	20
Свыше 24 до 30	310	170	120	—	80	50	—	25	—	9	0	10	14	24
Свыше 30 до 40	320	180	130	—	100	60	—	30	—	10	0	13	18	28
Свыше 40 до 50	340	190	140	—	120	72	—	36	—	12	0	16	22	34
Свыше 50 до 65	360	200	150	—	140	84	—	42	—	14	0	18	24	36
Свыше 65 до 80	380	220	170	—	160	96	—	48	—	16	0	20	26	38
Свыше 80 до 100	410	240	180	—	180	108	—	54	—	18	0	22	28	40
Свыше 100 до 120	410	240	180	—	180	108	—	54	—	18	0	22	28	40

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение EI										Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение ES			
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J	K
	Квалитеты													
	Все										6	7	8	Свыше 8
Свыше 120 до 140	460	260	200											
Свыше 140 до 160	520	280	210	—	145	85	—	43	—	14	0		18	—
Свыше 160 до 180	580	310	230										41	—
Свыше 180 до 200	660	340	240											
Свыше 200 до 225	740	380	260	—	170	100	—	50	—	15	0		22	—
Свыше 225 до 250	820	420	280										30	—
Свыше 250 до 280	920	480	300											
Свыше 280 до 315	1050	540	330	—	190	110	—	56	—	17	0	$IT \pm \frac{IT}{2}$		—
Свыше 315 до 355	1200	600	360											—
Свыше 355 до 400	1350	680	400	—	210	125	—	62	—	18	0		36	—
Свыше 400 до 450	1500	760	440										55	—
Свыше 450 до 500	1650	840	480	—	230	135	—	68	—	20	0		60	—
													66	—
													33	—

Примечания:

1. Основные отклонения A и B во всех квалитетах более 8 для размеров до 1 мм не предусмотрены.
2. Значения $(+/-)IT/2$ для Js квалитетов 7...11 могут округляться до ближайшего меньшего числа, если значение IT нечетное.
3. Частный случай для основного отклонения $M6$ размеров свыше 250 до 315 мм $ES -9$, а не -11 мкм.
4. Согласно специальному правилу (см. п. 2.1.4) для вычисления основных отклонений K , M , N до квалитета 8 и $P...ZC$ до квалитета 7 значения берутся в крайних правых графах таблицы.

Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение <i>ES</i>																	Δ , мкм									
Интервалы размеров, мм	<i>M</i>	<i>N</i>	От <i>P</i> до <i>ZC</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>ZA</i>	<i>ZB</i>	<i>ZC</i>	Δ , мкм										
	Квалитеты																									
	Свыше 7																									
До 3	До 8	Св. 8	До 8	Св. 8	До 7	-6	-10	-14	-	-18	-	-20	-	-26	-32	-40	-60									
	-2+ Δ	-2	-4+ Δ	-4		-12	-15	-19	-	-23	-	-28	-	-35	-42	-50	-80									
Свыше 3 до 6	-4+ Δ	-4	-8+ Δ	0		-15	-19	-23	-	-28	-	-34	-	-42	-52	-67	-97									
	-6+ Δ	-6	-10+ Δ	0		-18	-23	-28	-	-33	-	-40	-	-50	-64	-90	-130									
Свыше 6 до 10	-7+ Δ	-7	-12+ Δ	0		-22	-28	-35	-	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188									
	-8+ Δ	-8	-15+ Δ	0	-	-26	-34	-43	-	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200									
Свыше 10 до 14	-9+ Δ	-9	-17+ Δ	0		-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480									
	-11+ Δ	-11	-20+ Δ	0		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-211	-258	-335	-445	-585									
Свыше 14 до 18	-13+ Δ	-13	-23+ Δ	0		-41	-53	-66	-87	-102	-122	-141	-172	-226	-300	-405	-690									
	-15+ Δ	-15	-25+ Δ	0		-46	-58	-72	-93	-114	-136	-160	-192	-246	-320	-425	-720									
Свыше 18 до 24	-17+ Δ	-17	-27+ Δ	0		-52	-64	-78	-99	-120	-144	-168	-200	-264	-336	-440	-760									
	-19+ Δ	-19	-29+ Δ	0		-58	-70	-84	-105	-126	-150	-174	-206	-270	-342	-446	-780									
Свыше 24 до 30	-21+ Δ	-21	-31+ Δ	0		-64	-76	-90	-111	-132	-156	-180	-212	-276	-348	-452	-840									
	-23+ Δ	-23	-33+ Δ	0		-70	-82	-96	-117	-138	-162	-186	-218	-282	-354	-458	-880									
Свыше 30 до 40	-25+ Δ	-25	-35+ Δ	0		-76	-88	-102	-123	-144	-168	-192	-224	-288	-360	-464	-900									
	-27+ Δ	-27	-37+ Δ	0		-82	-94	-108	-129	-150	-174	-198	-230	-294	-366	-470	-960									
Свыше 40 до 50	-29+ Δ	-29	-39+ Δ	0		-88	-100	-114	-135	-156	-180	-204	-236	-300	-372	-476	-1020									
	-31+ Δ	-31	-41+ Δ	0		-94	-106	-120	-141	-162	-186	-210	-242	-306	-378	-482	-1080									
Свыше 50 до 65	-33+ Δ	-33	-43+ Δ	0		-100	-112	-126	-147	-168	-192	-216	-248	-312	-384	-488	-1140									
	-35+ Δ	-35	-45+ Δ	0		-106	-118	-132	-153	-174	-198	-222	-254	-318	-390	-494	-1200									
Свыше 65 до 80	-37+ Δ	-37	-47+ Δ	0		-112	-124	-138	-159	-180	-204	-228	-260	-324	-396	-500	-1260									
	-39+ Δ	-39	-49+ Δ	0		-118	-130	-144	-165	-186	-210	-234	-266	-330	-402	-506	-1320									
Свыше 80 до 100	-41+ Δ	-41	-51+ Δ	0		-124	-136	-150	-171	-192	-216	-240	-272	-336	-408	-512	-1380									
	-43+ Δ	-43	-53+ Δ	0		-130	-142	-156	-177	-198	-222	-246	-278	-342	-414	-518	-1440									
Свыше 100 до 120	-45+ Δ	-45	-55+ Δ	0		-136	-148	-162	-183	-204	-228	-252	-284	-348	-420	-524	-1500									
	-47+ Δ	-47	-57+ Δ	0		-142	-154	-168	-189	-210	-234	-258	-290	-354	-426	-530	-1560									

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение <i>ES</i>															Δ, мкм											
	<i>M</i>	<i>N</i>	От <i>P</i> до <i>ZC</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>ZA</i>	<i>ZB</i>	<i>ZC</i>												
																Квалитеты											
До 8	Св. 8	До 8	Св. 8	До 7	Свыше 7											3	4	5	6	7	8						
Свыше 120 до 140						-63	-92	-122	-170	-203	-248	-300	-365	-470	-620	-800											
Свыше 140 до 160	-15 + Δ	-15	-27 + Δ	0	-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23					
Свыше 160 до 180						-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000											
Свыше 180 до 200						-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150											
Свыше 200 до 225	-17 + Δ	-17	-31 + Δ	0	-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250	3	4	6	9	12	26					
Свыше 225 до 250						-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350											
Свыше 250 до 280					-	-94	-158	-218	-315	-358	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550											
Свыше 280 до 315	-20 + Δ	-20	-34 + Δ	0	-56	-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700	4	4	7	9	20	29					
Свыше 315 до 355	-21 + Δ	-21	-37 + Δ	0	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900											
Свыше 355 до 400						-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1130	-1650	-2100	4	5	7	1	21	31					
Свыше 400 до 450	-23 + Δ	-23	-40 + Δ	0	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400											
Свыше 450 до 500						-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600	5	5	7	1	23	34					

Таблица 2.5

Значения основных отклонений валов, мкм

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение es										Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение ei				
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fq	q	h	js	j	k	
	Квалитеты														
	Все														
До 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	$\pm \frac{IT}{2}$			
Свыше 3 до 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0				
Свыше 6 до 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0				
Свыше 10 до 14	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6	0				
Свыше 14 до 18												$\pm \frac{IT}{2}$			
Свыше 18 до 24	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0				
Свыше 24 до 30															
Свыше 30 до 40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0				
Свыше 40 до 50	-320	-180	-130	—	—	—	—	—	—	—	—	$\pm \frac{IT}{2}$			
Свыше 50 до 65	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0				
Свыше 65 до 80	-360	-200	-150	—	—	—	—	—	—	—	—				
Свыше 80 до 100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0				
Свыше 100 до 120	-410	-240	-180	—	—	—	—	—	—	—	—	$\pm \frac{IT}{2}$			
Свыше 120 до 140	-460	-260	-200	—	—	—	—	—	—	—	—				
Свыше 140 до 160	-520	-280	-210	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0				
Свыше 160 до 180	-580	-310	-230	—	—	—	—	—	—	—	—				

Продолжение табл. 2.5

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение es										Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение ei				
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	f_q	q	h	js	j	k	k
	Квалитеты														
	Все										5 и 6				
Свыше 180 до 200	-660	-340	-240												
Свыше 200 до 225	-740	-380	-260	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0		-13	-21	4
Свыше 225 до 250	-820	-420	-280												0
Свыше 250 до 280	-920	-480	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	$IT \pm \frac{2}{2}$			
Свыше 280 до 315	-1050	-540	-330												
Свыше 315 до 355	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0		-16	-26	4
Свыше 355 до 400	-1350	-680	-400										-18	-28	4
Свыше 400 до 450	-500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0		-20	-32	5
Свыше 450 до 500	-1650	-840	-480												0

Примечания:

1. Основные отклонения a и b для размеров до 1 мм не предусмотрены.
2. Значения $(+/-) IT / 2$ для j , квалитетов 7...11 могут округляться до ближайшего меньшего четного числа, если значение IT нечетное.

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение <i>e_i</i>													
	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>
	Квалитеты													
	все													
До 3	2	4	6	10	14	—	18	—	20	—	26	32	40	60
	4	8	12	15	19	—	23	—	28	—	35	42	50	80
Свыше 6 до 10	6	10	15	19	23	—	28	—	34	—	42	52	67	97
Свыше 10 до 14	7	12	18	23	28	—	33	—	40	—	50	64	90	130
Свыше 14 до 18								39	45	—	60	77	108	150
Свыше 18 до 24	8	15	22	28	35	—	41	47	54	63	73	98	136	188
Свыше 24 до 30								55	64	75	88	118	160	218
Свыше 30 до 40	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
Свыше 40 до 50								81	97	114	136	180	242	325
Свыше 50 до 65	11	20	32	41	53	66	87	102	122	141	172	226	300	405
Свыше 65 до 80				43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
Свыше 80 до 100	13	23	37	51	71	91	124	146	178	211	258	335	445	585
Свыше 100 до 120				54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение <i>e_i</i>													
	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>
	Квалитеты													
	все													
Свыше 120 до 140	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
Свыше 140 до 160				65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
Свыше 160 до 180				68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
Свыше 180 до 200	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
Свыше 200 до 225				80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
Свыше 225 до 250				84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
Свыше 250 до 280	20	34	56	94	158	218	315	358	475	580	710	920	1200	1550
Свыше 280 до 315				98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
Свыше 315 до 355				108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
Свыше 355 до 400	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
Свыше 400 до 450				126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400
Свыше 450 до 500				132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600

Контрольные вопросы

1. Как определить величину допуска?
2. Какое отклонение называется основным?
3. Как определить второе предельное (неосновное) отклонение?
4. Чему равен наибольший предельный размер?
5. Какие системы посадок существуют?
6. Что означает квалитет?
7. Что обозначает индекс поля допуска?
8. Как обозначается посадка на чертеже?
9. Что называется зазором?
10. Что называется натягом?
11. Чему равен наибольший зазор?
12. Чему равен наименьший зазор?
13. Чему равен наибольший натяг?
14. Чему равен наименьший натяг?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347—82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 3

Метрологические характеристики приборов относительного метода измерения и их настройка

Цель работы: ознакомиться с методологией относительного метода измерений, с характеристиками приборов относительного метода измерения, а также способами их настройки на размер.

Измерительные средства:

- набор блока концевых мер;
- микрометрические инструменты;
- оптико-механические инструменты;
- индикаторы;
- головки высокой точности.

Общие положения

Средства, предназначенные для контроля и измерения, подразделяются на эталоны, образцовые и рабочие. Рабочие контрольно-измерительные средства подразделяются на калибры, универсальные, специализированные и специальные. Любое измерительное средство в соответствии с ГОСТ 8.009–72 характеризуется комплексом метрологических показателей. Для ориентировочного выбора измерительного средства в конкретных условиях обычно бывает достаточно семи показателей.

По способу взаимодействия измерительного устройства с измеряемым объектом различают приборы контактные и бесконтактные. Если измерение производится без соприкосновения измерительных поверхностей прибора с измеряемой поверхностью контролируемого объекта, то в данном случае реализуется бесконтактный способ. В противном случае — контактный.

По методу измерения приборы подразделяются на абсолютные и относительные. При абсолютном измерении искомый линейный или угловой размер указывается непосредственно на шкале прибора. При относительном измерении на шкале прибора указывается лишь отклонение измеряемого размера от настроенного размера прибора. Приборы такой конструкции точнее приборов абсолют-

ного метода измерения, так как до минимума сведено влияние погрешностей отсчетной шкалы на результат измерения.

Цена деления шкалы — изменение измеряемой величины при перемещении указателя прибора на одно деление шкалы.

Эта величина обязательно маркируется на приборе.

Интервал деления шкалы — расстояние между осями симметрии двух соседних отметок шкалы. Эту величину можно измерить с помощью линейки.

Чувствительность — отношение величины изменения положения указателя прибора к величине, вызвавшей это изменение. Для большинства приборов чувствительность можно определить отношением интервала деления шкалы к цене деления.

Диапазон показаний — предел измерения по шкале прибора.

Диапазон измерений — предел измерения прибора в целом.

Правила набора блока концевых мер

Для настройки приборов относительного метода измерения на ноль требуется набор образцовых концевых мер. Эти наборы различаются по точности изготовления и количеству мерных плиток. Используется основной набор и один из дополнительных, можно набрать размер величиной до 340,000 мм. Можно набрать и значительно большую величину, но необходимо помнить, что набор блока из 5 и более плиток выходит за пределы регламентируемой классом точности данного набора образцовых концевых мер. В этом случае необходимо измерить действительный размер набранного блока концевых мер.

Набор блока концевых мер необходимо начинать с установления его общей величины. Обычно его величина равна номинальному (чертёжному) размеру контролируемой детали. Но в некоторых случаях величина блока должна соответствовать среднему размеру $\bar{d}_{cp}$, то есть полусумме предельных размеров. В большинстве случаев эта необходимость возникает при выходе предельных размеров из диапазона показаний прибора при настройке его на номинальный размер d .

Определившись с величиной блока, приступают к его набору в следующей последовательности. Рассмотрим последовательность набора блока размером 20,946.

Первая плитка должна иметь последнюю разрядную цифру. Для рассматриваемого примера при наличии дополнительного набора концевых мер нужно взять плитку размером 1,006 мм, а при отсутствии дополнительного набора округлить до 1,005 мм, так как плитка данного размера всегда имеется в основном наборе концевых мер.

$$\begin{array}{r} \underline{20,946} \\ \underline{1,006} \\ 19,94 \end{array}$$

Вторая плитка должна иметь такой размер, чтобы разница между оставшимся размером (оставшимся после вычитания размера первой плитки) и размером второй плитки была равна в сотых долях «0», а в десятых равна «0» или «5», то есть:

$$\begin{array}{r} \underline{19,94} \\ \underline{1,44} \\ 18,50 \end{array}$$

Третья плитка по возможности должна быть равна остатку, то есть 18,50. Но в некоторых случаях остаток приходится собирать из двух плиток. Тогда блок будет состоять из 4 плиток.

Перед сборкой в блок плитки протирают ватой, смоченной в спирте, и складывают на чистую салфетку. Затем путём наложения друг на друга на 1/3 медленным надвижением соединяют их в блок.

Порядок выполнения работы

1. Из табл. 3.1 (см. методические материалы) выписать исходные данные вашего варианта (номер варианта соответствует вашему номеру по списку в журнале группы) и заполнить соответствующие графы протокола отчёта (форма протокола отчёта приведена в табл. 3.2).
2. Получить измерительный прибор и набор блока концевых мер.
3. Набрать блок концевых мер нужного размера (см. «Правила набора блока концевых мер»).

4. Настроить измерительный прибор на ноль.
5. Изучить (см. «Общие положения») метрологические показатели прибора и заполнить соответствующую таблицу протокола.
6. Сдать отчёт.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.
3. Набор блока концевых мер.
4. Индикаторы.
5. Головки высокой точности.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 3.1

Варианты заданий

№	Контролируемый размер	Прибор для измерения
1	15e7	1МКМ – головка рычажно-зубчатая
2	24u7	СР – скоба рычажная
3	28c8	ИЧ – индикатор часового типа
4	3,8s6	1ИГП – головка измерительная пружин
5	56n7	2МКМ – головка рычажно-зубчатая
6	26f7	СР – скоба рычажная
7	32e8	ИЧ – индикатор часового типа
8	85f8	5ИГП – головка измерительная пружин
9	28e7	МР – микрометр рычажный
10	5,6s5	ИКВ-1 – оптиметр вертикальный
11	15u7	1МКМ – головка рычажно-зубчатая
12	21e7	СР – скоба рычажная
13	36z8	ИЧ – индикатор часового типа
14	6,7f6	1ИГП – головка измерительная пружин
15	71u7	2МКМ – головка рычажно-зубчатая
16	42h7	СР – скоба рычажная
17	48e9	ИЧ – индикатор часового типа
18	63d9	5ИГП – головка измерительная пружин
19	45n7	МР – микрометр рычажный
20	11,5g4	ИКВ-1 – оптиметр вертикальный
21	53f9	ИЧ – индикатор часового типа
22	50c8	СР – скоба рычажная
23	67d11	ИЧ – индикатор часового типа
24	48u7	МР – микрометр рычажный
25	16p6	2МКМ – головка рычажно-зубчатая

Протокол отчёта

Контролируемый размер _____

Размер блока концевых мер _____

Название прибора _____

№ п/п	Метрологические показатели	Вид или величина
1	Способ взаимодействия	
2	Метод измерения	
3	Цена деления	
4	Интервал деления шкалы	
5	Чувствительность	
6	Диапазон показаний	
7	Диапазон измерений	

Контрольные вопросы

1. Для чего служат концевые меры длины?
2. Классы точности концевых мер длины.
3. ГОСТ на концевые меры длины.
4. Что представляют собой концевые меры?
5. Чем отличаются штриховые и концевые меры длины?
6. Что обозначает и где применяется концевая мера длины?
7. Как настроить индикатор при помощи концевых мер длины?
8. Как настроить оптиметр при помощи концевых мер длины?
9. Как подобрать плитки концевых мер длины, чтобы получить необходимый размер?
10. Каким образом производится обезжиривание рабочих поверхностей концевых мер длины?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 9038–90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 25 января 1990 года № 86 : взамен ГОСТ 9038–83 : дата введения 1991-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с Изменением № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2004. — 10 с.
2. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм : утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2018 года № 2840 : в редакции от 15 августа 2022 года // ОЕИ Аналитика : [цифровая аналитическая платформа]. — URL: oei-analitika.ru/kurilka/order_info.php?order_id=352225 (дата обращения: 11.09.2022).

Лабораторные работы 4, 5

Контроль размеров деталей штангенинструментами и микрометрическими инструментами (абсолютный метод измерения)

Цель работы: ознакомиться с устройством штангенинструментов, микрометрических инструментов, их техническими и метрологическими данными; освоить методы и приемы измерений; приобрести навыки в обработке результатов измерений.

Основные понятия

Основными видами измерений физических величин, в том числе линейно-угловых (РМГ 29-99), являются прямые, косвенные, абсолютные и относительные.

При *прямых* измерениях искомую величину находят с помощью средств измерения (штангенциркуля, угломера и т. п.). При косвенных измерениях искомую величину (например, объем или площадь поверхности) вычисляют на основании прямых измерений других параметров детали (диаметра, длины и т. п.), функционально связанных с искомой величиной.

Абсолютными называют измерения, в ходе которых непосредственно регистрируют искомую величину с заданной точностью. При *относительных* измерениях определяют отклонение искомой величины от некоторой одноименной величины, принятой за исходную. Примером относительного измерения может служить определение линейных размеров на горизонтальном или вертикальном оптиметрах с настройкой этих приборов по образцовым мерам.

Любые измерения проводят с помощью измерительных инструментов.

По назначению измерительные инструменты подразделяют на специальные и универсальные. Специальные инструменты (калибры-скобы, калибры-пробки и т. п.) предназначены для измерения определенных деталей или даже отдельных параметров деталей. Универсальные инструменты предназначены для измерения широкой номенклатуры деталей различных типоразмеров.

По конструктивным признакам универсальные приборы и инструменты можно разделить на штриховые со шкалой нониуса (штангенинструменты и угломеры), микрометрические (микрометры) и рычажно-механические приборы (индикаторы). Универсальные измерительные инструменты и приборы характеризуются наличием у них шкал с отметками в виде рисок или точек.

Для средств измерения установлены следующие основные метрологические показатели:

- деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы;
- длина деления шкалы (интервал) — расстояние между осями двух соседних отметок шкалы (1 или 0,5 мм);
- цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Например, цена деления микрометрических инструментов составляет 0,01 мм, то есть при повороте барабана от одного штриха до другого относительно продольного штриха стебля микрометра микрометрический винт переместится на 0,01 мм;
- предел измерений — наибольшее и наименьшее значение размера, которые можно отсчитать непосредственно по шкале;
- измерительная сила — сила действия измерительного наконечника на поверхность проверяемой детали в зоне контакта.

Штангенинструменты

Общая характеристика штангенинструментов

Штангенинструментами называют средства измерения линейных размеров, основанные на штанге со шкалой и нониусе (вспомогательной шкале) для отсчета целых и дробных величин цены деления шкалы. К штангенинструментам относятся штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы. Метод измерения размеров штангенинструментами — прямой абсолютный.

Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних размеров и глубин, а также разметочных работ. Штангенциркули изготавливают из нержавеющей инструментальной или конструкционной сталей с последующим хромированием. Твердость измерительных поверхностей 50–60 HRC.

Штангенциркули изготавливают согласно ГОСТ 166–80 со значениями отсчета по нониусу 0,05 и 0,1 мм следующих типов:

ШЦ-I – двусторонний с глубиномером (рис. 4–5.1);

ШЦТ-I – односторонние, оснащенные твердым сплавом;

ШЦ-II – двусторонние (рис. 4–5.2);

ШЦ-III – односторонние (рис. 4–5.3).

Основными частями устройства всех штангенциркулей являются штанга со шкалой, рамка, нониус, зажим рамки.

Штангенглубиномеры (рис. 4–5.4) предназначены для измерения глубины пазов, отверстий, а также высот уступов. Штангенглубиномеры изготавливают согласно ГОСТ 162–80 со значениями отсчета по нониусу 0,1 и 0,05 мм.

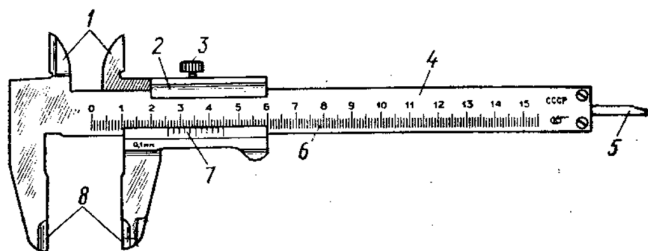


Рис. 4–5.1. Штангенциркуль ШЦ-I: 1 – губка для внутренних измерений; 2 – рамка; 3 – зажим рамки; 4 – штанга; 5 – линейка глубиномера; 6 – шкала штанги; 7 – нониус; 8 – губка для наружных измерений

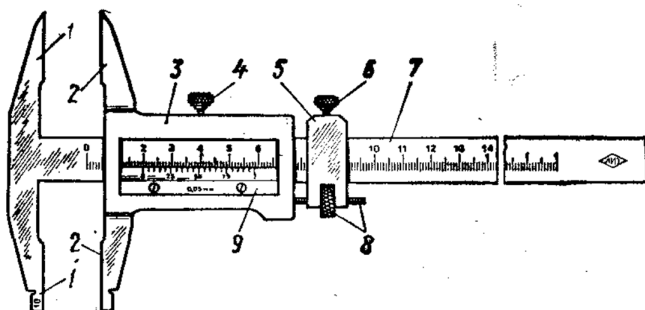


Рис. 4–5.2. Штангенциркуль ШЦ-II: 1 – неподвижные измерительные губки; 2 – подвижные измерительные губки; 3 – рамка; 4 – зажим рамки; 5 – рамка микрометрической подачи; 6 – зажим рамки микрометрической подачи; 7 – штанга; 8 – гайка и винт микрометрической подачи рамки; 9 – нониус

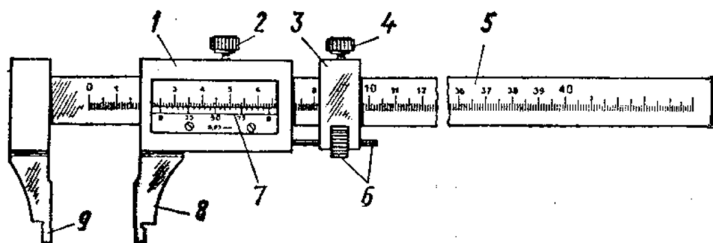


Рис. 4–5.3. Штангенциркуль ШЦ-III: 1 – рамка; 2 – зажим рамки; 3 – рамка микрометрической подачи; 4 – зажим рамки микрометрической подачи; 5 – штанга; 6 – гайка и винт микрометрической подачи рамки; 7 – нониус; 8 – губка рамки; 9 – губка штанги

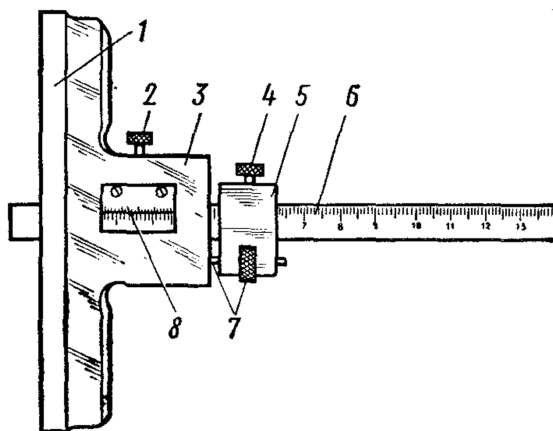


Рис. 4–5.4. Штангенглубиномер: 1 – основание; 2 – зажим рамки; 3 – рамка; 4 – зажим рамки микрометрической подачи; 5 – рамка микрометрической подачи; 6 – штанга; 7 – гайка и винт микрометрической подачи; 8 – нониус

Штангенрейсмасы (рис. 4–5.5) предназначены для измерения высот, уступов и разметки размеров. Штангенрейсмасы изготавливают согласно ГОСТ 164–80 со значениями отсчета по нониусу 0,1 и 0,05 мм.

Основными частями штангенинструментов являются шкала – линейка с делениями 1 мм и перемещающаяся по линейке вспомогательная шкала – нониус с точностью отсчета 0,1 или 0,05. По нониусу отсчитывают десятые и сотые доли миллиметра. Для отсчета с помощью нониуса сначала определяют по основной шкале целое число

миллиметров перед нулевым делением нониуса. Затем добавляют к нему число долей миллиметра по нониусу в соответствии с тем, какой штрих шкалы нониуса ближе к штриху основной шкалы.

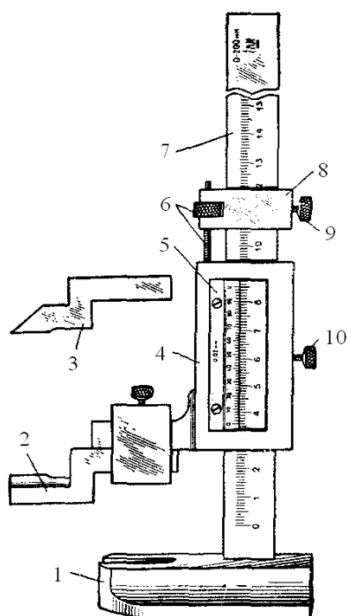


Рис. 4–5.5. Штангенрейсмас: 1 – основание; 2 – измерительная ножка; 3 – разметочная ножка; 4 – рамка; 5 – нониус; 6 – винт и гайка микрометрической подачи; 7 – штанга; 8 – рамка микрометрической подачи; 9 – зажим рамки микрометрической подачи; 10 – зажим рамки

Технические характеристики штангенинструментов, мм

Тип	Пределы измерения	Отсчет по нониусу	Допускаемая погрешность	
			для участка шкалы	при отсчете по нониусу
ШЦ-I	0–125	0,1	0–100	$\pm 0,05$
ШЦ-II	0–160	0,1	0–100	$\pm 0,06$
ШЦ-III	0–200	0,1	100–200	$\pm 0,07$
	0–250	0,05	200–250	$\pm 0,08$
	0–315	0,1	250–300	$\pm 0,08$
	0–400	0,1	300–400	$\pm 0,09$
	0–500	0,1	400–1000	$\pm 0,10$

Тип	Пределы измерения	Отсчет по нониусу	Допускаемая погрешность	
			для участка шкалы	при отсчете по нониусу
ШГ	0–400	0,05	0–400	$\pm 0,05$
ШР	0–250	0,05	0–630	$\pm 0,005$

Измерение размеров штангенциркулями

Перед началом измерений проводят проверку нулевого положения штангенциркуля, плотно сдвинув его губки. При отсутствии просвета между губками для наружных измерений или при небольшом (до 0,015 мм) просвете нулевые штрихи нониуса и штанги должны совпадать.

При измерении штангенциркулями измерительные поверхности губок доводят до соприкосновения с проверяемой поверхностью, проверяя при этом правильность их положения (отсутствие перекоса и нормальность усилия при перемещении), закрепляют рамку и считывают показания.

Целое число миллиметров у штангенинструментов отсчитывается по шкале штанги слева направо до нулевого штриха нониуса (рис. 4–5.6).



Рис. 4–5.6. Отсчет по нониусу целых миллиметров.
Количество целых миллиметров равно 42

Величина отсчета у инструментов с нониусом равна частному от деления основного деления шкалы на количество делений нониуса. При цене деления основной шкалы 1 мм и количестве делений нониуса 10 величина отсчета равна 0,1 мм; при цене деления основной шкалы 1 мм и количестве делений нониуса 20 величина отсчета равна 0,05 мм; если бы количество делений нониуса было равно 50, то величина отсчета составляла бы 0,02 мм.

У штангенинструментов с величиной отсчета по нониусу 0,1 мм нониус длиной 19 мм разделен на 10 частей (рис. 4–5.7).

Одно деление нониуса составляет $19 : 10 = 1,9$ мм, что на 0,1 мм меньше целого числа миллиметров.

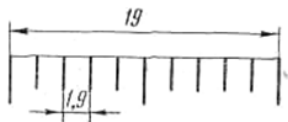


Рис. 4–5.7. Нониус с величиной отсчета 0,1 мм

При чтении показаний на штангенинструментах с таким нониусом дробную величину (количество десятых долей миллиметров) определяют умножением величины отсчета (0,1 мм) на порядковый номер штриха нониуса (не считая нулевого), совпадающего со штрихом штанги (рис. 4–5.8).

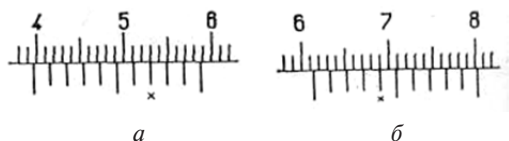


Рис. 4–5.8. Примеры отсчета по нониусу (совпадающие штрихи нониуса и штанги отмечены крестиком): $a - 39 + 0,1 \times 7 = 39,7$ мм;
 $б - 31 + 0,1 \times 4 = 31,4$ мм

При чтении показаний на штангенинструментах с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм целое число миллиметров отсчитывают слева направо до нулевого штриха нониуса. Затем находят штрих нониуса, совпадающий со штрихом шкалы штанги. После этого к ближайшей слева цифре нониуса (25, 50 или 75), отмеченной длинным штрихом и обозначающей сотые доли миллиметра, прибавляют результат умножения величины отсчета на порядковый номер короткого штриха нониуса, совпадающего со штрихом штанги, считая его от найденного длинного оцифрованного штриха. Если же со штрихом штанги совпадает длинный оцифрованный штрих нониуса, то ограничиваются прибавлением указанной около него величины к целому числу миллиметров.

Примеры чтения показаний на штангенинструментах с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм приведены на рис. 4–5.9.

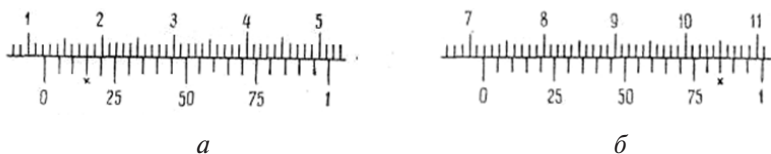


Рис. 4–5.9. Примеры отсчета по нониусу
(совпадающие штрихи нониуса и штанги отмечены крестиком):
 $a - 12 + 0,05 \times 3 = 12,15 \text{ мм}$; $b - 71 + 0,75 + 0,05 \times 2 = 71,85 \text{ мм}$

Микрометрические инструменты

Общая характеристика микрометрических инструментов

К микрометрическим инструментам относятся микрометры (рис. 4–5.10), микрометрические глубиномеры (ГМ, рис. 4–5.11), нутромеры (НМ) и рычажные микрометры (рис. 4–5.12), которые предназначены для измерения наружных и внутренних размеров, высот уступов и глубин прямым абсолютным методом.

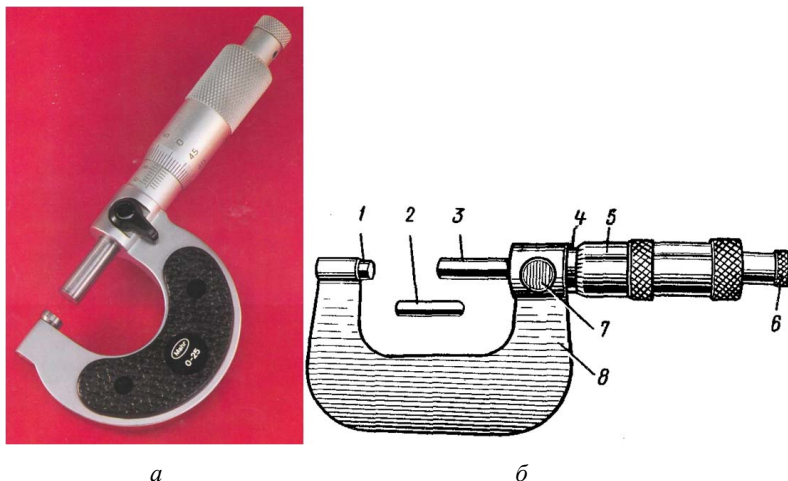


Рис. 4–5.10. Микрометр гладкий с диапазоном измерения 0–25 мм (а); с установочной мерой (б): 1 – пятка, 2 – установочная мера, 3 – микрометрический винт, 4 – стержень, 5 – барабан, 6 – трещотка, 7 – стопор, 8 – скоба

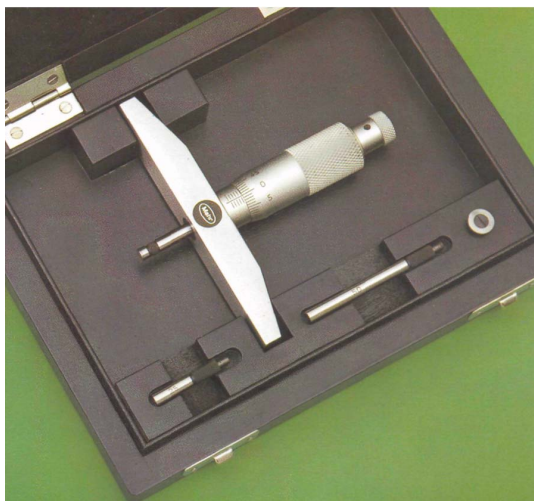


Рис. 4–5.11. Микрометрический глубиномер

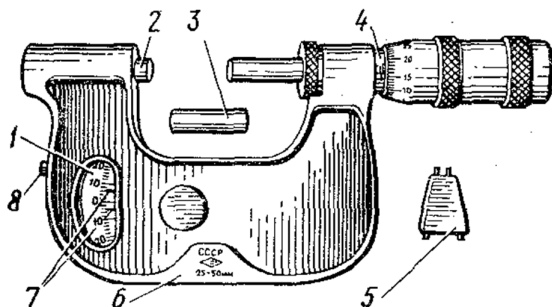


Рис. 4–5.12. Микрометр рычажный: 1 – шкала; 2 – подвижная пятка; 3 – установочная мера; 4 – микрометрическая головка; 5 – ключ; 6 – скоба; 7 – указатели пределов поля допуска; 8 – кнопка отвода подвижной пятки

Принцип действия этих инструментов основан на использовании винтовой пары (винт-гайка) для преобразования вращательного движения микровинта в поступательное движение. Цена деления микрометрических инструментов 0,01 мм. Они выпускаются следующих типов: МК – гладкие; МЛ – листовые; МТ – трубные; МЗ – зубомерные; МП – для проволоки; МВП – для мягких материалов; МВМ – резьбовые; МГ и МВ – горизонтальные и вертикальные настольного типа; мод. 19005 – с цифровым электронным отсчетом.

Гладкий микрометр типа МК (см. рис. 4–5.10) имеет скобу, с одной стороны которой запрессована неподвижная пятка, а с другой стороны — микрометрическая головка, состоящая из стебля и барабанов в сборе с микровинтом и механизмом трещотки. Закрепление микровинта в требуемом положении осуществляется зажимным винтом. Отсчетное устройство микрометра состоит из двух шкал: продольной и круговой. Продольная шкала имеет два ряда штрихов, расположенных по обе стороны горизонтальной линии на стебле и сдвинутых один относительно другого на 0,5 мм. Круговая шкала расположена на барабане и имеет 50 делений. По продольной шкале отсчитывают целые миллиметры и полумиллиметры, по круговой шкале — десятые и сотые доли миллиметра.

Технические характеристики микрометрических приборов, мм

Тип	Цена деления	Диапазон измерения	Погрешность прибора	
			I класс точности	II класс точности
МК	0,01	0–25; 25–50; 50–70; 70–100	$\pm 0,002$ $\pm 0,0025$	$\pm 0,004$ $\pm 0,004$
МВП	0,01	0–25	$\pm 0,005$	$\pm 0,005$
МВМ МВТ	0,01	0–25; 25–50; 50–75; 75–100	$\pm 0,004$	$\pm 0,004$
ГМ	0,01	0–25	$\pm 0,002$	$\pm 0,004$
НМ	0,01	50–75	$\pm 0,002$	$\pm 0,004$

Измерение размеров микрометрами

Перед началом измерений проводят проверку нулевого положения микрометра. При соприкосновении измерительных поверхностей микрометра с измерительными поверхностями установочной меры или непосредственно между собой (при пределах измерения 0–25 мм) нулевой штрих барабана должен совпадать с продольным штрихом стебля, а скос барабана должен открывать нулевой штрих стебля.

При измерении диаметральных размеров микрометр берут левой рукой за скобу, а правой рукой вращают микровинт за трещот-

ку против часовой стрелки (на себя) до появления на шкале стебля штриха, показывающего размер несколько больший, чем предстоит измерить. Избегая перекоса детали, охватывают измерительными поверхностями микрометра цилиндрическую поверхность вала в диаметральном сечении и вращают микровинт за трещотку по часовой стрелке (от себя) до соприкосновения измерительных поверхностей с деталью. Нормальное усилие измерения определяют по двум-трем щелчкам трещотки, после чего микровинт стопорят и считывают показания.

Целое число миллиметров и половину миллиметра отсчитывают краем скола барабана по шкале стебля. Сотые доли миллиметра определяют по порядковому номеру штриха барабана, совпадающего с продольным штрихом стебля.

Скос на барабане для шкалы сотых долей миллиметра приближает ее к шкале стебля и тем предохраняет от искажений при чтении показаний (параллакса).

Полная величина показания $l_m = l_{ст} + l_б$, где $l_{ст}$ — показания по шкале стебля; $l_б$ — показания по шкале барабана (рис. 4–5.13).

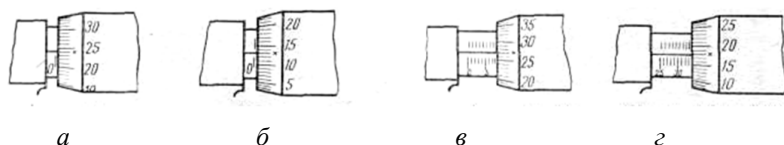


Рис. 4–5.13. Чтение показаний по микрометру:
 $a - 0,24$ мм; $б - 0,5 + 0,13 = 0,63$ мм; $в - 8 + 0,27 = 8,27$ мм;
 $г - 33 + 0,5 + 0,18 = 33,68$ мм

Порядок выполнения работы

Измерение детали штангенциркулем

1. Запишите в отчет (схему отчета см. в методических материалах) основные технические данные штангенциркуля.
2. Ознакомьтесь с деталью и ее чертежом. Выполните в отчете эскиз детали (см. методические материалы).
3. Тщательно протрите чистой тканью измеряемую поверхность детали и измерительные поверхности штангенциркуля.

4. Измерьте штангенциркулем диаметры в местах, указанных на чертеже детали, и запишите их в отчете.
5. Сделайте заключение о годности детали. Деталь признается годной, если действительные размеры диаметров, измеренные во всех сечениях, не выходят за пределы предельных размеров по чертежу детали.
6. Приведите инструмент в порядок и уложите в футляр.

Измерение детали микрометром

1. Запишите в отчете основные технические данные микрометра.
2. Ознакомьтесь с деталью и ее чертежом, выполните эскиз (см. методические материалы).
3. Протрите измеряемые поверхности вала и измерительные поверхности инструмента.
4. Проверьте устанавливаемость микрометра на ноль.
5. Проведите измерения, снимите показания микрометра.

Внимание! Измерительные поверхности микрометра нельзя приводить в контакт между собой или с поверхностями измеряемых изделий, вращая микровинт за барабан или головку микрометра, так как в этом случае создаются большие давления, получаются неверные результаты и портится самая важная и дорогостоящая деталь микрометра — микровинт.

6. Сделайте заключение о годности детали (изобразите графически поле допуска).
7. Приведите микрометр в порядок и уложите его в футляр.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Штангенциркули ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III (ГОСТ 166—80).
3. Микрометры МК (ГОСТ 6507—78).
4. Детали для контроля.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.

2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Схема отчета по лабораторным работам 4, 5

Контроль размеров деталей штангенинструментами и микрометрическими инструментами.

1. Цель работы.
2. Инструменты и принадлежности.
3. Ход работы.

3.1. Температура окружающей среды $T =$ _____

3.2. Измерение деталей штангенциркулем

типа _____

заводской № _____

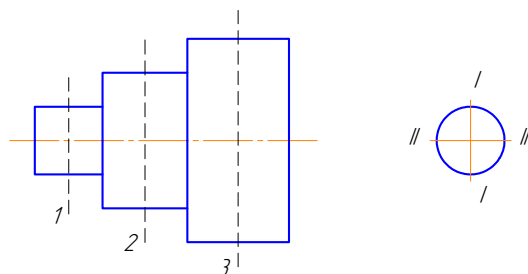
цена деления основной шкалы _____

предел измерения _____

цена деления нониуса _____

погрешность измерения _____

3.2.1. Эскиз детали № _____ и схема измерения.



3.2.2. Результаты измерений штангенциркулем.

Размеры измерений, мм						Заключение о годности
Сечения, перпендикулярные к оси						
1		2		3		
Направления						
I	II	I	II	I	II	

4. Измерения деталей микрометром

типа _____

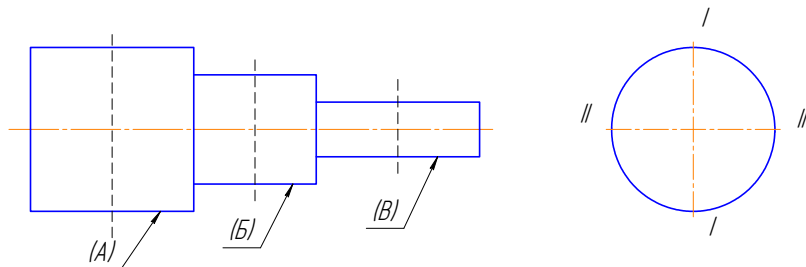
заводской № _____

цена деления _____

предел измерения _____

погрешность измерения _____

4.1. Эскиз детали № _____ и схема измерения.

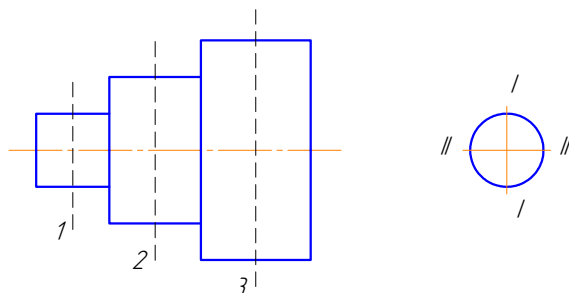


4.2. Результаты измерения микрометром.

Обозначение поверхности	Результаты измерений, мм						Заключение о годности
	Сечения, перпендикулярные к оси						
	1		2		3		
	Направления						
	I—I	II—II	I—I	II—II	I—I	II—II	
А							
Б							
В							

5. Вывод: построить графическое изображение полей допусков для измеренных диаметров и дать заключение о годности детали в целом.

Детали для измерения штангенциркулем

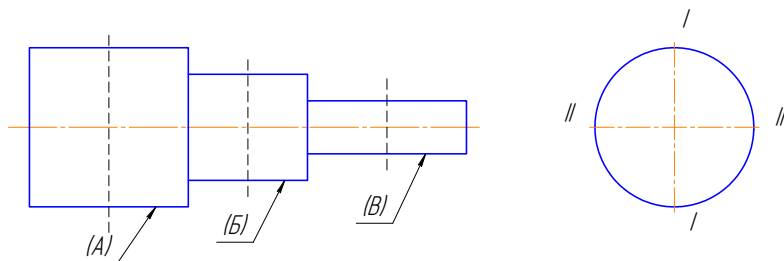


Размеры по вариантам

Вариант	Размер 1	Размер 2	Размер 3
1	Ø25f8	Ø40c11	Ø50h9
2	Ø30x9	Ø60f9	Ø50h9
3	Ø10u9	Ø20b11	Ø25d9
4	Ø30d8	Ø60h9	Ø60f9
5	Ø12,5h9	Ø25h10	Ø25d9
6	Ø30d9	Ø60h10	Ø60h9
7	Ø45d9	Ø70h10	Ø90x8

Вариант	Размер 1	Размер 2	Размер 3
8	Ø45u9	Ø70h11	Ø90u9
9	Ø20b11	Ø40c10	Ø50h9
10	Ø10x8	Ø25h10	Ø35d9

Детали для измерения микрометром



Размеры по вариантам

Вариант	d_1 (поверхность А)	d_2 (поверхность Б)	d_3 (поверхность В)
1	Ø28c11	Ø20b12	Ø15h11
2	Ø21b11	Ø17b12	Ø15a11
3	Ø48d11	Ø40h12	Ø22c11
4	Ø40b12	Ø22c11	Ø20b11
5	Ø40b12	Ø20b12	Ø14h10
6	Ø20a11	Ø12b11	Ø6b12
7	Ø28h11	Ø22c11	Ø18h9
8	Ø50h9	Ø35b9	Ø22c10
9	Ø60h10	Ø40b12	Ø22c11
10	Ø60h9	Ø48d10	Ø28c11

Контрольные вопросы

1. Из каких основных частей состоит штангенциркуль?
2. Какие инструменты относятся к штангенинструментам?
3. Каковы основные причины возникновения погрешностей при измерении?
4. Каковы метрологические показатели штангенциркуля?
5. Как производится отсчет по нониусу?
6. Из каких основных частей состоит микрометр?
7. Как проверяют микрометр перед началом измерений?
8. Каковы метрологические показатели микрометра?
9. Какие инструменты относятся к микрометрическим инструментам?
10. Как производят отсчет при измерении микрометром?

Рекомендуемая литература

1. Белкин, И. М. Средства линейно-угловых измерений : справочник / И. М. Белкин. — Москва : Машиностроение, 1987. — 367 с. — (Серия справочников для рабочих).
2. Берков, В. И. Технические измерения : (альбом) : учеб. пособие / В. И. Берков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 1983. — 143 с. — (Профессионально-техническое образование).
3. Ганевский, Г. М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учебник / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. — Москва : Академия, 1998. — 288 с. — (Профессиональное образование).
4. Козловский, Н. С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения : учебник для техникумов / Н. С. Козловский, А. Н. Виноградов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1982. — 287 с.
5. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебник для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1987. — 352 с.
6. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 6

Контроль калибра-пробки с помощью оптических измерительных приборов

Цель работы: ознакомиться с методикой оценки пригодности предельных калибров-скоб и калибров-пробок; научиться определять годность калибра-пробки с помощью оптиметра.

Основные понятия

Контроль размеров с помощью калибров

Предельные калибры широко применяются в машиностроении для контроля деталей в условиях крупносерийного и массового производства. В процессе использования калибры изнашиваются и теряют необходимые размеры. Важный элемент обеспечения надежности контроля деталей предельными калибрами — получение периодической информации об их действительных размерах.

Важную роль в технических измерениях играют используемые при их осуществлении технические средства, которые имеют нормированные метрологические свойства и называются средствами измерения.

Средства измерения общего назначения можно разделить на три основные группы: меры, калибры, универсальные приборы и инструменты.

Мера представляет собой средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. К ним относятся концевые и угловые меры.

Калибры представляют собой тела и устройства, предназначенные для нахождения в заданных границах размеров, взаимного расположения поверхностей и формы деталей.

Измерительный прибор — это устройство, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателям.

Наиболее распространенными контрольными инструментами в машиностроении являются калибры, которые служат для контроля:

— функциональных размеров, влияющих на взаимодействие деталей и узлов;

- монтажных размеров, влияющих на сборку и установку сменных деталей;
- вспомогательных размеров, необходимых для установки в приспособлениях и при контроле.

Различают два типа калибров: предельные и нормальные. Предельные калибры контролируют нижние и верхние предельные размеры деталей и имеют две стороны: проходную и непроходную. Деталь считается годной, если проходная сторона калибра «проходит», а непроходная «не проходит».

Нормальные калибры применяются значительно реже. К ним относятся различные виды шаблонов. О годности детали судят по величине зазора между контурами детали и шаблона.

При конструировании предельных калибров должен выполняться принцип Тейлора, согласно которому проходной калибр является прототипом сопрягаемой детали и контролирует размер по всей длине соединения с учетом погрешностей формы. Непроходной калибр должен контролировать только собственно размер детали и поэтому имеет малую длину для устранения влияния погрешностей формы.

Калибры для гладких цилиндрических изделий

По назначению предельные калибры для контроля годности цилиндрических деталей разделяются на рабочие и приемные.

Рабочие калибры (проходной ПР и непроходной НЕ) предназначены для контроля изделий в процессе изготовления непосредственно на рабочих местах рабочими и контролерами.

Калибры, которыми пользуются представители заказчика, а также отдела технического контроля, называются приемными. Приемные калибры, как правило, специально не изготавливаются, а выбираются из изношенных рабочих.

Для контроля валов применяются главным образом калибры-скобы, хотя для строгого соблюдения принципа Тейлора необходимо использовать кольца. Это связано с тем, что при контроле валов кольцами необходимо каждый раз снимать вал с позиции обработки (с центров станка).

Скобы бывают односторонними и двухсторонними, однопредельными и двухпредельными. В целях экономии металла и времени контроля предпочтительной является конструкция односторонней двухпредельной скобы.

Контроль отверстий производится калибрами-пробками. Калибры-пробки состоят из вставок (насадок), которые являются рабочими элементами, и ручек.

В зависимости от размеров контролируемого отверстия встречаются различные конструкции калибров-пробок (односторонняя, двухсторонняя, неполная пробка, регулируемая и т. д.).

Калибры должны обладать значительной износостойкостью и изготавливаются из закаленных хромистых сталей. Оснащение рабочих поверхностей калибров твердым сплавом повышает их износостойкость до 40 раз.

Непроходная вставка согласно принципу Тейлора должна быть значительно короче проходной.

Допуски предельных калибров

Номинальные размеры калибров соответствуют предельным размерам контролируемой детали. С точки зрения невозможности появления негодных деталей нужно, чтобы допуски калибров не выходили за пределы допуска детали. Выполнение этого требования приводило бы к сокращению допусков на изделие, что всегда удорожает изготовление последнего. Стандартом приняты схемы, в соответствии с которыми поля допусков калибров частично перекрываются с полями допусков изделий (рис. 6.1).

Для настройки измерительных приборов и составления заключения о годности калибров необходимо:

- 1) построить схему расположения полей допусков калибров, используя маркировку полученных для контроля калибров и руководствуясь рис. 6.1, с проставлением численного значения предельных отклонений;
- 2) произвести измерение калибров на соответствующем приборе;
- 3) сделать выводы о пригодности калибра. При этом могут быть следующие варианты: калибр годен, брак неисправимый, брак исправимый.

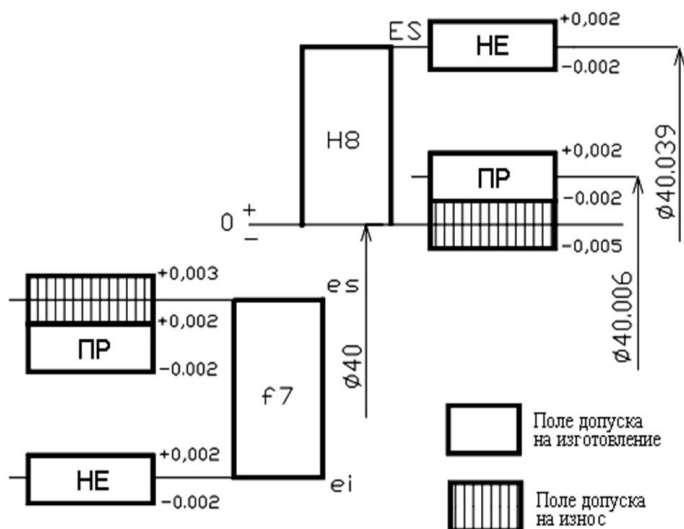


Рис. 6.1. Расположение полей допусков предельных калибров

Измерение действительных размеров калибров

Выбор измерительного средства осуществляется общим методом по допускаемой погрешности измерения. Подсчеты показывают, что для измерений калибров пригодны оптические приборы с ценой деления в 1 мкм.

Для измерения калибров-скоб во многих случаях используют горизонтальные оптиметры, а для калибров-пробок — вертикальные.

В конструкции оптиметров используется принцип автоколлимации — свойство объектива превращать пучок расходящихся лучей от точечного источника света, расположенного в фокусе объектива, в пучок параллельных лучей, который после отражения плоским зеркалом собирается в том же фокусе объектива.

В трубке оптиметра (рис. 6.2) лучи света от источника направляются зеркалом 1 и призмой 2 на шкалу. Шкала и указатель нанесены на стеклянную пластину 3, расположенную в фокальной плоскости объектива 5 по разные стороны относительно главной оптической оси.

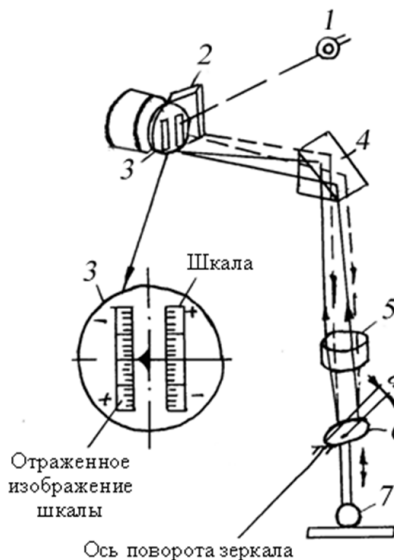


Рис. 6.2. Оптическая схема оптиметра

Пройдя шкалу, луч попадает на призму 4 и далее проходит через объектив 5. Выйдя из объектива, луч отражается от зеркала 6 и возвращается в фокальную плоскость объектива, неся изображение шкалы со смещением в горизонтальной плоскости относительно главной оптической оси. Смещение нужно для того, чтобы наблюдать изображение шкалы отдельно от самой шкалы. Это отраженное изображение шкалы будет смещаться и в вертикальном направлении относительно неподвижного указателя. Величина этого смещения зависит от угла поворота зеркала 6, а значит, от перемещения измерительного стержня 7, связанного с зеркалом.

В оптиметре используется принцип оптического рычага: малым плечом рычага является расстояние a от точки опоры зеркала 6 до измерительного стержня 7, большим — фокусное расстояние объектива 5.

Предел измерения оптиметра ± 100 мкм. Все виды оптиметров предназначены для измерений относительным методом.

Контроль калибра-пробки производится на вертикальном оптиметре. Оптиметр настраивается с помощью блока концевых мер

на соответствующий номинальный размер. Измерение производится в средней части измерительной поверхности калибра в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Порядок выполнения работы

1. Получить калибры для контроля.
2. Подробно ознакомиться с теоретическим материалом к данной лабораторной работе.
3. Ознакомиться с конструкцией оптиметра ОВО-1.
4. Настроить оптиметр на ноль согласно расчетным размерам калибра с помощью концевых мер.
5. Измерить калибр-пробку на оптиметре в трех сечениях, перпендикулярных к оси, и в двух направлениях (рис. 6.3).

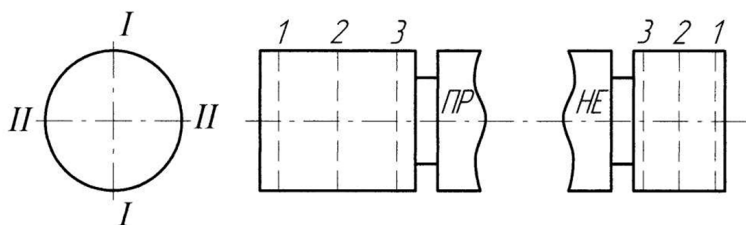


Рис. 6.3. Эскиз калибра с обозначением сечений

6. Результаты измерений занести в протокол отчета (содержание отчета представлено в табл. 6.1), сравнивая действительные, то есть полученные путем измерений, размеры проходной и непроходной сторон калибра с допустимыми предельными размерами по ГОСТу.
7. Дать заключение о годности детали «Калибр», изобразить графически поле допуска.
8. Составить отчет по работе, в который должны быть включены результаты измерений, схема полей допусков на калибры, схема измерений калибра-пробки и заключение о годности калибра.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.
3. Оптиметр ОВО-1.
4. Калибры-пробки для контроля.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 6.1

Протокол отчета

Сторона калибра	Размеры блока из концевых мер	Направления	Показания прибора при измерении калибра (отклонения), мкм			Действительные размеры калибра, мм		
			Сечения			Сечения		
			1	2	3	1	2	3
Проходная		I						
		II						
Непроходная		I						
		II						
Графическое изображение поля допуска								

Размеры новых и изношенных калибров

№	Номинальный размер	Исполнительные размеры новых калибров		Размеры изношенного ПР
		ПР	НЕ	
1	$\varnothing 50H7^{(+0,025)}$	$50,0035 \pm 0,002$	$50,025 \pm 0,002$	49,997
2	$\varnothing 38H7^{(+0,025)}$	$38,0035 \pm 0,002$	$38,025 \pm 0,002$	37,997
3	$\varnothing 35H7^{(+0,025)}$	$35,0035 \pm 0,002$	$35,025 \pm 0,002$	34,997
4	$\varnothing 26H7^{(+0,021)}$	$26,003 \pm 0,002$	$26,021 \pm 0,002$	25,997
5	$\varnothing 23H7^{(+0,021)}$	$23,003 \pm 0,002$	$23,021 \pm 0,002$	22,997
6	$\varnothing 16H7^{(+0,018)}$	$16,0025 \pm 0,00015$	$16,018 \pm 0,0015$	15,998
7	$\varnothing 14H7^{(+0,018)}$	$14,0025 \pm 0,00015$	$14,018 \pm 0,0015$	13,998
8	$\varnothing 12H7^{(+0,0018)}$	$12,0025 \pm 0,0015$	$12,018 \pm 0,0015$	11,998
9	$\varnothing 27H9^{(+0,052)}$	$27,052 \pm 0,002$	$27,052 \pm 0,002$	27,000
10	$\varnothing 32H9^{(+0,062)}$	$32,011 \pm 0,002$	$32,062 \pm 0,002$	32,000
11	$\varnothing 38H9^{(+0,062)}$	$38,011 \pm 0,002$	$38,062 \pm 0,002$	38,000
12	$\varnothing 40H9^{(+0,062)}$	$40,011 \pm 0,002$	$40,062 \pm 0,002$	40,000

Контрольные вопросы

1. В чем разница между мерами и калибрами?
2. Что контролируют предельные калибры?
3. При каких условиях деталь, контролируемая предельными калибрами, считается годной?
4. Что означает принцип Тейлора?
5. Что контролируют проходная и непроходная стороны калибров?
6. Объясните ход лучей в трубке оптиметра.
7. Что такое оптический рычаг?
8. Каковы пределы измерения оптиметров по шкале в целом?
9. Какова цена деления шкалы оптиметра?

Рекомендуемая литература

1. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений : Федеральный закон № 102-ФЗ : (с изменениями на 11 июня 2021 года года) : принят Государственной Думой 11 июня 2008 года : одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт] / АО «Кодекс». — URL: docs.cntd.ru/document/902107146 (дата обращения: 15.04.2022).
2. Кузнецов, В. А. Основы метрологии : [учеб. пособие для вузов по направлению «Приборостроение»] / В. А. Кузнецов, Г. В. Ялунина ; под ред. В. А. Кузнецова. — Москва : Издательство стандартов, 1995. — 279 с. — ISBN 5-7050-0438-9.
3. ISO 10012:2003. Системы менеджмента измерений. Требования к измерительным процессам и измерительному оборудованию : международный стандарт : отменяет и заменяет ISO 10012-1:1992, ISO 10012-2:1997 / подготовлен Техническим комитетом ISO/TK 176 «Менеджмент качества и обеспечение качества», Подкомитетом ПК 3 «Поддерживающие технологии» ; пер. Л. М. Разумова. — Москва : Стандартиформ, 2006. — VI, 25 с.
4. Козловский, Н. С. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения : учебник для техникумов / Н. С. Козловский, А. Н. Виноградов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1982. — 287 с.
5. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 7

Выбор универсальных измерительных средств

Цель работы: ознакомиться с методикой выбора измерительных средств в зависимости от точности и величины измеряемого размера.

Принцип выбора измерительных средств

Одним из основных принципов выбора измерительных средств является выбор такого измерительного средства, измерение которым обеспечивает достаточно высокую точность по сравнению с заданной точностью изготовления измеряемых деталей. При этом необходимо всегда помнить, что любое измерение сопровождается погрешностью, а точные измерения отличаются от менее точных лишь меньшей величиной этой погрешности.

Важным исходным фактором при выборе измерительного средства является предел допускаемой погрешности средства измерений.

Пределом допускаемой погрешности средства измерений называется наибольшая (без учета знака) погрешность средства измерений, при котором это средство измерения может быть признано годным и допущено к применению. Допускаемая погрешность средства измерений включает в себя как случайные, так и неучтенные систематические погрешности измерения (погрешности установочных мер, температурных деформаций, базирования, шероховатости поверхности и т. д.). Величина допускаемой погрешности средства измерений назначается в зависимости от допуска на измеряемый размер детали. Поскольку любое измерение сопровождается погрешностью, то это неизбежно приводит к тому, что часть годных деталей оказывается забракованной, а часть негодных деталей оказывается принятой в числе годных. Фактором, учитывающим это обстоятельство, является относительная погрешность измерения, которая определяется отношением среднеквадратического отклонения допускаемой погрешности средства измерений к заданному на измеряемый размер допуску.

$$A_{\min} = \frac{\sigma}{Td} \cdot 100 \%, \quad (7.1)$$

где $\sigma = \frac{\delta}{6}$ — среднее квадратическое отклонение допускаемой погрешности измерения; δ — предел допускаемой погрешности средства измерения в мкм; Td — заданный допуск на измеряемый размер детали.

При измерении размеров партии деталей, зная величину относительной погрешности измерения, можно предугадать (см. методические материалы, табл. 7.2), какая часть годных деталей окажется забракованной и какая часть негодных деталей окажется в числе принятых годными.

Порядок выполнения работы

1. Получить вариант работы (см. методические материалы, табл. 7.1).
2. Вычертить протокол отчета (пример оформления протокола дан в методических материалах).
3. Вычертить эскиз детали и проставить указанные в заданном варианте размеры.
4. Размеры, проставленные на эскизе, занести в 1-ю строку протокола.
5. Подсчитать предельные размеры детали. Заполнить соответственно вторую и третью строки протокола.
6. Подсчитать величины допусков (в мкм) на каждый размер детали: $Td = d_{\text{нб}} - d_{\text{нм}}$. Заполнить четвертую строку протокола.
7. В зависимости от номинального размера и качества по табл. 7.4 (см. методические материалы) определить предел допускаемой погрешности средства измерений для каждого размера. Заполнить пятую строку протокола.
8. По табл. 7.3 (см. методические материалы) подобрать подходящее измерительное средство для каждого размера и указать в строке 6 протокола типы выбранных средств измерений. При этом следует учесть, что погрешность измерения выбранного средства не должна превышать допускаемую погрешность средства измерений для заданной точности размера.
9. Получить необходимые средства измерений и наборы концевых мер длины.

10. Произвести (не менее 3 раз) измерение каждого из размеров. В строке 7 протокола записать среднеарифметические результаты этих измерений.
11. В строке 8 протокола дать заключение о годности детали по каждому размеру: годная, брак неисправимый, брак исправимый.
12. Подсчитать относительную погрешность измерения в процентах для каждого размера: $A_{\min} = \frac{\sigma}{Td} \cdot 100 \%$. Заполнить девятую строку протокола.
13. Зная величину относительной погрешности измерения, определить по табл. 7.2 (для партии деталей), какая часть негодных деталей окажется в числе годных деталей и какая часть годных деталей может оказаться забракованной. Результаты записать в 10-ю и 11-ю строки протокола соответственно.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.
3. Оптиметр ОВО-1.
4. Штангенциркули.
5. Микрометры.
6. Головки рычажные — зубчатые индикаторы.
7. Индикаторы.
8. Калибры-пробки для контроля.

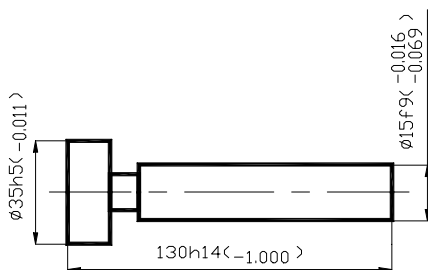
Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.

5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Протокол отчета (пример)



№ п/п	Наименование показателей	l	d_1	d_2
1	Размеры детали, заданные по чертежу, мм	130h14	Ø15f9	Ø35h5
2	Наибольший предельный размер, мм $d_{\text{нб}} = d + es$	130	Ø14,984	Ø35
3	Наименьший предельный размер, мм $d_{\text{нм}} = d + ei$	129	Ø14,931	Ø34,989
4	Допуск на размер, мкм $Td = d_{\text{нб}} - d_{\text{нм}}$	1000	53	11
5	Предел допускаемой погрешности средства измерений $\delta_{\text{изм}}$, мкм	200	10	4

№ п/п	Наименование показателей	l	d_1	d_2
6	Условное обозначение измерительного средства, мкм	ШЦ-01	ИЧ	2
7	Результаты измерений, мм	129,5	Ø14,92	Ø35,012
8	Заключение о годности детали	Годна	Брак неисправ.	Брак исправ.
9	Относительная погрешность измерения $A_{\min} = \frac{\sigma}{Td} \cdot 100 \%$	3,3	3,2	6,3
10	Неправильно принятые детали, %	0,4	0,4	1,0
11	Неправильно забракованные детали, %	0,6	0,6	1,3

Таблица 7.1

Варианты выполнения лабораторной работы 7

№ п/п	Размеры детали, мм		
	l	d_1	d_2
1	90h12($_{-0,350}$)	14x8($^{+0,067}_{+0,040}$)	28n7($^{+0,036}_{+0,015}$)
2	95b12($^{+0,220}_{-0,570}$)	15e9($^{+0,032}_{-0,075}$)	30m6($^{+0,021}_{+0,008}$)
3	100h12($_{-0,350}$)	16h10($_{-0,070}$)	32n6($^{+0,033}_{+0,017}$)
4	105b12($^{+0,240}_{-0,590}$)	16,5h8($_{-0,027}$)	33k6($^{+0,018}_{+0,002}$)
5	110h12($_{-0,350}$)	17d9($^{+0,050}_{-0,093}$)	34js6($^{+0,008}_{-0,008}$)
6	120b12($^{+0,240}_{-0,590}$)	18d9($^{+0,050}_{-0,093}$)	35h5($_{-0,011}$)
7	125h13($_{-0,630}$)	19h8($_{-0,033}$)	36q5($^{+0,009}_{-0,002}$)
8	130h14($_{-1,000}$)	15z8($^{+0,087}_{+0,060}$)	28k5($^{+0,011}_{+0,002}$)
9	135h15($_{-1,600}$)	16h10($_{-0,070}$)	30js5($^{+0,0045}_{-0,0045}$)
10	140h16($_{-2,500}$)	17d9($^{+0,050}_{-0,093}$)	32m6($^{+0,025}_{+0,009}$)
11	150h14($_{-1,000}$)	18d9($^{+0,050}_{-0,093}$)	34n6($^{+0,033}_{+0,017}$)

Окончание табл. 7.1

№ п/п	Размеры детали, мм		
	l	d_1	d_2
12	160h15($_{-1,600}$)	19h8($_{-0,033}$)	35k6($^{+0,018}_{+0,002}$)
13	210h12($_{-0,840}^{+0,380}$)	20h10($_{-0,084}$)	36n5($^{+0,028}_{+0,017}$)
14	180h12($_{-0,400}$)	21u8($^{+0,074}_{+0,041}$)	38h5($_{-0,011}$)
15	190h12($_{-0,460}$)	18d9($_{-0,093}^{-0,050}$)	34q5($_{-0,020}^{-0,009}$)
16	200h12($_{-0,460}$)	19h8($_{-0,033}$)	35m6($^{+0,020}_{+0,009}$)

Таблица 7.2

Относительная погрешность измерения

№ п/п	Относительная погрешность измерения в % от допуска $A_{\min} = \frac{\sigma}{Td} \cdot 100\%$	Неправильно принятые детали в % от числа проверенных	Неправильно забракованные детали в % от числа проверенных
1	До 5	0,4	0,6
2	5–10	1,0	1,3
3	10–15	1,5	2,0
4	15–20	2,0	2,8
5	20–25	2,5	3,5
6	25–30	3,0	4,5
7	30–35	3,5	5,5
8	35–40	4,0	6,0
9	40–45	4,5	7,0
10	45–50	5,0	8,0

Таблица 7.3

Предельные погрешности измерения длин

Наименование измерительных средств	Тип прибора	Разряд (класс) концовых мер длины	Предельные погрешности измерения ($\pm$) в мкм для размеров					
			10–30 мм	30–50 мм	50–80 мм	80–120 мм	120–180 мм	180–260 мм
Штангенциркули – измерения наружных размеров. С отчетом по нониусу: а) 0,05 мм; б) 0,1 мм	ШЦ	–	80	80	90	100	100	100
		–	150	150	160	170	190	200
Микрометры: рычажные, гладкие	МР МК	5(2)	3,5	6,5	9,0	14	18	26
			5,5	7,5	9,5	14	18	26
Скобы: рычажные, индикаторные	СР	5(2)	2,5	4,5	7,5	20	–	–
	СИ	5(3)	11	11	12	13	14	30
Головки рычажные – зубчатые и индикаторы	1МКМ	5(2)	2,0	2,5	3,5	6,0	8,5	12
	2МКМ	5(2)	2,5	3,0	4,0	6,0	9,0	12,5
	ИЧ	5(4)	9,5	9,5	10	11	13	16
Головки измерительные пружинные (микрокаторы)	1ИГП	5(2)	1,8	2,5	3,5	6,0	8,5	–
	5ИГП	5(3)	4,5	4,5	5,5	7,0	9,5	–

Пределы допустимых погрешностей измерений в мкм для допусков по системе допусков и посадок ИСО
(выдержки из ГОСТ 8.549—86)

Квали- теты ИСО	Допуск и предел допу- скаемой погреш- ности, мкм	Номинальный размер, мм												
		св. 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
2	<i>Td</i> изд.	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	δ изм.	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	1	1,4	1,7	2,4	2,8	3	3,5
3	<i>Td</i> изд.	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	δ изм.	0,7	0,8	0,8	1	1,4	1,4	1,7	2	2,8	3,5	4	4,5	5
4	<i>Td</i> изд.	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	δ изм.	1	1,4	1,4	1,7	2	2,4	2,8	3,5	4,0	4,5	5,5	6	7
5	<i>Td</i> изд.	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	δ изм.	1,4	1,4	2	2,8	3	4	4,5	5	6	7	8	9	9
6	<i>Td</i> изд.	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
	δ изм.	1,8	2,5	2,5	3	4	4,5	5,5	6	7	9	10	10	12
7	<i>Td</i> изд.	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	δ изм.	3	3,5	4,5	5,5	6	7	9	10	12	13	15	17	19
8	<i>Td</i> изд.	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
	δ изм.	3,5	4,5	5,5	7	8	10	12	13	16	18	20	20	25

Ква- ли- теты ИСО	Допуск и предел допу- скаемой погреш- ности, мкм	Номинальный размер, мм												
		св. 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
9	<i>Td</i> изд.	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
	δ изм.	6	7	9	10	13	15	18	20	25	25	30	35	35
10	<i>Td</i> изд.	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
	δ изм.	8	10	12	14	15	20	20	25	30	35	40	45	50
11	<i>Td</i> изд.	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
	δ изм.	12	15	18	20	25	30	40	40	50	60	60	70	80
12	<i>Td</i> изд.	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
	δ изм.	20	20	30	35	40	50	60	70	80	90	100	100	120
13	<i>Td</i> изд.	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
	δ изд.	30	35	40	60	70	80	90	100	120	140	150	170	200
14	<i>Td</i> изд.	250	300	300	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
	δ изд.	50	60	72	80	100	120	150	170	200	200	250	250	300
15	<i>Td</i> изд.	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
	δ изд.	80	100	100	150	150	200	250	250	300	350	400	450	500
16	<i>Td</i> изд.	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
	δ изд.	120	150	200	200	250	300	400	400	500	600	600	700	800

Контрольные вопросы

1. Что называется пределом допускаемой погрешности средства измерений?
2. Как определяется величина относительной погрешности измерения?
3. Как нормируется величина относительной погрешности измерения?
4. Что можно предугадать, зная величину относительной погрешности измерения?
5. Какие основные виды погрешностей включает в себя допускаемая погрешность средства измерений?

Рекомендуемая литература

1. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений : Федеральный закон № 102-ФЗ : (с изменениями на 11 июня 2021 года) : принят Государственной Думой 11 июня 2008 года : одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт] / АО «Кодекс». — URL: docs.cntd.ru/document/902107146 (дата обращения: 15.04.2022).
2. Кузнецов, В. А. Основы метрологии : [учеб. пособие для вузов по направлению «Приборостроение»] / В. А. Кузнецов, Г. В. Ялунина ; под ред. В. А. Кузнецова. — Москва : Издательство стандартов, 1995. — 279 с. — ISBN 5-7050-0438-9.
3. Крылова, Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии = Standardization certification metrology essentials : учебник для студентов вузов / Г. Д. Крылова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ЮНИТИ, 1999. — 711 с. — ISBN 5-238-00106-1.
4. ISO 10012:2003. Системы менеджмента измерений. Требования к измерительным процессам и измерительному оборудованию : международный стандарт : отменяет и заменяет ISO 10012-1:1992, ISO 10012-2:1997 / подготовлен Техническим комитетом ISO/TK 176 «Менеджмент качества и обеспечение качества», Подкомитетом ПК 3 «Поддерживающие технологии» ; пер. Л. М. Разумова. — Москва : Стандартинформ, 2006. — VI, 25 с.

Лабораторная работа 8

Расчет и построение полей допусков предельных калибров

Цель работы: ознакомиться с методикой расчета; построить поля допусков предельных калибров.

Основные положения

Допуски и расположение рабочих и контрольных калибров регламентированы стандартом «Калибры гладкие для размеров до 50 мм». Для контроля отверстий применяются калибры-пробки, а для контроля вала — калибры-скобы. С конструкциями калибров следует ознакомиться в справочнике [4]. По назначению калибры делятся на рабочие, приёмные и контрольные (контркалибры).

Рабочие калибры (проходной Р-ПР, непроходной Р-НЕ) предназначены для контроля размеров деталей в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются на рабочих местах.

Приёмными калибрами П-ПР и П-НЕ пользуется представитель заказчика при выборочном инспекционном контроле деталей.

Контрольные калибры К-ПР и К-НЕ и К-И предназначены для контроля размеров рабочих калибров-скоб. Контроль рабочих калибров-скоб производится универсальными измерительными средствами. При построении схемы полей допусков калибров (рис. 8.1) необходимо знать, что номинальными размерами, от которых откладываются отклонения, для калибров служат предельные размеры деталей. Следовательно, для проходного калибра-пробки отклонения откладываются от наименьшего предельного размера отверстия, а для непроходного калибра-пробки — от наибольшего предельного размера. Для калибра-скобы размеры проходной стороны от наименьшего размера вала, а непроходной — наибольшего размера вала. Поле допуска проходного калибра состоит из двух частей: на изготовление и на износ, поскольку в процессе контроля проходная сторона калибра должна полностью проходить на всю длину контролируемой детали. Для непроходных калибров, изнашивающихся незначительно в процессе контроля, устанавливают лишь допуск на его изготовление.

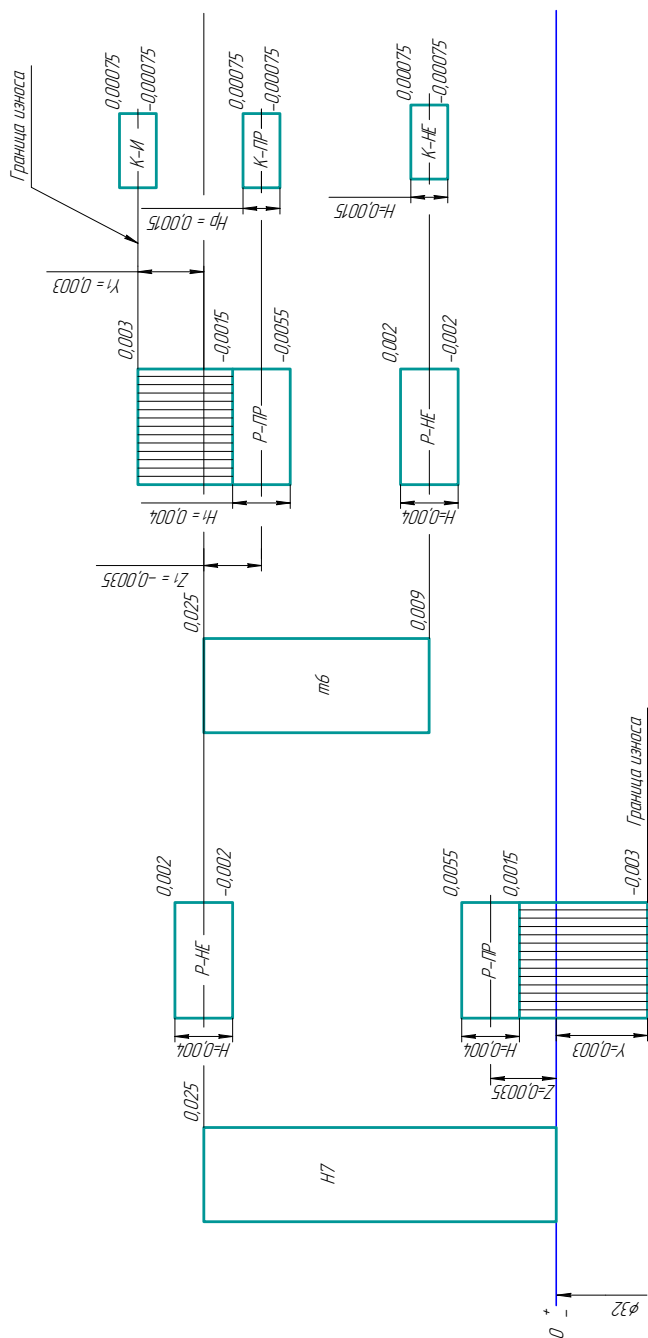


Рис. 8.1. Схема расположения полей и допусков деталей и калибров

При построении полей допусков калибров по таблицам ГОСТ 25347–82 определить отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра: для отверстия (координата Z) относительно наименьшего предельного размера, а для вала (координата Z_1) относительно наибольшего предельного размера. Для отверстия диаметром 32 мм качества $IT7$ $Z = 3,5$ мкм, а для вала того же размера и качества $IT6$ $Z_1 = -3,5$ мкм. Допуски на изготовление калибров Р-ПР и Р-НЕ равны: для калибров-пробок $H = 4$ мкм, а для калибров-скоб $H_1 = 4$ мкм. Значения половин допусков для проходных калибров отложить симметрично относительно осей Z и Z_1 , а для непроходных калибров — относительно наибольшего предельного размера отверстия для пробки и наименьшего предельного размера вала для скобы.

Значения верхнего $ES(es)_k$ и нижнего $EI(ei)_k$ отклонения калибров Р-ПР на изготовление относительно номинальных размеров определяются следующим образом:

$$ES_k = Z_1 + \frac{H_1}{2}; \quad (8.1)$$

$$es_k = Z + \frac{H}{2}; \quad (8.2)$$

$$EI_k = Z_1 - \frac{H}{2}; \quad (8.3)$$

$$ei_k = Z - \frac{H}{2}. \quad (8.4)$$

В рассматриваемом примере (рис. 8.1) они равны: для калибра-пробки $es_k = 3,5 + 2 = 5,5$ мкм, $ei_k = 3,5 - 2 = 1,5$ мкм; для калибра-скобы $ES_k = -3,5 + 2 = 1,5$ мкм, $EI_k = -3,5 - 2 = -5,5$ мкм.

Определим границы износа калибров y и y_1 , которые в данном случае для проходной пробки и скобы соответственно равны: $y = -3$ мкм и $y_1 = 3$ мкм. Величины допусков на износ калибров будут составлять по 4,5 мкм. По таблицам ГОСТ 25347–82 необходимо определить также значение допусков на изготовление калибров К-И и построить поля их допусков, руководствуясь схемой, приведенной в этом стандарте.

Подсчитать исполнительные размеры калибров по формулам, представленным в таблицах стандарта ГОСТ 25347–82. Исполни-

тельным называется размер, проставленный на рабочем чертеже калибра.

Для калибра-пробки:

$$ПР_{\text{исп}} = (d_{\text{min}} + Z) \pm \frac{H}{2} = 32 + 0,0035 \pm 0,002 = 32,0035 \pm 0,002 \text{ мм};$$

$$НЕ_{\text{исп}} = d_{\text{max}} \pm \frac{H}{2} = (d_H + ES) \pm \frac{H}{2} = 32 + 0,025 \pm 0,002 = 32,025 \pm 0,002 \text{ мм}.$$

Для калибра-скобы:

$$\begin{aligned} ПР_{\text{исп}} &= (D_{\text{max}} - Z_1) \pm \frac{H_1}{2} = (d_H + es - Z_1) + \frac{H_1}{2} = \\ &= (32 + 0,25 - 0,0035) \pm 0,002 = 32,0215 \pm 0,002 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$НЕ_{\text{исп}} = D_{\text{min}} \pm \frac{H_1}{2} = (d_H + ei) \pm \frac{H_1}{2} = 32 + 0,009 \pm 0,002 = 32,009 \pm 0,002 \text{ мм}.$$

Для контрольных калибров:

$$К-ПР_{\text{исп}} = 32,0215 \pm 0,00075 \text{ мм};$$

$$К-НЕ_{\text{исп}} = 32,009 \pm 0,00075 \text{ мм};$$

$$К-И_{\text{исп}} = 32,028 \pm 0,00075 \text{ мм}.$$

Порядок выполнения работы

1. Получить вариант для расчета калибров (методические материалы, табл. 8.1).
2. Вычертить эскизы деталей.
3. Определить размеры предельных калибров по формулам (8.1–8.4).
4. Выполнить в масштабе схему расположения полей и допусков деталей и калибров для ваших данных, как показано на рис. 8.1.
5. Оформить отчет (методические материалы, табл. 8.2).

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.

2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, угрожающей рабочему месту посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 8.1

Варианты заданий

№ варианта	Посадка	№ варианта	Посадка	№ варианта	Посадка
1	H7/f7	11	H7/f7	21	H7/f7
2	H7/g6	12	H7/g6	22	H7/g6
3	H7/f7	13	H7/f7	23	H7/f7
4	H7/g6	14	H7/g6	24	H7/g6
5	H8/e8	15	H8/e8	25	H8/e8
6	H8/d8	16	H8/d8	26	H8/d8
7	Js6/g6	17	Js6/g6	27	Js6/g6
8	H6/h6	18	H6/h6	28	H6/h6
9	H7/f7	19	H7/f7	29	H7/f7
10	H9/e9	20	H9/e9	30	H9/e9

Содержание отчёта

Таблица 8.2

Вариант № _____

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
1	Вычертить эскизы деталей	
2	Определить размеры предельных калибров	$ES_k = Z_1 + \frac{H_1}{2}$ $es_k = Z + \frac{H}{2}$ $EI_k = Z_1 - \frac{H}{2}$ $ei_k = Z - \frac{H}{2}$ Для калибра-пробки: $ПР_{исп} = (d_{\min} + Z) \pm \frac{H}{2};$ $НЕ_{исп} = d_{\max} \pm \frac{H}{2} = (d_H + ES) \pm \frac{H}{2}.$ Для калибра-скобы: $ПР_{исп} = (D_{\max} - Z_1) \pm \frac{H_1}{2} = (d_H + es - Z_1) + \frac{H_1}{2};$ $НЕ_{исп} = D_{\min} \pm \frac{H_1}{2} = (d_H + ei) \pm \frac{H_1}{2}.$ Для контрольных калибров: $К-ПР_{исп} = 32,0215 \pm 0,00075 \text{ мм};$ $К-НЕ_{исп} = 32,009 \pm 0,00075 \text{ мм};$ $К-И_{исп} = 32,028 \pm 0,00075 \text{ мм}$
3	Выполнить в масштабе схему расположения полей и допусков деталей и калибров для ваших данных	
4	Вывод	

Контрольные вопросы

1. В чем разница между мерами и калибрами?
2. Что контролируют предельные калибры?
3. При каких условиях деталь, контролируемая предельными калибрами, считается годной?
4. Что контролируют проходная и непроходная стороны калибров?
5. Конструкция и применение калибра-пробки.
6. Конструкция и применение калибра-скобы.

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347–82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. ГОСТ 24851–81. Калибры гладкие для цилиндрических отверстий и валов. Виды : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23 июня 1981 года № 3063 : введен впервые : дата введения 1982-01-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. // Калибры : государственные стандарты. — Изд. официальное. — Москва, 2003. — Ч. 1. — С. 11–16.
3. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.
4. Медовой, И. А. Исполнительные размеры калибров. Справочник. В 2 книгах. Книга 1. Калибры гладкие и шлицевые с прямобочным профилем / И. А. Медовой, Я. Г. Уманский, Н. М. Журавлев. — Москва : Машиностроение, 1980. — 383 с.

5. Медовой, И. А. Исполнительные размеры калибров. Справочник. В 2 книгах. Книга 2. Калибры для трапецеидальной однозаходной и трубной цилиндрической резьб / И. А. Медовой, Ю. И. Дроздова. — Москва : Машиностроение, 1980. — 445 с.

Лабораторная работа 9

Расчет и выбор посадки с зазором

Цель работы: ознакомиться с понятием посадки с зазором; приобрести практические навыки расчета параметров посадки с зазором.

Основные положения

Посадки с зазором применяются в подвижных соединениях в качестве направляющих вращательного (подшипники) и поступательного (поршни, плунжеры и т. д.) движений, а также в неподвижных соединениях — как центрирующие и монтажные. Зазор служит для обеспечения свободы перемещения, размещения слоя смазки, компенсации температурных деформаций, компенсации отклонений формы и т. д. (рис. 9.1).

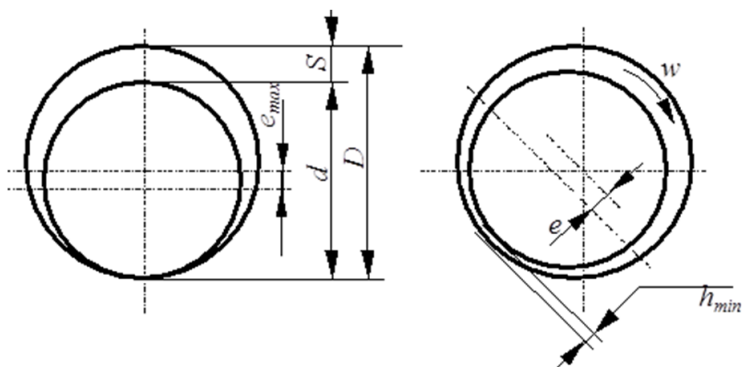


Рис. 9.1. Схема посадки с зазором

В большинстве случаев такие посадки выбираются по аналогии с хорошо зарекомендовавшими себя случаями. Описание случаев применения посадок с зазором дается в справочниках. Ориентируясь на эти данные, конструкторы выбирают рекомендуемую посадку, при этом возможны некоторые коррективы. Например, следует выбирать посадку с несколько большим средним зазором, если предполагается использовать более густую смазку, соединение будет работать при повышенной температуре, будет использоваться большая длина соединения, вал будет устанавливаться более чем

в две опоры. И наоборот: необходимо выбрать сочетание полей допусков, дающих зазор несколько меньше среднего, если планируется использовать более жидкую смазку, соединение будет работать при повышенных вибрациях, к соединению будут предъявляться более жесткие требования к центрированию деталей.

Наибольшим зазором называют разность наибольшего предельного значения отверстия и наименьшего предельного значения вала (отрицательная разность этих размеров указывает на наличие наименьшего натяга).

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}. \quad (9.1)$$

Наименьшим зазором называют разность наименьшего предельного значения отверстия и наибольшего предельного значения вала (отрицательная разность этих размеров указывает на наличие наибольшего натяга).

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}. \quad (9.2)$$

Расчет подвижной посадки

Подвижной называют посадку, в которой гарантировано появление зазора при любом сочетании предельных размеров сопрягаемых деталей. Схема расположения полей допусков подвижной посадки показана на рис. 9.2.

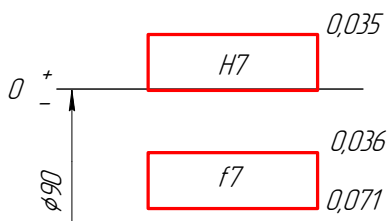


Рис. 9.2. Схема расположения полей допусков подвижной посадки

$$TS = TD + Td = S_{\max} - S_{\min}, \quad (9.3)$$

где TD и Td — допуски отверстия и вала; $S_{\max}$ и $S_{\min}$ — максимальный и минимальный зазоры; TS — допуск посадки.

Для нормального закона распределения размеров отверстия и вала существуют следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} TD &= 6\sigma_D; \\ Td &= 6\sigma_d. \end{aligned} \right\} \quad (9.4)$$

Здесь σ_D и σ_d — средние квадратичные отклонения размеров отверстия и вала.

Расчет посадки производится теоретико-вероятностным методом, для которого среднее квадратичное отклонение распределения зазоров σ_s определяется по формуле

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_D^2}. \quad (9.5)$$

При этом размах рассеивания зазоров

$$R_s = 6\sigma_s. \quad (9.6)$$

Поскольку при $Td = TD$ и с учетом (9.5) и (9.6)

$$R_s = Td\sqrt{2}, \quad (9.7)$$

то оказывается, что $TS > R_s$, и это дает основания расширять допуски сопрягаемых деталей до определенных величин, получаемых при $TS = R_s$. Тогда, имея в виду выражения (9.3) и (9.5), получаем:

$$Td = TD = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{\sqrt{2}}. \quad (9.8)$$

При $TD = 1,6Td$ имеем:

$$Td = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{\sqrt{2,6}}. \quad (9.9)$$

Формула (9.8) справедлива, если вал и отверстие изготовлены по одному квалитету, а (9.9) — если точность вала выше точности отверстия на 1 квалитет. Следовательно, в задании должно быть сделано соответствующее указание.

Число единиц допуска в допуске рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{Td(Td)}{i}, \quad (9.10)$$

где $i = 0,45\sqrt[3]{dm} + 0,001dm$ — единица допуска; $d_m = \sqrt{d_1 d_2}$ — средний размер; d_1 и d_2 — пределы соответствующего стандартного размерного интервала.

Для инженерных расчетов величину a можно также определить следующим образом:

$$a \cong 1,06 \frac{S_{\max} - S_{\min}}{\sqrt[3]{d_m}}. \quad (9.11)$$

По ближайшему меньшему табличному значению a находим квалитет.

Табличные значения коэффициента точности

Квалитет	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17
Значения параметра a	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Согласно рис. 9.2 верхнее отклонение поля допуска вала $|es|$ равно минимальному зазору $S_{\max}$. Исходя из этого можно определить поле допуска вала, выбрав его по таблицам ГОСТ 25347–82.

Пример

Задано: номинальный размер сопряжения $d_H = 90$ мм: максимальный и минимальный зазоры $S_{\max} = 112$ мкм, $S_{\min} = 34$ мкм, сопряжение выполнено в системе отверстия и при этом $Td = TD$. Выбрать посадку.

По формуле (9.9) подсчитываем величину a :

$$a = 1,06 \frac{112 - 34}{\sqrt[3]{80 \cdot 120}} = 18,2.$$

По таблице «Табличные значения коэффициента точности» определяем, что ближайшим меньшим является квалитет $IT7$, для которого $a_{\text{табл}} = 16$.

По таблицам ГОСТ 25347–82 находим, что для $IT7 = 35$ мкм.

По таблицам ГОСТ 25347–82 находим далее, что ближайшим значением $|es|$ к $S_{\min} = 34$ мкм является $|es|_{\text{табл.}} = 36$ мкм. Это соответствует полю допуска вала $f7$. Следовательно, в результате расчета получена посадка $\&90H7/f7$, для которой $S_{\min \text{ табл.}} = 36$ мкм и $S_{\max \text{ табл.}} = 106$ мкм. После расчета посадки следует вычертить схему расположения полей допусков с указанием предельных размеров, зазоров и отклонений (см. рис. 9.2).

Порядок выполнения работы

1. Выбрать вариант работы по табл. 9.1.
2. Провести расчет посадки по формулам (9.1)—(9.11).
3. Вычертить эскиз посадки в масштабе, как показано на рис. 9.2.
4. Подобрать посадку по таблицам ГОСТ 25347—82.
5. Оформить протокол отчета (табл. 9.2).

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, угрожающей рабочему месту посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 9.1

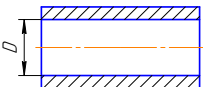
Варианты заданий

№ вари- анта	Вид размера	D , мм	E_s , мкм	E_i , мкм	Вид размера	d , мм	e_s , мкм	e_i , мкм
1	Отверстие	85	+35	+1	Вал	85	-6	-12
2	Отверстие	7	+13	+1	Вал	7	-6	-13
3	Отверстие	15	+17	0	Вал	15	-15	-32
4	Отверстие	2	+10	0	Вал	2	-2	-8
5	Отверстие	5	+17	0	Вал	5	-19	-37
6	Отверстие	12	+26	0	Вал	12	-50	-90
7	Отверстие	20	+7	-7	Вал	20	-7	-20
8	Отверстие	55	+19	0	Вал	55	0	-19
9	Отверстие	40	+17	0	Вал	40	-9	-59
10	Отверстие	8	+29	0	Вал	8	-24	-60
11	Отверстие	85	+35	+1	Вал	85	-6	-12
12	Отверстие	7	+13	+1	Вал	7	-6	-13
13	Отверстие	15	+17	0	Вал	15	-15	-32
14	Отверстие	2	+10	0	Вал	2	-2	-8
15	Отверстие	5	+17	0	Вал	5	-19	-37
16	Отверстие	12	+26	0	Вал	12	-50	-90
17	Отверстие	20	+7	-7	Вал	20	-7	-20
18	Отверстие	55	+19	0	Вал	55	0	-19
19	Отверстие	40	+17	0	Вал	40	-9	-59
20	Отверстие	8	+29	0	Вал	8	-24	-60
21	Отверстие	85	+35	+1	Вал	85	-6	-12
22	Отверстие	7	+13	+1	Вал	7	-6	-13
23	Отверстие	15	+17	0	Вал	15	-15	-32
24	Отверстие	2	+10	0	Вал	2	-2	-8
25	Отверстие	5	+17	0	Вал	5	-19	-37
26	Отверстие	12	+26	0	Вал	12	-50	-90
27	Отверстие	20	+7	-7	Вал	20	-7	-20
28	Отверстие	55	+19	0	Вал	55	0	-19
29	Отверстие	40	+17	0	Вал	40	-9	-59
30	Отверстие	8	+29	0	Вал	8	-24	-60

Содержание отчёта

Таблица 9.2

Вариант № _____

№ п/п	Наименование параметра	Размеры на чертеже	
		отверстия	вала
			
1	Номинальный размер, мм	$D =$	$d =$
2	Верхнее предельное отклонение, мм	$ES =$	$es =$
3	Нижнее предельное отклонение, мм	$EI =$	$ei =$
4	Наибольший предельный размер, мм	$D_{\text{нб}} =$	$d_{\text{нб}} =$
5	Наименьший предельный размер, мм	$D_{\text{нм}} =$	$d_{\text{нм}} =$
6	Допуск размера, мм	$TD =$	$Td =$
7	Номинальный размер сопряжения, мм	$D = d =$	
8	Определение предельных зазоров	$S_{\text{max}} =$ $S_{\text{min}} =$	
9	Графическое изображение полей допусков		

Контрольные вопросы

1. Какие системы посадок существуют?
2. Что означает квалитет?
3. Как обозначается посадка на чертеже?
4. Что называется зазором?
5. Чему равен наибольший зазор?
6. Чему равен наименьший зазор?

7. В каких типах соединений применяются посадки с зазором?
8. Для чего необходимы зазоры в соединениях деталей?
9. Исходя из каких соображений выбираются величины посадки с зазором?
10. Ориентируясь на какие данные, конструкторы выбирают рекомендуемую посадку?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347—82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 10

Расчет и выбор переходной посадки

Цель работы: ознакомиться с понятием переходной посадки; приобрести практические навыки расчета параметров переходной посадки.

Основные положения

Переходные посадки предназначены для неподвижных, но разъемных соединений деталей и обеспечивают хорошее центрирование соединяемых деталей. При выборе переходных посадок необходимо учитывать, что для них характерна возможность получения как натягов, так и зазоров. Натяги, получающиеся в переходных посадках, имеют относительно малую величину и обычно не требуют проверки деталей на прочность, за исключением отдельных тонкостенных деталей. Эти натяги недостаточны для передачи соединением значительных крутящих моментов или усилий. К тому же получение натяга в каждом из собранных соединений не гарантировано. Поэтому переходные посадки применяют дополнительным креплением соединяемых деталей шпонками, штифтами.

Трудоемкость сборки и разборки соединений с переходными посадками, так же как и характер этих посадок, во многом определяется вероятностью (частностью) получения в них натягов и зазоров.

При расчете вероятности натягов и зазоров обычно исходят из нормального распределения натягов размеров деталей при изготовлении. Распределение натягов и зазоров в этом случае также будет подчиняться нормальному закону, а вероятность их получения определяется с помощью интегральной функции.

Наибольшим зазором называют разность наибольшего предельного значения отверстия и наименьшего предельного значения вала (отрицательная разность этих размеров указывает на наличие наименьшего натяга).

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}. \quad (10.1)$$

Наибольшим натягом называют разность наибольшего предельного значения вала и наименьшего предельного значения от-

верстия (отрицательная разность этих размеров указывает на наличие наименьшего зазора).

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}. \quad (10.2)$$

Расчет переходной посадки

Переходные посадки используются для центрирования сопряжений и характеризуются малыми зазорами и натягами, что, как правило, позволяет производить сборку при небольших усилиях (вручную или при помощи молотка).

Выбор переходных посадок определяется требуемыми точностью центрирования и легкостью сборки и разборки сопряжения. Первое из требований определяет максимальный допустимый зазор при заданном предельном значении E_0 радиального биения втулки на валу. Расчетное соотношение имеет вид:

$$S_{\max \text{ расч}} \leq \frac{E_0}{K_T}, \quad (10.3)$$

где $K_T = 2-5$ — коэффициент запаса точности, учитывающий погрешности формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей, их износ и снятие неровностей при переборках.

Степень легкости сборки и разборки сопряжения с переходной посадкой определяется вероятностью P_s получения в ней зазора, которая определяется из соотношения (10.2) в предположении, что рассеяние зазоров (натягов) подчиняется закону нормального распределения:

$$P_s = 0,5\Phi_0(Z_s), \quad (10.4)$$

где $\Phi_0(Z_s)$ — функция Лапласа.

Определим значение $\Phi_0(Z_s) = P_s - 0,5$, а затем по табл. 10.3 (см. методические материалы) вычислим значение аргумента Z_s . Тогда величину минимального расчетного зазора определим [2] по формуле:

$$S_{\min \text{ расч}} = S_{\max \text{ расч}} \frac{Z_s - 3}{Z_s + 3}. \quad (10.5)$$

Пользуясь таблицами ГОСТ 25347–82, следует подобрать посадку так, чтобы удовлетворялись следующие условия:

$$S_{\min \text{ табл}} \leq S_{\max \text{ расч}}; S_{\min \text{ табл}} \leq S_{\min \text{ расч}}. \quad (10.6)$$

Переходные посадки образуются в основном сочетанием полей допусков валов j_s, k, m, n с основными отверстиями или полей допусков отверстий J_s, K, M, N с основными валами. При этом переходные посадки применяются в качествах не грубее $IT8$.

Выбранная посадка должна обеспечивать вероятность получения зазора в пределах заданного (допускается применение посадки, у которой расчетная величина вероятности зазора меньше заданной, но не более чем на 20 %, если за единицу или 100 % принять заданное значение P_s).

Рекомендуемые значения P_s для получения требуемых условий сборки приведены в таблице «Значения вероятности появления зазора P_s ».

Значения вероятности появления зазора P_s

Степень легкости сборки сопряжения	Сборка осуществляется			
	Часто и вручную	Нечасто и с применением молотка	Нечасто и со значительными усилиями	Нечасто и с использованием прессы
Вероятность появления зазора, %	95	60	20	0,5

В первом приближении номер качества можно определить по следующей формуле:

$$IT = 1,23 + 61g \frac{TS}{\sqrt[3]{d_H}}, \quad (10.7)$$

где TS — допуск посадки.

Пример

Требуется подобрать переходную посадку для установки зубчатого колеса на вал при следующих условиях: номинальный диаметр сопряжения $d_H = 32$ мм, степень кинематической точности зубчатого колеса — 9 (радиальное биение $E_0 = 63$ мкм), вероятность получения зазора $P_s = 20$ %. Коэффициент $K_T = 3$.

Максимальный зазор будет равен (10.1):

$$S_{\max \text{ расч}} = \frac{63}{3} = 21 \text{ мкм.}$$

По формуле (10.4) определяем вначале значение функции Лапласа, а затем в методических материалах в табл. 10.3 находим величину аргумента Z_s .

$$\Phi_o(Z_s) = P_s - 0,5 = 0,2 - 0,5 = -0,3; \Phi_o(-Z_s) = -\Phi_o(Z_s), Z_s = -0,841.$$

Величину минимального зазора определяем по формуле (10.5):

$$S_{\min \text{ расч}} = 21 \frac{-0,841 - 3}{-0,841 + 3} \cong -37 \text{ мкм.}$$

Знак «-», полученный при $S_{\min \text{ расч}}$, свидетельствует о том, что это не зазор, а натяг.

$$\text{Находим допуск посадки } TS = S_{\max} - S_{\min} = 21 - (-37) = 58 \text{ мкм.}$$

Далее по формуле (10.7) рассчитываем номер качества:

$$IT = 1,23 + 5 \lg \frac{58}{\sqrt[3]{32}} \cong 7,8.$$

При дробном значении номера IT часто, но не всегда, принимается равноточное сопряжение: качество отверстия выбирается большим, чем качество вала. Рассматриваемому примеру удовлетворяет посадка системы отверстия

$$\phi 32 \frac{H7(+0,025)}{m7(+0,034/+0,009)}.$$

Среднее квадратичное отклонение посадки σ_s определяем по формуле

$$\sigma_s = \frac{1}{6} \sqrt{Td^2 + TD^2} = \frac{1}{6} \sqrt{25^2 + 25^2} = 5,89 \cong 6 \text{ мкм.}$$

Для расчета вероятности распределения зазоров или натягов найдём среднее их значение S_m :

$$S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2} = \frac{16 - 34}{2} = -9 \text{ мкм.}$$

Знак минус указывает на то, что средним является натяг и, следовательно, в собранных сопряжениях будет в основном появляться натяг величиной 9 мкм.

Далее необходимо рассчитать вероятность появления зазоров и натягов в процентах от количества собранных сопряжений.

Находим значение функции Лапласа, имея в виду, что

$$Z_s = -\frac{9}{6} = -1,5 \Phi_o(-1,5) = -0,4357.$$

Для посадки $\phi 32 \frac{H7}{m7}$ находим, что $P_s = 0,5 - 0,4357 = 0,0643$, или 6 % (это вероятность появления зазоров). Таким образом, большинство сопряжений (93,6 %) будет иметь натяг.

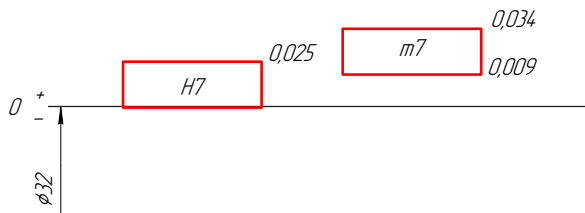


Рис. 10.1. Схема расположения полей допусков переходной посадки

Порядок выполнения работы

1. Выбрать вариант работы по табл. 10.1.
2. Провести расчет посадки по формулам (10.1)–(10.7).
3. Вычертить эскиз посадки в масштабе, как показано на рис. 10.1.
4. Оформить протокол отчета (табл. 10.2.)

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.

5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 10.1

Варианты заданий

№ варианта	Посадка	№ варианта	Посадка	№ варианта	Посадка
1	H7/f7	11	H7/f7	21	H7/f7
2	H7/g6	12	H7/g6	22	H7/g6
3	H7/f7	13	H7/f7	23	H7/f7
4	H7/g6	14	H7/g6	24	H7/g6
5	H8/e8	15	H8/e8	25	H8/e8
6	H8/d8	16	H8/d8	26	H8/d8
7	Js6/g6	17	Js6/g6	27	Js6/g6
8	H6/h6	18	H6/h6	28	H6/h6
9	H7/f7	19	H7/f7	29	H7/f7
10	H9/e9	20	H9/e9	30	H9/e9

Содержание отчёта

Таблица 10.2

Вариант № _____

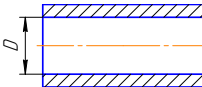
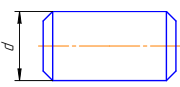
№ п/п	Наименование параметра	Размеры на чертеже	
		отверстия	вала
			
1	Номинальный размер, мм	$D =$	$d =$
2	Верхнее предельное отклонение, мм	$ES =$	$es =$
3	Нижнее предельное отклонение, мм	$EI =$	$ei =$
4	Наибольший предельный размер, мм	$D_{\text{нб}} =$	$d_{\text{нб}} =$
5	Наименьший предельный размер, мм	$D_{\text{нм}} =$	$d_{\text{нм}} =$
6	Допуск размера, мм	$TD =$	$Td =$
7	Номинальный размер сопряжения, мм	$D = d =$	
8	Определение предельных зазоров	$S_{\text{max}} =$ $N_{\text{max}} =$	
9	Графическое изображение полей допусков		

Таблица 10.3

Значения нормированной функции нормального распределения $\phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0,2	0793	0832	0871	0909	0948	0987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1555	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	1915	1950	1985	2019	2045	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	3413	3438	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3683	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706

Окончание табл. 10.3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4798	4798	4803	4808	4812	4817
2,1	4821	4826	4830	4734	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4865	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936
2,5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4979	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4985	4985	4986	4986	4986
3,0	9865	9869	9874	9878	9882	9886	9889	9893	9896	9900
3,1	9903	9906	9909	9912	9916	9918	9921	9924	9926	9929
3,2	9931	9934	9936	9938	9940	9942	9944	9946	9948	9950
3,3	9952	9954	9955	9957	9958	9960	9961	9962	9964	9965
3,4	9966	9968	9969	9970	9971	9972	9973	9974	9975	9976
3,5	7674	7759	7842	7922	7999	8074	8146	8215	8282	8347

Примечание. Значение 0 для $\phi(z)$ опущено, а для $z = 3,0 \div 3,49$ опущено 0,4 (помешены десятичные значения, начиная со второго знака после запятой).

Пример: $t = 3,25$; $\phi(z) = 0,49942$. Для $z \geq 3,50$ опущено 0,499.

Контрольные вопросы

1. Какие системы посадок существуют?
2. Что означает квалитет?
3. Как обозначается посадка на чертеже?
4. Что называется переходной посадкой?
5. Чему равен наибольший зазор?
6. Чему равен наибольший натяг?
7. В каких типах соединений применяются переходные посадки?
8. Для чего необходимы переходные посадки в соединениях деталей?
9. Исходя из каких соображений выбираются величины переходных посадок?
10. Когда конструкторы выбирают рекомендуемую переходную посадку, на какие данные они ориентируются?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347–82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 11

Расчет параметров посадки и выбор посадки с натягом

Цель работы: ознакомиться с понятием посадки с натягом; приобрести практические навыки расчета параметров посадки с натягом.

Основные положения

Посадки с натягом предназначены для получения неподвижных неразъемных соединений и нашли широкое применение в машиностроении. Это объясняется простотой конструкции соединения. Относительная неподвижность деталей обеспечивается силами трения, возникающими на контактирующих поверхностях вследствие их деформации, создаваемой натягом при сборке соединения. На прочность соединения с натягом оказывают влияние различные факторы, среди которых можно выделить следующие:

- размеры геометрических параметров деталей и соединения: диаметр, длина соединения, точность геометрической формы деталей и параметры шероховатости, величина натяга;
- физико-механические свойства материалов соединяемых деталей (модуль упругости, предел текучести, коэффициент Пуассона, релаксация напряжений, коэффициент линейного расширения материала детали);
- условия нагружения (величина передаваемых усилий, моментов, скорость вращения и масса вращающихся деталей);
- технология сборки соединения (условия запрессовки, усилие запрессовки, скорость запрессовки, форма фасок соединяемых деталей). По способу сборки различают цилиндрические соединения с натягом, собираемые запрессовкой и с нагревом охватывающей или охлаждением охватываемой детали.

Надежность соединения, собираемого с нагревом или охлаждением, примерно в 1,5 раза выше, чем у соединения, собираемого запрессовкой, так как при запрессовке неровности контактных поверхностей деталей частично срезаются и сглаживаются, что ослабляет прочность соединения. Значение натяга и соответственно вид посадки соединения с натягом определяются в зависимости от тре-

буемого давления на посадочной поверхности соединяемых деталей. Давление p (рис. 11.1) должно быть таким, чтобы силы трения, возникающие на посадочной поверхности соединения, полностью противодействовали внешним силам, действующим на детали соединения (осевой силой P , крутящим моментом $M_{кр}$).

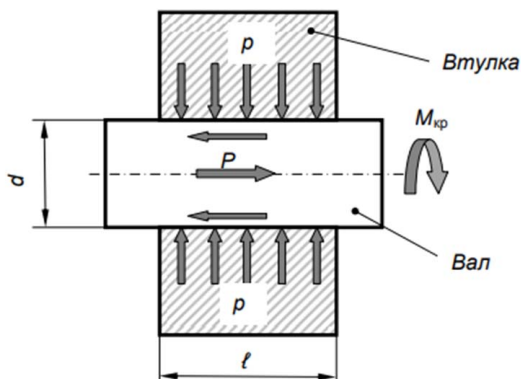


Рис. 11.1. Соединение деталей с натягом

Для заданных материалов и размеров соединяемых деталей натяг зависит от минимального давления $p_{\min}$, которое определяют из условия обеспечения неподвижности соединяемых деталей при эксплуатации, то есть из условия прочности соединения 1. Для исключения относительного смещения деталей в соединении при нагружении максимальной осевой силой P необходимо, чтобы расчетное усилие не превышало сил трения, возникающих на поверхности. При нагружении соединения максимальным крутящим моментом $M_{кр}$ это условие имеет вид:

$$P_{\min} \geq \frac{2 \cdot M_{кр}}{f \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l}, \quad (11.1)$$

где $M_{кр}$ — максимальное значение крутящего момента, Н · м; d — диаметр вала, мм; l — длина соединения, мм; f — коэффициент трения.

Данные для определения минимального давления приведены в методических материалах в табл. 11.1, согласно варианту.

В процессе запрессовки неровности на поверхностях деталей (шероховатость) сминаются, и в соединении создается меньший

натяг, поэтому следует расчетный $N_{\min}$ расч увеличить на значение поправки U , мкм:

$$U = 0,8 \cdot (R_{zD} + R_{zd}), \quad (11.2)$$

где R_{zD} и R_{zd} — параметры шероховатости — сумма средних арифметических абсолютных значений высот пяти наибольших выступов и глубин пяти наибольших впадин профиля поверхностей отверстия и втулки, мкм.

Значение минимального расчетного натяга определяется по формуле:

$$N_{\min F} = P_{\min} \cdot d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right) + 0,8(R_{zD} + R_{zd}), \quad (11.3)$$

где E_D и E_d — модули упругости материалов; C_D и C_d — коэффициенты определяют по формуле (11.4).

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2} + \mu_D; \quad (11.4)$$

$$C_d = 1 - \mu_d,$$

где μ_d — коэффициент Пуассона.

Визуально это можно представить в виде рис. 11.2.

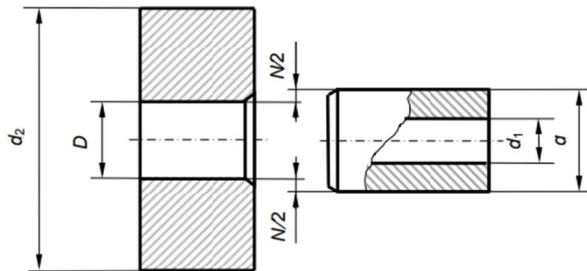


Рис. 11.2. Соединение вала и втулки с натягом

Для заданных материалов и размеров соединяемых деталей максимальный натяг $N_{\max}$ зависит от максимального давления $P_{\max}$, которое определяют из условия прочности сопрягаемых деталей. В качестве $P_{\max}$ берется меньшее из значений давления $P_{\text{доп}}$, которое рассчитывается по формулам:

Для втулки

$$P_{\text{доп}} = 0,58 \cdot \sigma_{T,D} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right]. \quad (11.5)$$

Для вала

$$P_{\text{доп}} = 0,58 \cdot \sigma_{T,d}, \quad (11.6)$$

где σ_D и σ_d — предел текучести материала, Н · м².

Тогда максимальный натяг N_{max} определим по формуле:

$$N_{\text{max } F} = P_{\text{max}} \cdot d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right). \quad (11.7)$$

Имея полученные расчетом значения $N_{\text{max } F}$ и $N_{\text{min } F}$, необходимо подобрать посадку в соответствии с ГОСТ 25346—2013. Значения натягов, определенных по ГОСТ (N_{max} и N_{min}), должны отвечать условию:

$$N_{\text{max}} \leq N_{\text{max } F}; N_{\text{min}} \geq N_{\text{min } F}. \quad (11.8)$$

Для этого выполняют следующее:

а) рассчитывают разброс посадки (расчетный допуск натяга) ITN_F :

$$ITN_F = N_{\text{max } F} - N_{\text{min } F};$$

б) подбирают (по табл. 11.2) числовые значения допусков отверстия (ITD) и вала (ITd) таким образом, чтобы сумма этих допусков не превышала расчетный допуск натяга:

$$ITD + ITd \leq ITN_F;$$

в) подбирают (по табл. 11.3 и 11.4) числовые значения основных (нижних или верхних) отклонений отверстия и вала (EI или ES — для отверстия, ei или es — для вала);

г) рассчитывают вторые (неосновные) отклонения отверстия и вала если основным отклонением является:

— нижнее отклонение $EI(ei)$, то второе отклонение

$$ES(es) = EI(ei) + ITD(ITD);$$

— верхнее отклонение $ES(es)$, то второе отклонение

$$EI(ei) = ES(es) - ITD(ITD);$$

д) проверяют правильность подбора числовых значений основных отклонений отверстия и вала и расчета вторых (неосновных) отклонений на соблюдение неравенств:

$$N_{\text{max}} = es - EI \leq N_{\text{max } F}; N_{\text{min}} = ei - ES \geq N_{\text{min } F}. \quad (11.9)$$

Посадку желательно выбирать в системе «отверстия» (то есть принимать $EI = 0$), но в случае необходимости (невозможности подбора или получения посадок слишком большой точности изготовления — точнее 5-го квалитета) следует применять систему «вала» или использовать «внесистемную» посадку.

Расчет неподвижной посадки

Неподвижная (с гарантированным натягом) посадка считается годной, если при неподвижном натяге гарантируется неподвижность сопряжения, а при максимальном — прочность соединяемых деталей. При этих условиях сопряжение будет передавать заданную нагрузку (крутящий момент или осевую силу, либо то и другое), а детали будут выдерживать без разрушения напряжения, вызванные натягом. Сопряжение с неподвижной посадкой показано на рис. 11.3.

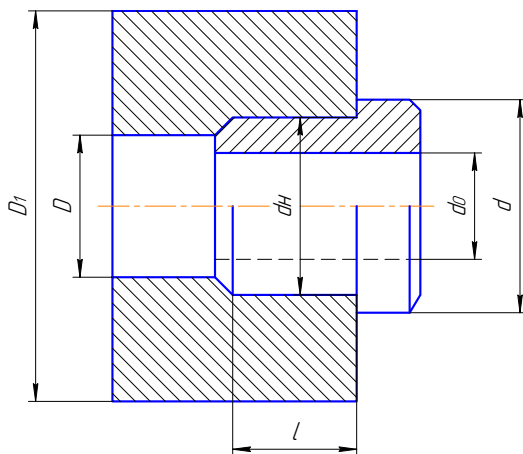


Рис. 11.3. Сопряжение вала и втулки, дающее посадку с натягом

Минимальный расчетный натяг $N_{\min \text{ расч}}$ определяется так:

$$N_{\min \text{ расч}} = P_{\min} c_0 d_H, \quad (11.10)$$

где $P_{\min}$ — минимальное давление, возникающее на контактной поверхности вала и втулки; d_H — номинальный (рис. 11.4) размер сопряжения; c_0 — коэффициент, определяемый по формуле:

$$c_0 = \frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d}, \quad (11.11)$$

где E_D и E_d — соответственно модули-упругости материалов втулки и вала; C_D и C_d — коэффициенты, рассчитываемые по формулам:

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d_H}{D_1}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_H}{D_1}\right)^2} + \mu_D; \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_0}{d_H}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_0}{d_H}\right)^2} - \mu_d, \quad (11.12)$$

где d_H , d_0 , D_1 — геометрические размеры деталей сопряжения (рис. 11.3); μ_D и μ_d — соответственно коэффициенты Пуассона для материалов втулки и вала.

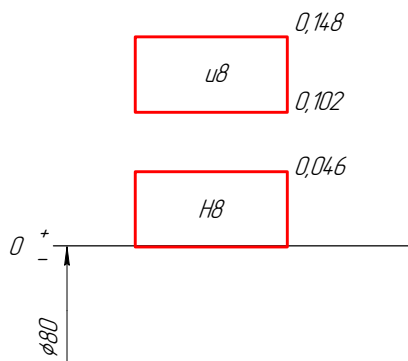


Рис. 11.4. Схема расположения полей допусков посадки с натягом

Значение модулей упругости и коэффициентов Пуассона можно брать из приведенной ниже таблицы.

Значение модулей упругости и коэффициентов Пуассона

Материал	Модуль упругости E , Па	Коэффициент Пуассона
Сталь	$2,1 \cdot 10^{11}$	0,30
Чугун	$0,9 \cdot 10^{11}$	0,25
Бронза	$1,12 \cdot 10^{11}$	0,33
Латунь	$1,05 \cdot 10^{11}$	0,33

Минимальное давление рассчитывается следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} P_{\min} &= \frac{2M_{\text{кр}}}{\pi d_H^2 l f}; \\ P_{\min} &= \frac{Q}{\pi d_H l f}; \\ P_{\min} &= \frac{T}{\pi d_H l f^2}; \\ T &= \sqrt{\left(\frac{2M_{\text{кр}}}{d_H}\right)^2 + Q_2}, \end{aligned} \right\} \quad (11.13)$$

где f, f_1, f_2 — коэффициенты трения, возникающие на контактной поверхности (в первом приближении их можно принимать равными); l — длина запрессовки (рис. 11.3).

Указанные три разновидности формулы (11.11) предназначены для расчёта $P_{\min}$ при нагружении сопряжения соответственно крутящим моментом, осевой силой, а также тем и другим совместно.

Максимальный расчётный натяг $N_{\text{max расч}}$ находится так:

$$N_{\text{max расч}} = P_{\text{доп}} c_0 d_H, \quad (11.14)$$

где допустимое значение $P_{\text{доп}}$ находится, исходя из требования к прочности сопрягаемых деталей. Опыт показывает, что обычно лимитирующей деталью является втулка (отверстие). Тогда величину $P_{\text{доп}}$ можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{доп}} \leq 0,58 \sigma_T^D \left[1 - \left(\frac{d_H}{D_1} \right)^2 \right]. \quad (11.15)$$

Проверку прочности вала можно (если это необходимо) выполнить по формуле

$$P_{\text{доп}} \leq 0,58 \sigma_T^d \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_H} \right)^2 \right]. \quad (11.16)$$

В формулах (11.13) и (11.14) σ_T^D и σ_T^d — соответственно пределы текучести материалов втулки и вала. Значения σ_T для некоторых конструкционных материалов даны ниже в таблице.

Значение σ_T для различных материалов

Марка материала	σ_T , Па	Марка материала	σ_T , Па	Марка материала	σ_T , Па
Сталь 20	$274 \cdot 10^6$	Бронза ОФ10-1	$140 \cdot 10^6$	Латунь ЛКС80-3-3	$140 \cdot 10^6$
Сталь 30	$294 \cdot 10^6$	Бронза ОЦ10-2	$180 \cdot 10^6$	Латунь ЛН56-3	$160 \cdot 10^6$
Сталь 35	$314 \cdot 10^6$	Бронза ОФ05-0,4	$240 \cdot 10^6$	Латунь ЛК80-3	$200 \cdot 10^6$
Сталь 40	$333 \cdot 10^6$	Бронза БрАНц9-2	$300 \cdot 10^6$	Латунь Л050-1	$420 \cdot 10^6$
Сталь 45	$353 \cdot 10^6$	Бронза БрЖ9-4	$350 \cdot 10^6$	Латунь Л059-1	$450 \cdot 10^6$
Чугун Сч28-48	$275 \cdot 10^6$	Бронза БрХО5	$400 \cdot 10^6$	Латунь Л0562-2	$500 \cdot 10^6$
Бронза БрОЦ4-3	$65 \cdot 10^6$	Латунь Л090-1	$85 \cdot 10^6$	Латунь Л060-1	$560 \cdot 10^6$
Бронза БрОСЦ5-5-5	$100 \cdot 10^6$	Латунь Л62	$110 \cdot 10^6$	Латунь Л070-1	$600 \cdot 10^6$

Для нахождения табличных натягов $N_{\min \text{ табл}}$ и $N_{\max \text{ табл}}$ следует воспользоваться следующими выражениями:

$$N_{\min \text{ табл}} = [N_{\min \text{ расч}} + K_1 + K_2] K_3; \quad (11.17)$$

$$N_{\max \text{ табл}} = [N_{\max \text{ расч}} + K_1 + K_2] K_3; \quad (11.18)$$

где K_1 , K_2 , K_3 — поправочные коэффициенты.

Поправочный коэффициент K_1 зависит от шероховатости сопрягаемых поверхностей вала (R_{zd}) и втулки (R_{zd}): $K_1 = 2K(R_{zd} + R_{zd})$.

В свою очередь, поправочный коэффициент K находится по следующей таблице.

Значения коэффициента K для различных методов сборки

Метод сборки сопряжения	Коэффициент K
Механическая запрессовка без смазки	$0,25 \div 0,50$
То же со смазкой	$0,20 \div 0,35$
С нагревом втулки	$0,40 \div 0,50$
С охлаждением вала	$0,60 \div 0,70$

Поправочный коэффициент K_2 учитывает действие центробежных сил, снижающих прочность сопряжения, и составляет $1 \div 4$ мкм, если $d_H \leq 500$ мкм, скорость вращения узла не более 30 м/с [3].

Поправочный коэффициент K_3 зависит от изменения контактного давления в связи с ростом отношения l / d_H и выбирается по следующей таблице.

Значение коэффициента

Отношение l / d_H	Отношение диаметров d_0 / d_H		
	0÷0,2	0,3÷0,7	0,8÷0,9
0,2	0,46÷0,52	0,42÷0,45	0,57÷0,62
0,4	0,73÷0,76	0,75÷0,80	0,80÷0,84
0,6	0,82÷0,85	0,84÷0,87	0,86÷0,90
0,8	0,84÷0,86	0,86÷0,88	0,87÷0,93
1,0	0,86÷0,88	0,88÷0,91	0,90÷0,95

Пример

Рассчитать и выбрать посадку в системе отверстия для установки червячного колеса на ступицу. Номинальный диаметр сопряжения $d_H = 80$ мм; длина сопряжения $l = 30$ мм; отношение $l / d_H = 0,375$; материал ступицы — сталь 45; материал червячного колеса (обода) — бронза ОЦ1–1; высота микронеровностей $R_{zd} = 8,0$ мкм и $R_{zd} = 10,0$ мкм; наружный диаметр колеса $D_1 = 120$ мм; диаметр отверстия на валу (ступица) $d_0 = 35$ мм; прессование производится на прессе со смазкой; коэффициент трения $f = 0,1$; крутящий момент, передаваемый сопряжением, $M_{кр} = 4 \cdot 10^2$ Н · м; скорость вращения 2 м/с. По приведенным выше таблицам подбираем необходимые значения параметров и поправочных коэффициентов: $E_d = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па; $E_D = 1,12 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu_d = 0,3$; $\mu_D = 0,33$; $\sigma_T^d = 353 \cdot 10^6$ Па; $\sigma_T^D = 180 \cdot 10^6$ Па; $K_1 = 0,30$; $K_2 = 2$ мкм; $K_3 = 0,80$.

Подсчитываем значения коэффициентов C_d , C_D и C_0 :

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{80}{120}\right)^2}{1 - \left(\frac{80}{120}\right)^2} + 0,33 = 2,92; \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{35}{80}\right)^2}{1 - \left(\frac{35}{80}\right)^2} - 0,30 = 1,17;$$

$$C_0 = \frac{2,95}{1,12 \cdot 10^{11}} + \frac{1,17}{2,1 \cdot 10^{11}} = 3,17 \cdot 10^{-11} \text{ 1/Па.}$$

Находим величину $N_{\min \text{ расч}}$:

$$N_{\min \text{ расч}} = \frac{10^9 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 80 \cdot 3,17 \cdot 10^{-11}}{\pi \cdot 80^2 \cdot 30 \cdot 0,1} = 34 \text{ мкм.}$$

Определяем значение поправочного коэффициента K_1 :

$$K_1 = 2 \cdot 0,30(8 + 10) = 10,8 \text{ мкм.}$$

Рассчитываем величину:

$$N_{\min \text{ табл}} = (34 + 10,8 + 2) \cdot 0,80 = 37 \text{ мкм.}$$

Находим значения $P_{\text{доп}}$ и $N_{\min \text{ расч}}$:

$$N_{\max \text{ расч}} = 0,58 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \cdot \left[1 - \left(\frac{80}{120}\right)^2\right] 80 \cdot 3,17 \cdot 10^{-11} = 148 \text{ мкм.}$$

Находим далее величину $N_{\min \text{ табл}}$:

$$N_{\min \text{ табл}} = (148 + 10,8 + 2) \cdot 0,8 = 129 \text{ мкм.}$$

Принимая теоретико-вероятностный метод, рассчитываем значение допусков вала Td и втулки TD .

$$Td = TD = \frac{129 - 37}{\sqrt{2}} \cong 47 \text{ мкм.}$$

По таблицам ГОСТ 25347–82 подбираем, что ближайшим меньшим оказывается допуск $Td = TD = 46 \text{ мкм}$, что соответствует качеству $IT18$. Из схемы (рис. 11.4) находим, что нижнее отклонение поля допуска вала $ei = TD + N_{\min}$.

Следовательно, $ei = 46 + 37 = 83 \text{ мкм}$. По таблицам ГОСТ 25347–82 подбираем ближайшее большее значение ei , составляющее 0,0102 мм для поля допуска $u8$.

Таким образом, подобрана посадка $\phi 80 \frac{H8}{u8}$, которая характеризуется следующими значениями: $N_{\min} = 56 \text{ мкм}$ и $N_{\max} = 148 \text{ мкм}$. Как видно, $N_{\min} / N_{\min \text{ табл}} = 56 / 37 = 1,51$. Следовательно, по обеспечению неподвижности сопряжения имеется полуторный за-

пас, что допустимо. Отношение максимальных натягов составляет $N_{\max} / N_{\max \text{ табл}} = 148 / 129 = 1,15$, что также допустимо, однако надо проверить прочность втулки и, если необходимо, изменить соответствующим образом её материал.

$$\sigma_T^D = C_0 \cdot P_{\text{доп}} = \frac{c_D \cdot N_{\max}}{d_H \cdot C_0} = \frac{2,92 \cdot 148 \cdot 10^{11}}{80 \cdot 3,17} = 170 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Это напряжение, как следует из данных таблицы «Значение σ_T для различных материалов», не превышает предела текучести для бронзы ОЦ10-2. В противном случае следовало бы подобрать бронзу с более высоким значением.

После расчёта следует вычертить схему расположения полей допусков с указанием предельных размеров отклонений и натягов.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать вариант работы по табл. 11.1.
2. Провести расчет посадки по формулам (11.1)–(11.18).
3. Вычертить эскиз посадки в масштабе, как показано на рис. 11.4.
4. Оформить протокол отчета согласно табл. 11.8.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.

5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 11.1

Варианты заданий

№ варианта	d , мм	L , мм	Материал ступицы	Материал обода	R_{zd} , мм	R_{zd} , мм	D , мм	d_0 , мм	f	$M_{кр}$, Н · м	Скорость вращения, м/с
1	80	25	Ст 20	ОЦ10-1	6	8	120	35	0,1	400	2
2	90	30	Ст 30	ОЦ10-1	8	10	130	40	0,15	500	1,8
3	100	35	Ст 35	ОЦ10-1	10	12	140	45	0,1	600	1,6
4	110	40	Ст 40	ОЦ10-1	6	8	150	50	0,15	700	1,4
5	120	25	Ст 45	ОЦ10-1	8	10	160	55	0,1	800	1,2
6	80	30	Ст 20	ОЦ10-2	10	12	120	35	0,15	400	2
7	90	35	Ст 30	ОЦ10-2	6	8	130	40	0,1	500	1,8
8	100	40	Ст 35	ОЦ10-2	8	10	140	45	0,15	600	1,6
9	110	25	Ст 40	ОЦ10-2	10	12	150	50	0,1	700	1,4
10	120	30	Ст 45	ОЦ10-2	6	8	160	55	0,15	800	1,2

№ варианта	d , мм	L , мм	Материал ступицы	Материал обода	R_{zd} , мм	R_{zd} , мм	D , мм	d_0 , мм	f	$\frac{M_{кр}}{H \cdot M}$	Скорость вращения, м/с
11	80	25	Ст 20	ОЦ10-1	6	8	120	35	0,1	400	2
12	90	30	Ст 30	ОЦ10-1	8	10	130	40	0,15	500	1,8
13	100	35	Ст 35	ОЦ10-1	10	12	140	45	0,1	600	1,6
14	110	40	Ст 40	ОЦ10-1	6	8	150	50	0,15	700	1,4
15	120	25	Ст 45	ОЦ10-1	8	10	160	55	0,1	800	1,2
16	80	30	Ст 20	ОЦ10-2	10	12	120	35	0,15	400	2
17	90	35	Ст 30	ОЦ10-2	6	8	130	40	0,1	500	1,8
18	100	40	Ст 35	ОЦ10-2	8	10	140	45	0,15	600	1,6
19	110	25	Ст 40	ОЦ10-2	10	12	150	50	0,1	700	1,4
20	120	30	Ст 45	ОЦ10-2	6	8	160	55	0,15	800	1,2
21	80	25	Ст 20	ОЦ10-1	6	8	120	35	0,1	400	2
22	90	30	Ст 30	ОЦ10-1	8	10	130	40	0,15	500	1,8
23	100	35	Ст 35	ОЦ10-1	10	12	140	45	0,1	600	1,6
24	110	40	Ст 40	ОЦ10-1	6	8	150	50	0,15	700	1,4
25	120	25	Ст 45	ОЦ10-1	8	10	160	55	0,1	800	1,2
26	80	30	Ст 20	ОЦ10-2	10	12	120	35	0,15	400	2
27	90	35	Ст 30	ОЦ10-2	6	8	130	40	0,1	500	1,8
28	100	40	Ст 35	ОЦ10-2	8	10	140	45	0,15	600	1,6
29	110	25	Ст 40	ОЦ10-2	10	12	150	50	0,1	700	1,4
30	120	30	Ст 45	ОЦ10-2	6	8	160	55	0,15	800	1,2

Значения допусков для квалитетов (выдержка из ГОСТ 25346–2013)

Интервалы размеров, мм	Значения допусков для квалитетов, мкм																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Свыше 3 до 6	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	10	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
Свыше 6 до 10	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
Свыше 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
Свыше 18 до 30	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
Свыше 30 до 50	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
Свыше 50 до 80	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
Свыше 80 до 120	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	10	15	22	36	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
Свыше 120 до 180	1,2	2,0	3,5	5,0	8,0	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
Свыше 180 до 250	2,0	3,0	4,5	7,0	10,0	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
Свыше 250 до 315	2,5	4,0	6,0	8,0	12,0	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
Свыше 315 до 400	3,0	5,0	7,0	9,0	13,0	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
Свыше 400 до 500	4,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Таблица 11.3

Значения основных отклонений отверстий в мкм

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение EI											Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение ES			
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J	K	K
	Квалитеты														
	Все														
До 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	$IT \pm \frac{2}{2}$			
Свыше 3 до 6	270	140	70	46	30	20	14	19	6	4	0				
Свыше 6 до 10	280	150	80	56	540	25	18	13	8	5	0				
Свыше 10 до 14	290	150	95	—	50	32	—	16	—	6	0				
Свыше 14 до 18		160	110	—	65	40	—	20	—	7	0				
Свыше 18 до 24	300	170	120	—	80	50	—	25	—	9	0	$IT \pm \frac{2}{2}$	10	14	24
Свыше 24 до 30		180	130	—	100	60	—	30	—	10	0				
Свыше 30 до 40	310	190	140	—	120	70	—	36	—	12	0				
Свыше 40 до 50	320	200	150	—	140	80	—	42	—	14	0				
Свыше 50 до 65	340	220	170	—	160	90	—	48	—	16	0				
Свыше 65 до 80	360	240	180	—	180	100	—	54	—	18	0	$IT \pm \frac{2}{2}$	13	18	28
Свыше 80 до 100	380	260	190	—	200	110	—	60	—	20	0				
Свыше 100 до 120	410	290	210	—	220	120	—	66	—	22	0				

Окончание табл. 11.3

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение EI										Обозначение основного отклонения Верхнее отклонение ES			
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js	J	K
	Квалитеты													
	Все										6	7	8	Свыше 8
Свыше 120 до 140	460	260	200											
Свыше 140 до 160	520	280	210		145	85	—	43	—	14	0		18	—3 + Δ
Свыше 160 до 180	580	310	230											
Свыше 180 до 200	660	340	240											
Свыше 200 до 225	740	380	260		170	100	—	50	—	15	0		22	—4 + Δ
Свыше 225 до 250	820	420	280											
Свыше 250 до 280	920	480	300		190	110	—	56	—	17	0	$IT \pm \frac{IT}{2}$		—
Свыше 280 до 315	1050	540	330	—										—
Свыше 315 до 355	1200	600	360		210	125	—	62	—	18	0		29	—4 + Δ
Свыше 355 до 400	1350	680	400											
Свыше 400 до 450	1500	760	440		230	135	—	68	—	20	0		33	—5 + Δ
Свыше 450 до 500	1650	840	480	—										

Примечания:

1. Основные отклонения A и B во всех квалитетах более 8 для размеров до 1 мм не предусмотрены.
2. Значения $(+/-) IT/2$ для Js квалитетов 7...11 могут округляться до ближайшего меньшего числа, если значение IT нечетное.
3. Частный случай для основного отклонения $M6$ размеров свыше 250 до 315 мм $ES -9$, а не -11 мкм.
4. Согласно специальному правилу (см. п. 2.1.4) для вычисления основных отклонений K , M , N до квалитета 8 и $P...ZS$ до квалитета 7 значения берутся в крайних правых графах таблицы.

Значения основных отклонений валов в мкм

Таблица 11.4

Интервалы размеров, мм		Обозначение основного отклонения. Верхнее отклонение <i>ES</i>															Δ , мкм									
		<i>M</i>	<i>N</i>	От <i>P</i> до <i>ZC</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>ZA</i>	<i>ZB</i>	<i>ZC</i>										
					Квалитеты																					
					Свыше 7																					
	До 8	Св. 8	До 8	Св. 8	До 7																3	4	5	6	7	8
До 3	-2 + Δ	-2	-4 + Δ	-4		-6	-10	-14	-	-18	-	-20	-	-26	-32	-40	-60	0								
	-4 + Δ	-4	-8 + Δ	0		-12	-15	-19	-	-23	-	-28	-	-35	-42	-50	-80								1	1,5
Свыше 3 до 6	Свыше 6 до 10	-6 + Δ	-6	-10 + Δ	0	-15	-19	-23	-	-28	-	-34	-	-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7			
		Свыше 10 до 14	Свыше 14 до 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	7	9			
Свыше 18 до 24	Свыше 24 до 30	-8 + Δ	-8	-15 + Δ	0	-22	-28	-35	-	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12			
		Свыше 30 до 40	Свыше 40 до 50	-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-136	-180	-242	-325	-274	1,5	3	4	5	9	14			
Свыше 50 до 65	Свыше 65 до 80	-11 + Δ	-11	-20 + Δ	0	-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16			
		Свыше 80 до 100	Свыше 100 до 120	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-211	-258	-335	-445	-585	-690	-525	2	4	5	7	13	19			

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение e_i													
	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
	Квалитеты													
	все													
До 3	2	4	6	10	14	—	18	—	20	—	26	32	40	60
	4	8	12	15	19	—	23	—	28	—	35	42	50	80
Свыше 3 до 6														
Свыше 6 до 10	6	10	15	19	23	—	28	—	34	—	42	52	67	97
Свыше 10 до 14	7	12	18	23	28	—	33	—	40	—	50	64	90	130
Свыше 14 до 18								39	45	—	60	77	108	150
Свыше 18 до 24	8	15	22	28	35	—	41	47	54	63	73	98	136	188
Свыше 24 до 30						41	48	55	64	75	88	118	160	218
Свыше 30 до 40	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
Свыше 40 до 50						54	70	81	97	114	136	180	242	325
Свыше 50 до 65	11	20	32	41	53	66	87	102	122	141	172	226	300	405
Свыше 65 до 80				43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
Свыше 80 до 100	13	23	37	51	71	91	124	146	178	211	258	335	445	585
Свыше 100 до 120				54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690

Интервалы размеров, мм	Обозначение основного отклонения Нижнее отклонение ei														
	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
	Квалитеты														
	все														
Свыше 120 до 140	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800	
Свыше 140 до 160				65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900	
Свыше 160 до 180				68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000	
Свыше 180 до 200	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150	
Свыше 200 до 225				80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250	
Свыше 225 до 250				84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350	
Свыше 250 до 280	20	34	56	94	158	218	315	358	475	580	710	920	1200	1550	
Свыше 280 до 315				98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700	
Свыше 315 до 355				108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900	
Свыше 355 до 400	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100	
Свыше 400 до 450				126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400	
Свыше 450 до 500				132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600	

Таблица 11.5

Модуль упругости

Материал	Модуль упругости E , Па · 10 ¹¹
Чугун белый, серый	1,15–1,16
Чугун ковкий	1,55
Сталь углеродистая	2,0–2,1
Сталь легированная	2,1–2,2
Медь прокатная	1,1
Медь холодноотянутая	1,3
Медь литая	0,84
Бронза фосфористая катанная	1,15
Бронза марганцевая катанная	1,1
Бронза алюминиевая литая	1,05
Латунь холодноотянутая	0,9–0,99
Латунь корабельная катанная	1,0
Алюминий катанный	0,69
Проволока алюминиевая тянутая	0,7
Дюралюминий катанный	0,71
Цинк катанный	0,84

Таблица 11.6

Коэффициенты Пуассона

Материал	Коэффициент Пуассона μ
Чугун серый, белый	0,23–0,27
Ковкий чугун	0,23–0,27
Углеродистые стали	0,24–0,28
Легированные стали	0,25–0,3
Стальное литье	0,25–0,3
Медь прокатанная	0,31–0,34
Медь холодноотянутая	0,31–0,34
Медь литая	0,31–0,34
Фосфористая бронза катанная	0,32–0,35
Латунь холодноотянутая	0,32–0,42

Окончание табл. 11.6

Материал	Коэффициент Пуассона μ
Марганцевая латунь катанная	0,35
Алюминий катанный	0,32–0,36
Дюралюминий катанный	0,27
Цинк катанный	0,27

Таблица 11.7

Пределы текучести углеродистых конструкционных сталей,
легированных конструкционных сталей

Марка стали	Предел текучести σ_T , МПа	Марка стали	Предел текучести σ_T , МПа
08	200	10Г2	250
10	210	09Г2С	350
	250	10ХСНД	100
15	230	20Х	300
	250		500
29	250		630
	300	40Х	330
25	280		650
	350		900
30	300		1100
	350	45Х	350
35	320		750
	380		1200
	650	50Х	350
40	340		1300
	400	35Г2	370
	650		650

Окончание табл. 11.7

Марка стали	Предел текучести σ_T , МПа	Марка стали	Предел текучести σ_T , МПа
45	360	40Г2	390
	450		950
	650	45Г2	410
45	700		700
	950	33ХС	300
	450		700
50	380	38ХС	750
	700	18ХГТ	430
20Г	280		800
	420	30ХГТ	1050
30Г	320		800
	560	20ХГНР	1200
40Г	360		1400
	590	40ХФА	750
50Г	400		1300
	560	30ХМ	750
65Г	440	35ХМ	350
	700		1400
	1250	40ХН	460

Содержание отчёта

Таблица 11.8

Вариант № _____

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
1	Вычертить эскизы деталей	
2	Провести расчет посадки	$P_{\min} \geq \frac{2 \cdot M_{\text{кр}}}{f \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l} =$ $U = 0,8 \cdot (R_{zD} + R_{zd}) =$ $N_{\min F} = P_{\min} \cdot d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right) +$ $+ 0,8(R_{zD} + R_{zd}) =$ $1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2$ $C_D = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2} + \mu_D =$ $P_{\text{доп}} = 0,58 \cdot \sigma_{T,D} \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right]$ $P_{\text{доп}} = 0,58 \cdot \sigma_{(T,d)}$ $N_{\max F} = P_{\max} \cdot d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right)$ $N_{\max} \leq N_{\max F}; N_{\min} \geq N_{\min F}$ $N_{\max} = es - EI \leq N_{\max F}; N_{\min} =$ $= ei - ES \geq N_{\min F}$ $N_{\min \text{ расч}} = P_{\min} c_0 d_H$ $c_0 = \frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d}$ $1 + \left(\frac{d_H}{D_1} \right)^2$ $C_D = \frac{1 + \left(\frac{d_H}{D_1} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_H}{D_1} \right)^2} + \mu_D$ $1 + \left(\frac{d_0}{d_H} \right)^2$ $C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_0}{d_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_0}{d_H} \right)^2} - \mu_d$

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
		$N_{\max \text{ расч}} = P_{\text{доп}} c_0 d_H$ $P_{\text{доп}} \leq 0,58 \sigma_T^d \left[1 - \left(\frac{d_0}{d_H} \right)^2 \right]$
3	Вычертить эскиз в масштабе	
4	Вывод	

Контрольные вопросы

1. Какие системы посадок существуют?
2. Что означает квалитет?
3. Как обозначается посадка на чертеже?
4. Что называется посадкой с натягом?
5. Чему равен наименьший натяг?
6. Чему равен наибольший натяг?
7. В каких типах соединений применяются посадки с натягом?
8. Для чего необходимы посадки с натягом в соединениях деталей?
9. Исходя из каких соображений выбираются величины посадок с натягом?
10. На какие данные ориентируются конструкторы, когда выбирают рекомендуемую посадку с натягом?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347—82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 12

Выбор посадок подшипника

Цель работы: ознакомиться с предпочтительными посадками подшипников; приобрести практические навыки в анализе и расчете посадок подшипников.

Основные положения

Подшипники качения являются стандартными изделиями, получившими широкое распространение во всех областях машиностроения. Это объясняется тем, что трение качения, возникающее в этих подшипниках, значительно меньше трения скольжения, которое имеет место в подшипниках скольжения.

Подшипники качения (рис. 12.1, *a*) состоят из двух колец: внутреннего 1 и наружного 2, между которыми размещены тела качения 3 — шарики или ролики; сепаратор 4 разделяет и направляет тела качения.

Размеры подшипников качения стандартизированы и определены ГОСТ 3478—79 [6].

Основными присоединительными размерами, по которым осуществляется полная (внешняя) взаимозаменяемость подшипников качения (см. рис. 12.1, *a*), являются внутренний диаметр d внутреннего кольца, наружный диаметр D наружного кольца и ширина B кольца подшипников.

Внутренняя взаимозаменяемость в подшипниках между телами качения, кольцами и сепаратором является неполной и осуществляется методом групповой взаимозаменяемости.

Основным параметром подшипника качения, который определяет точность вращения, равномерность распределения нагрузки, бесшумность работы, грузоподъемность и другие эксплуатационные характеристики подшипника, является радиальный зазор между телами качения и дорожками качения.

Радиальный зазор между телами качения и дорожками качения зависит от следующих параметров элементов подшипников качения:

- точности размеров присоединительных поверхностей по d и D ;
- точности формы, взаимного расположения и шероховатости присоединительных поверхностей подшипников качения;

— точности размеров, формы и шероховатости тел качения; бокового биения дорожек качения внутреннего и наружного колец.

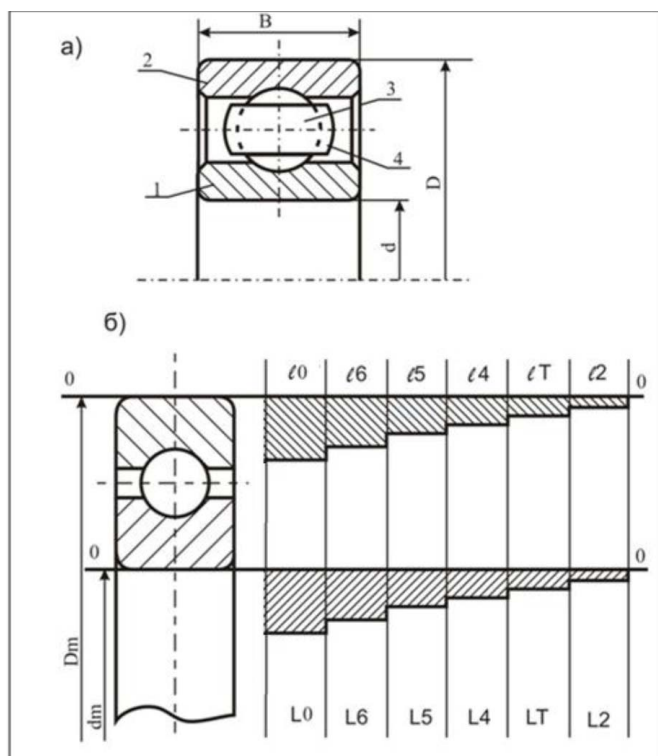


Рис. 12.1. Шариковый однорядный подшипник качения:
а — конструктивные элементы; *б* — схемы расположения полей допусков по классам точности на средний наружный диаметр наружного кольца и средний внутренний диаметр внутреннего кольца для шариковых радиальных подшипников качения

В зависимости от точности изготовления вышеуказанных геометрических параметров и точности вращения для подшипников с внутренним диаметром от 0,6 до 2000 мм ГОСТ 520—2011 [4] устанавливает следующие классы точности, которые обозначаются в порядке повышения точности:

— нормальный, 6, 5, 4, Т, 2 — для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников;

- 0, нормальный, 6X, 6, 5, 4, 2 — для роликовых конических подшипников;
- нормальный, 6, 5, 4, 2 — для упорных и упорно-радиальных подшипников.

Класс точности указывается перед условным обозначением подшипника и отделяется от него разделительной чертой, например 5-308. Для всех подшипников, кроме конических, для обозначения нормального класса точности применяют знак «0». Для конических подшипников нулевого класса точности применяют знак «0», для обозначения нормального класса точности применяют знак «N», для обозначения класса точности 6X применяют знак «X».

Знак «0» маркируют только в том случае, если слева от него имеется знак маркировки, например, B0-205, где B — категория подшипника, учитывающая наличие требований по уровню вибрации или других дополнительных технических требований; 0 — класс точности подшипника качения; 205 — условное обозначение подшипника качения (маркировка подшипников качения производится в соответствии с требованиями ГОСТ 3189–89 [7]).

Если требования к точности вращения подшипников качения повышаются, например, для авиационных двигателей, шпинделей шлифовальных и других высокоточных станков, то применяют подшипники более высоких классов точности. С повышением класса точности возрастают точностные требования ко всем параметрам элементов подшипников качения: и внутренним, обеспечивающим точность вращения и радиальные зазоры между телами качения и дорожками колец, и внешним, обеспечивающим посадку колец в изделии.

ГОСТ 520–2011 [4] устанавливает предельные отклонения и допуски как на присоединительные диаметры d и D колец подшипников, так и на их средние диаметры d_m и D_m .

Средний диаметр d_m отверстия внутреннего кольца — это среднее арифметическое значение наибольшего $d_{s \max}$ из максимальных и наименьшего $d_{s \min}$ из минимальных значений всех единичных (измеренных) диаметров d_{st} , полученных при их измерении в единичных плоскостях для конкретного внутреннего кольца подшипника [4]:

$$d_m = (d_{s \max} + d_{s \min}) / 2. \quad (12.1)$$

Средний наружный диаметр D_m наружного кольца — это среднее арифметическое значение наибольшего $D_{s \max}$ из максимальных и наименьшего $D_{s \min}$ из минимальных значений всех единичных (измеренных) диаметров D_{si} , полученных при их измерении в единичных плоскостях для конкретного наружного кольца подшипника [4]:

$$D_m = (D_{s \max} + D_{s \min}) / 2. \quad (12.2)$$

Отдельное кольцо имеет только одно значение d_m или D_m .

Кольца в свободном состоянии считаются годными, если их действительные размеры по d , D и по d_m , D_m находятся в заданных пределах.

Расчет посадок колец подшипника качения производят по средним диаметрам d_m , D_m , и связано это с тем, что кольца подшипников качения являются недостаточно жесткими, и, по существу, посадка осуществляется по средним диаметрам d_m , D_m .

ГОСТ 3325–85* [5] вводит условное обозначение полей допусков на посадочные диаметры колец подшипников по d_m , D_m :

— для среднего диаметра отверстия внутреннего кольца подшипника:

$$Ld_m, L0, L6, L5, L4, LT, L2,$$

где Ld_m — общее условное обозначение поля допуска на средний диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника; $L0$, $L6$, $L5$, $L4$, LT , $L2$ — обозначения полей допусков для среднего диаметра отверстия внутреннего кольца подшипника; нормальный, 6, 5, 4, Т, 2 — классы точности шариковых радиальных подшипников качения по ГОСТ 520–2011 [4]; L — обозначение основного отклонения для среднего диаметра отверстия внутреннего кольца подшипника;

— для среднего наружного диаметра наружного кольца подшипника:

$$\ell D_m, \ell 0, \ell 6, \ell 5, \ell 4, \ell T, \ell 2,$$

где ℓD_m — общее условное обозначение поля допуска на средний наружный диаметр наружного кольца подшипника; $\ell 0$, $\ell 6$, $\ell 5$, $\ell 4$, $\ell 2$, ℓT — обозначения полей допусков для среднего наружного диаметра наружного кольца подшипника; ℓ — обозначение основного отклонения для среднего наружного диаметра наружного кольца подшипника.

Присоединительные диаметры колец подшипников изготавливаются с отклонениями размеров по внутреннему диаметру внутреннего кольца и наружному диаметру наружного кольца, не зависящим от посадки, по которой их будут монтировать.

Посадки наружного кольца подшипника с отверстием корпуса выполняют в системе вала. Поле допуска наружного диаметра наружного кольца располагается как для основного вала, то есть в «минус» от нулевой линии (рис. 12.1, б).

Посадки внутреннего кольца подшипника с валом осуществляются в системе отверстия, но поле допуска внутреннего диаметра внутреннего кольца также располагается от нулевой линии в «минус» (см. рис. 12.1, б).

Таким образом, для всех классов точности верхнее отклонение присоединительных диаметров колец подшипников по d_m , D_m равно нулю (см. рис. 12.1, б).

Такое расположение поля допуска внутреннего диаметра внутреннего кольца позволяет получать посадки с гарантированным натягом, используя для валов поля допусков переходных посадок по ГОСТ 25347–82 [9], и дает возможность не прибегать к специальным посадкам для получения неподвижных соединений колец с валами.

Применение системы отверстия и системы вала в посадках колец подшипника с валом и отверстием корпуса обеспечивает их полную взаимосвязь и быстрый демонтаж и монтаж в условиях эксплуатации.

Точность геометрических параметров посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса под подшипники качения зависит от класса точности подшипника.

Кольца подшипников из-за недостаточной жесткости воспринимают погрешности размеров, формы, взаимного расположения, шероховатость более жестких деталей — посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса, что приводит к деформации колец и искажению характера соединения колец с валом и корпусом. В результате этого радиальный зазор между телами и дорожками качения изменяется и нормальная работа подшипника качения нарушается.

При повышении класса точности подшипника качения ужесточаются требования к геометрическим параметрам посадочных поверхностей вала и корпуса под подшипники качения (см. методические материалы, табл. 12.1–12.4).

Пример

1. Определяем вид нагружения колец подшипника: при вращающемся вале и постоянно действующей нагрузке F_r внутреннее кольцо испытывает циркуляционное нагружение, а наружное кольцо – местное нагружение.

2. Выбираем посадки для подшипника качения с валом и отверстием корпуса, строим схемы полей допусков для выбранных посадок и рассчитываем их характеристики.

2.1. Посадка внутреннего кольца с валом:

• При циркуляционном нагружении внутреннего кольца рассчитываем интенсивность нагрузки P_r по формуле

$$P_r = \frac{F_r}{b} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = \frac{12000}{14} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 857 \text{ Н/м},$$

где коэффициенты $k_1 = 1$ – нагрузка умеренная, перегрузка до 150 % (табл. 12.6); $k_2 = 1$ – вал сплошной (табл. 12.7); $k_3 = 1$ – подшипник однорядный, осевая нагрузка незначительная (табл. 12.8); $b = B - 2r = 18 - 4 = 14$ мм ($B = 18$ мм, $r = 2$ мм); F_r – радиальная нагрузка на опору, $F_r = 12\,000$ Н.

Для сопряжения вала Ø40 с внутренним кольцом, испытывающим циркуляционное нагружение, с нормальным классом точности подшипника и интенсивностью нагрузки $P_r = 857$ Н/м, выбираем поле допуска вала $k6$ (табл. 12.9).

Посадка Ø40 $L0/k6$ – посадка с натягом.

Определяем предельные отклонения среднего диаметра d_m отверстия внутреннего кольца подшипника качения нормального класса точности по ГОСТ 520–2011 [4] (табл. 12.5) и рассчитываем предельные размеры:

верхнее отклонение $ESd_m = 0$;

нижнее отклонение $EId_m = -0,012$ мм;

$d_{m \max} = d_m + ESd_m = 40,0 + 0 = 40,0$ мм;

$d_{m \min} = d_m + EId_m = 40,0 + (-0,012) = 39,988$ мм.

Определяем предельные отклонения для вала $\varnothing 40k6$ по ГОСТ 25346–89 (табл. 12.12, 12.13) и рассчитываем предельные размеры:

верхнее отклонение $es = +0,018$ мм;

нижнее отклонение $ei = +0,002$ мм;

$$d_{\max} = d + es = 40,0 + (+0,018) = 40,018 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 40,0 + (+0,002) = 40,002 \text{ мм}.$$

• Строим схему полей допусков для выбранной посадки (рис. 12.2).

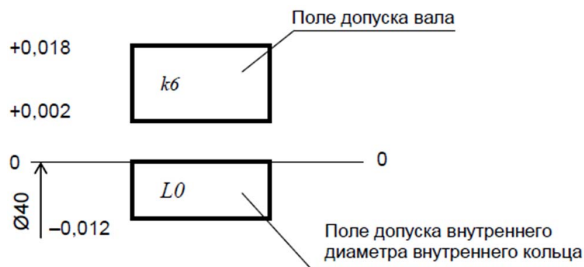


Рис. 12.2. Схема полей допусков сопряжения вала и внутреннего кольца подшипника качения нормального класса точности

Рассчитываем характеристики посадки с натягом $\varnothing 40 L0/k6$:

наибольший натяг $N_{\max} = d_{\max} - d_{m \min} = 40,018 - 39,988 = 0,030$ мм;

наименьший натяг $N_{\min} = d_{\min} - d_{m \max} = 40,002 - 40,0 = 0,002$ мм;

средний натяг $N_m = (N_{\max} + N_{\min}) / 2 = (0,030 + 0,002) / 2 = 0,016$ мм;

допуск натяга $TN = N_{\max} - N_{\min} = 0,030 - 0,002 = 0,028$ мм.

2.2. Посадка наружного кольца с корпусом:

• При местном нагружении наружного кольца подшипника нормального класса точности, при неразъемном корпусе, учитывая, что нагрузка умеренная и перегрузка до 150 %, для диаметра отверстия корпуса $D = 80$ мм выбираем поле допуска H7 (табл. 12.11). Посадка $\varnothing 80 H7/l0$ — посадка с зазором.

• Определяем предельные отклонения среднего диаметра D_m наружного диаметра наружного кольца подшипника качения нормального класса точности по ГОСТ 520–2011 [4] (см. табл. 12.5) и рассчитываем предельные размеры:

верхнее отклонение $esD_m = 0$;

нижнее отклонение $eiD_m = -0,013$ мм;

$$D_{m \max} = D_m + esD_m = 80,0 + 0 = 80,0 \text{ мм};$$

$$D_{m \min} = D_m + eiD_m = 80,0 + (-0,013) = 79,987 \text{ мм}.$$

• Определяем предельные отклонения для отверстия $\varnothing 80$ H7 корпуса по ГОСТ 25346–89 (табл. 12.12, 12.14) и рассчитываем предельные размеры:

верхнее отклонение $ES = +0,030$ мм;

нижнее отклонение $EI = 0$;

$$D_{\max} = D + ES = 80,0 + (+0,030) = 80,030 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D + EI = 80,0 + 0 = 80,0 \text{ мм}.$$

• Строим схему полей допусков для выбранной посадки (рис. 12.3).

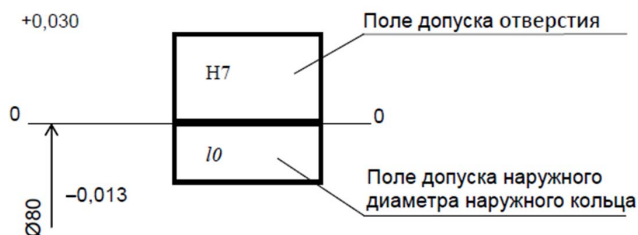


Рис. 12.3. Схема полей допусков сопряжения отверстия корпуса и наружного кольца подшипника качения нормального класса точности

Рассчитываем характеристики посадки с зазором $\varnothing 80$ H7/i0:

$$\text{наименьший зазор } S_{\min} = D_{\min} - D_{m \max} = 80 - 80 = 0 \text{ мм};$$

$$\text{наибольший зазор } S_{\max} = D_{\max} - D_{m \min} = 80,03 - 79,987 = 0,043 \text{ мм};$$

$$\text{средний зазор } S_m = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 = (0,043 + 0) / 2 = 0,0215 \text{ мм};$$

$$\text{допуск зазора } TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,043 - 0 = 0,043 \text{ мм}.$$

3. Определяем требования к шероховатости, допуски формы и расположения посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса под подшипник качения нормального класса точности.

3.1. Для вала:

- параметр шероховатости $R_a = 1,25$ мкм для посадочной поверхности вала $d = 40$ мм (табл. 12.2);
- параметр шероховатости $R_a = 2,5$ мкм для торцов заплечиков вала $d = 40$ мм (табл. 12.2);
- допуск круглости $T_{FK} = 0,004$ мм для посадочной поверхности вала $d = 40$ мм (табл. 12.3);

- допуск профиля продольного сечения $T_{FP} = 0,004$ мм для посадочной поверхности вала $d = 40$ мм (табл. 12.3);
- допуск торцового биения $T_{CA} = 0,025$ мм для заплечиков вала $d = 40$ мм (табл. 12.4).

3.2. Для отверстия корпуса:

- параметр шероховатости $R_a = 1,25$ мкм для посадочной поверхности отверстия $D = 80$ мм (см. табл. 12.2);
- параметр шероховатости $R_a = 2,5$ мкм для торцов заплечиков отверстия $D = 80$ мм (см. табл. 12.2);
- допуск круглости $T_{FK} = 0,0075$ мм для посадочной поверхности отверстия $D = 80$ мм (см. табл. 12.3);
- допуск профиля продольного сечения $T_{FP} = 0,0075$ мм для посадочной поверхности отверстия $D = 80$ мм (см. табл. 12.3);
- допуск торцового биения $T_{CA} = 0,046$ мм для заплечиков отверстия $D = 80$ мм (см. табл. 12.4).

4. Указываем обозначение:

- посадок подшипника качения с валом и отверстием корпуса;
- полей допусков и значения предельных отклонений диаметров, допуски формы и расположения, требования к шероховатости посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса под подшипник качения.

Пример

Подшипник шариковый однорядный радиальный (320) класса точности 6-6-320 имеет следующие параметры:

- диаметр внутреннего кольца d равен 100 мм;
- диаметр внешнего кольца D равен 215 мм;
- ширина подшипника B равна 47 мм;
- диаметры: $d_2 = 135,6$ мм, $D_2 = 179,4$ мм;
- грузоподъемность подшипника динамическая C равна 44 900 Н;
- грузоподъемность подшипника статическая C_0 равна 36 700 Н.

Подбор посадок колец подшипников.

Подбор посадки внутреннего кольца подшипника на вал.

Подбор посадки внутреннего кольца подшипника сводится к назначению поля допуска на изготовление вала.

Назначение поля допуска на вал исходит из следующих требований:

- радиальная нагрузка, воспринимаемая подшипниками качения, постоянная по направлению;
- внутреннее кольцо вращающееся;
- класс точности 6;
- тип подшипника — шариковый радиальный однорядный подшипник;
- нагружение циркуляционное;
- нормальный и тяжелый режим работы, при условии $0,07C \leq P \leq 0,15C$;
- предельное отклонение внутреннего кольца $\varnothing 90_{(-0,015)}$ [4, с. 161].

Исходя из этих условий по таблице выбираем поле допуска для установки подшипника на вал. Рекомендуемые поля допусков: $k6$, $j6$ [4]. Выбранное поле допуска посадочного места вала под установку подшипников $\varnothing 90\ k6_{(+0,003}^{+0,025})$ [4].

Посадка с натягом:

$$\varnothing 90 \frac{L6_{(-0,015)}}{k6_{(+0,003}^{+0,025})}.$$

Параметры посадки (рис. 12.4):

$$N_{\max} = 0,040 \text{ мм};$$

$$N_{\min} = 0,003 \text{ мм}.$$

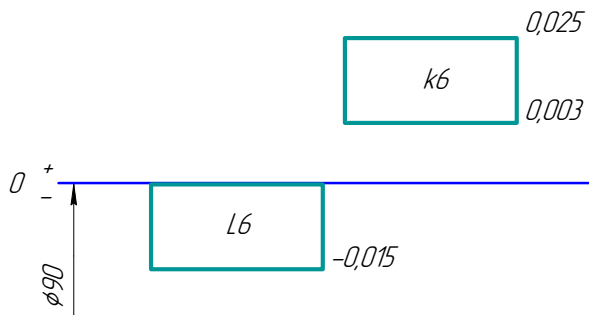


Рис. 12.4. Схема расположения полей допуска посадки внутреннего кольца подшипника

Подбор посадки наружного кольца подшипника.

Подбор посадки наружного кольца подшипника в корпус сводится к назначению поля допуска для отверстия в корпусе.

Назначение допуска исходит из следующих условий:

- тип корпуса – цельный;
- вид нагружения: местное нагружение кольца (вращающийся вал);
- наружное кольцо имеет возможность перемещаться в одном направлении;
- динамическая нагрузка различной величины.

Исходя из этих условий принимаем допуск для установки подшипника в корпус.

Рекомендуемые поля допусков: $G7$, $H8$ [4].

Выбранное поле допуска посадочных мест корпусов под установку подшипников $\varnothing 190\ H8_{(+0,072)}$ [4, с. 209].

Посадка переходная $\varnothing 190\ \frac{H8_{(+0,072)}}{l6_{(-0,022)}}$.

Параметры посадки (рис. 12.5):

$$S_{\max} = 0,094\text{ мм};$$

$$S_{\min} = 0.$$

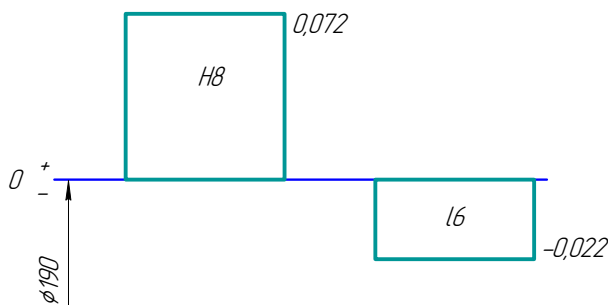


Рис. 12.5. Схема расположения полей допусков посадки

Порядок выполнения работы

1. Выбрать вариант работы по табл. 12.5.
2. Произвести расчет по формулам (12.1)–(12.2).
3. Вычертить эскиз посадки подшипника.

4. Подобрать посадку подшипника.
5. Оформить отчет (табл.12.6).

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

Таблица 12.1

Точность посадочных поверхностей валов и отверстий корпусов
под подшипники качения (ГОСТ 3325–85)

Класс точности подшипников	Квалитет посадочных поверхностей	
	отверстий корпусов	валов
Нормальный, 6	7,8	6,7
5, 4	6,7	5,6
2	5,6	4,5
T	4,5	3,4

Таблица 12.2

Шероховатость посадочных поверхностей валов и отверстий
корпусов под подшипники качения (ГОСТ 3325–85)

Посадочные поверхности	Класс точности подшипника	Номинальный диаметр, мм	
		до 80	свыше 80 до 500
		R_a , мкм	
Валов	Нормальный	1,25	2,5
	6, 5	0,63	1,25
	4	0,32	0,63
	T, 2	0,16	0,32
Отверстий корпусов	Нормальный	1,25	2,5
	6, 5, 4	0,63	1,25
	T, 2	0,32	0,63
Торцов заплечиков валов и корпусов	Нормальный	2,50	2,50
	6, 5, 4	1,25	2,50
	T, 2	0,63	0,63

Таблица 12.3
Допуски формы посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса под подшипники качения (ГОСТ 3325–85)

Интервалы номинальных диаметров d и D , мм		Допуски формы посадочных поверхностей, мкм, не более									
		валов (осей)					отверстий корпусов				
		допуск круглости		допуск профиля продольного сечения			допуск круглости		допуск профиля продольного сечения		
		классы точности подшипников									
Св.	До	нормаль- ный и 6	5 и 4	Т и 2	нормаль- ный и 6	5 и 4	Т и 2	нормаль- ный и 6	5 и 4	Т и 2	
От 0,6	2,5	1,5	0,7	0,4	1,5	0,7	0,4	-	-	-	Т и 2
2,5	3	1,5	0,7	0,4	1,5	0,7	0,4	2,5	1,0	0,5	1,0 0,5
3	6	2,0	0,8	0,5	2,0	0,8	0,5	3,0	1,3	0,6	1,3 0,6
6	10	2,5	1,0	0,5	2,5	1,0	0,5	4,0	1,5	0,8	1,5 0,8
10	18	3,0	1,3	0,6	3,0	1,3	0,6	4,5	2,0	1,0	2,0 1,0
18	30	3,5	1,5	0,8	3,5	1,5	0,8	5,0	2,0	1,0	2,0 1,0
30	50	4,0	2,0	1,0	4,0	2,0	1,0	6,0	2,5	1,4	2,5 1,4
50	80	5,0	2,0	1,0	5,0	2,0	1,0	7,5	3,0	1,6	3,0 1,6
80	120	6,0	2,5	1,2	6,0	2,5	1,2	9,0	3,5	2,0	3,5 2,0
120	180	6,0	3,0	1,5	6,0	3,0	1,5	10,0	4,0	2,2	4,0 2,2
180	250	7,0	3,5	1,7	7,0	3,5	1,7	11,5	5,0	2,5	5,0 2,5
250	315	8,0	4,0	-	8,0	4,0	-	13,0	5,3	3,0	5,3 3,0
315	400	9,0	4,0	-	9,0	4,0	-	14,0	6,0	4,0	6,0 4,0
400	500	10,0	-	-	10,0	-	-	16,0	-	-	16,0 -

Таблица 12.4
Допуски торцового биения посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса под подшипники качения
(ГОСТ 3325–85)

Интервалы номинальных диаметров <i>d</i> и <i>D</i> , мм	Допуски торцового биения заплечиков, мкм, не более											
	валов						отверстий корпусов					
	Классы точности подшипников											
	Св.	До	норма- льный	6	5	4	2**	норма- льный	6	5	4	2**
От 1	3	10	6	3	2,0	1,2						
3	6	12	8	4	2,5	1,5	18	12	5	4	2,5	
6	10	15	9	4	3,0	1,5	22	15	6	4	2,5	
10	18	18	11	5	4,0	2,0	27	18	8	5	3,0	
18	30	21	13	6	4,0	2,5	33	21	9	6	4,0	
30	50	25	16	7	4,0	2,5	39	25	11	7	4,0	
50	80	30	19	8	5,0	3,0	46	30	13	8	5,0	
80	120	35	22	10	6,0	4,0	54	35	15	10	6,0	
120	180	40	25	12	8,0	5,0	63	40	18	12	8,0	
180	250	46	29	14	10,0	7,0	72	46	20	14	10,0	
250	315	52	32	16	-	-	81	52	23	16	12,0	
315	400	57	36	18	-	-	89	57	25	30	13,0	
400	500	63	40	-	-	-	97	63	37	-	-	

Точность размеров по внутреннему диаметру d_m внутреннего кольца и по наружному диаметру D_m наружного кольца радиальных шарикоподшипников (ГОСТ 520—2011)

Таблица 12.5

Допускаемые отклонения для внутреннего диаметра d_m внутреннего кольца, мкм						
Интервалы номинальных диаметров, мм	Классы точности подшипников качения					
	нормальный, 6, 5, 4	нормальный	6	5	4	
	Верхнее отклонение, мкм	Нижнее отклонение, мкм				
Св. 18 до 30	0	-10	-8	-6	-5	
Св. 30 до 50	0	-12	-10	-8	-6	
Св. 50 до 80	0	-15	-12	-9	-7	
Св. 80 до 120	0	-20	-15	-10	-8	
Допускаемые отклонения для наружного диаметра D_m наружного кольца, мкм						
Св. 50 до 80	0	-13	-11	-9	-7	
Св. 80 до 120	0	-15	-13	-10	-8	
Св. 120 до 150	0	-18	-15	-11	-9	
Св. 150 до 180	0	-25	-18	-13	-10	
Св. 180 до 250	0	-30	-20	-15	-11	

Таблица 12.6

Значение коэффициента k_1

Характер нагрузки	k_1
Нагрузка с умеренными толчками и вибрацией Перегрузка до 150 %	1,0
Нагрузка с ударами и вибрацией Перегрузка до 300 %	1,8

Таблица 12.7

Значение коэффициента k_2

$\frac{d_{\text{отв}}}{d}$ или $\frac{D}{D_{\text{корп}}}$		Значение коэффициента k_2^*			
		для вала			для корпуса
Свыше	До	$\frac{D}{d} \leq 1,5$	$\frac{D}{d} > (1,5 \dots 2,0)$	$\frac{D}{d} > (2 \dots 3)$	для всех подшипников
—	0,4	1	1	1	1
0,4	0,7	1,2	1,4	1,6	1
0,7	0,8	1,5	1,7	2	1,4
0,8	—	2	2,3	3	1,8

* При сплошном вале $k_2 = 1$; $d_{\text{отв}}$ — диаметр отверстия полого вала; $D_{\text{корп}}$ — диаметр наружной поверхности тонкостенного корпуса.

Таблица 12.8

Значение коэффициента k_3

$\frac{F_a}{F_r} \text{ctg} \beta$		k_3
Свыше	До	
—	0,2	1
0,2	0,4	1,2
0,4	0,6	1,4
0,6	1	1,6
1	—	2

Таблица 12.9

Поля допусков посадочных мест валов подшипников качения (циркуляционное нагружение)

Внутренний диаметр внутреннего кольца, мм		Допустимые значения P_r , Н/мм									
		Поля допусков для вала									
		Класс точности подшипника									
		нормальный 6 5,4,2*									
Св.	До	$j_5, 6$	$k6$	$m6$	$n6$	$j_5, 5$	$k5$	$m5$	$n5$		
18	80	До 300	300-1400	1400-1600	1600-3000	До 300	300-1400	1400-1600	1600-3000		
80	180	До 600	600-2000	2000-2500	2500-4000	До 600	600-2000	2000-2500	2500-4000		
180	360	До 700	700-3000	3000-3500	3500-6000	До 700	700-3000	3000-3500	3500-6000		
360	630	До 900	900-3500	3500-4500	4500-8000	До 900	900-3500	3500-4500	4500-8000		

Таблица 12.10

Поля допусков посадочных мест отверстий под подшипники качения (циркуляционное нагружение)

Наружный диаметр наружного кольца, мм		Допустимые значения P_r , Н/мм									
		Поля допусков для корпусов									
		Класс точности подшипника									
		нормальный 6 5,4,2*									
Св.	До	$K7$	$M7$	$N7$	$P7$	$K6$	$M6$	$N6$	$P6$		
50	180	До 800	800-1000	1000-1300	1300-2500	До 800	800-1000	1000-1300	1300-2500		
180	360	До 1000	1000-1500	1500-2000	2000-3300	До 1000	1000-1500	1500-2000	2000-3300		
360	630	До 1200	1200-2000	2000-2600	2600-4000	До 1200	1200-2000	2000-2600	2600-4000		
630	1600	До 1600	1600-2500	2500-3500	3500-5500	До 1600	1600-2500	2500-3500	3500-5500		

Поля допусков посадочных мест валов и отверстий корпусов под подшипники качения (местное нагружение)

Таблица 12.11

Размеры посадочных диаметров, мм		Поля допусков				Типы подшипников
Св.	До	валов		отверстий в корпусе		
				корпус неразъемный	корпус разъемный	
Нагрузка спокойная или с умеренными толчками и вибрацией; перегрузка до 150%						
		Класс точности подшипника качения				
		5,4	нормальный, 6	5,4	нормальный, 6	нормальный, 6
-	80	<i>h5</i>	<i>h6</i>	<i>H6</i>	<i>H7</i>	Все типы подшипников, кроме штампованных игольчатых
80	260	<i>g5</i>	<i>g6, f6</i>	<i>G6</i>	<i>G7</i>	
260	500	<i>f6</i>		<i>F7</i>	<i>F8</i>	
500	1000					
Нагрузка с ударами и вибрацией; перегрузка до 300%						
		Класс точности подшипника качения				
		5,4	нормальный, 6	5,4	нормальный, 6	нормальный, 6
-	80	<i>h5</i>	<i>h6</i>	<i>J6</i>	<i>J7</i>	Все типы подшипников, кроме штампованных игольчатых, роликовых, конических двухрядных
80	260			<i>H6</i>	<i>H7</i>	
260	500	<i>g5</i>	<i>g6</i>			
500	1000					
1000	1200	<i>h5</i>	<i>h6</i>	<i>H6</i>	<i>H7</i>	Роликовые конические двухрядные
1200	1600	<i>g5</i>	<i>g6</i>			

Числовые значения основных отклонений валов, мкм (ГОСТ 25346–89)

Интервал размеров, мм		Основные отклонения														j		k	
		$a^{1)}$	$b^{1)}$	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	$j_s^{2)}$						
		Для всех квалитетов														Нижнее отклонение ei		до 3 и свыше 7	
Св.	До	Верхнее отклонение es														Пределы отклонения $= \pm IT/2$, где IT - порядковый номер квалитета			
-	3 ¹⁾	-270	-140	60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	-2	-4	-6	0	0		
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	-2	-4	-	+1	0		
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	-2	-5	-	+1	0		
10	14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0	-3	-6	-	+1	0		
14	18																		
18	24	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0	-4	-8	-	+2	0		
24	30												-5	-10	-	+2	0		
30	40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	-7	-12	-	+2	0		
40	50	-320	-180	-130	-								-9	-15	-	+3	0		
50	65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0	-11	-18	-	+3	0		
65	80	-360	-200	-150	-								-13	-21	-	+4	0		
80	100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0	-16	-26	-	+4	0		
100	120	-410	-240	-180	-								-18	-28	-	+4	0		
120	140	-460	-260	-200	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0	-20	-32	-	+5	0		
140	160	-520	-280	-210	-														
160	180	-580	-310	-230	-														
180	200	-660	-340	-240	-														
200	225	-740	-380	-260	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0	-13	-21	-	+4	0		
225	250	-820	-420	-280	-								-16	-26	-	+4	0		
250	280	-920	-480	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-18	-28	-	+4	0		
280	315	-1050	-540	-330	-														
315	355	-1200	-600	-360	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0							
355	400	-1350	-680	-400	-														
400	450	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0		
450	500	-1650	-840	-480	-														

* Предельные отклонения $\pm IT/2$, где IT - порядковый номер квалитета

Интервал размеров, мм		Основные отклонения													
		m ³⁾	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
Св. До		Для всех квалитетов													
		Нижнее отклонение ei													
-	3 ¹⁾	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60
3	6	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80
6	10	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97
10	14	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130
14	18							+39	+45	-	+60	+77	+108	+150	
18	24	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50						+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80				+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120				+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140				+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180				+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200				+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
220	250				+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315				+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400				+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500				+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

Таблица 12.14

Числовые значения основных отклонений отверстий, мкм (ГОСТ 25346—89)

Интервал размеров, мм		Основные отклонения														
		A ¹⁾	B ¹⁾	C	CD	D	Е				F				H	J _s ²⁾
							EF	FG	G	H	I	J	K	L		
Для всех квалификаций																
Нижнее отклонение EI																
Св.	До 3 ^{1/2)}	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0				
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0				
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0				
10	14															
14	18	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0				
18	24															
24	30	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0				
30	40	+310	+170	+120												
40	50	+320	+180	+130	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0				
50	65	+340	+190	+140												
65	80	+360	+200	+150	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0				
80	100	+380	+220	+170												
100	120	+410	+240	+180	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0				
120	140	+460	+260	+200												
140	160	+520	+280	+210	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0				
160	180	+580	+310	+230												
180	200	+860	+340	+240	-											
200	225	+740	+380	+260		+170	+100	-	+50	-	+15	0				
225	250	+820	+420	+280	-											
250	280	+920	+480	+300		+190	+110	-	+56	-	+17	0				
280	315	+1050	+540	+330												
315	355	+1200	+600	+360	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0				
355	400	+1350	+680	+400												
400	450	+1500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0				
450	500	+1650	+840	+480												

Предельные отклонения = ±Π_п²⁾, где п - порядковый номер ква-
лиитета

* Предельные отклонения = $\pm IT_n/2$, где n - порядковый номер квалитета

Интервал размеров, мм		Основные отклонения									
		J		K ³⁾		M ³⁾		M ³⁾		P до ZC ³⁾	
		для квалитетов		для квалитетов		св. 8		св. 8		для квалитетов свыше 7-го	
Св.	До	6	7	8	до 8	св. 8	до 8	св. 8	до 8	св. 8	до 7
Верхнее отклонение ES											
-	3 ¹⁵⁾	+2	+4	+6	0	0	-2	-4	-4	-6	-10 -14
3	6	+5	+6	+10	-1 + Δ	-	-4 + Δ	-4	-8 + Δ	-12	-15 -19
6	10	+5	+8	+12	-1 + Δ	-	-6 + Δ	-6	-10 + Δ	-15	-19 -23
10	14	+6	+10	+15	-1 + Δ	-	-7 + Δ	-7	-12 + Δ	-18	-23 -28
14	18										
18	24	+8	+12	+20	-2 + Δ	-	-8 + Δ	-8	-15 + Δ	-22	-28 -35
24	30										-41
30	40	+10	+14	+24	-2 + Δ	-	-9 + Δ	-9	-17 + Δ	-26	-34 -43
40	50										-48
50	65	+13	+18	+28	-2 + Δ	-	-11 + Δ	-11	-20 + Δ	-32	-41 -53
65	80										-66
80	100	+16	+19	+34	-3 + Δ	-	-13 + Δ	-13	-23 + Δ	-37	-43 -59
100	120										-75
120	140										-91
140	160	+18	+26	+41	-3 + Δ	-	-15 + Δ	-15	-27 + Δ	-43	-54 -79
160	180										-104
180	200										-122
200	225	+22	+30	+47	-4 + Δ	-	-17 + Δ	-17	-31 + Δ	-50	-63 -92
225	250										-100 -134
250	280	+25	+36	+55	-4 + Δ	-	-20 + Δ	-20	-34 + Δ	-56	-68 -108
280	315										-146
315	355	+29	+39	+60	-4 + Δ	-	-21 + Δ	-21	-37 + Δ	-62	-77 -122
355	400										-166
400	450	+33	+43	+66	-5 + Δ	-	-23 + Δ	-23	-40 + Δ	-68	-80 -130
450	500										-180 -196
											-196
											-218
											-240
											-268
											-294
											-330
											-360

Интервал размеров, мм		Основные отклонения										Δ, мкм							
		U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC										
		Для квалитетов свыше 7-го										Для квалитетов							
		Верхнее отклонение ES																	
Св.	До										3	4	5	6	7	8			
-	3 ^{17/8}	-18		-20		-26	-32	-40	-60		0	0	0	0	0	0			
3	6	-23		-28		-35	-42	-50	-80		1	1,5	1	3	4	6			
6	10	-28		-34		-42	-52	-67	-97		1	1,5	2	3	6	7			
10	14			-40		-50	-64	-90	-130										
14	18	-33	-39	-45		-60	-77	-108	-150		1	2	3	3	7	9			
18	24	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188										
24	30	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218		1,5	2	3	4	8	12			
30	40	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274										
40	50	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325		1,5	3	4	5	9	14			
50	65	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405										
65	80	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480		2	3	5	6	11	16			
80	100	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585										
100	120	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690		2	4	5	7	13	19			
120	140	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800										
140	160	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900		3	4	6	7	15	23			
160	180	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000										
180	200	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150										
200	225	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250		3	4	6	9	17	26			
225	250	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350										
250	280	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550		4	4	7	9	20	29			
280	315	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700										
315	355	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900		4	5	7	11	21	32			
355	400	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100										
400	450	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400		5	5	7	13	23	34			
450	500	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600										

Таблица 12.15

Варианты заданий

№ варианта	Тип подшипника	Диаметр внутренне- го кольца d , мм	Диаметр внешнего кольца D , мм	Ширина подшип- ника B , мм	d_2 , мм	D_2 , мм	Грузоподъемность подшипника динамическая C , Н	Грузоподъемность подшипника статическая C_0 , Н
1	Подшипник шариковый однорядный радиальный	90	205	42	130,6	174,4	42 300	34 500
2		100	215	47	135,6	179,4	44 900	36 700
3		110	225	52	140,5	184,4	46 500	38 700
4		120	235	57	145,6	189,4	48 900	39 400
5		130	245	62	150,6	194,4	50 000	41 000
6		90	205	42	130,6	174,4	42 300	34 500
7		100	215	47	135,6	179,4	44 900	36 700
8		110	225	52	140,5	184,4	46 500	38 700
9		120	235	57	145,6	189,4	48 900	39 400
10		130	245	62	150,6	194,4	50 000	41 000
11		90	205	42	130,6	174,4	42 300	34 500
12		100	215	47	135,6	179,4	44 900	36 700
13		110	225	52	140,5	184,4	46 500	38 700
14		120	235	57	145,6	189,4	48 900	39 400
15		130	245	62	150,6	194,4	50 000	41 000
16		90	205	42	130,6	174,4	42 300	34 500
17		100	215	47	135,6	179,4	44 900	36 700
18		110	225	52	140,5	184,4	46 500	38 700
19		120	235	57	145,6	189,4	48 900	39 400
20		130	245	62	150,6	194,4	50 000	41 000
21		90	205	42	130,6	174,4	42 300	34 500
22		100	215	47	135,6	179,4	44 900	36 700
23		110	225	52	140,5	184,4	46 500	38 700
24		120	235	57	145,6	189,4	48 900	39 400
25		130	245	62	150,6	194,4	50 000	41 000
26		90	205	42	130,6	174,4	42 300	34 500
27		100	215	47	135,6	179,4	44 900	36 700
28		110	225	52	140,5	184,4	46 500	38 700
29		120	235	57	145,6	189,4	48 900	39 400
30		130	245	62	150,6	194,4	50 000	41 000

Содержание отчёта

Таблица 12.16

Вариант № _____

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
1	Тип подшипника	
2	Диаметр внутреннего кольца	
3	Диаметр внешнего кольца	
4	Ширина подшипника	
5	Грузоподъемность подшипника динамическая	
6	Грузоподъемность подшипника статическая	
7	Подбор посадок колец подшипников	
8	Подбор посадки внутреннего кольца подшипника на вал	
9	Вычертить эскиз посадки подшипника	
10	Подобрать посадку подшипника	
11	Вывод	

Контрольные вопросы

1. Как нормируется точность подшипников качения?
2. Какие классы точности установлены для подшипников качения?
3. Какие факторы влияют на выбор посадок подшипников качения?
4. Какие виды нагружения различают для колец подшипников качения?
5. Как местное, циркуляционное и колебательное нагружения колец влияют на характер посадок в подшипниковом узле?
6. От чего зависят требования к точности геометрических параметров посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса под подшипники качения?

Рекомендуемая литература

1. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для студентов вузов / А. И. Аристов, Л. И. Карпов, В. М. Приходько, Т. М. Раковщик. — 5-е изд., перераб. — Москва : Академия, 2013. — 416 с. — (Высшее профессиональное образование. Машиностроение) (Бакалавриат). — ISBN 978-5-7695-8597-5.
2. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебник для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1987. — 352 с.
3. Палей, М. А. Допуски и посадки. Справочник. В 2 частях. Часть 2 / М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. — 8-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Политехника, 2001. — 608 с. — ISBN 5-7325-0514-8.
4. ГОСТ 520—2011. Подшипники качения. Общие технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 12 мая 2011 года № 39—2011) : взамен ГОСТ 520—2002 : дата введения 2012-07-01 / разработан Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 307 «Подшипники качения», ООО «НИЦ ЕПК». — Москва : Стандартинформ, 2012. — III, 65, [1] с.
5. ГОСТ 3325—85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : взамен ГОСТ 3325—55 : дата введения 1987-01-01. — Переизд. с Изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 1994. — 103, [1] с.
6. ГОСТ 3478—2012. Подшипники качения. Присоединительные размеры : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 24 мая 2012 года № 41) : взамен ГОСТ 3478—79 : дата введения 2014-01-01 / разработан ООО «НИЦ ЕПК». — Москва : Стандартинформ, 2014. — III, 41, [1] с.

7. ГОСТ 3189–89. Подшипники шариковые и роликовые. Система условных обозначений : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 21 декабря 1989 года № 3926 : взамен ГОСТ 3189–75 : дата введения 1991-01-01 / разработан и внесен Министерством автомобильного и сельскохозяйственного машиностроения. — Переизд. — Москва : Издательство стандартов, 2003. — 11 с.
8. ГОСТ 25346–89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 11 апреля 1989 года № 983 : взамен ГОСТ 25346–82 : дата введения 1990-01-01 / разработан и внесен Министерством автомобильного и сельскохозяйственного машиностроения. — Изд. с поправками. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 25 с.
9. Раковщик, Т. М. Расчет посадок шарикового радиального подшипника качения : метод. указания к лабораторно-практической работе по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация» / Т. М. Раковщик, А. С. Сергеева, А. Н. Шаламов ; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. — Москва : МАДИ, 2014. — 40 с.

Лабораторная работа 13

Расчет размерных цепей

Цель работы: приобрести практические навыки в анализе и расчете размерных цепей.

Основные положения

Общие указания по составлению размерных цепей

Размерной цепью называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и участвующих в решении поставленной задачи. Задачи, которые решаются с помощью размерных цепей, могут быть конструкторскими (выбор размеров и точности звеньев), технологическими (обеспечение заданного зазора при сборке), настроечными (наладка станков), связанными с выполнением технических измерений и другими. Размерные цепи бывают различных видов в зависимости от назначения (конструкторские, технологические, измерительные), характера взаимного расположения звеньев (линейные, угловые, плоские, пространственные), принадлежности к детали или узлу (подетальные, сборочные) и др.

Размерные цепи состоят из звеньев, в качестве которых могут быть размеры деталей, зазоры и натяги. Различают несколько видов звеньев.

Исходное звено — это звено, возникающее в результате постановки задачи при проектировании, для решения которой используется размерная цепь (например, обеспечить заданную параллельность стола станка к оси шпинделя).

Замыкающее звено — это звено, получаемое в размерной цепи последним в результате решения поставленной задачи, в том числе при изготовлении, сборке и измерении.

Составляющее звено — это звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение исходного или замыкающего звена. Составляющие звенья делятся на увеличивающие и уменьшающие.

Увеличивающее звено — это составляющее звено, с увеличением которого увеличивается исходное или замыкающее звено.

Уменьшающее звено — это звено, с увеличением которого уменьшается исходное или замыкающее звено.

Одно из составляющих звеньев при необходимости может быть принято в качестве компенсирующего звена.

Компенсирующее звено — это предварительно выбранное составляющее звено, изменением которого достигается требуемая точность замыкающего звена.

При решении размерных цепей возникают два вида задач: первая и вторая.

Первая задача заключается в определении номинального размера, допуска и предельных отклонений замыкающего звена по заданным номинальным размерам, допускам и отклонениям составляющих звеньев. Эта задача чаще всего встречается при расчетах технологических процессов или как проверочная при конструировании деталей и узлов машин.

Вторая задача заключается в определении величины допуска и отклонений составляющих звеньев по заданным номинальным размерам всех звеньев цепи и заданным предельным размерам замыкающего звена. Данная задача типична для конструкторских расчетов.

Следует иметь в виду, что в литературе можно встретить такое название указанных задач, как *прямая и обратная*.

Существует ряд методов расчета размерных цепей:

- а) метод полной взаимозаменяемости;
- б) метод неполной взаимозаменяемости (теоретико-вероятностный);
- в) метод ограниченной взаимозаменяемости (группового подбора).

Введем условные обозначения параметров цепи. Номинальные размеры составляющих увеличивающих звеньев — $A_1, A_2, \dots, A_i$; уменьшающих — $A'_3, A'_4, \dots, A'_j$.

Номинальный размер замыкающего звена — A_Δ . Допуски составляющих звеньев — $TA_1, TA_2, TA_3, TA_i, TA_j$. Допуск компенсирующего звена — T_k . Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена — ES_Δ, EJ_Δ (или es_Δ и ei_Δ). Верхние отклонения составляющих звеньев — ESA_1, ESA_2, ESA (eSA_i, eSA и т. д.). Нижние отклонения составляющих звеньев — EIA_1, EIA_2, EIA_3 (eiA_1, eiA_2 и т. д.). Верхнее и нижнее отклонения компенсирующего звена — ES_k (es_k) и EI_k (ei_k).

Решение первой задачи

В современном машиностроении, особенно серийном и массовом, наиболее часто находит применение теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей, обеспечивающий наиболее экономичное решение технологических и конструкторских задач.

При массовом или крупносерийном производстве, особенно в многозвенных размерных цепях, вероятность одновременного попадания на сборку, например, наибольших размеров всех уменьшающих звеньев чрезвычайно мала. Поэтому размерные цепи целесообразно рассчитывать вероятностным методом, позволяющим без расширения поля допуска замыкающего звена расширить поля допусков на изготовление составляющих звеньев.

Номинальный размер замыкающего звена рассчитывается так:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_i - \sum_{j=1}^n A'_j, \quad (13.1)$$

где m и n — число увеличивающих и уменьшающих звеньев в цепи.

Допуск замыкающего звена рассчитывается следующим образом:

$$T_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i,j=1}^{m=n} TA_{i,j}^2}. \quad (13.2)$$

Значение координаты середины поля допуска замыкающего звена рассчитывается как:

$$E_c A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m E_c A_i - \sum_{j=1}^n E_c A'_j. \quad (13.3)$$

В свою очередь, координаты середин полей допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев рассчитываются соответственно:

$$E_c A_i = ESA_i - \frac{TA_i}{2} \text{ или } E_c A_i = EIA_i + \frac{TA_i}{2}; \quad (13.4)$$

$$E_c A'_j = ESA'_j - \frac{TA'_j}{2} \text{ или } E_c A'_j = EIA'_j + \frac{TA'_j}{2}. \quad (13.5)$$

Пример

Пусть заданы следующие значения звеньев размерной цепи, приведенной на рис. 13.1: увеличивающее $A_1 = 168h12_{(-0,40)}$ мм и уменьшающие $A'_2 = 5H12_{(+0,12)}$; $A'_3 = A'_9 = 16_{(-0,12)}$ мм; $A'_4 = 22h12_{(-0,21)}$ мм; $A'_5 = 40h12_{(-0,15)}$ мм; $A'_6 = 15h12_{(-0,18)}$ мм;

$$A'_7 = 40h12({}_{-0,21}) \text{ мм}; A'_8 = 18h12({}_{-0,18}) \text{ мм}; A'_{10} = 5H12({}^{+0,12}) \text{ мм}.$$

Следует определить допуск и отклонение замыкающего звена A_Δ .

По формуле (13.1) находим номинальный размер замыкающего звена:

$$A_\Delta = 168 - (5 + 2 \cdot 16 + 22 + 40 + 15 + 18 + 30 + 5) = 1 \text{ мм}.$$

Рассчитываем значение $E_c 168$ по формуле (13.4):

$$E_c 168 = 0 - \frac{0,40}{2} = -0,20 \text{ мм}.$$

По формуле (13.5) определяем значение координат середин полей допусков уменьшающих звеньев:

$$\begin{aligned} E_c 5 &= 0,12 - \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ мм}; E_c 16 = 0 - \frac{0,12}{2} = -0,06 \text{ мм}; \\ E_c 22 &= 0 - \frac{0,21}{2} = -0,105 \text{ мм}; E_c 40 = 0 - \frac{0,25}{2} = -0,125 \text{ мм}; \\ E_c 15 &= 0 - \frac{0,18}{2} = -0,09 \text{ мм}; E_c 30 = 0 - \frac{0,21}{2} = -0,105 \text{ мм}; \\ E_c 18 &= 0 - \frac{0,18}{2} = -0,09 \text{ мм}; E_c 5 = 0,12 - \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ мм}. \end{aligned}$$

По формуле (13.3) подсчитываем значение $E_c A_\Delta$:

$$\begin{aligned} E_c A_\Delta &= -0,20 - (0,06 - 0,06 - 0,105 - 0,125 - 0,09 - \\ &\quad - 0,105 - 0,009 - 0,06 - 0,06) = 0,32 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Рассчитаем допуск замыкающего звена по формуле (13.2):

$$T_\Delta = \sqrt{0,40^2 + 0,12^2 + 0,21^2 + 0,25^2 + 0,18^2 + 0,21^2 + 0,12^2 + 0,12^2} = 0,66 \text{ мм}.$$

Предельные отклонения замыкающего звена рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} ES_\Delta &= E_c A_\Delta + \frac{T_\Delta}{2}; \\ EJ_\Delta &= E_c A_\Delta - \frac{T_\Delta}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (13.6)$$

Следовательно:

$$ES_\Delta = 0,32 + \frac{0,66}{2} = 0,65 \text{ мм};$$

$$EJ_\Delta = 0,32 - \frac{0,66}{2} = -0,01 \text{ мм}.$$

Окончательно имеем замыкающее звено: $A_\Delta = 1^{+0,65}_{-0,01} \text{ мм}.$

Решение второй задачи

Вторая задача распространена в практике машиностроения в значительно большей степени, чем первая. Точность составляющих размеров должна быть такой, чтобы гарантировалась заданная точность замыкающего звена. В данной задаче есть одно уравнение (13.2), а число неизвестных составляет $m + n$. Следовательно, для ее решения должны быть выбраны дополнительные условия, позволяющие устранить неопределенность. В теории и практике решения размерных цепей для этих целей используется *способ равных допусков* или *способ одного качества*.

Способ равных допусков применяют, если составляющие звенья расположены в одном размерном интервале и могут быть выполнены с примерно одинаковой точностью. Этот способ находит ограниченное применение, так как практически очень редко встречаются размерные цепи, составляющие звенья, которые входили бы в один размерный интервал. Например, довольно простая размерная цепь, представленная на рис. 13.1, включает размеры, входящие в 6 размерных интервалов по стандарту ГОСТ 25347–82. Однако рассмотрим все же методику решения размерных цепей способом равных допусков, которая, хотя и редко, но применяется.

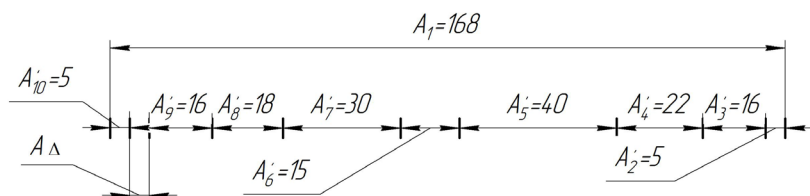


Рис. 13.1. Размерная цепь

При решении *методом неполной взаимозаменяемости* определение средней величины допуска составляющих звеньев производится по формуле

$$TA_{i,j} = \frac{T_{\Delta}}{K_i \sqrt{m+n}}. \quad (13.7)$$

Здесь K_i — коэффициент относительного рассеяния размеров. При изготовлении деталей на настроенных станках и при распределении погрешностей размеров по закону нормального распределения $K_i = 1,5$.

Если значение TA_{ij} , рассчитанное по формуле (13.7), не совпадает со стандартным, то при выборе допусков следует придерживаться следующего правила. Для звеньев относительно более сложных с технологической точки зрения (например, A_1, A'_3 , рис. 13.1) допуски выбираются большими, чем TA_{ij} , а для технологически простых звеньев — округляются в сторону уменьшения. Если и при этом равенство (13.2) не обеспечивается, то одно из составляющих звеньев принимается за компенсирующее звено, в качестве которого обычно выбирается звено наименее ответственное с конструктивной точки зрения и наиболее простое — с технологической.

В цепи (рис. 13.1) таким звеном могут быть втулки A'_4 или A'_8 . Допуск компенсирующего звена рассчитывается по формуле

$$T_k = \sqrt{T_\Delta^2 - \sum_{i,j=1}^{m+n-1} TA_{i,j}^2}. \quad (13.8)$$

В качестве компенсирующих могут также использоваться не одно, а несколько звеньев (например, обе втулки A'_4 и A'_8 в цепи, показанной на рис. 13.1). Тогда сумма под корнем в формуле (13.8) соответствующим образом изменяется.

Координата середины поля допуска компенсирующего звена рассчитывается по формуле (13.9) или (13.10), если звено A_k соответственно увеличивающее либо уменьшающее:

$$E_c A_k = E_c A_\Delta - \sum_{i=1}^{m-1} E_c A_i + \sum_{j=1}^n E_c A'_j; \quad (13.9)$$

$$E_c A_k = \sum_{i=1}^m E_c A_i - E_c A_\Delta - \sum_{j=1}^{n-1} E_c A'_j. \quad (13.10)$$

Пример

В размерной цепи (рис. 13.1) допуски звеньев A'_3 и A'_9 известны, так как подшипники являются стандартными (покупными) узлами, точность изготовления которых определяется классом их точности. В данном узле применен шарикоподшипник № 206 лёгкой серии класса точности О. По ГОСТ 25347–82 определяем основные размеры и отклонение на ширину кольца, равное 0,12 мм. Исходя из условий работы червячной передачи установлено, что осевое смещение вала допускается в пределах $\pm 0,5$ мм. Следовательно, замыкающее звено равно $A_\Delta = 1 \pm 0,5$ мм и $T_\Delta = 1000$ мкм. Поскольку

значения TA'_3 и TA'_9 равны по 120 мкм, то по формуле (13.3) (при $K_{i_1} = 1$) рассчитываем средний допуск для остальных (кроме звеньев TA'_3 и TA'_9) звеньев цепи.

$$TA_{i,j} = \frac{T_{\Delta} - (TA'_3 + TA'_9)}{\sqrt{8}} = \frac{1000 - 240}{2,83} = 268 \text{ мкм.}$$

По таблицам ГОСТ 25347–2013 принимаем допуски звеньев, кроме компенсирующего A'_4 , а также TA'_3 и TA'_9 такими: $A_1 = 168h12_{(-0,40)}$ мм; $A'_2 = 5h13^{(+0,18)}$ мм; $A'_5 = 40h13_{(-0,39)}$ мм; $A'_6 = 15h12_{(-0,18)}$ мм; $A'_7 = 30h12_{(-0,21)}$ мм; $A'_8 = 18h12_{(-0,18)}$ мм; $A'_{10} = 5h13^{(+0,18)}$ мм.

При назначении полей допусков (H или h) на составляющие звенья надо руководствоваться следующим простым правилом: звено (деталь) рассматривается отдельно (вне сборочного узла). Если исследуемый размер является охватываемым (валом), то следует выбрать поле h , а если охватывающим (отверстием), то поле H .

Далее проверяем, соблюдается ли равенство, определяемое формулой (13.2). Корень квадратный из суммы квадратов допусков составляющих звеньев (включая $TA'_4 = 0,18$ мм) равен:

$$\sqrt{0,4^2 + 0,18^2 + 0,18^2 + 0,39^2 + 0,18^2 + 0,21^2 + 0,18^2 + 0,18^2 + 0,12^2 + 0,12^2} = \sqrt{0,547} = 0,74 \text{ мм.}$$

Следовательно, $T_{\Delta} = 1 \neq \sqrt{\sum_{i,j=1}^{m+n} TA_{i,j}^2} = 0,74$, и это вызывает необходимость ввести в расчёт компенсирующее звено (A'_4 , как сказано выше), допуск которого определяем по формуле (13.8):

$$T_K = \sqrt{1^2 - (0,12^2 + 0,12^2) - (0,40^2 + 0,18^2 + 0,39^2 + 0,18^2 + 0,21^2 + 0,18^2 + 0,18^2)} = 0,68 \text{ мм.}$$

По формуле (13.10) определяем величину E_{cK} :

$$E_c A_K = -0,20 - 0,0 - (0,09 - 0,06 - 0,195 - 0,09 - 0,105 - 0,09 - 0,06 + 0,09) = 0,22 \text{ мм.}$$

Отклонения компенсирующего звена рассчитываются по формуле (13.6):

$$ES_K = E_c A_K + \frac{T_K}{2} = 0,22 + \frac{0,68}{2} = 0,56 \text{ мм;}$$

$$EI_{\kappa} = E_c A_{\kappa} - \frac{T_{\kappa}}{2} = 0,22 - \frac{0,68}{2} = -0,12 \text{ мм.}$$

Следовательно, компенсирующее звено $A'_4 = 22^{+0,56}_{-0,12}$ мм.

Произведем проверку полученных значений допусков по формуле (13.2):

$$T_{\Delta} = \sqrt{0,4^2 + 0,18^2 + 0,12^2 + 0,68^2 + 0,39^2 + 0,18^2 + 0,21^2 + 0,18^2 + 0,12^2 + 0,18^2} = 1,0 \text{ мм.}$$

Способ равного квалитета предполагает, что все составляющие звенья выполнены по одному квалитету, а величина допусков зависит от номинального размера каждого из звеньев.

При решении задачи методом неполной взаимозаменяемости коэффициент a (число единиц допуска в допуске) рассчитывается по формуле

$$a = \frac{T_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m+n} i^2}}, \quad (13.11)$$

где i — единица допуска, рассчитываемая по формуле (13.9).

По величине a находится квалитет, затем значения допусков для каждого звена. Если при этом не удовлетворяется равенство (13.2), то используют компенсирующие звенья, так, как это показано выше.

Пример

Воспользуемся всеми данными предыдущей задачи и, в частности, тем, что $T_{\Delta} = 1000$ мкм; $TA'_3 = TA'_9 = 120$ мкм.

Рассчитаем вначале сумму единиц допусков, входящих в знаменатель формулы (13.11). Примем для практических расчётов, что $i \cong 0,45\sqrt[3]{d_m}$. Для заданных номинальных размеров составляющих звеньев находим, что для $A_1, A'_2, A'_4, A'_5, A'_6, A'_7, A'_8, A'_{10}$ единицы допуска соответственно равны: 2,39; 0,74; 1,30; 1,54; 1,08; 1,30; 1,08; 0,74 мкм.

Тогда, согласно (13.11), и имея в виду, что $TA'_3 = TA'_9 = 120$ мкм, получаем:

$$a = \frac{1000 - (120 + 120)}{\sqrt{2,39^2 + 0,74^2 + 1,30^2 + 1,54^2 + 1,08^2 + 1,30^2 + 1,08^2 + 0,74^2}} \cong 197.$$

По формулам (13.8), (13.9), (13.10) рассчитываем параметры компенсирующего звена, которые оказались следующими: $T_k = 0,32$ мм; $E_s A_k = 0,25$ мм; $ES_k = 0,41$ мм; $EI_k = -0,09$ мм. Следовательно, $A_4 = 22_{-0,09}^{+0,41}$ мм.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать вариант работы по табл. 13.1.
2. Провести расчет размерной цепи по формулам (13.1)–(13.11).
3. Вычертить эскиз размерной цепи, как показано на рис. 13.1.
4. Оформить протокол отчета (табл. 13.2).

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.

8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Методические материалы

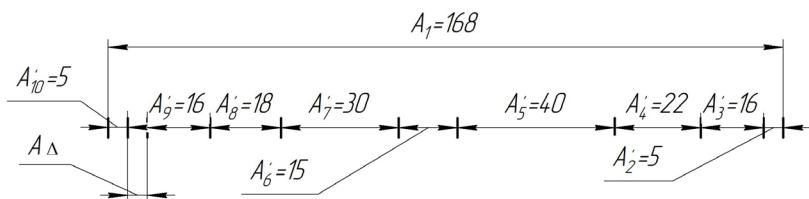


Таблица 13.1

Варианты заданий

№ варианта	Допуски на размеры звеньев размерной цепи									
	TA ₁	TA ₂	TA ₃	TA ₄	TA ₅	TA ₆	TA ₇	TA ₈	TA ₉	TA ₁₀
1	h9	H7	K9	F8	R8	N7	S6	U8	Y8	H8
2	h7	U8	H8	K7	F8	R8	N7	S6	U8	U8
3	h8	U8	Y8	H9	K8	F8	R8	N7	S6	U8
4	h6	S6	U8	S6	H10	K6	F8	R8	N7	S6
5	h12	N9	S6	N7	N7	H11	K12	F8	R10	N9
6	h9	R8	N7	R8	R8	N7	H12	K8	F8	R8
7	h7	F8	R10	F8	F8	R8	N7	H6	K7	F8
8	h8	K7	F8	K8	K12	F8	R10	H10	H5	K7
9	h6	H14	K7	H6	H12	K12	F8	N7	N7	H14
10	h12	H7	K9	F8	R8	N7	S6	U8	Y8	H8
11	h9	U8	H8	K7	F8	R8	N7	S6	U8	U8
12	h7	U8	Y8	H9	K8	F8	R8	N7	S6	U8

№ варианта	Допуски на размеры звеньев размерной цепи									
	TA ₁	TA ₂	TA ₃	TA ₄	TA ₅	TA ₆	TA ₇	TA ₈	TA ₉	TA ₁₀
13	h8	S6	U8	S6	H10	K6	F8	R8	N7	S6
14	h6	N9	S6	N7	N7	H11	K12	F8	R10	N9
15	h12	R8	N7	R8	R8	N7	H12	K8	F8	R8
16	h9	F8	R10	F8	F8	R8	N7	H6	K7	F8
17	h7	K7	F8	K8	K12	F8	R10	H10	H5	K7
18	h8	H14	K7	H6	H12	K12	F8	N7	N7	H14
19	h6	H7	K9	F8	R8	N7	S6	U8	Y8	H8
20	h12	U8	H8	K7	F8	R8	N7	S6	U8	U8
21	h9	U8	Y8	H9	K8	F8	R8	N7	S6	U8
22	h7	S6	U8	S6	H10	K6	F8	R8	N7	S6
23	h8	N9	S6	N7	N7	H11	K12	F8	R10	N9
24	h6	R8	N7	R8	R8	N7	H12	K8	F8	R8
25	h12	F8	R10	F8	F8	R8	N7	H6	K7	F8
26	h9	K7	F8	K8	K12	F8	R10	H10	H5	K7
27	h7	H14	K7	H6	H12	K12	F8	N7	N7	H14
28	h8	U8	Y8	H9	K8	F8	R8	N7	S6	U8
29	h6	S6	U8	S6	H10	K6	F8	R8	N7	S6
30	h12	N9	S6	N7	N7	H11	K12	F8	R10	N9

Содержание отчёта

Таблица 13.2

Вариант № _____

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
1	Вычертить эскизы деталей	
2	Провести расчет размерной цепи	$TA_{i,j} = \frac{T_{\Delta}}{K_i \sqrt{m+n}}$ $T_k = \sqrt{T_{\Delta}^2 - \sum_{i,j=1}^{m+n-1} TA_{i,j}^2}$ $E_c A_k = E_c A_{\Delta} - \sum_{i=1}^{m-1} E_c A_i + \sum_{j=1}^n E_c A'_j$ $E_c A_k = \sum_{i=1}^m E_c A_i - E_c A_{\Delta} - \sum_{j=1}^{n-1} E_c A'_j$ $a = \frac{T_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^{m+n} i^2}}$
3	Вычертить эскиз размерной цепи	
4	Вывод	

Контрольные вопросы

1. Что называется размерной цепью?
2. Какое звено размерной цепи называют уменьшающим?
3. Какое звено размерной цепи называют увеличивающим?
4. Какое звено размерной цепи называют замыкающим?
5. В чем заключается первая задача при решении размерных цепей?
6. В чем заключается вторая задача при решении размерных цепей?
7. Какое звено размерной цепи называют исходным?
8. Какое звено размерной цепи называют компенсирующим?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 25347–82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 июля 1982 года № 2764 : дата введения 1983-07-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Изд. с изм. № 1. — Москва : Издательство стандартов, 2001. — 53 с.
2. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.

Лабораторная работа 14

Измерение зубчатых колес

Цель работы: приобрести практические навыки в измерении параметров и в анализе размеров и допусков размеров зубчатых колес.

Основные положения

За длину общей нормали принимают расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным профилям зубьев. Общая нормаль к эвольвентным поверхностям зубьев является одновременно касательной к основной окружности колеса. Длина ее W представляет собой сумму нескольких шагов зацепления p_b и толщины зуба s_b по дуге основной окружности колеса (рис. 14.1).

$$W = p_b(z_n - 1) + s_0, \quad (14.1)$$

где z_n — число зубьев, находящихся на длине общей нормали.

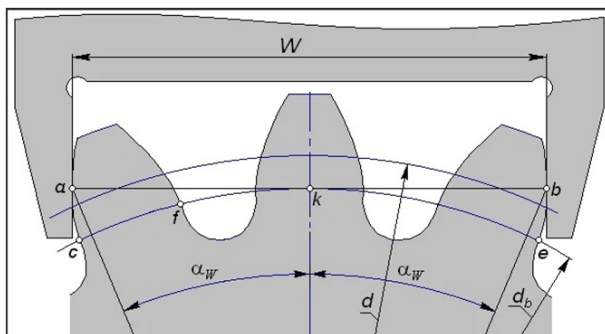


Рис. 14.1. Длина общей нормали

При обработке зубьев в результате погрешностей обката длина общей нормали непрерывно меняется, увеличиваясь на одном участке зубчатого венца и уменьшаясь на другом. Поэтому колебание длины общей нормали V_{Wr} используют в качестве показателя кинематической погрешности колеса (тангенциальной составляющей) и определяют как разность между наибольшей и наименьшей действительной длиной общей нормали на колесе.

$$V_{wr} = W_1 - W_2. \quad (14.2)$$

В то же время, поскольку в формулу длины общей нормали входит толщина зуба, отклонение ее действительной длины от номинального (теоретического) значения будет определять боковой зазор в передаче. Поэтому стандарт нормирует как один из показателей норм бокового зазора отклонение средней длины общей нормали A_{wmr} от номинальной.

$$A_{wmr} = W_m - W. \quad (14.3)$$

Среднюю длину общей нормали W_m находят как среднее арифметическое из всех действительных длин общих нормалей по зубчатому колесу. Длину общей нормали измеряют с помощью накладных приборов — нормалемеров (микрометрических и индикаторных) или станковых универсальных зубоизмерительных приборов, имеющих приспособления для измерения длины общей нормали. Микрометрические нормалемеры, называемые микрометрами зубомерными типа МЗ, предназначены для измерения длины общей нормали колес 7-й степени точности и грубее. Их выпускают четырех типоразмеров с предельными значениями измеряемой величины W : 25, 50, 75 и 100 мм. От обычных микрометров они отличаются наличием тарельчатых губок и теплоизоляционных накладок (рис. 14.2). При выборе микрометра того или иного типоразмера предварительно определяют примерную длину общей нормали как третью часть диаметра измеряемого колеса. Предел допускаемой основной погрешности этих приборов не превышает 4 мкм.

Индикаторные нормалемеры, предназначенные для измерения длины общей нормали колес степени точности выше 7-й методом сравнения с мерой, представляют собой зубомерные индикаторные скобы, состоящие из полый трубки, на которой крепят две измерительные губки, оснащенные твердым сплавом. Одна из губок связана с измерительной головкой, другая имеет возможность перемещаться вдоль оси трубки для настройки на требуемый размер. В настоящее время выпускают индикаторные нормалемеры нескольких конструкций, предназначенные для измерения длины общей нормали колес внешнего и внутреннего зацепления различ-

ных размеров и модулей. Выпускаемые сейчас приборы моделей БВ-5045 и ББ-5046 отличаются от выпускавшихся ранее моделей отсутствием рычага, передающего перемещение подвижной губки индикатору. Пределы допускаемых основных погрешностей этих приборов зависят от измеряемой длины общей нормали, класса точности прибора и составляют от 3 до 25 мкм при цене деления измерительной головки 2,5 и 10 мкм. Кроме того, изготавливаются также зубомерные рычажные микрометры.

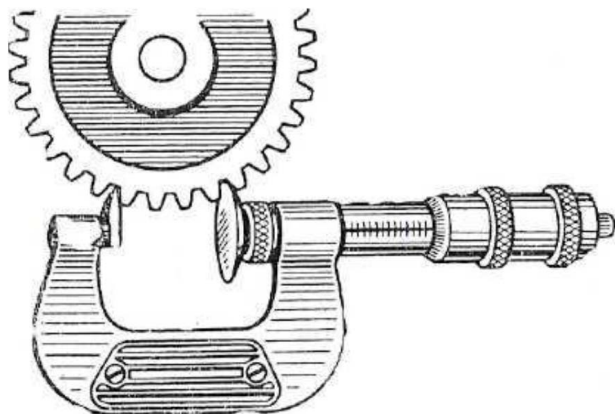


Рис. 14.2. Измерение длины общей нормали зубомерным микрометром

При измерении колебания длины общей нормали нормалемер настраивают по произвольной группе зубьев на размер, а затем определяют наибольшую разность показаний при измерении других групп колеса. Число зубьев, охватываемых губками нормалемера, находят по формуле (с округлением до ближайшего целого числа).

$$z_n = z / 9 + 0,5. \quad (14.4)$$

При измерении отклонения средней длины общей нормали предварительно подсчитывают номинальное значение длины общей нормали по формуле, которая для прямозубых колес имеет следующий вид:

$$W = m \cos a [\pi(z_n - 0,5) + z \operatorname{inv} a + 2x \operatorname{tg} a], \quad (14.5)$$

где m — модуль колеса; a — угол исходного контура; $\text{inv } a$ — инволюта (эвольвентная функция) угла исходного контура, определяемая по таблицам инволют; x — коэффициент смещения исходного контура; z — число зубьев колеса.

Для некорригированных колес при $a = 20^\circ$ предыдущая формула принимает вид:

$$W = m[2,952(z_n - 0,5) + 0,014z]. \quad (14.6)$$

Обычно на основе этой формулы составляют таблицы, по которым длину общей нормали вычисляют путем умножения модуля колеса на коэффициент, соответствующий числу зубьев колеса. Далее нормалемер настраивают на номинальный размер W , по концевым мерам длины измеряют зубья колеса всех групп и определяют отклонение средней длины общей нормали по формуле для A_{Wmr} , которое сравнивают с допускаемыми предельными отклонениями по стандарту. Преимущество метода измерения с помощью нормалемеров — простота измерения и отсутствие промежуточной базы. Недостаток — неполное выявление кинематической погрешности, а также то, что контроль проводят не относительно оси вращения колеса.

Порядок выполнения работы

1. Получить деталь.
2. Оформить протокол отчета (см. методические материалы).
3. Вычертить эскиз зубчатого колеса.
4. Провести измерения параметров зубчатого колеса и вычертить схему расположения допусков размеров.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.
3. Зубомерный микрометр.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Содержание отчёта

Вариант № _____

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
1	Вычертить эскиз зубчатого колеса	
2	Провести измерения параметров зубчатого колеса	
3	Провести расчет параметров зубчатого колеса	$W = p_b(z_n - 1) + s_0$ $V_{Wr} = W'_1 - W'_2$ $A_{Wmr} = W'_m - W'$ $z'_n = z / 9 + 0,5$ $W = m \cos a [\pi(z_n - 0,5) + z \operatorname{inv} a + 2x \operatorname{tg} a]$ $W = m[2,952(z_n - 0,5) + 0,014z]$
4	Вычертить схему расположения допусков размеров	
5	Вывод	

Контрольные вопросы

1. Что такое основная окружность?
2. Что такое модуль зубчатого колеса?
3. Каким образом определить модуль по зубчатому колесу?
4. По какой из окружностей зубчатого колеса определяется модуль?
5. Как рассчитать модуль, зная диаметр окружности выступов?
6. Что такое угол зацепления?
7. Как, зная модуль и число зубьев колеса, рассчитать диаметр окружности впадин и выступов?
8. Как, зная модуль и число зубьев колеса, рассчитать диаметр делительной окружности?
9. Как влияет на профиль зуба увеличение угла зацепления?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 5368—81 (СТ СЭВ 1311—78). Приборы для измерения цилиндрических зубчатых колес. Типы и основные параметры. Нормы точности : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 июня 1981 года № 3257 : взамен ГОСТ 5368—73 : дата введения 1982-01-01 / разработан и внесен Министерством станкостроительной и инструментальной промышленности СССР. — Переизд. с Изм. № 1, 2. — Москва : Издательство стандартов, 1993. — 24 с.
2. Правиков, Ю. М. Измерение цилиндрических зубчатых колес : учеб. пособие к лабораторным работам / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина ; Ульяновский государственный технический университет. — Ульяновск : УлГТУ, 2018. — 142 с. — ISBN 978-5-9795-1834-3.

Лабораторная работа 15

Измерение параметров резьбы

Цель работы: ознакомиться со стандартами на метрические резьбы, с устройством инструментов и приборов, служащих для измерения отдельных элементов резьбы, приобрести навыки работы с инструментами и приборами; ознакомиться с методикой контроля.

Основные положения

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении (в большинстве современных машин свыше 60 % всех деталей имеют резьбы). По эксплуатационному назначению различают резьбы общего применения и специальные, предназначенные для соединения одного типа деталей определенного механизма.

Эксплуатационные требования к резьбам зависят от назначения резьбовых соединений. Общим для всех резьб являются требования долговечности и свинчиваемости без подгонки независимо от изготовления резьбовых деталей при сохранении эксплуатационных качеств соединений.

Точность резьбы можно контролировать дифференциальным (контроль каждого параметра в отдельности) и комплексным (контроль расположения контура резьбы в предписанном поле допуска) методами. Метод контроля каждого параметра резьбы в отдельности трудоемок, поэтому его применяют для точных резьб: ходовых винтов, резьбовых калибров, метчиков и т. п. Иногда по результатам контроля отдельных параметров судят (после вычислений) о комплексном параметре, например о приведенном среднем диаметре резьбы. Комплексный контроль резьб выполняют либо с помощью предельных калибров, либо с помощью проекторов и шаблонов с предельными контурами.

Средства измерений параметров резьбы

Резьбовые микрометры (рис. 15.1) предназначены для измерения среднего диаметра наружной резьбы. По конструкции отличаются от гладких микрометров наличием в неподвижной пятке 2 и конце микровинта 7 глухих отверстий, в которые устанавливаются специальные измерительные вставки 5 и 6.

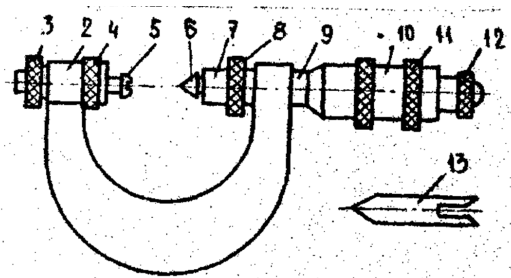


Рис. 15.1. Резьбовой микрометр

Призматическая вставка 5 устанавливается в неподвижную пятку 2, а коническая вставка 6 — в микровинт 7. Резьбовой микрометр снабжается набором вставок, которые подбираются в зависимости от шага резьбы. Интервал шагов, для которого предназначена вставка, наносится на ее цилиндрическую хвостовую часть. Для расширения диапазона регулирования неподвижная пятка 2 за счет контргайки 4 и гайки 3 может быть смещена в осевом направлении (рис. 15.2).



Рис. 15.2. Вставки к резьбовому микрометру

Перед тем как начать измерения, рекомендуется проверить нулевое положение микрометра. С этой целью необходимо привести вставки в соприкосновение и выставить нулевое положение барабана 10 с продольным штрихом стебля 9. При этом начальный поперечный штрих (0,25 или 50) шкалы стебля с ценой деления 0,5 мм должен быть виден полностью, а кромка барабана должна отстоять от него на величину не более 0,1 мм.

Регулировать резьбовой микрометр на измерение заданной резьбы необходимо в такой последовательности:

- подобрать вставки, соответствующие шагу измеряемой резьбы, промыть их авиационным бензином и протереть мягкой тканью. Коническую вставку установить до упора в отверстие микровинта, призматическую — в отверстие пятки;

— вращением винта совместить нулевой штрих барабана 10 с продольным штрихом стебля 9, а край барабана — с нулевым поперечным штрихом стебля и зафиксировать это положение стопором 8;

— отпустить контргайку 4 регулируемой пятки, вращением гайки 3 переместить пятку до соприкосновения вставок 5 и 6, закрепить контргайку 4 и освободить стопор 8;

— вращая микровинт за трещотку 12, развести вставки на 1–2 мм и плавно свести их до получения двух-трех щелчков трещотки. Если при этом показания прибора не уйдут за нуль, то вписать их в графу отчета «Нулевой отсчет»;

— если показания прибора уйдут за нуль (прибор зашкалит), то необходимо зафиксировать микровинт стопором 8, придерживая барабан 10, отвернуть на один-два оборота колпачок 11, надавить на барабан 10 в осевом направлении, совместить продольный штрих стебля с нулевым штрихом барабана 10 и, не давая провернуться стеблю к барабану, завернуть колпачок 11. После этого проверить показания прибора.

Микрометры с нижним пределом измерения 25 мм и более регулируют по установочной мере.

Для того чтобы измерительное усилие не превосходило допустимое (5–9 Н), микровинт следует вращать только при помощи трещотки 12.

Микрометрические инструменты имеют два отсчетных устройства. Первое отсчетное устройство состоит из продольной шкалы, нанесенной на стебле, и указателя, которым является торец барабана 10.

Продольная шкала имеет два ряда поперечных штрихов, расположенных по обе стороны продольного штриха и сдвинутых относительно друг друга на 0,5 мм. Оба ряда штрихов образуют, таким образом, одну продольную шкалу с ценой деления, равной шагу микровинта.

Второе отсчетное устройство, являющееся нониусом, состоит из шкалы с ценой деления 0,01 мм, нанесенной на конусной поверхности барабана 10 и указателя в виде продольного штриха на стебле 9. При шаге микровинта, равном 0,5 мм, одному обороту

микровинта и скрепленного с ним барабана 10 соответствует перемещение торца барабана на одно деление. Два оборота микровинта будут соответствовать 1,0 мм. На круглой шкале барабана нанесено пятьдесят делений. Следовательно, поворот барабана с микровинтом на одно деление относительно продольного штриха стебля 9 будет соответствовать 0,01 мм.

Для определения размера проверяемой детали отсчет снимают по двум отсчетным устройствам, суммируя их показания.

Пример

На стебле 1 (рис. 15.3, а) отсчитывается количество делений с интервалом 0,5, равное 17. Следовательно, по первому отсчетному устройству отсчет равен $17 \cdot 0,5 = 8,5$ мм. После этого по второму отсчетному устройству, то есть по шкале нониусного барабана 2, отсчитываются десятые и сотые доли миллиметра — 0,27 (27 делений соответствуют продольному штриху стебля 1).

Результат измерения: $8,5 + 0,27 = 8,77$.

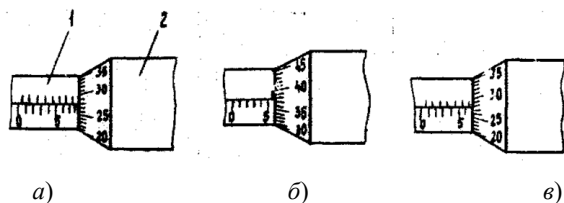


Рис. 15.3. Примеры отсчета по резьбовому микрометру

Если кромка барабана остановится между верхним и нижним штрихом стебля (рис. 15.3, б), то полученный размер представляет собой сумму трех величин: числа целых миллиметров до ближайшего нижнего к кромке барабана деления на стебле, полмиллиметра от этого деления до верхнего деления и показания в сотых долях миллиметра по барабану.

В рассмотренном случае этот размер будет складываться из следующих величин: $5 + 0,5 + 0,37 = 5,87$ мм.

Если же кромка барабана остановится между нижним и верхним штрихами стебля (рис. 15.3, в), то число целых миллиметров полученного размера определяется по нижнему делению шкалы. И к нему непосредственно прибавляется число сотых долей милли-

метра по показаниям барабана. В данном случае этот размер будет равен: $7 + 0,28 = 7,28$ мм.

Отсчет показаний микрометра следует производить при застопоренном барабане.

Резьбовые шаблоны (рис. 15.4) применяются при определении шага резьбы, для чего прикладывают шаблоны последовательно к резьбе и наблюдают просветы между ними и профилем резьбы.

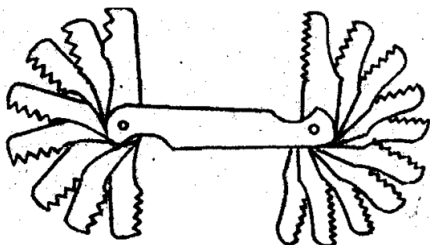


Рис. 15.4. Резьбовые шаблоны

Пластика, обеспечивающая на всей своей длине одинаковый просвет с профилем резьбы, будет характеризовать искомый шаг резьбы.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя деталь для контроля.
2. Ознакомиться со стандартами на метрические резьбы.
3. Определить значение элементов резьбы данной резьбовой детали по государственному стандарту ГОСТ 8724—2002.
4. Построить поля допусков резьбы по найденным данным.
5. Ознакомиться с устройством резьбового микрометра, определить числовые значения основных метрологических характеристик резьбового микрометра.
6. Измерить с помощью резьбовых шаблонов шаг резьбы и подобрать соответствующие вставки к резьбовому микрометру.
7. Измерить средний диаметр резьбы резьбовым микрометром.
8. Определить годность резьбы по результатам измерений.
9. Полученные результаты внести в форму отчета.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.
3. Резьбовой микрометр с пределами измерений 0 + 25 или 25 + 50 с ценой деления шкалы барабана 0,01 мм, штангенциркуль ШЦ-1, 0-125, цена деления 0,1 мм, резьбовые шаблоны, резьбовая деталь.
4. Рабочие и контрольные калибры для болтов.
5. Резьбовые проходные и непроходные кольца.
6. Резьбовые скобы.
7. Деталь — болт для измерения резьбы.
8. Проволочки.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.
8. По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Содержание отчёта

Вариант № _____

№ п/п	Порядок выполнения	Эскизы и расчеты
1	Вычертить эскиз детали	
2	Определить значение элементов резьбы данной резьбовой детали по ГОСТ 8724–2002	
3	Поля допусков резьбы по найденным данным	
4	Средний диаметр резьбы	
5	Шаг резьбы	
6	Заключение о годности резьбы	
7	Вывод	

Контрольные вопросы

1. Назначение резьбы.
2. Обозначение резьбы на чертежах.
3. Какие основные элементы резьбы регламентированы предельными отклонениями по стандарту?
4. Что такое диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля и как их определить?
5. С какой целью введено понятие приведенного среднего диаметра резьбы?
6. Назначение комплексного и поэлементного методов контроля.
7. Какие средства измерения используются при установлении действительных значений наружного и среднего диаметров, шага и угла профиля резьбы?
8. С какой целью измеряют половину угла профиля, а не полный угол?

9. Что такое наивыгоднейший диаметр проволочек?
10. С какой целью производят измерение шага и половины угла профиля по левой и правой сторонам профиля резьбы?
11. Как дается заключение о годности резьбы при комплексном и поэлементном методах контроля?
12. Перечислить основные параметры цилиндрической резьбы и нарисовать их эскиз.
13. Что понимается под приведенным средним диаметром резьбы?
14. Какие рабочие калибры применяются для контроля резьбы болта?

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 8724—2002 (ИСО 261—98). Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Диаметры и шаги : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 22 от 6 ноября 2002 года) : взамен ГОСТ 8724—81 : дата введения 2004-01-01 / разработан ОАО «НИИИзмерения». — Переизд. — Москва : Стандартинформ, 2008. — III, 9 с.
2. Измерение параметров резьбы : метод. указания к лабораторной работе / Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева ; сост. Е. В. Бурмистров. — Самара, 2004. — 27 с.

Лабораторная работа 16

Контроль шероховатости поверхности

Цель работы: ознакомиться с методами и средствами контроля шероховатости поверхности; получить практические навыки контроля шероховатости и проставления параметров шероховатости на чертеже.

Общие сведения

В практике машиностроения различают *качественные* и *количественные способы* определения шероховатости. По ранней классификации Лейнвебера, это субъективные и объективные способы.

Качественные (субъективные) способы применяются для контроля поверхностей неотчетливых деталей непосредственно на рабочем месте:

1. Высоту неровностей до 70–80 мкм при достаточных навыках можно различать невооруженным глазом при нормальном зрении на расстоянии до 250 мм. Погрешность этого способа обусловлена не только субъективностью оценки, но и тем, что фактически наблюдается шаг неровностей, а в основу суждения о высоте неровностей принимается взаимосвязь высоты и шага неровностей при обработке лезвийными режущими инструментами.

2. Средняя высота неровностей хорошо воспринимается ногтем при определенной скорости движения. Опытные лекальщики различают поверхности с $R_z \geq 10$ мкм.

3. Наиболее точным из качественных считается сравнительный способ, по которому контролируемую поверхность сравнивают с аттестованной поверхностью образца, а способы подбирают так, чтобы материал и вид обработки соответствовал контролируемой детали. Для высоты неровности не меньше 10 мкм погрешность способа не превышает одного стандартного интервала R_z . Для более чистых поверхностей погрешность может быть больше. Точность этого способа повышается вдвое при использовании микроскопа сравнения, в поле зрения которого совмещают контролируемую и эталонную поверхности.

Количественные (объективные) способы подразделяют на три группы:

1. Способ косых срезов. Это сравнительно редкий, применяемый в лабораторных условиях, трудоемкий способ, требующий разрушений материала. Иногда разрушения избегают, снимая оттиск (реплику) поверхности. Единственным достоинством этого способа является наглядность.

2. Группа бесконтактных методов, в которую входят метод светового сечения и микроинтерференционный метод.

3. Контактные методы.

Рассмотрим более подробно бесконтактные методы.

Измерение шероховатости методом светового сечения

Этот метод положен в основу работы двойного микроскопа В.А. Линника.

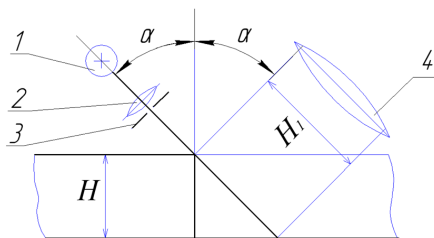


Рис. 16.1. Оптическая схема двойного микроскопа Линника

На рис. 16.1 показана схема прибора. Дана поверхность со ступенькой, высота которой равна H . Свет от лампочки 1, проходя через оптическую систему объектива 2 и щель 3, оставляет на поверхности след высотой H_1 , который виден в поле зрения окулярного микрометра 4. Шкала этого микрометра расположена под углом $\beta = 45^\circ$. Найдем высоту неровности:

$$H = H_1 \cos \alpha. \quad (16.1)$$

Измерение шероховатости интерференционным методом

Интерференцией волн (от лат. *inter* — взаимно, *ferentis* — нести, поражать) называется явление, возникающее при наложении двух волн (в нашем случае световых) и состоящее в их взаимном усилении в одних точках и ослаблении в других.

Интерферировать могут только когерентные волны, то есть волны, разность фаз которых постоянна. Для световых волн это волны от одного источника.

Использование интерференции для измерения шероховатости показана на рис. 16.2.

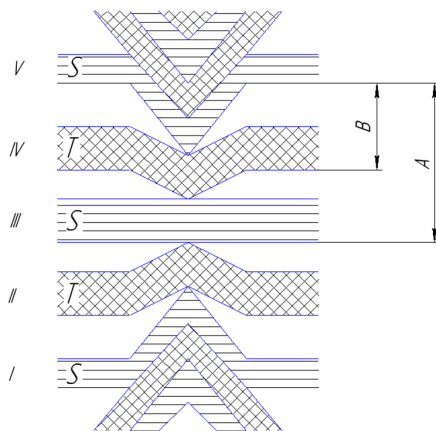


Рис. 16.2. Схема измерения шероховатости интерференционным методом

На плоскую поверхность образца по нормали к ней подается и отражается от нее параллельный фронт световых волн с длиной волны λ . Одновременно от плоскости зеркала, наклоненного к плоской поверхности образца под углом α , отражается скошенный фронт когерентных (с той же длиной волны λ) световых волн. Амплитуды волн от плоскости образца и от наклонного зеркала, расположенные в одноименных фазах, суммируются и образуют в поле зрения окуляра светлые параллельные полосы S . Для других лучей световые волны, расположенные в противоположных фазах, взаимно вычитаются, гасят друг друга и образуют темные параллельные полосы T . Таким образом, при контроле идеальной плоской поверхности в поле зрения окуляра видны чередующиеся параллельные светлые и темные полосы с расстоянием между ними:

$$A = K \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (16.2)$$

где K — увеличение окуляра.

При измерении шероховатости часть лучей попадает на выступы, а часть — на впадины и, отражаясь от них, образуют световые волны, амплитуды которых суммируются с амплитудами световых волн, отраженных от скошенного зеркала.

Высота неровности найдется так:

$$h = \frac{B}{A} \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (16.3)$$

где длина волны белого света $\lambda = 0,55$ мкм, а величины A и B измеряют окулярным микрометром.

Контактные средства измерения шероховатости

Наиболее распространенными и весьма надежными в практике машиностроения в настоящее время являются ощупывающие приборы. Современный универсальный высокочувствительный электромеханический профилометр позволяет измерять не только шероховатость, но и волнистость поверхности. Принцип действия прибора заключается в том, что колебательные движения ощупывающей иглы с радиусом закругления 10 мкм вызывают изменения напряжения, которые регистрируются отчетным устройством. Прибор оснащен интегратором, показывающим параметры шероховатости, имеет записывающий механизм и может выдавать профилограмму поверхности.

Для контроля отклонений профиля тел вращения в плоскости, перпендикулярной оси, применяются различные модели кругломеров. Приборы позволяют записывать диаграммы неровностей поперечного сечения детали в полярных координатах с различными радиальными увеличениями, которые для различных моделей могут изменяться в пределах от 25 до 20 000.

Нижний предел увеличения предназначен для измерения погрешностей формы, например огранки, а верхний позволяет фиксировать шероховатость.

Современные приборы позволяют производить полный комплекс операций контроля состояния поверхностей деталей машин.

Помимо характеристик, предусматриваемых стандартами, современные приборы позволяют контролировать большое число других параметров, характеризующих функциональные требования к поверхностям, например, такие как удержание смазки и обе-

спечение заданного коэффициента трения, несущая способность, герметичность сопряжения и т. п.

Компьютер, совмещенный с прибором, позволяет непосредственно в процессе измерения производить статистическую оценку полученных результатов – определять 90- и 95-процентные доверительные пределы параметров, что дает возможность прогнозировать надежность работы сопряжения.

Изображения шероховатостей в выбранном сечении и на заданной поверхности, а также результаты измерения и статистической оценки в цифровом и графическом представлении выдаются на экране прибора, распечатываются и дают полную характеристику состояния поверхностей при самых высоких требованиях к качеству.

Измерение шероховатости поверхности с помощью профилометра

Профилометр является высокочувствительным прибором и предназначен для измерения в лабораторных условиях шероховатости поверхности изделий, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию.

Прибор позволяет измерять параметр R_a .

Диапазон измерения: 0,02–200 мкм.

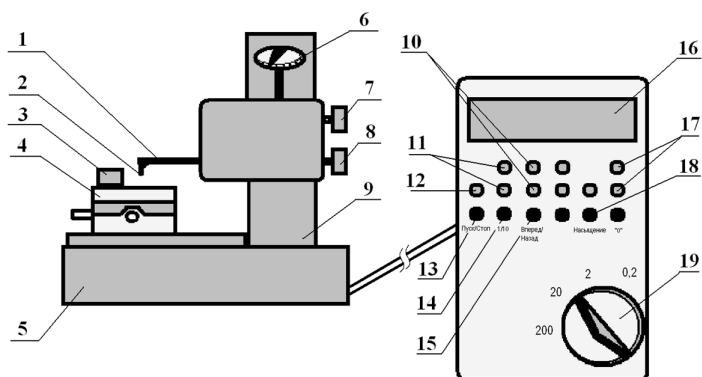


Рис. 16.3. Внешний вид профилометра и его основные узлы

Профилометр состоит из основания 5, на котором установлен неподвижно штатив 9. На штативе закреплена подвижная часть измерительной стойки со стержнем 1, на конце которого расположена игла 2. При перемещении подвижной части измерительной стойки

вверх и вниз (с помощью ручек грубой 7 и точной 6 настройки) игла устанавливается на поверхность измеряемой детали, закрепленной на подставке 4 (для плоских деталей) или на дополнительной фиксирующей подставке 3 (для цилиндрических деталей). После чего положение фиксируется с помощью ручки 8.

Для настройки прибора, а также проведения измерений и снятия показаний профилометра используется портативный пульт управления. На нем расположено цифровое табло 16, на которое выводится непосредственно величина измеренного R_a . Индикатор 12 показывает, включен ли прибор в данный момент, а с помощью кнопки 13 можно запустить или остановить его работу. Индикаторы уровня 17 позволяют выставить уровень прибора на «0». Каждый из индикаторов показывает отклонение уровня в одну и в другую сторону, соответственно, необходимо добиться такого состояния, когда оба индикатора или не горят, или поочередно моргают. Используя кнопку 14, можно установить скорость трассировки — 1 мм/мин или 10 мм/мин, выбранную скорость показывают индикаторы скорости 11. Направление движения иглы (вперед/назад) задается с помощью кнопки 15, в зависимости от чего загорается один из индикаторов движения 10. Индикатор насыщения 18 загорается, когда перемещения иглы выходят за пределы установленного поддиапазона измерения. При зажженном индикаторе насыщения измерения не могут считаться достоверными. Поддиапазон измерения устанавливается с помощью переключателя 19. В начале работы рекомендуется устанавливать поддиапазон измерений, равный 2, если же уровень не будет выставляться, то его можно увеличить или уменьшить.

Порядок работы на профилометре:

- включить питание;
- выбрать предполагаемый диапазон измерения;
- с помощью ручек грубой и точной настройки выставить «0»;
- выставить уровень;
- нажать кнопку пуска 13 (если игла перемещается, то индикатор активен);
- после истечения 25–30 секунд можно снимать показания с прибора по цифровому табло.

Направление измерения — назад. Не рекомендуется устанавливать скорость привода 1 мм/мин, так как на этой скорости имеет смысл проводить контроль формы профиля только с помощью внешнего осциллографа.

Параметры шероховатости

Шаг неровностей профиля S_i (мм) — длина отрезка средней линии, пересекающего профиль в трех смежных точках и ограниченного двумя крайними точками (рис. 16.4).

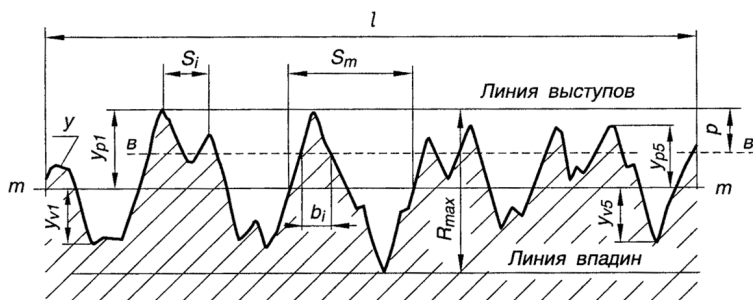


Рис. 16.4. Схема профиля шероховатости

Средний шаг неровностей S_m (мм) — среднее значение шага неровностей в пределах базовой длины l .

Базовая длина l (мм) — длина базовой линии, используемая для количественной оценки параметров шероховатости. Она выбирается так, чтобы на нормирование шероховатости не влияли погрешности низшего порядка, например волнистости.

Средняя линия $m-t$ — базовая линия, имеющая форму номинального профиля. Проводится таким образом, чтобы в пределах базовой длины сумма площадей выступов была равна сумме площадей впадин.

Средняя высота неровностей R_z (мкм) — пятая часть суммы средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}, \quad (16.4)$$

где y_{pi} — высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{vi} — глубина i -й наибольшей впадины профиля.

Наибольшая высота профиля $R_{\max}$ (мкм) — наибольшее расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Отклонение профиля Y_i (мкм) — расстояние между любой точкой профиля и средней линией по нормали к средней линии.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a (мкм) — среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y_i(x)| dx. \quad (16.5)$$

На практике иногда применяют приближенное значение, полученное по конечному количеству точек:

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |Y_i|. \quad (16.6)$$

Сравнение основных параметров шероховатости показывает, что в большинстве случаев для традиционных методов обработки справедливо соотношение

$$R_z \approx 4R_a. \quad (16.7)$$

В машиностроительной практике принято считать, что параметр R_a , определяемый по большому, практически бесконечному количеству измерений, более объективно характеризует состояние поверхности, чем R_z , определяемый по десяти точкам. Исходя из этого, во всех случаях следует пользоваться параметром R_a . Параметр R_z можно применять при специальном обосновании, например, в том случае, когда длина контролируемой поверхности меньше базовой длины l .

Опорная длина профиля

Определяется как сумма длин отрезков по линии В—В в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне P_i в материале выступов.

$$B_l = \sum_{i=1}^n B_i. \quad (16.8)$$

Относительная опорная длина профиля (%) (кривая Аббота):

$$t_p = \frac{B_l}{l} \cdot \quad (16.9)$$

Уровень сечения профиля P (%) – отношение расстояния P от линии выступов до линии $B-B$ к максимальной высоте неровностей $R_{\max}$.

Величина P (рис. 16.5) является важной эксплуатационной характеристикой шероховатости и характеризует несущую способность поверхности.

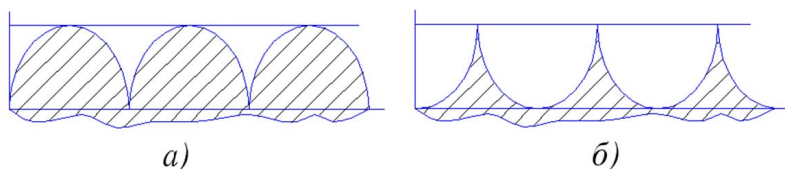


Рис. 16.5. Влияние шероховатости в зависимости от вида профиля на несущую способность поверхности

Относительная опорная длина профиля для сечения, представленного на рис. 16.5, а, значительно больше, чем для сечения представленного на рис. 16.5, б. Следовательно, износостойкость сечения, представленного на рис. 16.5, а, тоже выше.

Обозначение шероховатости поверхностей на чертежах

1. Шероховатость поверхностей деталей из металлов, пластмасс и других материалов, для которых целесообразно производить измерение шероховатости, обозначают на чертеже знаком с указанием одного из параметров шероховатости.

Величину параметров шероховатости R_z или R_a проставляют знаком в микрометрах.

$$\sqrt{Ra \ 1,25},$$

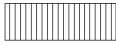
$$\sqrt{Rz \ 3,2}$$

Параметры шероховатости

Среднее арифметическое значение профиля R_a , мкм (не более)	Среднее арифметическое высоты неровности R_z , мкм (не более)	Базовая длина измерения l , мм
80 40	320 160	8
20 10 5	80 40 20	2,5
2,5 1,25 0,63 0,32	10 6,3 3,2 1,6	0,8
0,16 0,08	0,8 0,4	0,25
0,04 0,02 0,01	0,2 0,1 0,005	0,08

2. Обозначение направления неровностей должно соответствовать указанному в таблице.

Направления неровностей

Типы направлений неровностей поверхности и обозначения	Схематическое изображение неровности	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		
Точечное		

3. Значение базовой длины l , не предусмотренной ГОСТом, указывают рядом с обозначением направления рисок, например для $l = 0,8$ мм:

$$\sqrt{= 0,8 / Ra 0,2} \text{ или } \sqrt{= Ra 0,2 \over 0,8 / Sm 0,063}$$

4. Числовое значение шероховатости поверхности ограничивает только наибольшую величину по параметрам R_z или R_a .

Если необходимо ограничить наибольшую и наименьшую величины шероховатости, указывают оба значения величин, например:

$$\sqrt{Ra_{3,2}^{6,3}},$$

$$\sqrt{Ra 3,2}$$

$$\sqrt{t_{50} 80 \pm 10 \%}.$$

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min», например:

$$\sqrt{Ra 3,2 \text{ min}}.$$

Способы обработки или контроля качества поверхностей указывают только в случаях, когда они являются единственными, гарантирующими требуемое количество изделия, например: $\sqrt{\text{шлифовать} \over = 0,8 / Ra 1,25}$.

Обработка со снятием стружки — $\sqrt{\text{—}}$.

Обработка без снятия стружки или сохранение поверхности в состоянии поставки — $\sqrt{\text{—}}$.

Стандарт устанавливает требования к шероховатости поверхности независимо от способа их получения или обработки. Это дает возможность применять его как к поверхностям, обработанным резанием, так и другими методами, например: полученным литьем, прессованием, прокатыванием и т. д.

Числовые значения параметров шероховатости (наибольшие, номинальные или диапазоны значений) выбираются из ряда нормальных линейных размеров $R10a$ ($0,008 \div 100$) мкм.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 16.6. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

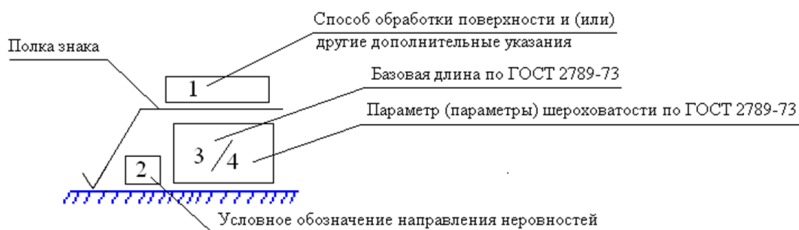


Рис. 16.6. Структура обозначения шероховатости

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записываются сверху вниз в порядке, представленном на рис. 16.7.

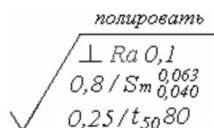


Рис. 16.7. Пример обозначения шероховатости

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть.
2. Получить у преподавателя вариант профилограммы и величину уровня сечения профиля.
3. С помощью лаборанта измерить параметр R_a , сравнить его со стандартным (см. таблицу «Параметры шероховатости») и записать в протокол отчета.
4. По своему варианту профилограммы определить следующие параметры: средний шаг неровностей S_m , относительную опорную длину профиля t на заданном уровне сечения профиля P . Записать их в протокол.
5. По таблице «Параметры шероховатости» определить базовую длину измерения l и записать в протокол.
6. Проставить обозначение шероховатости, применив все найденные параметры.

Используемое оборудование и материалы

1. Ручка, карандаш, линейка.
2. Калькулятор.
3. Профилометр.
4. Деталь для измерения.

Требования к технике безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Прослушать вводный инструктаж по технике безопасности, проведенный преподавателем, изучить теоретический материал, расписаться в журнале инструктажей.
2. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности и не расписавшиеся в журнале инструктажей, к работе не допускаются.
3. Запрещается трогать оборудование и инструменты, не используемые в данной лабораторной работе.
4. Запрещается перемещаться по лаборатории и покидать ее без разрешения преподавателя.
5. Если до или в ходе работы обнаружена неисправность оборудования или инструмента, следует немедленно прекратить выполнение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.
6. В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, загромождать рабочее место посторонними предметами, не предназначенными для выполнения данной лабораторной работы.
7. При несчастном случае (ушиб, порез и т. д.) следует немедленно сообщить преподавателю и оказать пострадавшему первую помощь.

По окончании выполнения лабораторной работы привести в порядок рабочее место, сдать преподавателю методическую литературу, измерительные инструменты и приборы.

Содержание отчета

№ п/п	Параметр шероховатости	Обозначение, единица измерения	Величина
1	Среднее арифметическое отклонение профиля		
2	Средняя высота неровностей		
3	Средний шаг неровностей		
4	Наибольшая высота профиля		
5	Базовая длина		
6	Уровень сечения профиля		
7	Относительная опорная длина профиля		
8	Направление неровностей		
9	Обозначение шероховатости		

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы и средства контроля шероховатости поверхности?
2. В чем состоит сущность интерференционного метода контроля шероховатости поверхности?
3. Какие способы контроля шероховатости поверхности деталей относят к субъективным?
4. На какие группы подразделяют количественные способы контроля шероховатости поверхности?
5. Порядок проведения измерений с помощью двойного микроскопа Линника.
6. Устройство профилометра. Порядок проведения измерений с его помощью.
7. Какими параметрами оценивается шероховатость поверхности?
8. Каким образом шероховатость поверхности обозначается на чертеже?

Рекомендуемая литература

1. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Анухин. — [3-е изд.]. — Москва [и др.] : Питер, 2004. — 197, [9] с. — (Учебное пособие). — ISBN 5-94723-543-9.
2. Шевченко, Е. П. Чтение машиностроительных чертежей / Е. П. Шевченко. — Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2003. — 188 с. — (Справочник рабочего). — ISBN 5-94387-112-8.
3. Ганевский, Г.М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учебник / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. — Москва : ПрофОбрИздат, 2002. — 288 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 5-94231-058-0.
4. ГОСТ 2.309—73. Единая система конструкторской документации. Обозначение шероховатости поверхностей : межгосударственный стандарт : издание официальное : взамен ГОСТ 2.309—68 : дата введения 1975-01-01. — Изд. с изм. № 1, 2, 3. — Москва : Стандартинформ, 2007. — 7 с.
5. Контроль шероховатости поверхности : метод. указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» / Тольяттинский государственный университет ; сост.: О. Г. Романова, М. Н. Ярушина. — Тольятти : ТГУ, 2007. — 19 с.

Содержание

Введение	3
Лабораторная работа 1. Порядок проведения контроля размеров деталей	5
Лабораторная работа 2. Нормирование точности гладких цилиндрических деталей	13
Лабораторная работа 3. Метрологические характеристики приборов относительного метода измерения и их настройка	29
Лабораторные работы 4, 5. Контроль размеров деталей штангенинструментами и микрометрическими инструментами (абсолютный метод измерения)	36
Лабораторная работа 6. Контроль калибра-пробки с помощью оптических измерительных приборов	53
Лабораторная работа 7. Выбор универсальных измерительных средств	63
Лабораторная работа 8. Расчет и построение полей допусков предельных калибров	73
Лабораторная работа 9. Расчет и выбор посадки с зазором	81
Лабораторная работа 10. Расчет и выбор переходной посадки	89
Лабораторная работа 11. Расчет параметров посадки и выбор посадки с натягом	99
Лабораторная работа 12. Выбор посадок подшипника	125
Лабораторная работа 13. Расчет размерных цепей	154
Лабораторная работа 14. Измерение зубчатых колес	167
Лабораторная работа 15. Измерение параметров резьбы	174
Лабораторная работа 16. Контроль шероховатости поверхности	182

Учебное издание

Воронов Дмитрий Юрьевич

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ
Лабораторный практикум

Редактор *О.В. Горбань*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Дизайн обложки: *И.И. Шишкина*

*В оформлении обложки использовано
изображение от Freepik на сайте ru.freepik.com*

Подписано в печать 18.04.2025. Формат 60×84/16.
Печать оперативная. Усл. п. л. 11,5.
Тираж 100 экз. Заказ № 1-89-22.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru