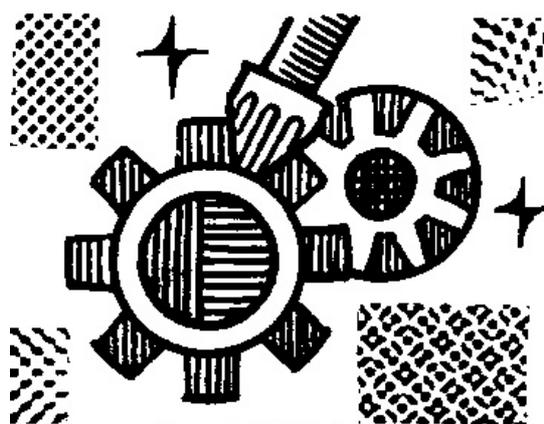


**И.Н. ШУБИН, А.Г. ТКАЧЕВ,  
Н.Р. МЕМЕТОВ, С.В. БЛИНОВ**

# **ТИПОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

**И.Н. ШУБИН, А.Г. ТКАЧЕВ,  
Н.Р. МЕМЕТОВ, С.В. БЛИНОВ**

# **ТИПОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Лабораторный практикум  
для студентов специальностей 080502, 240801 и  
направлений подготовки 150400, 220600 всех форм обучения



---

Тамбов

Издательство ТГТУ  
2007

УДК 621.002.2  
ББК К5-64я73-5  
Ш951

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
"Машины и аппараты химических производств" ТГТУ

*М.А. Промтов*

Кандидат технических наук, Главный инженер  
ОАО "Тамбовский завод "Комсомолец" имени Н.С. Артемова"

*В.А. Богуш*

Ш951 Типовые процессы в машиностроении : лабораторный практикум / И.Н. Шубин, А.Г. Ткачев, Н.Р. Меметов,  
С.В. Блинов. – Тамбов :

Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 84 с. – 100 экз. –

ISBN 978-5-8265-0613-4.

Представлены лабораторные работы, знакомящие с типовыми методами контроля линейных размеров, особенностями наладки оборудования для достижения требуемой точности изготовления деталей, с вопросами построения технологических процессов сборки и изготовления деталей машин и узлов аппаратов в машиностроении.

Предназначен для студентов технических вузов специальностей 080502, 240801, а также направлений подготовки 150400 и 220600 дневной, заочной и дистанционной форм обучения.

УДК 621.002.2  
ББК К5-64я73-5

ISBN 978-5-8265-0613-4

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2007

Учебное издание

ШУБИН Игорь Николаевич,  
ТКАЧЕВ Алексей Григорьевич,  
МЕТЕТОВ Нариман Рустемович,  
БЛИНОВ Сергей Валентинович

# ТИПОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Лабораторный практикум

Редактор О.М. Ярцева  
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынова

Подписано в печать 5.07.2007.  
Формат 60 × 84 / 16. 4,88 усл. печ. л.  
Тираж 100 экз. Заказ № 458

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета,  
392000, Тамбов, Советская 106, к. 14

# 1. КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРОСТЕЙШИМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

## 1.1. ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТЫ

### Метрологические характеристики штангенинструментов

Наименование инструмента	Пределы измерения	Тип инструмента	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность показания при отсчете по нониусу, мм
Штангенциркули	0 – 125	ШЦ-1	0,1	± 0,1
	0 – 150	ШЦ-2	0,1	± 0,1
	0 – 200		0,1	± 0,1
	0 – 320		0,05	± 0,05
	0 – 320		0,1	± 0,1
	0 – 160	ШЦ-3	0,1	± 0,1
Штангенглубиномеры	0 – 520	ШГ-200	0,05	± 0,05
	0 – 320	ШГ-320	0,05	± 0,05
Штангенрейсмасы	0 – 250	ШП-250	0,05	± 0,05

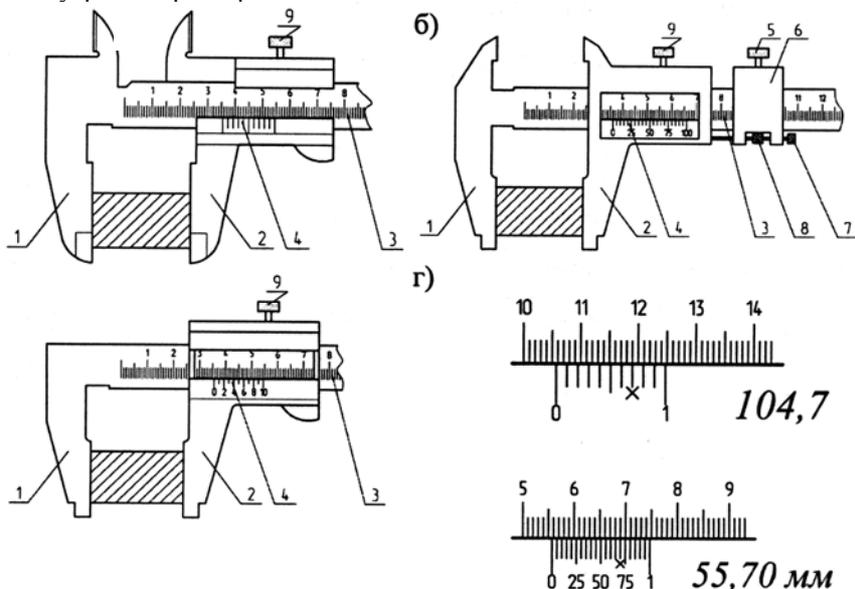
### Устройство и измерение штангенциркулем и штангенглубиномером

Штангенциркули широко используются для измерения наружных и внутренних размеров, а также для разметки заготовок. На рис. 1.1, *a – в* показаны различные типы штангенциркулей [1, 3].

Штангенциркуль ШЦ-1 (рис. 1.1, *a*) имеет двухстороннее расположение измерительных губок 1 и 2. Верхняя пара служит для измерения внутренних размеров, нижняя – наружных. При измерении как внутренних, так и наружных размеров, отсчет ведется от нуля.

Штангенциркуль типа ШЦ-2 (рис. 1.1, *б*) также имеет двухстороннее расположение измерительных губок 1 и 2. Нижние используются для измерения, а верхние служат как для измерения наружных размеров, так и для разметки.

Штангенциркуль типа ШЦ-3 (рис. 1.1, *в*) имеет одностороннее расположение измерительных губок 1 и 2, используемых для измерения наружных и внутренних размеров.



**Рис. 1.1. Определение размера при помощи штангенциркуля**

При измерении внутренних размеров с помощью штангенциркулей (тип ШЦ-2 и ШЦ-3) к отсчету по шкале с нониусом следует прибавить суммарную толщину губок, указанную на них.

Штангенциркули состоят из штанги 1 с одной или двумя неподвижными губками, подвижной рамки 2, также имеющей одну или две губки. На штанге нанесена миллиметровая шкала 3. Отсчетным устройством в штангенинструментах является линейный нониус 4. Это приспособление, используемое для определения дробных долей интервала делений основной шка-

лы, закрепленное на неподвижной рамке 2. Штангенциркуль ШЦ-2 имеет устройство для микрометрической подачи рамки, состоящее из зажимного винта 5, хомутика 6, гайки 8 и винта подачи 7. После закрепления хомутика 6 зажимным винтом 5 при отстопоренном винте 9 гайкой 8 производится плавное перемещение рамки. После окончательной установки инструмента рамка 2 стопорится при помощи винта 9.

Отсчет начинают с определения целого числа миллиметров, заключенного между нулевыми делениями штанги и нониуса. Дробная доля миллиметра фиксируется по порядковому номеру штриха шкалы нониуса, наиболее точно совпадающему со штрихом основной шкалы. На рис. 1.1, 2 приведен пример отсчета показаний.

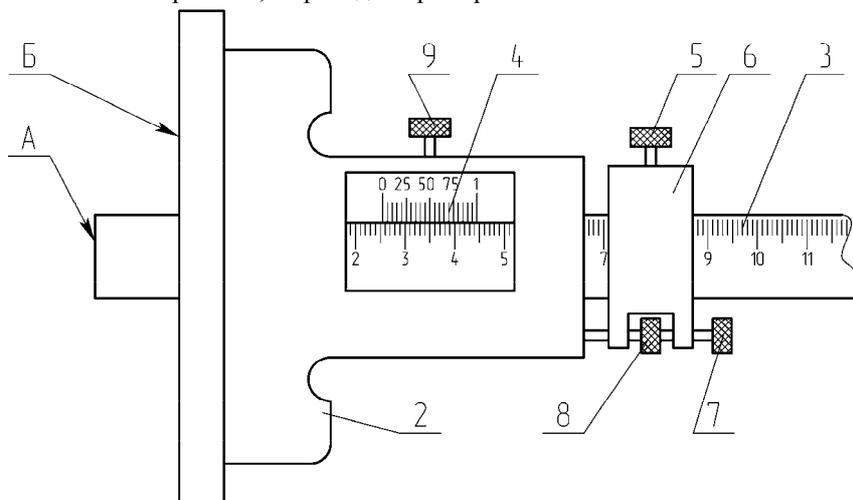


Рис. 1.2. Штангенглубиномер

Штангенглубиномер (рис. 1.2) служит для измерения расстояний между двумя плоскостями, глубин пазов, глухих отверстий, длин и высот ступенчатых деталей. Измерительные плоскости обозначены буквами А и Б. Порядок измерения размеров деталей с помощью глубиномера аналогичен порядку измерения штангенциркулем. Для проверки нулевого положения глубиномера необходимо, чтобы при соприкосновении измерительных поверхностей основания Б и штанги А с плитой или лекальной линейкой нулевые штрихи нониуса 4 и штанги 3 совпадали.

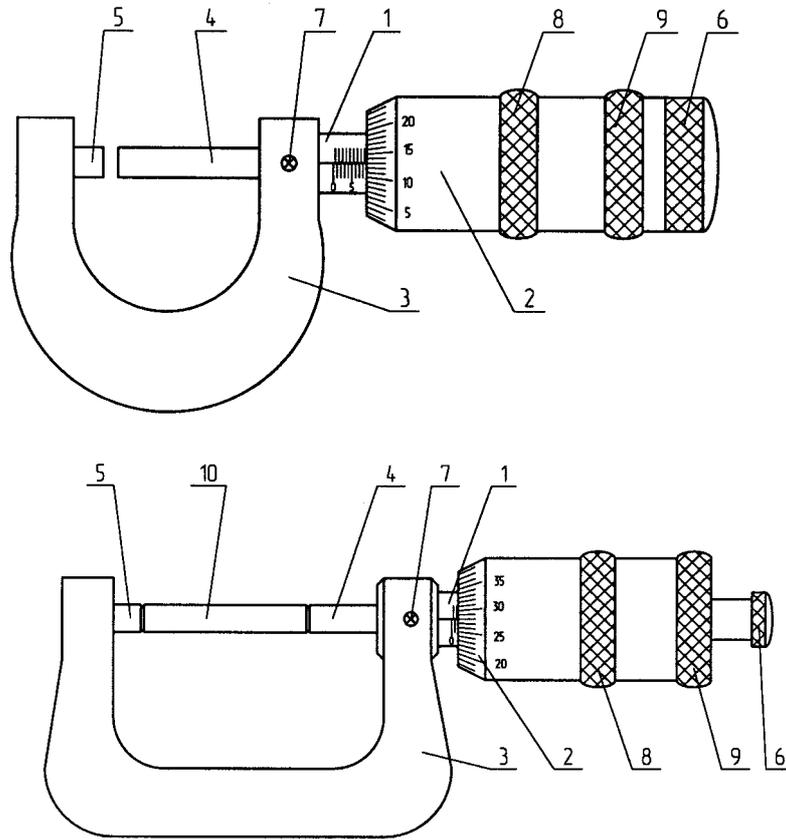
## 1.2. МИКРОМЕТРЫ

### Метрологические характеристики микроинструментов

Наименование инструмента	Тип	Пределы измерения, мм	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность, мкм
Микрометр гладкий	МК	0 – 25	0,01	± 4
		25 – 50	0,01	± 4
		50 – 75	0,01	± 4

### Устройство и измерение микрометром

К основным микрометрическим инструментам относятся микрометры (рис. 1.3), микрометрические глубиномеры и нутромеры. Все микрометрические инструменты имеют два отсчетных устройства. Первое состоит из шкалы с ценой деления 0,5 мм, нанесенной на стебле 1, и указателя, которым является торец барабана 2. Второе состоит из шкалы делением 0,01 мм, нанесенной на конусной поверхности барабана 2 и указателя в виде продольного штриха, нанесенного на стебле 1. Шаг микровинта – 0,5 мм, следовательно, одному обороту микровинта и жестко скрепленного с ним барабана соответствует линейное перемещение торца барабана на одно деление, равное 0,5 мм.



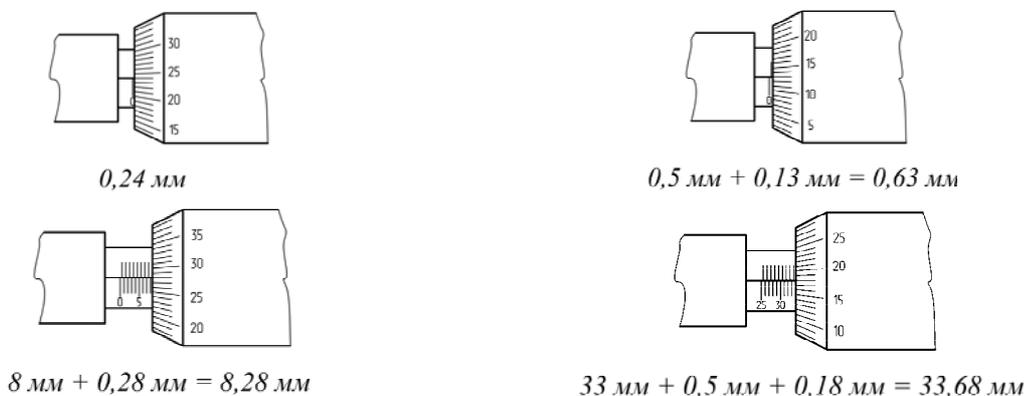
**Рис. 1.3. Микрометры**

Шкала, нанесенная на конусной поверхности барабана, имеет число делений, равное 50, следовательно, поворот барабана с микровинтом на одно деление относительно продольного штриха на стебле будет составлять 0,01 мм.

Для определения размера измеряемой детали показания обоих отсчетных устройств суммируются.

Измерению размера с помощью микрометра предшествует операция проверки нулевого отсчета (для микрометра с пределами измерения 0 – 25 мм) и отсчета 25 мм (для микрометра с пределами измерения 25 – 50 мм). С этой целью вращают микрометрический винт правой рукой за трещотку 6 до соприкосновения измерительных торцов микровинта 4 и пятки 5. При проверке микрометров с пределами измерения 25 – 50 мм, 50 – 75 мм и т.д. измерительные торцы приводят в соприкосновение с плоскопараллельной мерой длины, равной нижнему пределу измерения, либо цилиндрической установочной мерой 10 (рис. 1.3, б).

После выполнения этой операции скошенный край барабана 2 должен быть установлен так, чтобы штрих (0, 25 и 50) начального деления шкалы с ценой 0,5 мм был полностью виден, а нулевое деление шкалы барабана 2 остановилось против продольного штриха на стебле 1. При невыполнении этого условия изменить положение барабана 2 относительно микровинта 4, для чего закрепляют стопорным устройством 7 микровинт и, выдерживая левой рукой корпус барабана за выступ 8, вращают правой рукой гайку 9, разъединяя таким образом корпус барабана с микровинтом. Поворачивая барабан, восстанавливают нулевое положение и закрепляют гайку 9. Отжав стопорное устройство, настройку следует проверить. После установки инструмента на нуль вращением микровинта зажимают деталь между измерительными поверхностями пятки 5 и микровинта 4.



**Рис. 1.4. Примеры определения размеров с помощью микрометра**

Для того чтобы измерительная сила не превосходила допускаемую (5 – 9 Н), микровинт необходимо вращать только при помощи трещотки 6. При контроле партии деталей микрометр можно устанавливать на определенный размер с помо-

щью стопорного винта 7. С целью уточнения размера тысячные доли миллиметра можно зафиксировать "на глаз". Примеры отсчета показаны на рис. 1.4.

### 1.3. ИНДИКАТОРЫ ЧАСОВОГО ТИПА

#### Метрологические характеристики индикаторов часового типа

Наименование инструмента	Тип инструмента	Пределы измерения	Цена деления, мм	Допускаемая погрешность показаний всего предела измерений, мм
Индикатор часового типа	ИЧ-1	0 – 2	0,01	0,012
	ИЧ-1	0 – 5	0,01	0,018
	ИЧ-1	0 – 10	0,01	0,022
	ИТ	0 – 3	0,01	0,015

#### Устройство и измерение индикатором часового типа

Индикатор часового типа относится к группе рычажно-механических приборов. Он применяется как для измерения размеров, так и для проверки правильности формы и взаимного расположения поверхностей и осей деталей.

Общий вид индикатора с ценой деления 0,01 мм показан рис. 1.5. В индикаторах этого типа перемещение измерительного стержня 1 вызывает перемещение большой стрелки 2 по шкале 3 и перемещение малой стрелки по шкале 4. Шкала 4 является указателем поворотов, т.е. по ней отсчитывается целое число оборотов большой стрелки 2. В индикаторе с ценой деления 0,01 мм поступательному перемещению измерительного стержня 1 на 0,01 мм соответствует перемещение большой стрелки 2 на одно деление шкалы 3.

Шкала индикатора имеет 100 делений, следовательно, полный оборот стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1 мм. Указанная шкала вместе с ободком 5 может поворачиваться относительно корпуса прибора так, что против большой стрелки прибора можно установить любой штрих шкалы. Это используется при установке прибора в нулевое положение, когда против большой стрелки прибора устанавливается нулевой штрих.

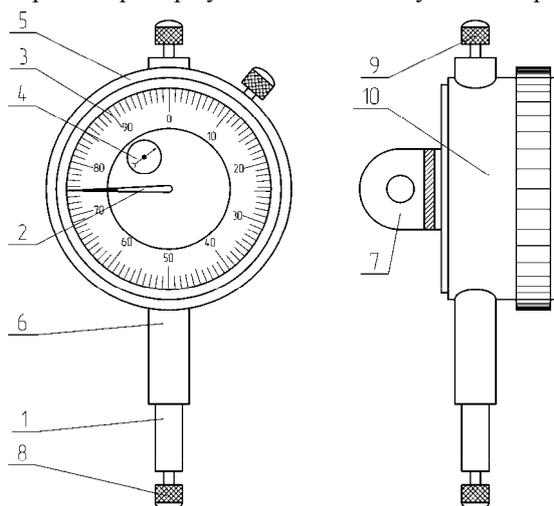


Рис. 1.5. Индикатор часового типа

Для работы индикатор укрепляют за гильзу 6 или ушко 7 в различных стойках или штативах. Измерительный наконечник 8 ввинчивают в торец измерительного стержня, который может быть поднят рукой за головку 9.

В лабораторной работе индикатор часового типа используется для измерения радиального биения цилиндрической детали. Радиальное биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращения в сечении, перпендикулярном к этой оси. Схема измерения биения показана на рис. 1.6.

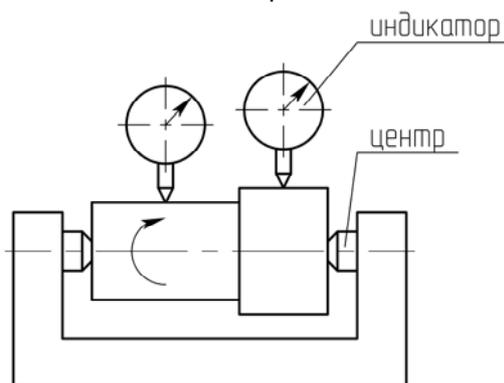


Рис. 1.6. Измерение биения заготовки при помощи индикаторов часового типа

Деталь закрепляют в центрах прибора, а измерительный наконечник 8 (рис. 1.5) индикатора, установленного в штативе, приводят в соприкосновение с контролируемой поверхностью. При этом индикатор следует подвести таким образом, чтобы его большая стрелка сделала 1–2 оборота (создается "натяг"). Это необходимо для того, чтобы в процессе измерения индикатор мог указать отклонение в обе стороны от первоначального отсчета. Используемый прибор обеспечивает расположение наконечника индикатора в диаметральной плоскости детали. Медленно вращая деталь в центрах прибора, фиксируют наибольшее и наименьшее показания индикатора за полный оборот детали. Разность показаний – радиальное биение. Измерение проводят в трех диаметральных сечениях детали.

#### 1.4. ПОДГОТОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ К РАБОТЕ

Все инструменты, используемые в данной работе, перед эксплуатацией подлежат проверке, которая состоит из следующих основных операций:

1. Инструменты протереть салфеткой, их измерительные поверхности – спиртом, затем насухо обтереть мягкой чистой салфеткой.

2. Проверить техническое состояние инструментов путем осмотра внешнего вида. На рабочих и измерительных поверхностях не должно быть забоин, царапин, вмятин и других дефектов, ухудшающих внешний вид или влияющих на эксплуатационные качества инструментов. Штрихи и цифры шкал должны быть отчетливы и ровны.

3. Проверить взаимодействие инструментов путем опробования надежности крепления стопорными винтами, плавность перемещения измерительного стержня и стрелки (указателя) относительно шкалы.

4. Проверить нулевое положение инструментов с помощью лаборанта:

а) при отсутствии просвета между губками штангенциркуля для наружных измерений или при небольшом просвете (до 0,15 мм) должны совпадать нулевые штрихи нониуса и штанги;

б) при соприкосновении измерительных поверхностей основания и штанги штангенглубиномера нулевые штрихи нониуса и штанги должны совпадать;

в) при соприкосновении измерительных поверхностей микрометра с измерительными поверхностями установочной меры или непосредственно между собой ( в пределах измерения 0 – 25 мм) нулевой штрих барабана должен совпадать с продольным штрихом стебля, а скос барабана должен открывать нулевой штрих стебля.

В случае неправильного нулевого положения инструментов с помощью лаборанта или преподавателя надо произвести установку их на нуль.

#### 1.5. ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Измерительные средства обычно выбирают из нескольких возможных вариантов, отличающихся стоимостью, производительностью и точностью измерительных средств. Из всех возможных вариантов наиболее целесообразным является тот, который обеспечивает наименьшую стоимость измерительных средств, их ресурс, стоимость их ремонта и эксплуатации, расходы на заработную плату контролера и потери из-за погрешности измерения.

При выборе средств и методов измерений линейных размеров от 1 до 500 мм, в котором участвуют конструкторы, технологи и метрологи, ГОСТ 8.051–73 устанавливает допускаемые погрешности измерения ( $\Delta_{изм}$ ) в зависимости от допуска на изготовление изделия ( $T_{изд}$ ) и номинального измеряемого размера.

Конструктор устанавливает допуск на изготовление детали по соответствующему стандарту, руководствуясь условиями работы детали, учитывая при этом для нее погрешность измерения (табл. 1.1). Технолог осуществляет выбор конкретных измерительных средств на стадии подготовки производства, руководствуясь допустимой погрешностью и погрешностями применяемых на заводе измерительных средств (табл. 1.2). Метролог участвует в выборе измерительных средств вместе с технологом, разрабатывая заводские инструкции для технологов по выбору измерительных средств и рекомендаций по оснащению завода измерительными средствами [3].

В допускаемые погрешности измерений включены погрешности средств измерения, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т.д.

##### 1.1. Пределы допускаемых погрешностей измерений ( $\Delta_{изм}$ , мкм) для допусков (Т) по ЕСДП СЭВ размеров (6 – 120 мм)

Квалитет	Номинальные размеры, мм						
		6 до 10	10 до 18	18 до 30	30 до 50	50 до 80	80 до 120
IT 5	T	6	8	9	11	13	15
	$\Delta_{изм}$	2	2,5	3	4	4,5	5
IT 6	T	9	11	13	16	19	22
	$\Delta_{изм}$	2,5	3	4	4,5	5,5	6
IT 7	T	15	18	21	25	30	35
	$\Delta_{изм}$	4,5	5,5	6	7	9	10
IT 8	T	22	27	33	39	46	54
	$\Delta_{изм}$	5,5	7	8	10	12	13
IT 9	T	36	43	52	62	74	87
	$\Delta_{изм}$	9	10	13	15	18	20

JT 10	<i>T</i>	58	70	84	100	120	140
	$\Delta_{\text{изм}}$	12	14	15	20	20	25
JT 11	<i>T</i>	90	110	130	160	190	220
	$\Delta_{\text{изм}}$	18	20	25	30	40	40
JT 12	<i>T</i>	150	180	210	250	300	350
	$\Delta_{\text{изм}}$	30	35	40	50	60	70
JT 13	<i>T</i>	220	270	330	390	460	540
	$\Delta_{\text{изм}}$	40	50	70	80	90	100
JT 14	<i>T</i>	300	430	520	620	740	870
	$\Delta_{\text{изм}}$	72	80	100	120	150	170

## 1.2. Предельные погрешности измерений

Наименование измерительных средств	Тип инструмента или прибора	Используемые пределы измерения, мм	Цена деления, мм	Предельные погрешности в мкм для интервалов размеров, мм				
				1 – 10	10 – 30	30 – 50	50 – 80	80 – 100
Штангенциркуль	ШЦ-1	0 – 125	0,1	150	150	150	160	170
	ШЦ-2	0 – 200	0,1	150	150	150	160	170
	ШЦ-2	0 – 320	0,1	150	150	150	160	170
	ШЦ-2	0 – 200	0,05	80	80	80	90	100
	ШЦ-2	0 – 320	0,05	80	80	80	90	100
Штангенглубиномер	ШГ-200	0 – 200	0,05	80	80	80	90	100
	ШГ-320	0 – 320	0,05	80	80	80	90	100
Микрометр гладкий	МК	0 – 25	0,01	5,5	5,5	7,5	9,5	14
		25 – 50	0,01	5,5	5,5	7,5	9,5	14
		50 – 75	0,01	5,5	5,5	7,5	9,5	14
Индикатор	ИЧ-1	0 – 10	0,01	16	16	16	16	17
	ИТ	0 – 3	0,01	11	11	11	12	13

## 1.6. Лабораторная работа 1

### КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРОСТЕЙШИМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Цель работы: овладеть практическими навыками работы с простейшими измерительными средствами, ознакомиться с методикой оценки годности деталей.

Приборы и принадлежности: штангенциркуль, штангенглубиномер, микрометр, индикатор часового типа, прибор для измерения радиального биения, СТ СЭВ144–75, детали для измерения.

Основные метрологические показатели средств измерения.

*Цена деления шкалы* – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

*Диапазон измерения* – область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допустимые погрешности средства измерения.

*Предел измерения* – наибольшее и наименьшее значения диапазона измерения.

*Погрешность измерения* – разность между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины.

#### Порядок выполнения работы

- По заданному чертежу детали вычертить эскиз и проставить на нем размеры с условными буквенными обозначениями полей допусков и с предельными отклонениями.
- Пользуясь таблицами СТ СЭВ 144–75, построить схемы расположения полей допусков размеров детали, проставив предельные отклонения (в мкм) с соответствующими знаками.
- Используя схемы полей допусков, проставить на эскизе детали исполнительные размеры в соответствии с правилами ЕСКД (ГОСТ 2.307–68).
- Подсчитать предельные размеры и допуск каждого параметра.
- Используя табл. 1.1 и 1.2 с учетом допуска на изготовление параметра, произвести выбор необходимых измерительных средств.
- Ознакомиться с устройством и методами измерения простейшими измерительными средствами, представленными в настоящих рекомендациях.

7. Подготовить измерительные инструменты к работе.
8. Произвести измерение контролируемых параметров деталей, результаты занести в таблицу.
9. Вычислить изменение величины радиального биения образа. Результаты занести в таблицу.
10. Сравнить действительные значения измеренных параметров с предельными и сделать вывод о годности или виде брака (исправимый – неисправимый).

### **Контрольные вопросы**

1. Какие основные показатели относятся к метрологическим характеристикам измерительных средств?
2. Что называется ценой деления шкалы? Укажите цену деления шкалы используемых Вами измерительных средств.
3. Что называется пределом измерения? Укажите диапазон измерения применяемых измерительных средств.
4. Что называется точностью отсчета? Приведите пример.
5. Что называется погрешностью показания измерительного средства? Приведите пример.
6. Какие измерительные средства относятся к простейшим? Перечислите.
7. Назовите типы штангенинструментов. Какие особенности характеризуют различные штангенинструменты.
8. Какие типы микрометров Вам известны? В чем отличие их друг от друга и назначение?
9. Укажите назначение индикатора. Какие типы индикаторов Вам известны?
10. Объясните, как производится установка на «ноль» используемых измерительных средств.
11. Объясните устройство каждого измерительного средства, используемого в работе.
12. Объясните правила пользования измерительными средствами во время работы.
13. Какие виды размеров Вам известны? Дайте им определение.
14. Как называется размер, полученный во время измерения?
15. Что характеризует точность изготовления детали? Как эта величина определяется?

### **Список литературы**

1. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М. : Машиностроение, 1979. – С. 86 – 111.
2. Зябрева, Н.Н. Лабораторные занятия по курсу "Основы взаимозаменяемости и технические измерения" / Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал. – М. : Машиностроение, 1966. – С. 41 – 53.
3. Мягков, В.Д. Допуски и посадки : справочник / В.Д. Мягков. – М. : Машиностроение, 1978. – Т. 1, 2.

## 2. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 2.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, СПОСОБЫ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Надежность механизмов, машин, аппаратов, их производительность, КПД и ряд других показателей в процессе эксплуатации неразрывно связаны с высокими требованиями к точности изготовления отдельных их деталей. Точность обработки является одной из основных характеристик детали, устанавливаемой конструктором в рабочем чертеже.

При изготовлении деталей невозможно достичь абсолютно точных номинальных размеров. В связи с этим при составлении рабочих чертежей деталей назначаются допустимые отклонения от номинальных значений, которые отвечают требованиям точности их изготовления.

*Размер* – числовое значение линейной величины (диаметр, длина и др.) в выбранных единицах измерения.

*Номинальный размер* – размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяются предельные размеры, например  $D = \varnothing 120$  мм. Он определяет величину детали и находится расчетом на прочность и жесткость, исходя из функционального назначения детали.

*Действительный размер* – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью, например  $\varnothing 120_{-0,05}^{+0,2}$ .

*Предельные размеры* – два предельно-допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Наибольший предельный размер ( $D_{\max}$ ) – больший из двух предельных размеров, а наименьший ( $D_{\min}$ ) – меньший. Например  $\varnothing 120_{-0,05}^{+0,2}$ , следовательно,  $D_{\max} = 120,02$  мм, а  $D_{\min} = 119,95$  мм.

Под точностью изготовления детали понимают соответствие ее всем требованиям рабочего чертежа, технических условий и стандартов. Чем больше это соответствие, тем выше точность изготовления. Точность обработки детали – степень соответствия действительных геометрических параметров детали, полученных в результате механической обработки (размеров, формы и взаимного расположения поверхностей), параметрам, заданным на рабочем чертеже. Самостоятельным критерием является оценка точности детали по шероховатости поверхности. Точность выполняемых размеров характеризуется допустимыми отклонениями (полями допусков) от номинальных. Предельные отклонения в справочных таблицах проставляются в микрометрах, а на чертеже – в миллиметрах более мелким шрифтом, причем верхнее чуть выше, нижнее чуть ниже. При равенстве отклонений их величину указывают один раз рядом с номинальным размером и одинаковой высоты с ним:  $120 \pm 0,1$ . Отклонения, равные "0", на чертеже не ставят, и в этом случае указывается лишь одно отклонение положительное на месте верхнего, отрицательное на месте нижнего, например:  $120_{-0,011}^{+0,011}$ ,  $120_{-0,011}$ ,  $\varnothing 120_{-0,05}^{+0,2}$ .

К отклонению формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности (профиля), т.е. заданной чертежом, в соответствии с ГОСТ 24642–81 установлены: отклонения от прямолинейности в плоскости (выпуклость, вогнутость); отклонение от плоскостности (выпуклость, вогнутость); отклонение от круглости (овальность, огранка), отклонение профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность, седлообразность). Отклонение взаимного расположения характеризует отклонение реального расположения рассматриваемого элемента (поверхность, линия, точка) от его заданного чертежом номинального расположения. В соответствии с ГОСТ различают: отклонение от параллельности плоскостей; отклонения от параллельности прямых в плоскости; отклонение от соосности относительно базы; торцевое биение; радиальное биение; отклонение от пересечения; отклонение от симметричности; смещение оси и другие отклонения (рис. 2.1). Предельные отклонения формы и расположения поверхностей указываются на чертежах или в технических требованиях. При обозначении на чертежах данные о предельных отклонениях указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две или три части: в первой части помещают условное обозначение отклонения, во второй – предельное отклонение в миллиметрах, в третьей – буквенное обозначение базы или другой плоскости, к которой относится отклонение (рис. 2.2).

При механической обработке различных деталей на металлорежущих станках различают достижимую и экономическую точность для данного способа обработки и типа станка.

Достижимой является максимальная точность, которая может быть обеспечена при обработке заготовок без ограничения времени рабочим высокой квалификации на соответствующем станке. Обеспечение такой точности связано с большими затратами и, как следствие, повышение точности механической обработки приводит к увеличению себестоимости ее изготовления (рис. 2.3). Каждому способу механической обработки соответствуют определенные пределы точности, ограничивающие экономическую целесообразность его реализации.

Группа допусков	Вид допусков	Знак
Допуски формы	Допуск прямолинейности Допуск плоскостности Допуск круглости Допуск цилиндричности Допуск профиля продольного сечения	$\perp$ $\parallel$ $\circ$ $\text{D}$ $\text{  }$
Допуски расположения	Допуск параллельности Допуск перпендикулярности Допуск наклона Допуск соосности Допуск симметричности Позиционный допуск Допуск пересечения осей	$\parallel$ $\perp$ $\angle$ $\text{  }$ $\text{  }$ $\text{  }$ $\text{  }$
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения Допуск торцового биения Допуск биения в заданном направлении	$\nearrow$
	Допуск полного радиального биения Допуск полного торцового биения	$\text{L}$
	Допуск формы заданного профиля Допуск формы заданной поверхности	$\text{D}$

Рис. 2.1. Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей

Экономической называют точность при данном способе механической обработки с учетом программы выпуска, которую можно получить в нормальных производственных условиях при обеспечении высокой производительности и стоимости обработки, не превышающей стоимости обработки при других возможных сопоставимых способах. Значения экономической точности механической обработки поверхностей различными способами приводятся в технологических справочниках.

Требуемая точность механической обработки может быть обеспечена методом пробных рабочих ходов и методом автоматического получения заданного размера. Первый метод заключается в индивидуальной выверке устанавливаемой на станок заготовки, последовательном снятии слоев металла путем пробных рабочих ходов, измерении получаемых размеров.

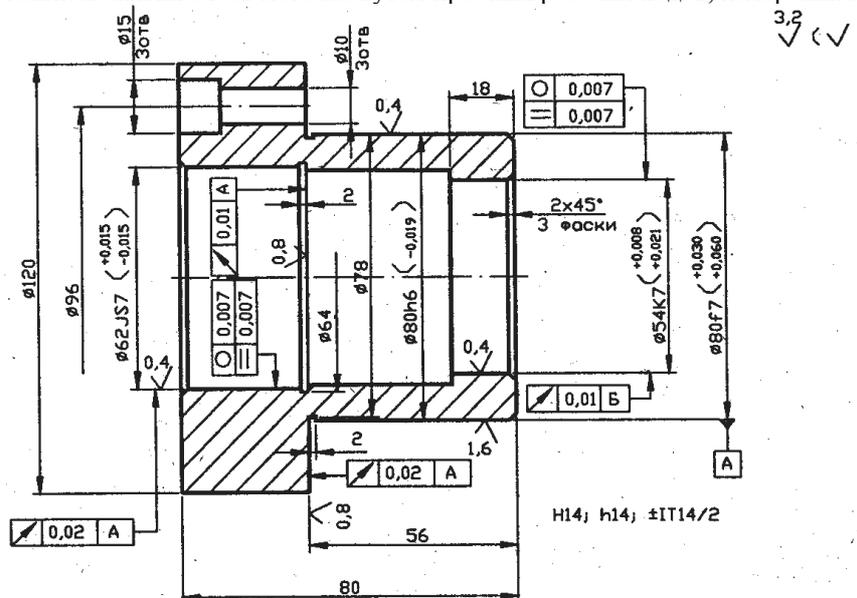
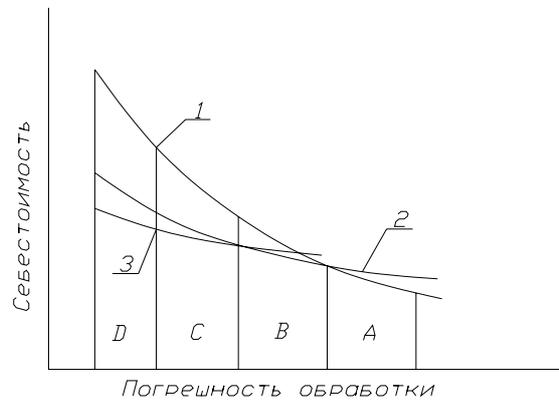


Рис. 2.2. Обозначения отклонений от формы и расположения поверхностей на чертеже



**Рис. 2.3. Зависимость стоимости механической обработки различными способами от погрешности:**

1 – сверление отверстия; 2 – зенкерование;  
 3 – развертывание; зоны экономической точности:  
 A – сверление; B – зенкерование; C – развертывание;  
 D – достижимая точность при развертывании

По результатам измерений корректируется положение режущего инструмента и производится окончательная обработка заданной поверхности. Метод трудоемок требует значительных временных затрат на выверку, корректировку заготовки и режущего инструмента. Применение метода целесообразно в единичном и мелкосерийном производстве.

Сущность метода автоматического получения требуемого размера состоит в том, что партию заготовок обрабатывают на предварительно настроенном по эталону станке с установкой заготовки в приспособлении без выверки положения, а режущий инструмент при наладке станка устанавливают на определенный настроечный размер. Требуемый размер достигают за один рабочий ход, т.е. при однократной обработке. Этот способ производителен и используется при значительных программах выпуска.

## **2.2. ПОГРЕШНОСТИ. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

Действительные отклонения параметров поверхностей реальной детали от заданных номинальных их значений на чертеже называют погрешностями изготовления. Правоммерно говорить о погрешности выполняемого размера погрешности формы и погрешности взаимного расположения элементов детали относительно друг друга. К факторам, определяющим возможность возникновения погрешностей при механической обработке, относят: точность станков, приспособлений, инструмента; жесткость технологической системы: (оборудование – заготовка – приспособление – инструмент); тепловое состояние звеньев технологической системы; размерный износ режущего инструмента; погрешность установки заготовки на станке; установка размера обработки; внутренние напряжения в материале заготовки и детали и другие первичные погрешности. Все элементарные, (первичные) погрешности при механической обработке можно разделить на систематические и случайные погрешности. Систематические, в свою очередь, разделяют на систематические постоянные, которые при обработке партии заготовок постоянны по значению и знаку. Этот вид погрешностей может возникать, например, при обработке отверстий в случае, если ось шпинделя сверлильного станка не перпендикулярна плоскости стола, на котором установлена заготовка, таким образом, как результат ось отверстия будет неперпендикулярна к торцевой поверхности. Систематические постоянные погрешности возникают от действия постоянного фактора. Пробными измерениями нескольких обработанных деталей эти погрешности выявляются и соответствующими технологическими мероприятиями сводятся к минимуму или устраняются. К систематическим относят также закономерно изменяющиеся (переменные) погрешности, которые влияют на точность или непрерывно, или периодически. Например: непрерывное влияние оказывает размерный износ режущего инструмента; периодическое – погрешность, обусловленная тепловыми деформациями элементов технологической системы в период работы станка, особенно в период от пуска до достижения теплового равновесия. Знание закона изменения этих погрешностей позволяет или устранить их, или уменьшить влияние на точность механической обработки.

На возникновение случайных погрешностей влияет большое количество взаимонезависимых факторов. Случайные подразделяют на непрерывные и дискретные погрешности. Случайные непрерывные имеют любые числовые значения в определенных границах интервала при обработке заготовок данной партии. Появление и точное их значение заранее предсказать невозможно. К случайным непрерывным погрешностям относят погрешности установки заготовки на станке; погрешности от упругих деформаций элементов технохимической системы под действием силы резания; погрешности установки размера по лимбу станка и др. Случайные дискретные погрешности в технологии машиностроения встречаются крайне редко. К ним можно отнести, например, погрешности регулировки при использовании устройств ступенчатого типа.

При расчете точности механической обработки могут быть использованы три метода: вероятностно-статистический, расчетно-аналитический и расчетно-статистический.

Вероятностно-статистический метод применим при обработке более 50 заготовок, причем получение размеров обеспечивается как методом пробных рабочих ходов, так и автоматическим методом. В результате эксперимента контролируют интересующий параметр шкальным инструментом (микрометром, индикатором часового типа или другим, в зависимости от требуемой точности измерения). На основе выводов теории вероятности и методов математической статистики выявляют точность обработки исследуемого технологического процесса. При анализе точности приходится рассматривать как систематические, так и случайные погрешности. При изучении случайных погрешностей изготовления удобно использовать кри-

вые распределения, которые строятся на основании многократных наблюдений одного и того же явления. Рассматриваемый метод универсален и дает возможность достоверно оценить и исследовать точность выполнения заготовок, точность проведения термообработки, механической обработки, сборки, точность контрольных и других операций. Однако этот метод требует проведения относительно трудоемких экспериментов, и применение его целесообразно при значительных программах выпуска, т.е. в крупносерийном и массовом производствах.

Расчетно-аналитический метод предполагает проводить оценку точности по аналитическим или эмпирическим формулам для строго определенных условий выполнения технологического процесса. Метод позволяет учитывать физические явления в рассматриваемом процессе; выявлять причины образования погрешностей, но недостаток необходимых расчетных формул для разнообразных конкретных процессов ограничивает практическое применение этого метода.

Расчетно-статистический метод основан на использовании и комбинировании вероятностно-статистического и расчетно-аналитического методов, учитывая достоинства каждого из них. Метод гибок и позволяет определить погрешность процесса, оценивая ее отдельные составляющие расчетным и статистическим путем. При недостаточном количестве расчетных данных этот метод в большей степени будет носить вероятностно-статистический характер, но отдельные составляющие погрешности могут рассчитываться аналитически.

### 2.3. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Рассматриваемый метод основан на выполнении определенной обработки опытной партии заготовок с контролем интересующего параметра. Результаты замеров математически обрабатываются. По полученным данным строят кривую распределения исследуемого размера. При этом не учитывается последовательность обработки заготовок, так как все заготовки данной партии как бы смешиваются, т.е. систематические постоянные и переменные погрешности не отделяются от случайных и влияние всех погрешностей выражается в общем виде рассеивания размеров (погрешности рассеивания), имеющих различные значения при невыясненных причинах их появления.

Опытную кривую распределения начинают строить с выявления предельных значений в полученном ряде размеров, и по разности между наибольшим и наименьшим действительными размерами заготовок в данной партии определяют поле рассеивания (размах распределения)

$$\Delta p = L_{\max} - L_{\min} \quad (2.1)$$

Полученное значение  $\Delta p$  разбивают на равные интервалы, определяя частоту повторения отклонений размеров в каждом интервале

$$W = m / n,$$

где  $m$  – число заготовок, фактический размер которых попадает в пределы данного интервала;  $n$  – общее число деталей в партии.

Затем строят график распределения размеров, т.е. экспериментальную кривую, называемую полигоном распределения. При построении по оси абсцисс откладывают фактические размеры заготовок (или интервалы размеров), а по оси ординат – частоту их повторения  $W$  или количество попаданий значений размеров в каждый интервал  $m_i$  (рис. 2.4).

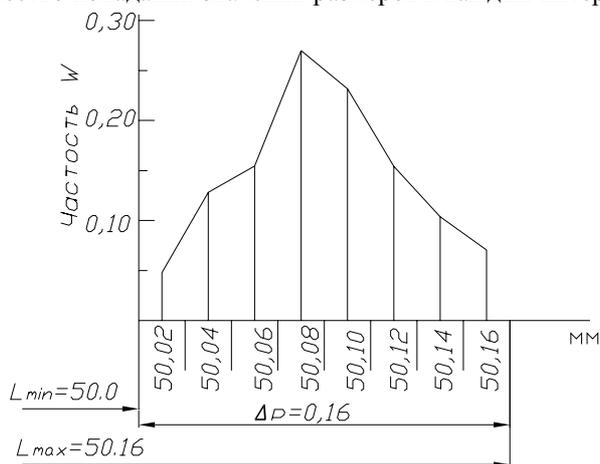


Рис. 2.4. Полигон распределения размеров

Общее число деталей в партии 100 шт. Поле рассеивания  $\Delta p = 0,16$ . Принято 8 размерных групп (интервалов) с шириной интервала 0,02 мм. В первой размерной группе оказалось 5 деталей, т.е. частота  $W_1 = 0,05$ ; во второй группе – 13 деталей, т.е. частота  $W_2 = 0,13$  и т.д. Полученные точки соединяют прямыми.

Кривые рассеивания фактических размеров, полученные на основании наблюдений, имеют вид ломаных линий. Вывод каких-то закономерностей, имеющих общее значение, на основании анализа этих кривых, затруднителен. Если увеличить число размерных групп, т.е. уменьшить ширину интервала и увеличить общее число обрабатываемых заготовок, то ломаная линия (полигон) становится более плавной.

Экспериментально установлено, что при работе на предварительно настроенных металлорежущих станках с автоматическим получением размеров и при незначительном износе режущего инструмента распределение большинства случайных

погрешностей в определенной степени подчиняются закону нормального распределения, который изображается математической кривой Гаусса (рис. 2.5) и отвечает уравнению

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.2)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение аргумента;  $\pi = 3,14$ ;  $e = 2,718$  – основание натуральных логарифмов;  $L_i$  – значение текущего измерения;  $L_{cp}$  – среднее арифметическое данных измерений, а также является центром группирования значений аргумента.

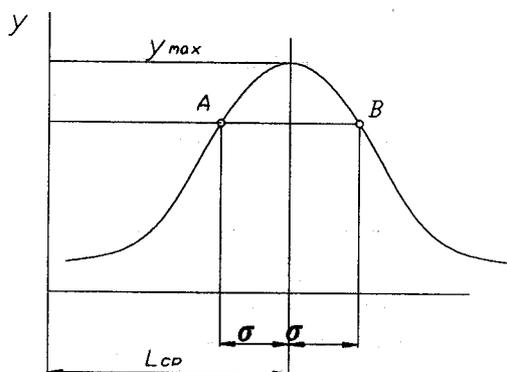


Рис. 2.5. Кривая нормального распределения

Постоянные величины  $L_{cp}$  и  $\sigma$  называются параметрами распределения, которые являются и основными характеристиками распределения случайных погрешностей. Понятие среднего арифметического отклонения размера относится к любому параметру – диаметру, длине, угловому размеру, отклонению от параллельности, плоскостности, перпендикулярности, соосности и т.д. Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  определяют по результатам измерений партии заготовок по формуле:

$$\sigma = \sqrt{[(L_1 - L_{cp})^2 + (L_2 - L_{cp})^2 + \dots + (L_n - L_{cp})^2] / n};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (L_i - L_{cp})^2}, \quad (2.3)$$

где  $n$  – общее число произведенных измерений;  $L_i$  – значение текущего измерения;  $L_{cp}$  – среднее арифметическое данных измерений;

$$L_{cp} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i. \quad (2.4)$$

Кривая Гаусса симметрична относительно центра группирования. Ордината вершины кривой  $y_{max}$  будет при  $x = L_{cp}$  и определяется из выражения

$$y_{max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

Ординаты точек перегиба, расположенные на расстоянии  $x = \pm\sigma$ , равны  $y_A = y_B = y_{max} / \sqrt{e} \approx 0,6 y_{max}$ .

Зная среднее арифметическое отклонение аргумента  $L_{cp}$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , можно построить кривую нормального распределения для каждого наблюдения, при этом среднее арифметическое значение размеров определит положение кривой Гаусса (центр группирования), а среднее квадратическое отклонение размера – высоту и растянутость кривой, т.е. ее форму. Кроме того,  $\sigma$  является мерой точности данного метода обработки.

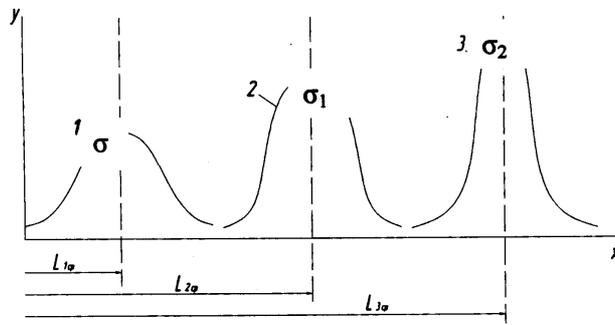
При увеличении  $\sigma$  вершина кривой снижается, а ветви кривой расширяются, т.е. поле рассеивания растет. При уменьшении среднего квадратического отклонения размеров ордината кривой возрастает, но поле рассеивания размеров сужается.

Например, при повышении точности механической обработки диаметральных размеров партии заготовок изменение  $\sigma$  приведено на рис. 2.6.

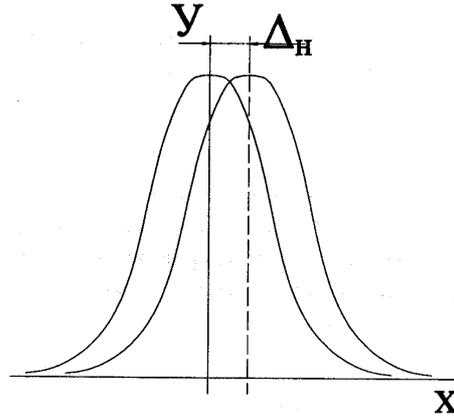
При правильном построении этапов механической обработки необходимо выполнение условия  $\sigma > \sigma_1 > \sigma_2$  и т.д.

Если обрабатываются две партии одноименных заготовок, то появляется систематическая постоянная погрешность, возникающая, например, при настройке станка на размер или связанная с геометрическими неточностями режущего инструмента. В этом случае кривые распределения погрешностей при обработке первой и второй партий заготовок будут смещены одна относительно другой на величину постоянной погрешности  $\Delta_n$  (рис. 2.7).

Кривые рассеивания фактических размеров, полученные на основании экспериментальных наблюдений, имеют вид ломаной линии (рис. 2.4). Вывод закономерностей, имеющих общее значение, при рассмотрении этих кривых затруднителен. Для сравнения и определения степени приближения кривой распределения фактических размеров к теоретической кривой распределения целесообразно вычерчивать обе кривые в одинаковом масштабе (рис. 2.8).



**Рис. 2.6. Изменение формы кривой Гаусса при увеличении точности механической обработки:**  
 1 – предварительное точение; 2 – чистовое точение; 3 – тонкое точение



**Рис. 2.7. Влияние систематической погрешности на кривые распределения**

Графическое построение кривой нормального распределения может быть упрощено, если воспользоваться значениями ординаты  $y$ , вычисленными при  $\sigma = 1$ , т.е. для уравнения

$$y = \frac{10000}{2\pi} e^{-\frac{Z^2}{2}}, \quad (2.5)$$

где  $Z = x / \sigma$ ;  $x = L_i - L_{cp}$ , т.е. абсцисса, отсчитанная от центра группирования.

В зависимости от аргумента  $Z$  величина  $y$  имеет табулированные значения. Практически для построения ветви кривой нормального распределения достаточно 5 – 7 точек, так как ветви кривой симметричны относительно центра группирования. При построении первое значение абсциссы, определяющее вершину кривой Гаусса, надо принимать  $x = 0$ , а последнее значение не должно превышать  $x = 3\sigma$ . Далее определяют  $Z = x / \sigma$ , и по этим данным находят по табл. П2.1 соответствующие значения  $y$ .

Для приведения кривой нормального распределения к тому же масштабу, что и у кривой распределения фактических размеров, ординату  $y$  умножают на масштабный коэффициент, тогда

$$m_i = y[n\Delta x / (10000\sigma)], \quad (2.6)$$

где  $m_i$  – ордината кривой нормального распределения в том же масштабе, что и для кривой рассеивания фактических размеров;  $n$  – общее число наблюдений;  $\Delta x$  – интервал по оси абсцисс, принятый при построении полигона распределения, выраженный в тех же единицах, что и  $\sigma$ .

Точки, полученные на графике, обводят плавной кривой (рис. 2.8).

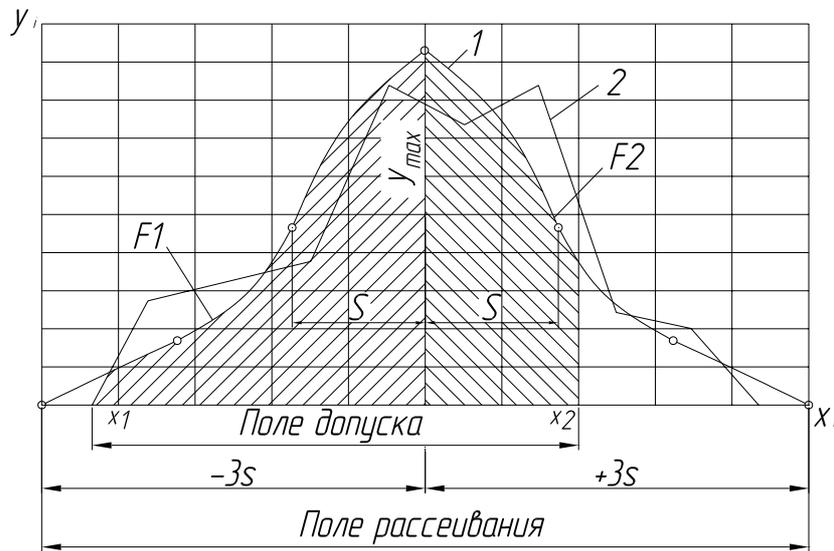


Рис. 2.8. Кривая Гаусса (1) и полигон распределения (2), выполненные в едином масштабе

Анализ кривых распределения погрешностей дает возможность установить соотношение между числом годных и бракованных деталей. Предположим: на обработку партии заготовок установлен допуск  $\delta$ . На оси абсцисс (рис. 2.8) данный допуск определяется величинами  $x_1$  и  $x_2$  от границ центра группирования. Тогда заштрихованный участок соответствует числу заготовок, находящихся в пределах поля допуска. Отношение площади заштрихованного участка к общей площади, ограниченной кривой нормального распределения, определит вероятность получения годных заготовок, так как площадь ограничения полной кривой Гаусса соответствует общему числу заготовок в партии. Площади  $F_1$  и  $F_2$  рассчитываются по формулам:

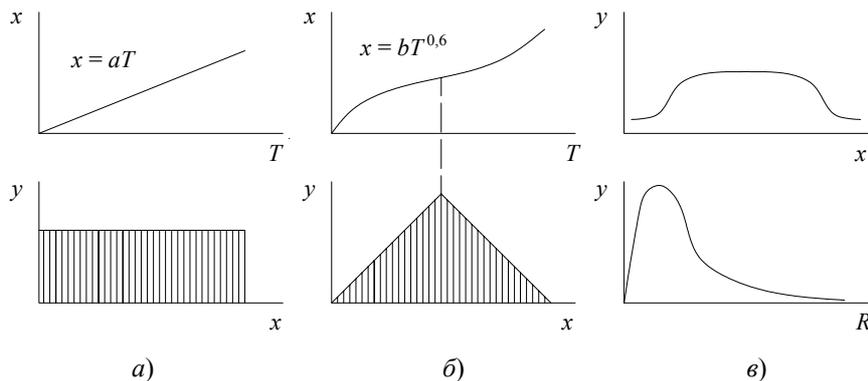
$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx, \quad F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Принимая  $x/\sigma \approx Z$ , эти интегралы могут быть представлены в виде функции Лапласа  $\Phi(Z)$ :

$$F_1' = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_1} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0,5\Phi(Z_1); \quad F_2'' = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0,5\Phi(Z_2),$$

так как вся площадь, ограниченная кривой Гаусса, равна 1. Значения функции  $F_1'$  и  $F_2''$  меньше единицы. Значения функции  $\Phi(Z)$  через десятую долю аргумента приведены в табл. П2.2. Анализ табл. П2.2 показывает, что в интервале  $Z = \pm 3$ , т.е. при  $x = \pm 3\sigma$ , площадь, ограниченная этим участком кривой, составляет 0,9973 от всей площади. Таким образом, 99,73 % всех обрабатываемых деталей партии, находящихся в интервале  $6\sigma$ , будут годными, а процент брака не превысит 0,27 %. Следовательно, определив для исследуемого процесса значение  $\sigma$ , можно установить точность конкретного метода обработки по величине  $6\sigma$  (правило "шести сигм"). Данное правило достаточно точно для практических расчетов. Учитывая присутствие случайных непрерывных погрешностей на всех этапах технологического процесса, появляется возможность контроля их анализа, используя закон Гаусса. Если принять для расчета, например, величину  $5\sigma$ , то процент брака возрастет, так как (из табл. П2.2) возрастет  $\Phi(2)$  до 0,9876. Увеличение брака в несколько раз недопустимо. Некоторые примеры использования данного метода расчета приведены в приложении. При изучении точности исследуемого технологического процесса, кроме закона нормального распределения, используются и другие законы распределения размеров.

Если размер обработки зависит только от действия одного доминирующего фактора, изменяющегося по прямолинейному закону, то распределение размеров подчиняется закону равной вероятности (рис. 2.9, а). Например: при возрастании размера  $x$  обрабатываемой поверхности в результате постепенного износа режущего инструмента происходит по закону прямой  $x = at$ , где  $t$  – время резания;  $a$  – постоянная величина, характеризующая интенсивность изнашивания реза. В этом случае кривая распределения размеров представляется в виде прямоугольника.



**Рис. 2.9. Законы и кривые распределения размеров**

В случае, если контролируемый размер  $x$  интенсивно возрастает в начальный период резания, затем его рост замедляется и далее вновь возрастает (в конце стойкости режущего инструмента), то кривая распределения размеров соответствует (рис. 2.9, б) закону треугольника (закону Симпсона). Если на точность обработки оказывают совместное влияние закономерно изменяющиеся погрешности и случайные погрешности, то кривая распределения размеров искажается (рис. 2.9, в), т.е. она представляет собой композицию кривой Гаусса и кривой равной вероятности. Этот закон Максвелла. Рассматриваемые погрешности являются положительными величинами, изменяющимися от нуля до определенного значения. Форма этой кривой несимметрична. Таким образом, нормальный закон распределения (Гаусса) применяется для оценки точности выполнения линейных, диаметральных и угловых размеров при механической обработке; оценки погрешности измерений, массы и твердости деталей, шероховатости поверхностей, основных механических и физических свойств материалов, а также для проверки правильности построения технологической последовательности проведения операций. Равновероятный закон распределения применяется при равномерном изменении во времени доминирующего систематического фактора (например, износ режущего инструмента). Закон распределения Максвелла применяется, при анализе случайных величин  $R$ , принимающих только неотрицательные значения; отклонения формы и расположения поверхностей: отклонения от круглости, плоскостности и т.д., эксцентриситетов ступенчатых валов. Кроме перечисленных законов распределения, существуют и другие. Например: закон распределения нормального модуля упрощенного; закон распределения экспоненциальный.

Метод оценки точности на основе анализа кривых распределения универсален и дает возможность объективной оценки точности выполнения заготовок, механической и термообработок, сборочных, контрольных и других операций. Недостаток метода: отсутствует возможность выявления изменений изучаемого параметра во времени, что не позволяет проводить регулирование хода технологического процесса. Кроме того, нельзя отделить случайные погрешности от систематических, что значительно затрудняет выявление и устранение причин возникновения погрешностей.

## 2.4. Лабораторная работа 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ РАЗМЕРА ПО ЛИМБУ СТАНКА

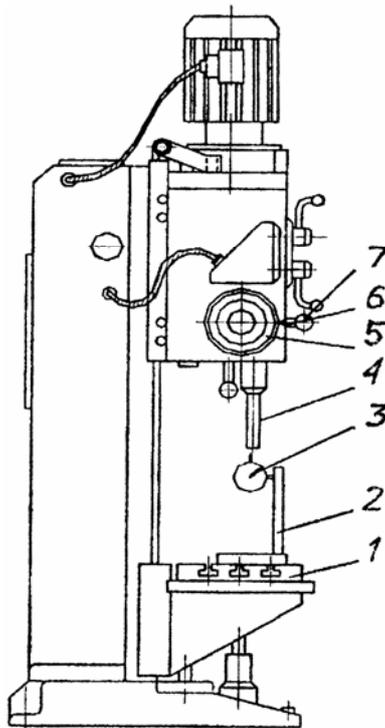
**Цель работы:** ознакомление с вероятностно-статистическим методом оценки погрешности установки размера по лимбу станка (закон Гаусса).

**Оборудование:** вертикально-сверлильный станок модели 2Н118; индикаторная стойка с индикатором часового типа (цена деления 0,01 мм).

Погрешность установки размера по лимбу станка является случайной погрешностью, зависящей от многих переменных факторов: величины силы трения в направляющих, жесткости цепи перемещения, износа винтовой пары, освещения рабочего места, зрения рабочего, ширины штрихов на шкале лимба, неточности шага винта, неточности нанесения делений на шкале лимба и др. Величину погрешности установки размера по лимбу станка можно найти на основании многократных наблюдений, построения кривых распределения и их математической обработки.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать установку, согласно схеме (рис. 2.10).
2. Выбрать любое отсчетное деление на лимбе 5 и установить его против стрелки указателя поворота 6 с помощью рукоятки 7 перемещения шпинделя.
3. Ввести в контакт наконечник индикатора 3 со шпинделем 4 с небольшим натягом.



**Рис. 2.10. Схема установки:**

1 – стол станка; 2 – стойка; 3 – индикатор; 4 – шпиндель; 5 – лимб; 6 – указатель поворота; 7 – рукоятка перемещения шпинделя

4. Установить ноль на индикаторе 3.
5. Вращая рукоятку 7, отвести шпиндель на 0,5 – 1 оборот.
6. Перемещая рукоятку 7 в обратном направлении, установить против стрелки указателя поворота 6 выбранное отсчетное деление.
7. Записать показания индикатора 3, учитывая знак показаний, т.е. если стрелка не дошла до нулевого значения, то показания регистрируют со знаком минус (–), если перешла ноль, то со знаком плюс (+).
8. Повторить пункты 5, 6, 7 от 80 до 120 раз.
9. Полученные данные занести в табл. 2.1.
10. Построить точечную диаграмму в координатах: по оси абсцисс – порядковый номер; по оси ординат – показания индикатора с учетом знака.
11. Определить предельные значения  $L_{\max}$  и  $L_{\min}$ .
12. Определить поле рассеивания по формуле (2.1).
13. Разбить поле рассеивания (размах распределения) на целое число равных интервалов (рекомендуется от 7 до 11 интервалов). Определить ширину интервала

$$\Delta = (L_{\max} - L_{\min}) / (7 \dots 11).$$

14. Размерить границы интервалов:
  - 1)  $L_{\max}; L_{\max} - \Delta;$
  - 2)  $L_{\max} - \Delta; L_{\max} - 2\Delta;$
  - ...
  - n)  $\dots; L_{\min}.$
15. Найти середины интервалов и отложить на них в выбранном масштабе количество показаний индикатора, попадающих в каждый интервал. Необходимо учесть, если значение попадает на границу интервала, то в смежные интервалы отсчитывают по 0,5 значений.
16. Построить экспериментальную кривую, т.е. полигон (рис. 2.2).
17. Подсчитать значения  $L_{\text{cp}}; \sigma; 6\sigma$  по формулам (2.3), (2.4).
18. Построить кривую нормального распределения (кривую Гаусса), совмещая ее с экспериментальной кривой в одном и том же масштабе. При построении использовать формулу (2.6) и данные табл. П2.1. При построении кривой Гаусса абсциссы откладывать от центра группирования  $L_{\text{cp}}$ .
19. Составить отчет, занося данные расчетов в табл. 2.2, табл. 2.3.

Таблица 2.1

Номер п/п	Показания индикатора, мм	Номер п/п	Показания индикатора, мм	Номер п/п	Показания индикатора, мм
1					
2					
3					
и т.д.					

Таблица 2.2

Границы интервала измерений	Среднее значение интервала $L_{i \text{ cp}}$	Частота $m_i$	$L_{i \text{ cp}} m_i$	$L_{i \text{ cp}} - L_{\text{cp}}$	$(L_{i \text{ cp}} - L_{\text{cp}})^2$
			$\Sigma L_{i \text{ cp}} m_i$		$\Sigma (L_{i \text{ cp}} - L_{\text{cp}})^2$

Таблица 2.3

Абсцисса кривой Гаусса $x$	$Z = x / \sigma$	$y$	$m_i = y[n\Delta/(10\,000\sigma)]$
0	0	3989	
0,5 $\sigma$			
$\sigma$			
и т.д.			
до 3 $\sigma$			

### Контрольные вопросы

1. Дать понятия точности механической обработки деталей и параметрам, определяющим точность.
2. Дать понятие достижимой и экономической точности механической обработки.
3. Какими методами может быть обеспечена требуемая точность?
4. Что называют погрешностью механической обработки, и каковы факторы возникновения погрешностей?
5. Какие погрешности различают в технологии машиностроения (классификация)?
6. В чем суть вероятностно-статистического метода расчета точности механической обработки?
7. Каковы возможности расчетно-аналитического метода оценки точности?
8. На чем основан расчетно-статистический метод оценки точности механической обработки?
9. Какова последовательность построения опытной кривой распределения (полигона)?
10. Охарактеризовать закон Гаусса, его основные параметры и кривую нормального распределения.
11. Проанализировать влияние  $L_{cp}$  и  $\sigma$  на форму кривой Гаусса.
12. Какова последовательность построения кривой нормального распределения и приведения ее к одному масштабу с экспериментальной кривой?
13. Как оценить соотношение между годными и бракованными деталями?
14. Дать понятие правила  $6\sigma$  и объяснить область применения закона Гаусса.
15. Какие законы распределения используются в технологии машиностроения?
16. В чем недостаток метода оценки точности при анализе кривых распределения?

### Список литературы

1. Скраган, В.А. Лабораторные работы по технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / В.А. Скраган, И.С. Амосов, А.А. Смирнов. – Л. : Машиностроение, 1974. – 182 с.
2. Корсаков, В.С. Основы технологии машиностроения / В.С. Корсаков. – М. : Высшая школа, 1974. – 336 с.
3. Казаков, Н.Ф. Технология пищевого машиностроения / Н.Ф. Казаков, Г.А. Мартынов. – М. : Машиностроение, 1982. – 291 с.
4. Воробьев, А.А. Технология машиностроения и ремонт машин / А.А. Воробьев. – М. : Высшая школа, 1981. – 341 с.
5. Данилевский, В.В. Технология машиностроения / В.В. Данилевский. – М. : Высшая школа, 1984. – 412 с.

### Приложение

Таблица П2.1

$\pm Z$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\pm y$	3989	3521	2420	1295	540	175	44

Таблица П2.2

$Z$	$\Phi(Z)$	$Z$	$\Phi(Z)$	$Z$	$\Phi(Z)$
0	0	1,2	0,7699	2,4	0,9836
0,1	0,0797	1,3	0,8864	2,5	0,9876
0,2	0,1585	1,4	0,8385	2,6	0,9907
0,3	0,2358	1,5	0,8664	2,7	0,9931
0,4	0,3108	1,6	0,8904	2,8	0,9949
0,5	0,3829	1,7	0,9109	2,9	0,9963
0,6	0,4515	1,8	0,9281	3,0	0,9973
0,7	0,5161	1,9	0,9426	3,1	0,99806
0,8	0,5763	2,0	0,9545	3,2	0,99862
0,9	0,6319	2,1	0,9643	3,3	0,99903
1,0	0,6827	2,2	0,9722	3,4	0,99933
1,1	0,7287	2,3	0,9786	3,5	0,99953

### Примеры практических расчетов

**Пример 1.** Установить вероятность брака деталей, если среднее квадратичное отклонение для исследуемого процесса  $\sigma = 0,015$  мм, допуск на обработку  $\delta = 0,0725$  мм, границы поля допуска (рис. 2.8) расположены от центра группирования на расстоянии  $x_1 = 0,045$  мм и  $x_2 = 0,09$  мм.

**Решение.** Определим значения  $Z_1$  и  $Z_2$

$$Z_1 = x_1 / \sigma = 0,045 / 0,015 = 3; \quad Z_2 = x_2 / \sigma = 0,09 / 0,015 = 6.$$

Из табл. П2.2 определяем  $F_1'$  и  $F_2''$ :

$$F_1' = 0,5 \cdot \Phi(Z_1) = 0,5 \cdot 0,9973 = 0,4986;$$

$$F_2'' = 0,5 \cdot \Phi(Z_2) = 0,5 \cdot 0,9999999999999999 = 0,4999999999999999.$$

Вероятность брака в процентах составит

$$[1 - (0,4986 + 0,4999999999999999)] 100 = 2,42 \%$$

Если партия деталей, например, 300 шт., то брак составит приблизительно 7-8 шт.

**Пример 2.** Определить, как изменится вероятность брака деталей по условиям предыдущего примера, если путем наладки технологической системы совместить центр группирования кривой распределения с серединой поля допуска.

**Решение.** Из условия  $Z_1 = Z_2 = Z = \delta / (2\sigma) = 0,0725 / (2 \cdot 0,015) = 2,5$ .

Найдем по табл. П2.2  $F_1'$  и  $F_2''$ :

$$F_1' = F_2'' = 0,5 \Phi(Z) = 0,4938.$$

Вероятность брака в процентах составит

$$P = [1 - (F_1' + F_2'')] 100 = [1 - (0,4938 + 0,4938)] 100 = 1,24 \%$$

Следовательно, по сравнению с предыдущей задачей вероятность брака снизится на 1,18 % и составит приблизительно 4 шт.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА

#### 3.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ

Обрабатываемая заготовка, установленная на станке, с приспособлениями и режущим инструментом, представляет собой замкнутую упругую систему. Силы резания и инерции, силы закрепления, возникающие при механической обработке на металлорежущих станках, передаются на элементы упругой технологической системы ОЗПИ (оборудование, заготовка, приспособление, инструмент). Упругие деформации системы с точки зрения обеспечения требуемой точности обработки являются определяющими и оказывающими значительное влияние на виброустойчивость системы и производительность механической обработки. На точность обработки влияют преимущественно те деформации, которые изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью, т.е. направленные нормально к обрабатываемой поверхности (рис. 3.1), а именно составляющая силы резания  $P_y$  – радиальная составляющая.

Незначительное влияние на деформацию оказывают и составляющие силы резания  $P_x$  – нормальная,  $P_z$  – тангенциальная. Таким образом, жесткость технологической системы характеризует способность системы противостоять действию силы резания, вызывающей деформации. В технологии машиностроения жесткостью системы ОЗПИ называют (для токарных станков) отношение радиальной составляющей силы резания  $P_y$  к смещению режущей кромки резца, относительно обрабатываемой заготовки, отсчитанное в направлении действия этой силы:  $j = P_y / y$  [кг/мм; Н/м].

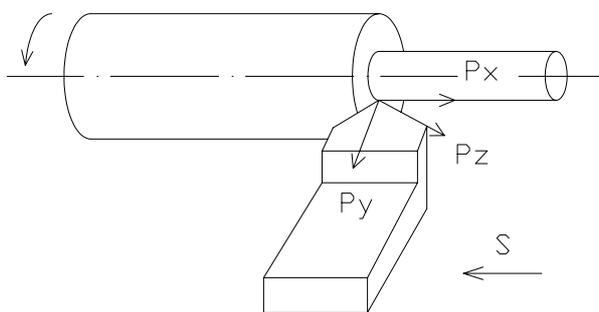


Рис. 3.1

Установлено, что с изменением нагрузки жесткость изменяется, и практически в упрощенных расчетах определяют среднюю жесткость в диапазоне эксплуатационных нагрузок от нуля до  $P_{y \max}$ . Величина, обратная жесткости, характеризующая упругие свойства элементов технологической системы и в целом системы ОЗПИ (способность деформироваться под действием силы резания), есть податливость:  $W = 1/j = y/P_y$  [мм/кг, м/Н].

По принятой в технологии машиностроения терминологии при учете одной составляющей силы резания  $P_y$  правомернее говорить о коэффициенте жесткости  $j$  и коэффициенте податливости  $W$ , а при приложении двух или трех составляющих сил резания определяется жесткость  $j$  и податливость  $w$  станка.

Значительное влияние жесткости при механической обработке на точность привело к разработке нескольких методов экспериментальной проверки и расчета жесткости металлорежущих станков и отдельных элементов, входящих в технологическую систему. Основными являются:

- статический (испытания на неработающем станке);
- производственный (испытания при обработке заготовки).

При лабораторных испытаниях статическим методом узлы станка (шпиндельная бабка, суппорт, задняя бабка) нагружаются ступенчато возрастающей нагрузкой и одновременно фиксируют перемещения основных узлов станка. Разгрузку производят при тех же значениях ступеней в обратном порядке, регистрируя перемещения узлов станка.

По полученным данным испытания строят диаграммы "нагрузка – перемещение", откладывая по оси ординат значения нагрузки  $P_y$ , а по оси абсцисс – перемещения  $y$ , измеренные в направлении действия составляющей силы резания  $P_y$ , т.е. по нормали к поверхности обработки (рис. 3.2). Площадь между нагрузочной и разгрузочной ветвями диаграммы (площадь петли Гистерезиса) характеризует величину энергии, затраченную на преодоление сил трения за один полный цикл испытания. Ветви графика "нагрузка – перемещение" имеют несколько резко выраженных перегибов, что свидетельствует о том, что жесткость испытываемого узла переменна в различных диапазонах нагрузок.

Для определения средней жесткости узла нагрузочная ветвь графика спрямляется, т.е. опытную нагрузочную линию аппроксимируют линейной зависимостью. График "нагрузка – перемещение" для суппорта токарного станка: 1 – нагрузочная ветвь; 2 – разгрузочная ветвь; 3 – аппроксимирующая прямая. Аппроксимирующую прямую проводят так, чтобы приближенно площади над прямой и ветвью равнялись площади под прямой и разгрузочной ветвью.

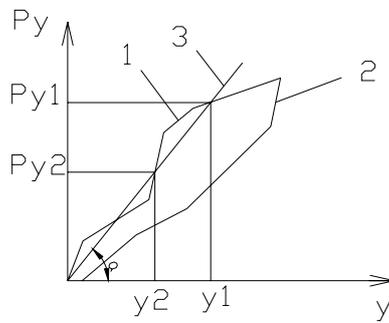


Рис. 3.2

В этом случае

$$J_c = \frac{\mu_{P_y}}{\mu_y} \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.1)$$

где  $\mu_{P_y}$ ,  $\mu_y$  – масштабные коэффициенты.

Возможен другой вариант оценки коэффициента жесткости узла (суппорта)

$$J_c = P_{y1} - P_{y2} / y_1 - y_2. \quad (3.1a)$$

Аналогично строятся диаграммы для передней (шпиндельной) бабки и задней бабки и определяются их коэффициенты жесткости. Установлено, что при изменении координаты зоны резания  $x$ , т.е. при перемещении точки приложения нагрузки по длине обрабатываемой детали ( $x = 0; x_1; x_2; x_3; x_4 = L$ ) выражения для определения коэффициентов податливости и жесткости станка примут вид:

$$W_{ст} = W_c + W_{пб} \left( \frac{L-x}{L} \right)^2 + W_{зб} \left( \frac{x}{L} \right)^2; \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{j_{ст}} = \frac{1}{j_c} + \frac{1}{j_{пб}} \left( \frac{L-x}{L} \right)^2 + \frac{1}{j_{зб}} \left( \frac{x}{L} \right)^2.$$

При определении средней жесткости и податливости станка значение координаты зоны обработки принимают  $x = L / 2$ , т.е. середина обрабатываемой детали. В этом случае

$$W_{ст} = W_c + \frac{1}{4} (W_{пб} + W_{зб}). \quad (3.3)$$

Недостатком определения коэффициента жесткости станка в статическом состоянии является то, что  $j_{ст}$  лишь приблизительно характеризует перемещения узлов станка в процессе обработки. Поэтому разработан производственный метод оценки жесткости системы ОЗПИ. Этот метод испытания станков в процессе обработки деталей основан на том, что при обработке заготовки с переменной глубиной резания, т.е. с неравномерным припуском, форма заготовки (например, ее эксцентricность, ступенчатость) копируется на обработанной поверхности детали. Степень копирования будет тем больше, чем меньше жесткость технологической системы ОЗПИ.

Условие неравномерного припуска может быть реализовано при обработке эксцентricной, конусной или ступенчатой заготовок. При обработке эксцентricной заготовки (рис. 3.3) глубина резания за половину оборота заготовки закономерно изменяется от  $t_{\min}$  до  $t_{\max}$ . Это вызывает соответственное изменение силы резания и, как следствие, упругие перемещения элементов технологической системы от  $y_{\min}$  до  $y_{\max}$ .

Величина упругих перемещений системы  $y_{сист}$  при обработке заготовок на токарном станке зависит от перемещений узлов станка  $y_{ст}$ , перемещений инструмента  $y_{ин}$  и обрабатываемой детали  $y_{дет}$ .

Тогда

$$\frac{1}{j_{сист}} = \frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_{ин}} + \frac{1}{j_{дет}}. \quad (3.4)$$

Учитывая, что жесткость реза в радиальном направлении велика по сравнению с жесткостью станка и обрабатываемой детали, то ее деформацию при расчете не учитывают. При испытаниях производственным методом используют заготовку, жесткость которой превышает жесткость станка, т.е. деформацию заготовки можно не учитывать при расчетах.

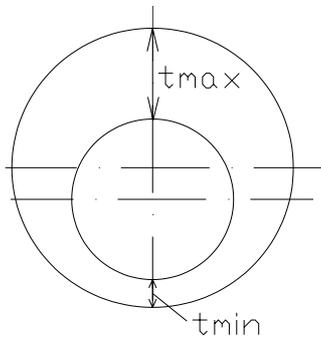


Рис. 3.3

Тогда

$$\frac{1}{j_{\text{сист}}} = \frac{1}{j_{\text{ст}}} \quad \text{или} \quad W_{\text{сист}} = W_{\text{ст}}. \quad (3.5)$$

Жесткость станка при использовании производственного метода на основании зависимостей теории резания определяется

$$j_{\text{ст}} = P_y / y. \quad (3.6)$$

Радиальная составляющая  $P_y$  может быть выражена через тангенциальную составляющую силы резания  $P_z$

$$P_y = \lambda P_z, \quad (3.7)$$

где  $\lambda = P_y / P_z$  – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала, от геометрии резца и состояния режущей кромки резца.

По формуле Челюсткина

$$P_z = C_p t S^{0,75}, \quad (3.8)$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала и угла резания;  $t$  – глубина резания;  $S$  – подача обработки.

Тогда

$$t = \frac{\lambda C_p S^{0,75}}{j_{\text{ст}}}. \quad (3.9)$$

Из сказанного выше следует

$$y_{\text{max}} - y_{\text{min}} = \lambda C_p S^{0,75} \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (3.10)$$

где  $y_{\text{max}} - y_{\text{min}} = \Delta_{\text{дет}}$  – погрешность формы детали или биение детали после обработки, мм;  $t_{\text{max}} - t_{\text{min}} = \Delta_{\text{заг}}$  – погрешность формы заготовки или биение заготовки до обработки, мм.

Тогда

$$j_{\text{ст}} = \lambda C_p S^{0,75} \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (3.11)$$

где  $\frac{\Delta_3}{\Delta_d} = \varepsilon$  – технологическое уточнение.

Таким образом, определение жесткости токарного станка производственным методом при обработке эксцентричной заготовки практически сводится к определению  $\varepsilon$ , т.е. к изменению биения до и после обработки (рис. 3.4). Коэффициенты  $\lambda$  и  $C_p$  находятся по нормативным материалам или экспериментально.

Используя метод обработки эксцентричной заготовки, можно не только определить жесткость при максимальном биении заготовки, но и построить диаграммы "нагрузка – перемещение". Графики представляют значительный интерес, так как характеризуют упругие деформации узлов станка в реальном процессе механической обработки заготовки.

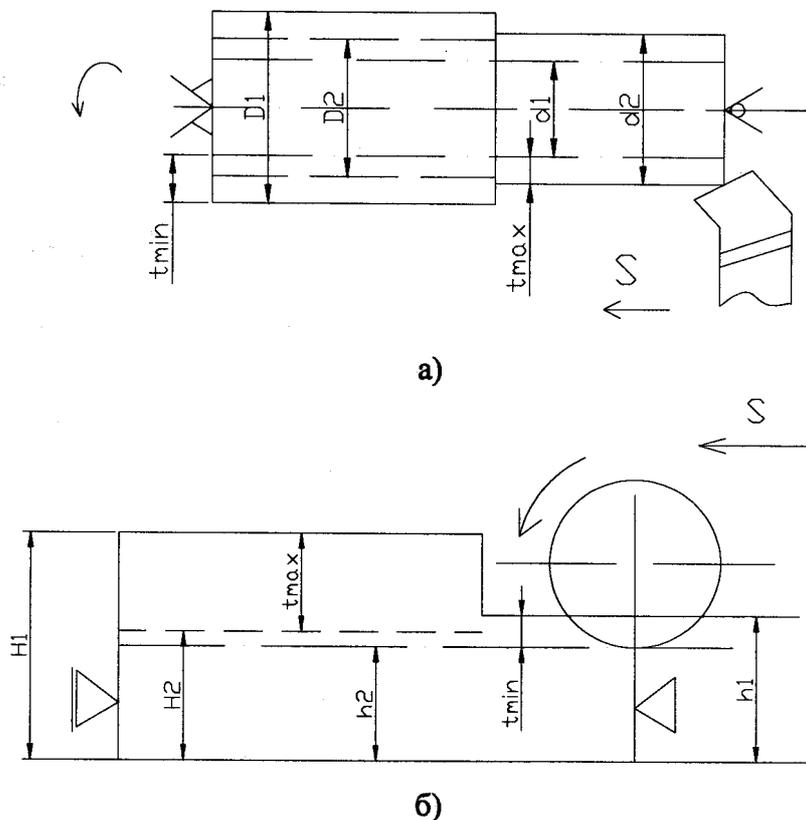


Рис. 3.4

$$a - \varepsilon = \frac{D_1 - h_1}{D_2 - h_2}; \quad b - \varepsilon = \frac{H_1 - h_1}{H_2 - h_2}$$

Диаграмма "нагрузка – перемещение" работающего станка строится, основываясь на том, что при обработке эксцентричной заготовки за один оборот глубина резания изменяется постепенно, и пропорционально изменяются составляющие силы резания. Следовательно, величина биения заготовки по окружности характеризует силу резания, а величина соответствующих упругих деформаций узлов станка есть биение детали после обработки. Величину радиальной составляющей силы резания, отвечающей каждому положению заготовки, находят

$$P_y = \lambda C_p S^{0,75} \Delta_3, \quad (3.12)$$

где  $\Delta_3$  – биение заготовки в данном угловом положении.

Измеряя биение заготовки в нескольких точках по окружности и в тех же точках измеряя биение детали после обработки, можно построить нагрузочную и разгрузочную ветви диаграммы "нагрузка – перемещение".

Выше указывалось, что условие неравномерного припуска может быть реализовано обработкой, например, ступенчатой заготовки. В этом случае определение технологического уточнения  $\varepsilon$  сводится к измерению штангенциркулем диаметральных размеров до обработки заготовки и после обработки, т.е. детали (при точении на токарном станке) или линейных размеров до и после обработки (при фрезеровании).

### 3.2. Лабораторная работа 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА СТАТИЧЕСКИМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МЕТОДАМИ

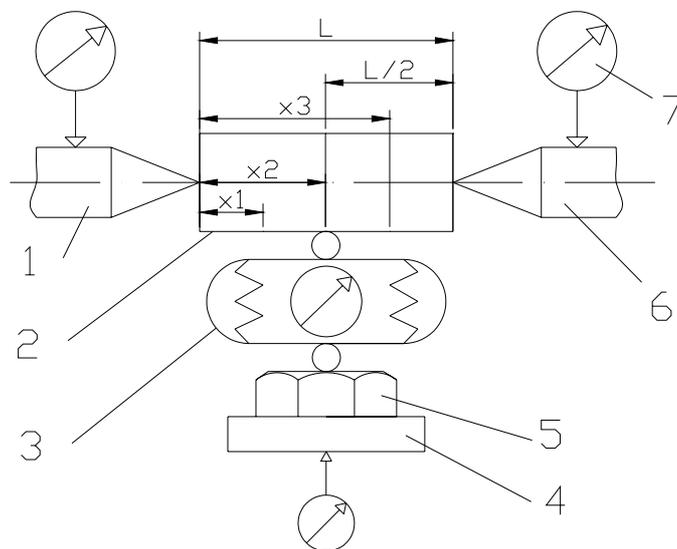
##### Часть I

Цель работы: ознакомление с методикой определения коэффициента жесткости статическим методом.

Оборудование: токарный станок модели Т135В, жесткий вал, индикаторные стойки с индикаторами часового типа (цена деления 0,01 мм), динамометрическая скоба (133 кг/мм, т.е. усилием в 133 кг создается перемещение в 1 мм), ключ рожковый.

##### Порядок выполнения работы

1. Собрать установку, согласно схеме (рис. 3.5), обеспечив гарантированный контакт по нормам наконечников индикатора с поверхностями. Установить "ноль" на индикаторах.
2. С помощью рожкового ключа, поворачивая нагружающий винт, ступенчато нагрузить технологическую систему, создавая усилия 0; 50; 100; 150; 200; 300; 400 кг.



**Рис. 3.5. Схема установки:**

1 – передняя бабка; 2 – жесткий вал; 3 – динамометрическая скоба, имитирующая силу резания; 4 – суппорт; 5 – нагружающий винт; 6 – задняя бабка; 7 – индикаторы

3. При каждом значении нагрузки регистрировать перемещение основных узлов станка (передней и задней бабок, суппорта), записывая показания индикаторов.
4. Разгрузить систему при тех же значениях ступеней нагрузок в обратном порядке, фиксируя показания часовых индикаторов. Результаты занести в табл. 3.1.
5. По полученным данным построить на миллиметровой бумаге диаграммы "нагрузка – перемещение" для суппорта, передней и задней бабок.
6. На графиках по нагрузочным ветвям провести аппроксимирующие прямые, определив  $\text{tg } \alpha$ .
7. По предложенной выше методике (1, 1а) определить коэффициенты податливости и жесткости передней, задней бабок, суппорта.
8. Определить по формуле (3.3) коэффициент жесткости токарного станка (с допущениями  $j_{\text{озпи}}$ ).

**Таблица 3.1**

№ п/п	Показания индикатора динамометра, мм	Нагрузка		Перемещение узлов станка $u$ , мм					
		суппорт	передняя, задняя бабка	передняя бабка		суппорт		задняя бабка	
				нагрузка	разгрузка	нагрузка	разгрузка	нагрузка	разгрузка
1	0	0	0	0		0		0	
2		50	25						
3		100	50						
4		150	75						
5		200	100						
6		300	150						
7		400	200						

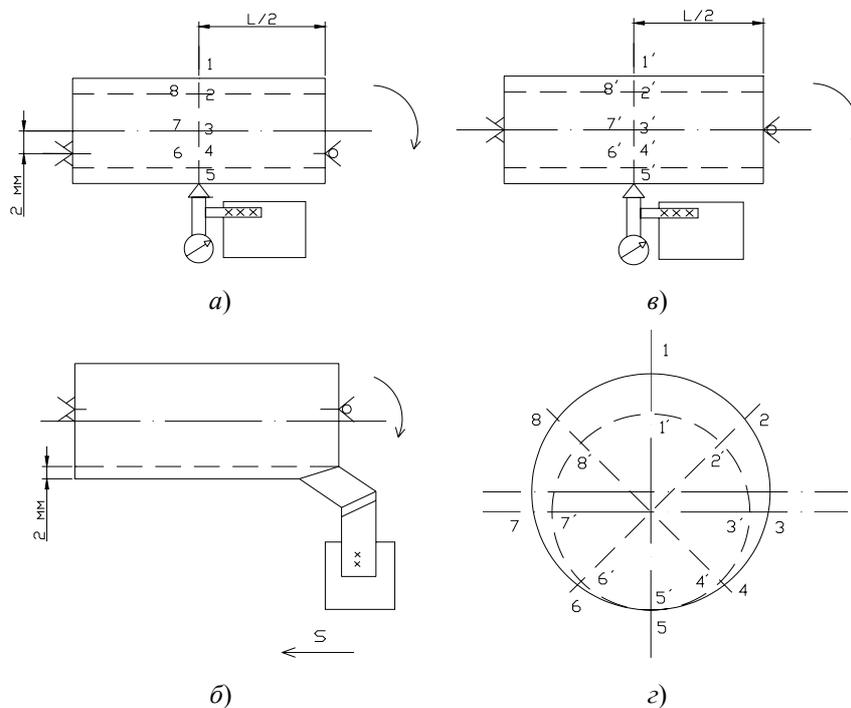
## Часть II

Цель работы: ознакомление с методикой определения жесткости токарного станка производственным методом.

Оборудование: токарный станок модели ТВ5В, жесткий вал, стандартный проходной резец, державка с индикатором часового типа (цена деления 0,01 мм), штангенциркуль.

### Порядок выполнения работы

1. Эксцентрично установить заготовку в центрах на станке (рис. 3.6, а).
2. Закрепить в резцедержателе державку с индикатором так, чтобы измерительный наконечник индикатора был расположен в горизонтальной плоскости, строго по оси центров станка.



**Рис. 3.6. Схемы установки для поэтапного выполнения лабораторной работы:**

а – измерение биения заготовки  $\Delta_z$ ;

б – снятие проходным резцом эксцентричного припуска;

в – измерение биения детали  $\Delta_d$ ;

г – разметка на торцевых поверхностях эксцентричного вала через  $45^\circ$

3. Ввести в контакт наконечник индикатора в точке 1 (рис. 3.6, а).
4. Поворачивая заготовку рукой по направлению вращения шпинделя, измерить биение в середине заготовки (координата  $L/2$ ) в 8 точках через  $45^\circ$  по окружности, используя разметку. Рассчитать по формуле (3.12) значения составляющей силы резания. Результаты занести в табл. 3.2.
5. Снять индикатор и закрепить в резцедержателе стандартный проходной резец, причем консоль резца должна быть  $\sim 30 \dots 40$  мм.
6. Проточить заготовку, сняв эксцентричный припуск за один проход, выдерживая скорость резания  $\sim 60 \dots 100$  м/мин.; подачу  $S \approx 0,2$  мм/об, (рис. 3.6, б).
7. Снять резец и установить в резцедержателе державку с индикатором.
8. Аналогично п. 4 измерить биение детали:  $\Delta_d$  в тех же 8 точках. Результаты занести в табл. 3.2.
9. По максимальным значениям  $\Delta_z$  и  $\Delta_d$  определить суммарную жесткость станка в середине обрабатываемой заготовки по формуле (3.11), принимая  $\lambda \cong C_p$ .
10. По данным табл. 3.2 построить диаграмму "нагрузка – перемещение".

**Таблица 3.2**

Деление на торце заготовки	Биение заготовки $\Delta_z$ , мм	Значение радиальной составляющей силы резания $P_y$ , кгс	Биение детали после обработки, мм

## Контрольные вопросы

1. Дать понятие жесткости токарного станка.
2. Что характеризует жесткость технологической системы ОЗПИ?
3. Какое влияние на жесткость оказывают составляющие силы резания?
4. В чем различие понятий жесткости и коэффициента жесткости?
5. Что характеризует податливость системы ОЗПИ?
6. Какова последовательность испытания на жесткость станка статическим методом?
7. Что характеризует площадь петли Гистерезиса?
8. На чем основан метод производственного испытания станков на жесткость?
9. Дать понятие технологическому уточнению.
10. От каких параметров зависят коэффициенты  $\lambda$ ,  $C_p$ ?
11. Как построить диаграмму "нагрузка – перемещение" при производственном методе оценки жесткости станка?
12. Объяснить, проанализировав жесткость элементов системы ОЗПИ, возможность возникновения погрешности формы (конусность, бочкообразность, корсетность) (рис. 3.7).

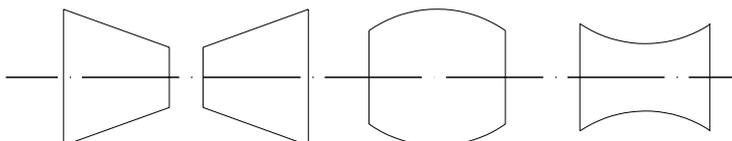


Рис. 3.7. Погрешности формы

## Список литературы

1. Скраган, В.А. Лабораторные работы по технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / В.А. Скраган. – Л. : Машиностроение, 1974. – 182 с.
2. Технологические основы обеспечения качества машин / под общ. ред. К.С. Колесникова. – М. : Машиностроение, 1990. – 254 с.
3. Косилова, А.Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении : справочник технолога / А.Г. Косилова и др. – М. : Машиностроение, 1976.
4. Чернянский, П.М. Жесткость металлорежущих станков : учеб. пособие по разделу курса "Расчет и конструирование металлорежущих станков" / П.М. Чернянский. – М. : Машиностроение, 1969.

## 4. ГИБКА ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ХИМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

### 4.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ И СПОСОБЫ ГИБКИ

Среди многообразия деталей и узлов химической аппаратуры значительное их количество имеет криволинейную, изогнутую форму: фланцы, бандажы, кольца, патрубки, змеевики, колена и т.п. В народном хозяйстве трубы широко применяются как части трубопроводов, монтаж которых требует большого числа криволинейных участков, как и детали машин и аппаратов.

Технологические процессы изготовления этих деталей зависят от конкретной формы, размеров, кривизны изогнутых поверхностей материала и других факторов. Используемые при этом оборудование и приспособления разнообразны по своему конструктивному оформлению и назначению. Исследования механизма гибки носят, в основном, экспериментальный характер. При разработке технологических процессов используются лишь зависимости, удобные для инженерных расчетов.

Гибка труб относится к обработке металлов давлением. В специальной литературе классифицируется несколько способов гибки труб: холодная гибка, гибка с нагревом заготовок, индукционный метод гибки.

Холодная гибка – способ деформации, при котором во избежание искажения формы трубы при гнутье принято поддерживать стенку трубы на изгибаемом участке с помощью наполнителей или временной опоры (дорны, пробки, оправки). По способу все механизмы для холодной гибки разделяют на [3]:

– механизмы с обкаткой, применяемые для изгиба труб диаметром до 70 мм, когда допускаются некоторые отклонения от круглой формы в сечении изогнутого участка. В этом случае вокруг неподвижного гибочного шаблона *1* движется обкатывающий ролик *2*, прижимающий трубу непосредственно к шаблону (рис. 4.1, *а*) или с помощью ползуна *3* (рис. 4.1, *б*);

– механизмы с наматыванием, используемые для гнутья труб диаметром 10 – 20 мм, в которых шаблон *1* вращается, а пружина-ползун *2*, остается неподвижной (рис. 4.2, *а*) или перемещается в продольном направлении (рис. 4.2, *б*);

– механизмы на двух опорах, позволяющие проводить гибку труб диаметром до 320 мм. Заготовка укладывается на две опоры, способные поворачиваться вокруг своих осей, а усилие прилагается в середине трубы. Гибочный сегмент соединяется со штоком гидро- или пневмоцилиндра (рис. 4.3);

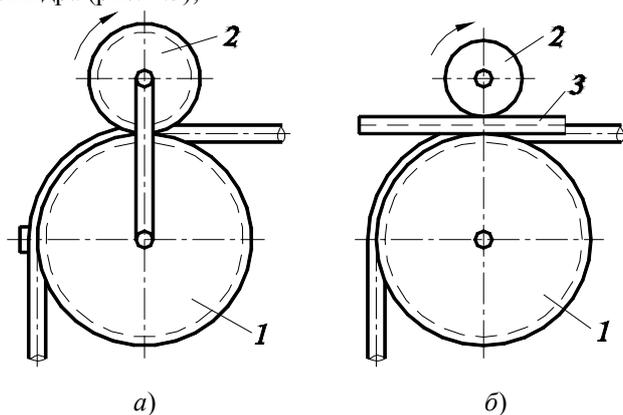


Рис. 4.1. Схема механизма с обкаткой

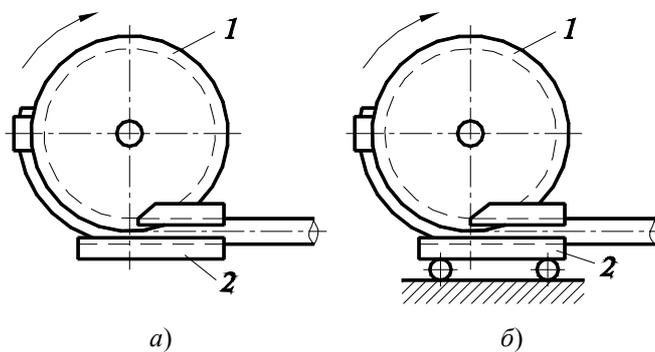


Рис. 4.2. Схема механизма с наматыванием

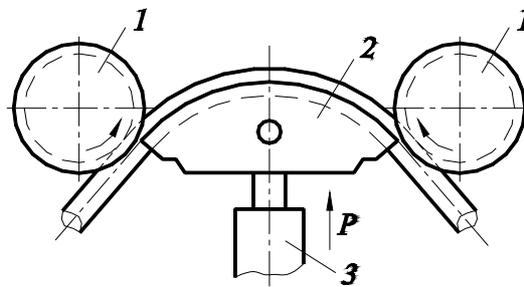


Рис. 4.3. Схема механизма на двух опорах

– механизмы с вальцовкой, реализующие гибку заготовок на угол  $360^\circ$  на гибочных вальцах. В этом случае труба прокатывается между тремя роликами, расположенными по вершинам треугольника (рис. 4.4);

– механизмы с волочением, применяемые при гибке тонкостенных цельнотянутых труб. Один конец заготовки обжимается до заданного диаметра. Обжатый конец 1 продавливается через фильеру и захватывается зажимом 3, укрепленным на станине. При вращении гибочного шаблона 4 труба протягивается через фильеру и одновременно гнется вокруг гибочного шаблона. Способ позволяет гнуть заготовки малой длины на малый уголгиба (рис. 4.5);

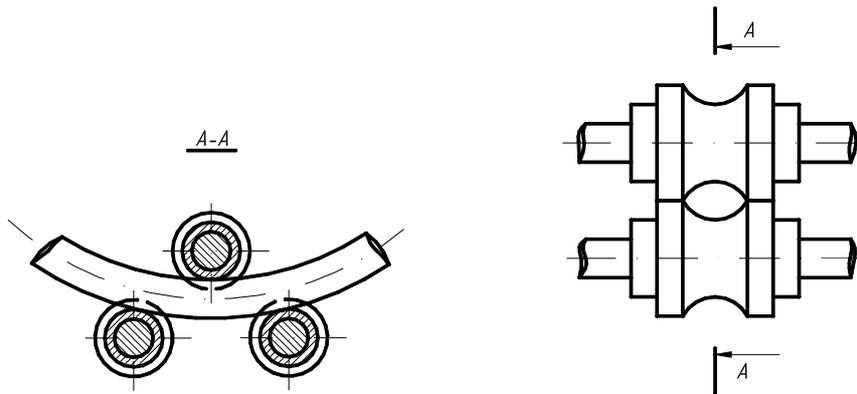


Рис. 4.4. Схема механизма с вальцовкой

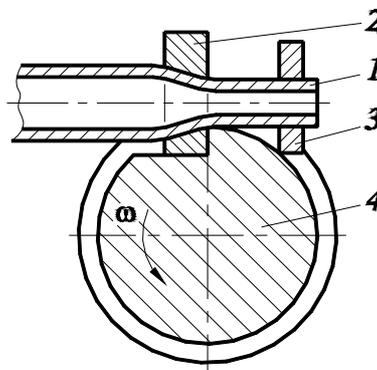


Рис. 4.5. Схема механизма с волочением

Гибка с нагревом заготовок позволяет уменьшить усилие гибки и облегчает формообразование. Известны [4]:

– горячее гнутье труб на станках или плитах, отличающееся сложной технологией (высокая температура нагрева –  $1000^\circ\text{C}$ , система защиты, система охлаждения);

– протяжка на роге, заключающаяся в том, что заготовка трубы одевается на штангу с рогообразным сердечником (рис. 4.6), который имеет заданную кривизну. Заготовка нагревается и проталкивается по сердечнику, при этом происходит изгиб трубы и одновременно калибровка;

– гибка на штампе является одним из высокопроизводительных способов, реализующих гнутье в одной или нескольких плоскостях.

Индукционный метод предполагает нагрев труб токами высокой частоты (ТВЧ) и позволяет выполнять гибку на малый радиус (рис. 4.7). В этом случае труба 2 устанавливается в кольцевом индукторе 5 и на направляющих роликах 3, к концу трубы прикладывается усилие с помощью нажимного ролика 4, продольное перемещение трубы осуществляется кареткой 6 при помощи торцевого упора 1. Кольцевой участок, помещенный в индукторе, нагревается до  $1000^\circ\text{C}$ , а на выходе из индуктора охлаждается. Таким образом, горячий участок трубы, в котором происходит деформация гибки, поддерживается с обеих сторон жесткими холодными участками, что препятствует искажению формы сечения трубы.

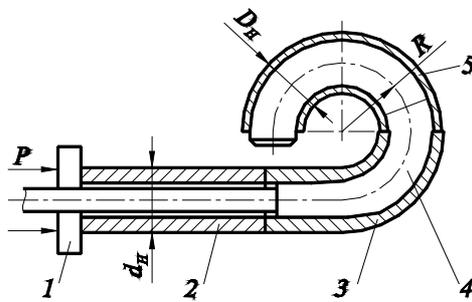


Рис. 4.6. Схема протяжки на роге

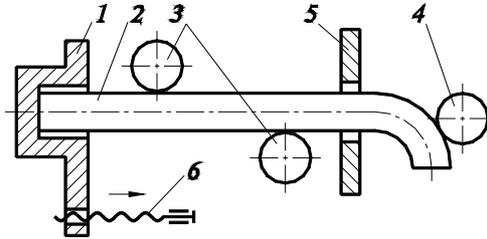


Рис. 4.7. Схема индукционного метода гибки

Известен способ гибки, при котором один конец трубы закрепляется в опоре, а к другому прикладывается незначительный изгибающий момент (рис. 4.8) [1]. В трубу вводится раскатная головка, которой придают вращение и поступательную подачу, а с наружной части радиальная деформация трубы ограничивается обоймой с помещенными в ней шариками. Создаваемый натяг между телами качения способствует созданию пластического шарнира, перемещающегося с раскатной головкой по всей длинегиба и обеспечивающего гибку с помощью незначительного по величине изгибающего момента.

Для большинства методов в процессе гибки труб изменяется сечение трубы, поэтому необходимо применение опор, поддерживающих стенки трубы снаружи и изнутри. Поддержка стенки снаружи осуществляется с помощью ручья гибочного сегмента и ползуна. Для поддержания стенок изнутри используются различные наполнители: песок, вода, лед, легкоплавкие металлы, смолы, резина. Например, применяется наполнитель из 56 % висмута, 26,7 % свинца, 13,3 % олова, 10 % кадмия. Однако применение наполнителей – процесс трудоемкий и полностью не обеспечивающий качество гибки. Поэтому разработаны различные конструкции оснасток для гибки труб (дорны, оправки) [2].

Условно их можно квалифицировать по: форме – сплошные, раздвижные, составные; жесткости – жесткие, нежесткие, эластичные; поверхности контакта – точечные, линейные; форме опорной поверхности – цилиндрические, сферические, торовые [3].

Самым простым дорном, используемым при гибке труб диаметром до 40 мм, служит стальной канат.

Распространение получили дорны в виде стержня с ложкообразной формой конца (рис. 4.9) [1]. Дорн соединяется с тягой, длина которой соизмерима с длиной заготовки и помещена внутри трубы, которая в процессе гибки протягивается по нему. Зазор между дорном и трубой оказывает большое влияние на точность размеров поперечного сечения трубы и должен исключать возможность образования гофр.

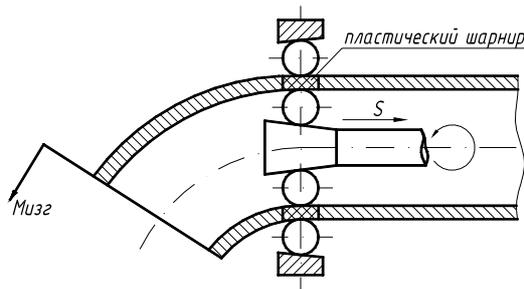


Рис. 4.8. Схема гибки с пластическим шарниром

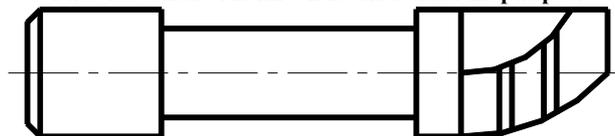


Рис. 4.9. Дорн ложкообразный

Детали, у которых сопряжение гибов осуществляется без прямолинейных участков, изготавливают с применением дорнов со сферическими головками (рис. 4.10).

Известна также оправка, содержащая заармированную в эластичную оболочку катушку для создания электромагнитного поля, воздействующего на магнитный наполнитель (рис. 4.11).

Применение такого типа оправок отличает высокая трудоемкость изготовления, сложность обслуживания, большие энергозатраты.

Используют также оправку, содержащую корпус и эластичную оболочку с наполнителем, связанную цилиндрической частью с корпусом, а средней частью с приводом. Это позволяет исключить многие технологические операции, связанные с набивкой труб наполнителем (рис. 4.12).

Применяются оправки для гибки труб, выполненные в виде спирали и механизма изменения диаметра спирали (рис. 4.13).

Недостатком данной конструкции является трудность извлечения ее из трубы после гибки.

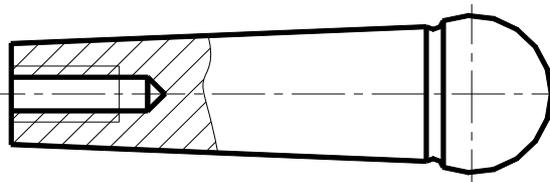


Рис. 4.10. Дорн со сферической головкой

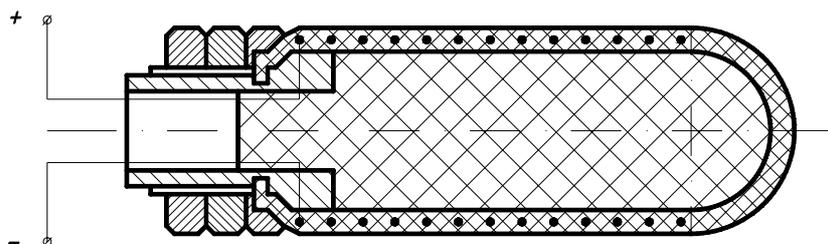


Рис. 4.11. Оправка, создающая электромагнитное поле

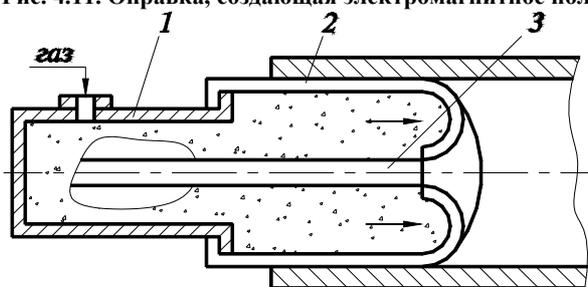


Рис. 4.12. Оправка с наполнителем, в эластичной оболочке

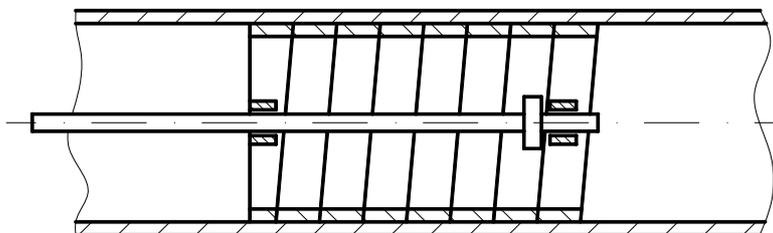


Рис. 4.13. Гибка спиральная

Для обеспечения возможности гибки труб различного диаметра используют оправку, в которой звенья выполнены в виде двух рычагов с шаровыми сегментными головками, установленными с возможностью поворота в плоскостигиба, снабженных цапфами, а также соединенных между собой планками, связанными с регулирующим механизмом (рис. 4.14).

В отличие от предыдущей конструкции, оправка (рис. 4.15) выполнена со сменной сферической частью.

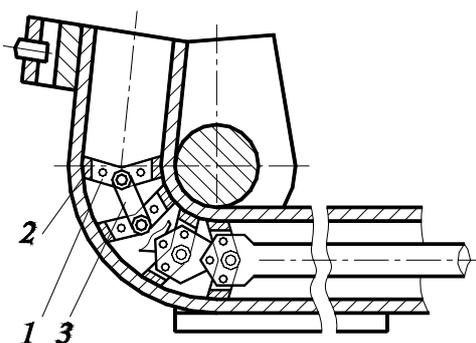


Рис. 4.14. Оправка с шаровыми головками

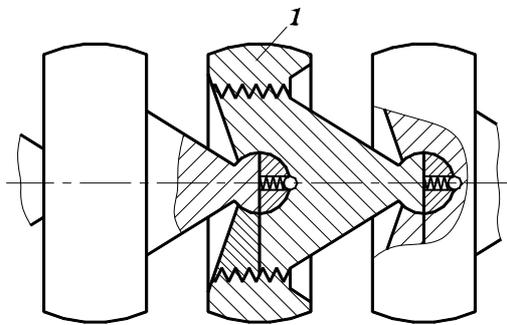


Рис. 4.15. Оправка со сменными шаровыми сегментами

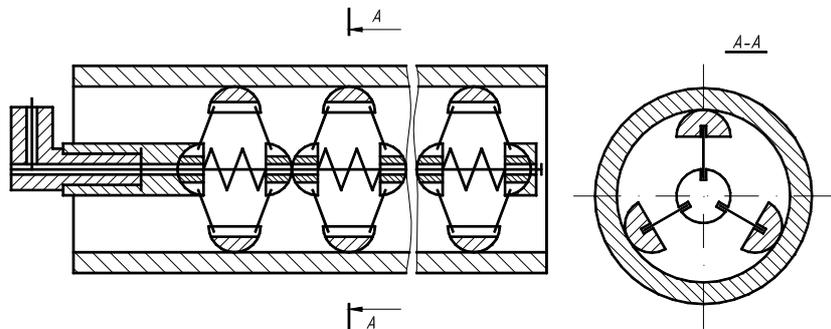
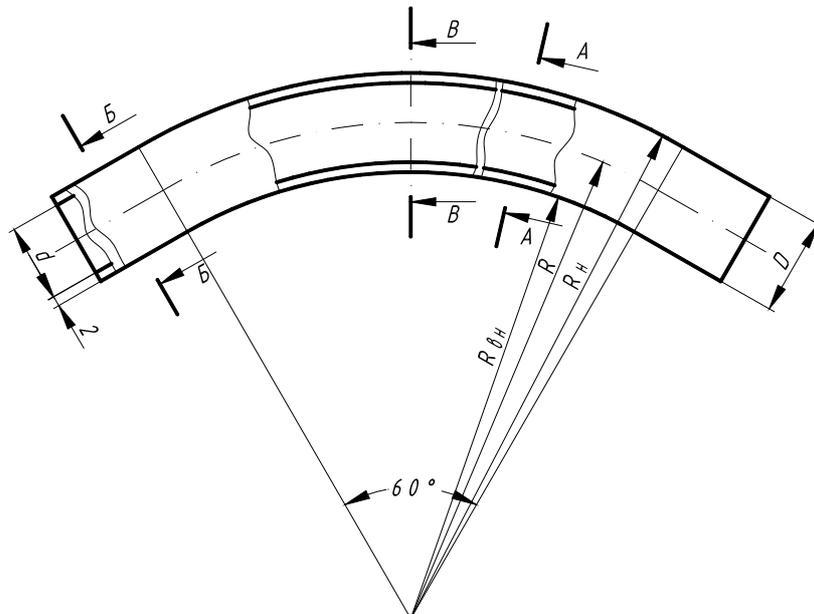


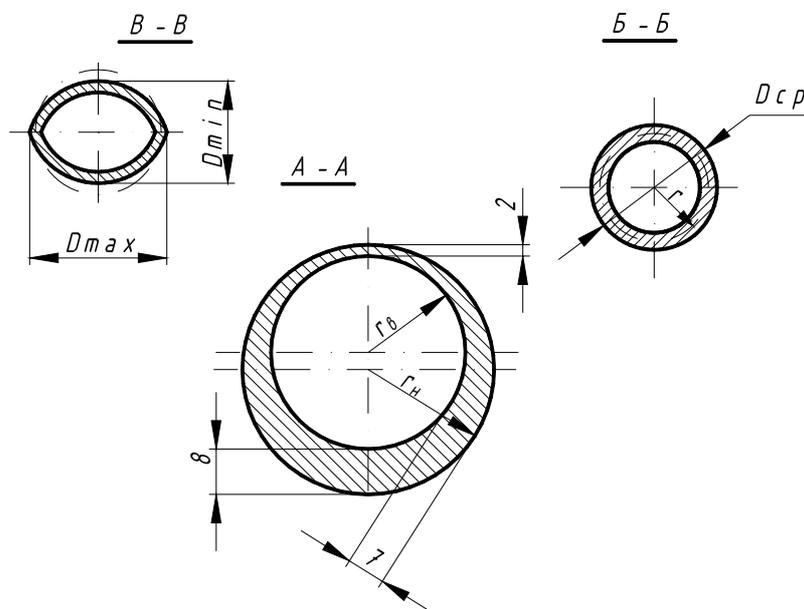
Рис. 4.16. Оправка с шаровой сегментной головкой и механизмом регулирования

На кафедре ХМАС разработана конструкция оправки для гибки труб, содержащая набор звеньев, каждое из которых состоит из рычагов, один конец которых связан с шаровой сегментной головкой, а другой – с цапфой, представляющей собой шаровой сегмент с осевым отверстием. Механизм регулирования выполнен в виде троса, размещенного в осевых отверстиях цапф, между которыми расположены пружины, и закрепленного на одном из крайних звеньев оправки. Имеется винтовой механизм, установленный на другом крайнем звене и связанный свободным концом с тросом. Все звенья установлены с возможностью контакта по сферическим поверхностям цапф (рис. 4.16).

#### Условные обозначения

При анализе и описании технологии процессов, сопровождающих изготовление криволинейных участков (рис. 4.17), приняты следующие термины и обозначения [3]:





**Рис. 4.17. Схема принятых обозначений изогнутой трубы**

гибка – технологический процесс образования изгиба;

изгиб – деформация трубы под действием внешних сил или моментов, сопровождающихся изменением кривизны геометрической оси трубы;

гиб – участок трубы, имеющий криволинейную форму, которая получена в результате пластического изгиба;

$\alpha$  – плоский уголгиба между осями двух смежных прямолинейных участков, сопряженных между собой дугой заданного радиуса, или угол между касательными в точках начала и концагиба;

$R$  – радиусгиба, т.е. радиус продольной кривизны геометрической оси трубы;

$R_n, R_{вн}$  – радиусы продольной кривизны, наиболее отдаленной и наиболее близкой от центрагиба образующей трубы;

$\delta$  – толщина стенки прямой трубы (исходная толщина);

$\delta_{min}, \delta_{max}$  – минимальная и максимальная толщина стенки трубы, соответственно;

$\Delta\delta$  – поперечная разностенность в данном сечении трубы;

$d$  – номинальный внутренний диаметр трубы;

$r_{min}, r_{max}$  – номинальные внутренний и наружный радиусы трубы, соответственно;

$D_{min}, D_{max}$  – минимальный и максимальный наружный диаметр трубы в местегиба, соответственно;

$D$  – номинальный наружный диаметр трубы;

$D_{cp}$  – диаметр срединной поверхности поперечного сечения трубы;

$r$  – радиус срединной поверхности поперечного сечения трубы;

$\epsilon_{пр}$  – относительные продольные деформации (вдоль оси трубы);

$\gamma$  – относительная кривизна изогнутой трубы ( $\gamma = 2 / R$ ).

## 4.2. ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ГИБКЕ

При обеспечении механического формообразования деталей криволинейного профиля возможны три вида деформации: упругие, упруго-пластические, пластические.

При приложении усилий для изгиба на трубогибочных станках деформации, возникающие в металле трубных заготовок, сопровождаются следующими явлениями [3]:

- образованием области нейтральных волокон;
- смещением нейтральной оси по отношению к геометрической оси трубы в сторону центрагибки за счет разности моментного сопротивления внешней и внутренней частейгиба, т.е., соответственно, растянутой и сжатой зон сечения трубы;
- удлинением и укорочением волокон в продольном и поперечном направлении на внешней и внутренней частяхгиба;
- уменьшением толщины стенки на внешней частигиба и увеличением ее на внутренней части за счет возникновения продольных напряжений;
- изменением формы поперечного и продольного сечений вгибе;
- изменением общей длины трубы;
- нарушением плавности профиля с возможным образованием складок (гофр).

Имея данные механических характеристик и геометрических параметров трубы, можно определить параметры процессагибки: усилие, необходимое длягибки; величину упругой деформации после снятия нагрузки; размеры и формы поверхности рабочего инструмента и др. Определяя эти параметры, решается задачагибки труб с рациональным распределением металла в поперечном сечениигиба и без нарушения сплошности. На выполнение этих условий влияют следующие факторы: пластичность материала; геометрические параметры (диаметр, толщина стенкигиба, форма поперечного сечения трубы); способгиба.

В связи с тем что при изгибе трубы один слой укорачивается (на внутренней частигиба), а другой удлиняется (на внешней частигиба), то имеется такой материальный слой, который не претерпевает деформации, т.е. нейтральный слой,

который оценивается как радиус кривизны. Радиус кривизны  $\rho$  нейтрального слоя изогнутой трубы необходимо знать для определения заготовки при гибке трубы по чертежам и на трубогибочных станках с программным управлением. По смещению нейтрального слоя также определяют опасность потери устойчивости стенки трубы в процессе гибки. Значение  $\rho$  при чистом изгибе трубы принимают аналогично значениям радиуса при изгибе кривого бруса со сложным поперечным сечением и определяют как

$$\rho = \frac{D-d}{8(\sqrt{\rho_1^2 - d^2/4} - \sqrt{\rho_1^2 - D^2/4})}, \quad (4.1)$$

где  $\rho_1$  – радиус кривизны трубы до гибки.

Упругая разгрузка трубы (пружинение), имеющая место после снятия нагрузки, зависит от ряда факторов:

- механических свойств материала (чем выше модуль упругости, тем больше упругая деформация);
- геометрических параметров трубы игиба – диаметра трубы, толщины стенки, радиусагиба, длины изогнутой части трубы;

- условий нагружения трубы, т.е. способа гибки;

- степени образования овальной формы трубы вгибе, т.е. условия поддержания стенки трубы;

- неоднородности напряженного состояния в поперечном сечениигиба.

Упругую деформацию определяют экспериментальным путем. Радиусгиба  $R_{cp}$  после снятия нагрузки рассчитывают по формуле

$$R_{cp} = 0,5 k D_{ш}, \quad (4.2)$$

где  $D_{ш}$  – диаметргибочного шаблона;  $k$  – средний коэффициент упругой деформации, учитывающий диаметр и марку материала труб. Для стальных, медных, медно-никелевых труб диаметром до 40 мм среднее значение  $k = 1,02$ ; для медных и медно-никелевых труб диаметром более 40 мм  $k = 1,014$ ; для стальных труб диаметром более 40 мм  $k = 1,02$ .

Уголгиба, учитывая упругую деформацию, определяют по формуле [1]

$$\alpha_1 = \alpha \left( 1 + \frac{1}{m} \right), \quad (4.3)$$

где  $\alpha$  – уголгиба трубы;  $m$  – коэффициент, определяющий упругую деформацию трубы (для медных и медно-никелевых труб  $m = 75$ , для стальных труб при отношении  $R/D = 2/3, 3m = 60/40$ ).

Наряду с отклонениями по наружному диаметру и толщине стенки, различают поперечную разностенность – эксцентricность линий, ограничивающих внутреннюю и наружную поверхности труб.

Гибка прямолинейных участков труб увеличивает их разностенность. Например, на трубы и отводы гнутые стальные при толщине стенки свыше 3 мм допускается утончение стенки к нормальной не более 15 %. При холодной гибке, а также при гибке с индукционным нагревом ТВЧ при отношении радиусагиба к диаметру трубы  $R/D = 1,5 - 3,0$  допускаемая величина утончения колеблется от 33 до 23 %.

В случае чистого изгиба прямой трубы изменение толщины стенки находится по зависимости

$$\frac{\delta_1}{\delta} = \frac{1}{(1 + \gamma \sin \alpha)}. \quad (4.4)$$

Из этого уравнения видно, что на внутренней частигиба стенка утолщается (так как  $\sin \alpha$  отрицателен), а на внешней – становится тоньше. При  $\alpha = 90^\circ$  уравнение примет вид

$$\frac{\delta_1}{\delta} = (1 + \gamma)^{-1}.$$

Форма поперечного сечения круглой трубы определяется также овальностью. Под овальностью следует понимать отклонение формы трубы от окружности

$$v = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\text{ном}}} \cdot 100 \%. .$$

Величина допускаемой овальности зависит от назначения трубопровода. Например, для судовых трубопроводов овальность вгибе не должна превышать 8 %, а у труб диаметром 38 мм при холодной гибке по радиусу (1,5 – 2,0)  $D$  – овальность допускается до 10 %.

### 4.3. ВЫБОР НАИМЕНЬШЕГО РАДИУСА ГИБА

При проектировании радиусы криволинейных участков выбирают в зависимости от условий работы и монтажа. В практике возникает необходимость изгибать трубы с наименьшим возможным радиусомгиба, например, по радиусу, равному наружному диаметру трубы [2].

При гибке наименьший возможный радиусгиба зависит от: механических свойств материала трубы; отношения толщины стенки к величине диаметра; технологии (способа) и конструкций устройства гибки; а также способа изготовления, соответственно, труб.

Основным параметром, определяющим способность материала к деформации, является запас пластичности. Пластические свойства металла труб оцениваются величиной относительного удлинения на расчетной длине. Поэтому в каждом отдельном случае рекомендуется проверять и устанавливать деформации при заданном радиусегиба путем испытания образцов труб или расчетным путем.

При расчете величину остаточной деформации приближенно (не учитывая овализации труб и считая, что начало и конец деформации совпадают с началом и концом изгиба) можно оценить из геометрического соотношения размеров: длина нейтрального слоя  $L = \alpha R = \text{const}$ ; длина волокон наружной частигиба после гибки  $L_1 = \alpha(R + r)$ ; длина волокон внутренней частигиба после гибки  $L_2 = \alpha(R - r)$ . Средняя величина относительного удлинения или сжатия  $\delta = r / R$ .

При выборе наименьшего радиусагиба следует учитывать наибольшее относительное удлинение, которое допускает материал трубы, и сравнить его с найденной расчетной величиной. Учитывая то, что деформация трубы при изгибе происходит в более сложных условиях, и допуская, что нейтральная ось после гибки совпадает с осьюгибки, правомерно записать, что относительные продольные удлинения на внешней частигиба  $\varepsilon'_{\text{пр}}$ , мм

$$\varepsilon'_{\text{пр}} = D / 2R,$$

или, %

$$\varepsilon'_{\text{пр}} = (50D) / R_{\text{н}}.$$

По аналогии относительные продольные удлинения или укорочения на внутренней частигиба  $\varepsilon''_{\text{пр}}$ , %

$$\varepsilon''_{\text{пр}} = (50D) / R.$$

Практически, для повышения допускаемого относительного удлинения, трубы подвергаются термообработке.

#### 4.4. УДЛИНЕНИЕ ТРУБ ПРИ ГИБКЕ

Следствием процессагибки является удлинение трубы по его геометрической оси, зависящей от относительной кривизны изогнутой трубы, углагиба, толщины стенки, материала трубы, способагибки и других параметров. Длину заготовки  $L$  изогнутого участка с учетом удлинения выбирают по формуле

$$L = (\pi d R_{\text{ср}}) / 180n,$$

где  $R_{\text{ср}}$  – средний радиусгиба после снятия упругой деформации;  $n$  – коэффициент, учитывающий удлинение трубы в процессегибки (при  $R / D = 2 = 3,5$ ,  $n = 1,045 - 1,027$ ).

Экспериментальная часть работы заключается в изготовлении детали необходимой кривизны на трубогибочном станке УШТМ-2М (см. схему установки на рис. 4.18).

Исследовательская часть включает измерение и расчет технологических и деформационных характеристик изгибаемой криволинейной трубы.

#### 4.6. Лабораторная работа 4

##### ГИБКА ТРУБ И ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК

Цель работы: приобретение практических навыков по осуществлению технологического процесса изготовления трубных деталей криволинейной формы методом холоднойгибки; закрепление и обобщение знаний, полученных при изучении соответствующих разделов курса ТХМ.

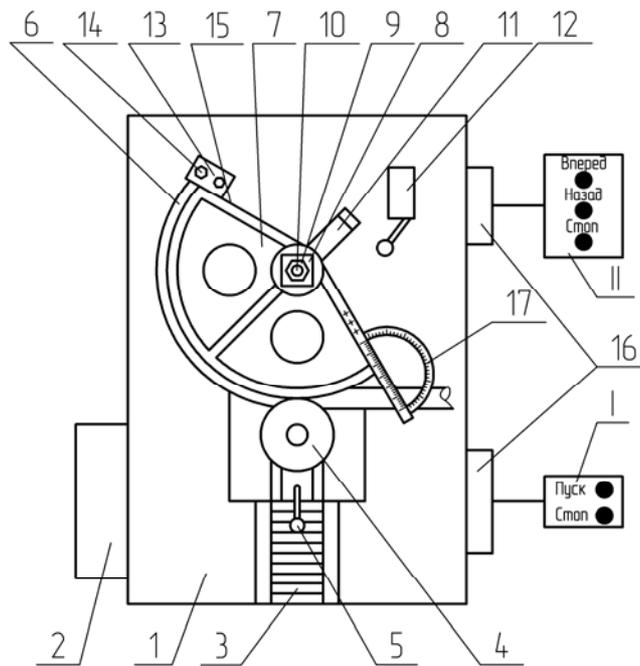
Оборудование: трубогибочный станок УШТМ-2М, линейки металлические, набор шаблонов, штангенциркули, комплекты заготовок труб, нормативные материалы.

Техническая характеристика станка:

1. Частота вращения гибочного приспособления – 2 об/мин.
2. Наружный диаметр изгибаемых труб – 33, 42, 48, 60 мм.
3. Радиусы изгиба труб:
  - Ø 33 мм – 200;
  - Ø 42 мм – 250;
  - Ø 48 и 60 мм – 400.

##### Порядок выполнения работы

1. Получить заготовки, разметить и рассчитать их геометрические размеры ( $D_{\text{ном}}$ ,  $D$ ,  $D_{\text{ср}}$ ,  $r$ ,  $r_{\text{в}}$ ,  $r_{\text{н}}$ ,  $\delta$ ). Результаты занести в табл. П4.2. Измерить шаблон 7.
2. Произвести расчет  $\rho_1$ ,  $R_{\text{ср}}$ .
3. Собрать установку (рис. 4.18), для чего:
  - учитывая наружный диаметр трубы, выбрать шаблон 7;
  - установить шаблон на ось 10, надеть шайбу 8 и затянуть гайкой 9;
  - учитывая  $D_{\text{н}}$  трубы, на шаблоне 7 с помощью стопора 15 закрепить скобу 13;
  - установить в скобу 13 трубную заготовку и ключом затянуть болт 14;
  - подобрать ролик 4, учитывая  $D_{\text{н}}$  трубы, и установить его на ось каретки. Ввести ролик 4 в контакт с заготовкой 6 и зафиксировать положение ролика фиксатором 5.
4. Выполнить гибку на станке УШТМ-2М, для чего:
  - на пульте управления (I) нажать кнопку "ПУСК", после чего на пульте (II) нажать кнопку "ВПЕРЕД";



**Рис. 4.18. Схема лабораторной установки**

- после реализации гибки на требуемый угол станок автоматически (с помощью концевых выключателей 12) останавливается;
  - на пультах управления (II, I) нажать кнопки "СТОП";
  - отвести нажимной ролик 4 и измерить фактический  $R$  гiba,  $\alpha$  после снятия нагрузки;
  - снять заготовку 6;
  - измерить  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$  и провести расчет  $\alpha_1$ ,  $\delta$ ,  $v$ ,  $\delta_{\text{ср}}$ ,  $\epsilon'_{\text{пр}}$ ,  $L$ . Результаты занести в табл. П4.3.
5. Сравнить экспериментальные данные с расчетами (радиус гибки  $R$  и  $R_{\text{ср}}$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ , фактическое утончение с допустимым). Дать рекомендации по выбору наименьшего радиуса гибки для конкретной трубной заготовки.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите способы гибки (холодной, горячей).
2. Назовите механизмы холодной гибки.
3. Дайте понятие гибки, изгиба, гiba, угла гiba, радиуса гiba.
4. Какие виды деформации различают при гибке?
5. Какими явлениями в материале труб сопровождается изгиб?
6. Классифицируйте приспособления для поддержания сечения трубы.
7. Укажите основные параметры технологического процесса гибки.
8. Дайте понятие нейтрального слоя изгибаемой трубы.
9. Дайте понятие радиуса кривизны.
10. Назовите факторы, влияющие на нагружение трубной заготовки.
11. Поясните понятие разностенности, виды погрешности при гibe.
12. Поясните понятие овальности.
13. Какие факторы определяют начальный радиус гiba?
14. Укажите основные этапы выполнения практической части работы.

#### Список литературы

1. Гальперин, А.И. Машины и оборудование для изготовления криволинейных участков трубопровода / А.И. Гальперин. – М. : Недра, 1983. – 412 с.
2. Изготовление и монтаж технологического оборудования трубопроводов : справочник. – М. : Машгиз, 1960. – 484 с.
3. Гальперин, А.И. Гнутье труб / А.И. Гальперин. – М. : Машиностроение, 1969. – 387 с.
4. Мошнин, Е.Н. Гибочные правильные машины / Е.Н. Мошнин. – М. : Гостехиздательство, 1979. – 317 с.

**П4.1. Форма отчетности**

ТГТУ Лаборатория ТТМП	Отчет по лабораторной работе	Группа, студент
Схема установки	Исходные данные, вид заготовки, материал, уголгиба	

**П4.2. Результаты измерений**

Трубные заготовки	$D_{ном},$ мм	$D,$ мм	$D_{ср},$ мм	$D,$ мм	$R,$ мм	$r_{в},$ мм	$r_{н},$ мм	$\delta,$ мм
Стальная								
Медная								
Медно-никелевая								

**П4.3. Результаты измерений**

Трубные заготовки	$\alpha_1,$ град	$\alpha,$ град	$\alpha/\alpha_1,$ %	$\delta,$ мм	$\nu,$ %	$\delta_{ср},$ мм	$\varepsilon'_{пр}$	$L,$ мм	$\rho,$ мм	$R_{ср},$ мм
Стальная										
Медная										
Медно-никелевая										

**П4.4. Заключение, рекомендации, выводы**

Работу выполнил	Дата	Работу принял	Дата

## 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ УЗЛОВ МАШИН И АППАРАТОВ

### 5.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ. ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Сборочные работы являются завершающим этапом изготовления машин и оборудования различных производств, который в значительной степени определяет их качество, т.е. заданные выходные параметры, надежность и долговечность и другие эксплуатационные характеристики.

При проектировании машины и аппарата конструкцию расчленяют на сборочные единицы, законченные в конструктивном и технологическом отношении, что облегчает выполнение процесса сборочно-монтажных работ. Трудоемкость сборочных работ в машиностроении достигает ~ 50 % от общей трудоемкости производства машин и в значительной степени обусловлена большим объемом ручных пригоночных операций.

Под сборкой понимают совокупность операций по установке деталей в сборочное положение и соединении их в сборочные единицы в определенной технологической последовательности и проверке взаимодействия их в изделии, соответствующего установленным техническим требованиям.

В машиностроении сборку разделяют на узловую и общую. Под узловой сборкой понимают процесс соединения в определенной технологической последовательности деталей в сборочные единицы, а под общей – сборку готового изделия из сборочных единиц и деталей, а также покупных (комплектующих) изделий.

*Изделие* – предмет производства, подлежащий изготовлению на конкретном предприятии. Изделия делятся на две группы:

- 1) неспецифицированные, т.е. не имеющие составных частей (детали);
- 2) специфицированные – состоящие из двух и более составных частей (сборочные единицы, комплексы, комплекты).

*Деталь* – изделие или составная (первичная) часть изделия, выполненная из одноименного по наименованию и марке материала, характеризующаяся отсутствием какого-либо соединения, т.е. сборочных операций.

*Сборочная единица* – изделие или составная часть его, элементы которого подлежат соединению между собой (клепка, свинчивание, сварка и т.д.).

*Комплекс* – два или более специфицированных изделий, не соединенных на предприятии изготовителем сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (автоматические линии, цехи-автоматы и т.д.).

*Комплект* – набор изделий с общим эксплуатационным назначением вспомогательного характера (комплект запасных частей, комплект инструмента и т.д.).

Собираемостью изделия называют способность сопрягаемых деталей входить при сборке в сборочную единицу. Собираемость изделия или сборочных единиц обеспечивают правильным выбором допусков и посадок, обработкой размерных цепей и созданием компенсаторов, позволяющих понизить точность изготовления деталей и упростить сборку.

При разработке технологических процессов сборки решаются следующие задачи:

- а) установление последовательности соединения деталей и сборочных единиц изделия и составление схем узловых и общей сборок, разработка маршрутных процессов сборки [1, 2];
- б) анализ размерных цепей и выбор метода их расчета, достижение точности замыкающего звена [3, 4].

Достичь необходимой точности сборки – получить размер замыкающего звена размерной цепи, не выходящий за пределы допускаемых отклонений.

Точность замыкающего звена при сборке может быть достигнута методами полной, неполной, групповой взаимозаменяемости, методами пригонки и регулирования с применением компенсаторов.

Выбор метода достижения точности замыкающего звена зависит от величины его допуска и от числа составляющих звеньев размерной цепи, при этом принимают во внимание также реальные производственные возможности по обеспечению точности размеров соответствующих звеньев и обеспечению уровня организации сборочных работ.

Если число составляющих звеньев размерной цепи  $m \leq 4$ , то расчет цепи производят методом полной взаимозаменяемости. Этот метод целесообразен в серийном и массовом производстве при коротких размерных цепях (например, в сопряжении вал-втулка) и отсутствии жестких допусков на размер замыкающего звена. Для многозвенных размерных цепей такой метод экономически не выгоден, так как приводит к необходимости назначения жестких допусков на размеры составляющих звеньев.

Сущность метода полной взаимозаменяемости состоит в том, что все детали, поступающие на сборку, должны быть изготовлены в пределах допусков и удовлетворять техническим условиям по шероховатости поверхности и геометрической форме. Сборка сводится к соединению сопрягаемых деталей без предварительного выбора, подбора и пригонки, при этом требуемая точность замыкающего звена достигается автоматически. Расчет допусков составляющих звеньев при заданном допуске исходного (замыкающего) звена целесообразно выполнять в определенной последовательности.

При большом числе составляющих звеньев ( $m > 4$ ) на все эти звенья цепи назначают экономически достижимые в данных производственных условиях допуски, соответствующие, как правило, одному качеству точности [5, с. 7 – 17], а также предельные отклонения с учетом назначения детали в сборочной единице и принятых методов обработки.

При решении задачи, когда по параметрам замыкающего звена (номинальное значение, верхнее и нижнее отклонения и т.п.) требуется определить параметры составляющих звеньев, для упрощения определения допусков на составляющие размеры (за исключением одного из них) рекомендуется определять среднюю точность по качеству составляющих звеньев в числах единиц допуска  $a_c$  [4, с. 107] в зависимости от задания допуска замыкающего звена  $T_{AA}$ , мкм:

$$a_c = \frac{T_{A\Delta}}{\sum_1^m |\xi_{A_i}| i_{A_i}}, \quad (5.1)$$

где  $m$  – число составляющих (увеличивающих и уменьшающих) звеньев;  $\xi_{A_i}$  – передаточное отношение, роль которого выполняют тригонометрические функции, используемые при проектировании составляющих звеньев на направление замыкающего звена (для цепей с параллельными звеньями  $\xi_{A_i} = +1$  – для увеличивающих звеньев и  $\xi_{A_i} = -1$  – для уменьшающих звеньев);  $i_{A_i}$  – значение единицы допуска для диапазона размеров, которому принадлежит увеличивающийся или уменьшающийся размер цепи [4, с. 34, 107].

Фактический (производственный) допуск  $T_{A\Delta}$  замыкающего звена и координату середины его поля допуска  $E'_{CA\Delta}$  определяют по уравнениям:

$$T'_{A\Delta} = \sum_1^m |\xi_{A_i}| T_{A_i}; \quad (5.2)$$

$$E'_{CA\Delta} = \sum_1^m \xi_{A_i} E_{CA_i}. \quad (5.3)$$

Точность замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости обеспечивается, если

$$T'_{A\Delta} \leq T_{A\Delta}$$

и

$$E'_{CA\Delta} \cong E_{CA\Delta},$$

где  $T_{A\Delta}$  и  $E_{CA\Delta}$  – заданные величины допуска и координата середины поля допуска замыкающего звена.

Если данные условия не выполняются, то производят корректировку допусков на всех или части размеров составляющих звеньев, что влечет удорожание механической обработки. Такая корректировка приводит к трудновыполнимым при обработке допускам составляющих звеньев.

В этом случае расчет цепи производят методом неполной взаимозаменяемости (рис. П5.1), используя уравнения (5.3) и

$$T'_{A\Delta} = t \sqrt{\sum_1^m \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2}, \quad (5.4)$$

а также уравнение

$$a_c = \frac{T_{A\Delta}}{t \sqrt{\sum_1^m \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 i_{A_i}^2}}, \quad (5.5)$$

где  $t$  – коэффициент риска, значение которого принимается в зависимости от процента риска, процента выхода размера замыкающего звена за пределы его допуска [4, с. 16];  $\lambda_{A_i}^2$  – коэффициент относительного рассеивания размеров цепи ( $\lambda_{A_i}^2 = \frac{1}{9}$  – для нормального закона,  $\lambda_{A_i}^2 = \frac{1}{6}$  – для закона Симпсона;  $\lambda_{A_i}^2 = \frac{1}{3}$  – для закона равной вероятности).

Некоторые особенности имеет методика расчета размерных цепей, у которых замыкающим звеном является припуск на обработку [6, с. 22].

Если точность замыкающего звена не обеспечивается и методом неполной взаимозаменяемости, рассматривают методы групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования. Этот метод используют в основном для размерных цепей с небольшим числом составляющих звеньев ( $m \leq 3$ ) для достижения высокой точности малозвенных цепей в шарикоподшипниковой промышленности; при сборке ряда узлов: например, блока цилиндров с поршнями и толкателями; шатуна с поршневыми пальцами и др. (рис. П5.2, П5.3). Сборка этим методом требует четкой организации сортировки деталей, а также усложняет ремонт машин в связи с возрастанием номенклатуры запасных частей пропорционально числу размерных групп. Этим методом обычно обеспечивается точность замыкающего звена сборочных соединений, которые в процессе эксплуатации не подвергаются разборке, а заменяются комплектно. Сущность метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена обеспечивается по методу полной взаимозаменяемости, при этом составляющие звенья выполняют с производственными (техническими) допусками, а непосредственно на сборке изделия сортируют сопрягаемые детали на группы по их действительным размерам. При соединении деталей из одноименных групп обеспечивается заданный допуск замыкающего звена. Число групп  $n$ , на которое необходимо рассортировать готовые детали

$$n = \frac{T'_{A\Delta}}{T_{A\Delta}}; \quad (5.6)$$

при этом расчете допусков и предельных отклонений на размеры составляющих звеньев исходят из уравнений (5.3) и

$$\sum_1^{n_g} |\xi_{A_i}| \bar{T}_{A_i} = \sum_1^{n_i} |\xi_{A_i}| \bar{T}_{A_i} = \frac{1}{2} T'_{A_\Delta}, \quad (5.7)$$

где  $\bar{T}_{A_i}$ ,  $\bar{T}_{A_i}$  – допуски увеличивающих и уменьшающих звеньев;  $n_g$ ,  $n_i$  – соответственно их числа.

При использовании методов пригонки или регулирования в конструкцию изделия вводится специальная деталь – компенсатор, размеры которого могут изменяться при сборке путем удаления определенного слоя металла (в чертежах сборочной единицы или изделия указывается, по каким поверхностям производится пригонка) или регулироваться при сборке (с помощью винтовой пары, набором прокладок разной или одинаковой толщины и т.п.). Расчет размерных цепей при этом осуществляется методами полной или неполной взаимозаменяемости. На все составляющие звенья размерной цепи, включая и компенсатор, назначают легко достижимые в данных производственных условиях допуски.

Величина необходимой компенсации в обоих случаях определяется по уравнению

$$\delta_k = T'_{A_\Delta} - T_{A_\Delta}. \quad (5.8)$$

Для того чтобы на компенсаторе создать необходимый для пригонки слой материала, в координату середины его поля допуска вносят поправку

$$\Delta_k = \frac{\delta_k}{l} + E'_C A_\Delta - E_C A_\Delta. \quad (5.9)$$

Для упрощения расчета размеров неподвижных компенсаторов (при использовании метода регулирования) рекомендуется назначать координаты середин полей допусков составляющих звеньев так, чтобы совместить одну границу расширенного поля допуска  $T'_{A_\Delta}$  замыкающего звена с соответствующей границей его заданного поля допуска  $T_{A_\Delta}$ . Число ступеней  $N$  такого компенсатора

$$N = \frac{T'_{A_\Delta}}{T_{A_\Delta} - T_k}, \quad (5.10)$$

где  $T_k$  – допуск на изготовление компенсаторов.

Если регулирование осуществляется с помощью подбора прокладок одинаковой толщины  $\delta_\Delta$ , их число  $z$

$$z = \frac{\delta_k}{\delta_\Delta}. \quad (5.11)$$

При большом числе прокладок  $z$  их делают разной толщины [4].

Например, точность размера замыкающего звена достигается путем изменения размера заранее выбранного компенсирующего звена, т.е. перемещением втулки 2 в осевом направлении обеспечивается требуемый размер  $A_z$  замыкающего звена (рис. П5.4, а). После регулирования втулка-компенсатор стопорится винтом 1. Для достижения необходимого зазора в соединении в качестве компенсатора может использоваться кольцо  $K$  определенной толщины  $A_2$  (рис. П5.4, б). Такое кольцо подбирает сборщик по результатам измерения фактического размера замыкающего звена. В качестве компенсатора используют также прокладки, регулировочные винты, втулки с резьбой, клинья, эксцентрики и др.

Сборка методом регулирования имеет следующие преимущества: универсальность, т.е. метод применим независимо от числа звеньев цепи, от допуска замыкающего звена, масштаба выпуска; простота сборки при высокой ее точности; отсутствие пригоночных работ; возможность регулирования соединения в процессе эксплуатации машин [7].

Сборка методом пригонки заключается в достижении заданной точности сопряжения путем снятия с одной из сопрягаемых деталей необходимого слоя материала, опиловкой, шабрением, притиркой или любым другим способом. Заданный зазор  $A_\Sigma$  достигается пригонкой по толщине детали 1, при изготовлении которой заранее оставляют припуск  $z$  на пригоночные работы (рис. П5.4, в). Сборка методом пригонки трудоемка и целесообразна в единичном и мелкосерийном производствах.

## 5.2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ СБОРКИ. СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СБОРКИ

Выбор организационной формы сборки определяется заданной программой выпуска изделий: при единичном производстве обычно применяют непоточную (стационарную) сборку, при серийном и массовом – поточную.

По перемещению собираемого изделия различают сборку стационарную и подвижную. Стационарная сборка характеризуется выполнением сборочных операций на постоянном рабочем месте, к которому подают все необходимые детали и сборочные единицы данного изделия. Осуществляется она по двум принципам:

1. Принцип концентрации операций заключается в том, что изделие собирают из отдельных деталей на одном сборочном месте, одной бригадой рабочих. Для такой сборки требуются рабочие высокой квалификации. Цикл сборки удлиняется.
2. Принцип дифференциации операций состоит в том, что изделие собирают несколькими отдельными бригадами параллельно. Цикл сборки при этом сокращается. Такое положение технологического процесса сборки дает возможность специализации рабочих мест благодаря закреплению за ними определенных операций.

Подвижная сборка характеризуется перемещением собираемого изделия от одного рабочего места к другому. На каждом рабочем месте выполняется одна определенная повторяющаяся операция. Детали и сборочные единицы подают к рабочим сборочным местам, которые оборудованы соответствующими приспособлениями.

Подвижную сборку ведут также по двум принципам.

1. Свободное перемещение собираемого объекта, при котором он в процессе сборки перемещается вручную (по верстаку, на тележках, на рольганге).

2. Принудительное перемещение собираемого объекта, при котором его в процессе сборки перемещают конвейером или передвигающимися замкнутой цепью тележками, на которых ведут процесс сборки. Подвижная сборка бывает непрерывного и периодического действия.

Сборка на конвейерах является наилучшей формой непрерывного потока.

Для определения последовательности сборки изделия и его узлов разрабатывают технологические схемы сборки. Сборочные единицы изделия в зависимости от их конструкции могут состоять либо из отдельных изделий, либо из узлов, подузлов и деталей. Различают подузлы первой, второй и более высокой ступеней. Подузел первой ступени входит непосредственно в состав узла; подузел второй ступени входит в состав первой и т.д. Подузел последней ступени состоит только из отдельных деталей.

Технологические схемы составляют отдельно для общей сборки изделия и для сборки каждого из его узлов (подузлов) [8]. Пример составления технологических схем рассмотрен на сборке узла муфты сцепления (рис. П5.5).

Технологическая схема сборки данного узла показана на рис. П5.6, а; технологические схемы подузлов – на рис. П5.6, б, в.

Цифрами на схеме сборки обозначены номера деталей сборки из спецификации. На технологических схемах каждый элемент узла обозначен произвольным прямоугольником, разделенным на три части. В верхней части прямоугольника указано наименование элемента, подузла и узла, в левой нижней части – индекс элемента, в правой нижней части – число собираемых элементов. Наименование, индекс и количество берется из составленной спецификации по сборочным чертежам изделий. Узлы (подузлы) обозначаются буквами "Сб" (сборка). Базовым называют элемент (деталь, узел, подузел), с которого начинают сборку. Каждому узлу присваивается номер его базовой детали. Например, "Сб 7" – узел с базовой деталью № 7. Соответствующую ступень подузла указывают цифровым индексом перед буквенным обозначением "Сб". В приведенном примере стакан в сборе имеет индекс "1 Сб 10", что означает подузел первой ступени с базовой деталью № 10.

Технологические схемы сборки строят по следующему принципу. В левой части схемы указывают базовый элемент (базовую деталь, базовый узел, подузел), а в правой части схемы – изделие (узел, подузел) в сборе. Эти две части соединяют горизонтальной линией. Выше этой линии прямоугольниками обозначены все детали в порядке технологической последовательности сборки. В нижней части прямоугольниками указаны узлы, входящие непосредственно в изделие; на схемах узловой сборки обозначают подузлы первого порядка (1 Сб 10); на схемах сборки подузла первого порядка – подузлы второго порядка (2 Сб 14) и т.д. Технологические схемы сборки сопровождают подписями, если таковые не очевидны из самой схемы. Например, "Запрессовать", "Сварить", "Заклепать" и т.д. Составление технологических схем сборки значительно упрощается при наличии образца изделия.

Технологические схемы сборки одного и того же изделия могут быть разработаны в нескольких вариантах с различной последовательностью. Оптимальный вариант выбирают из условия обеспечения заданного качества сборки, экономичности и производительности процесса при заданной программе выпуска изделий.

Составление технологических схем сборки целесообразно при проектировании сборочных процессов для любого типа производства. Технологические схемы значительно упрощают разработку сборочных процессов и облегчают оценку конструкции изделия с точки зрения ее технологичности.

Технологические схемы разработки сборки машин строят по тому же принципу. Различие заключается лишь в том, что построение схемы начинают с изделия, узла или подузла.

Структура и порядок составления технологических схем сборки узлов аппарата и изделия в целом соответствуют рекомендациям и правилам построения технологических схем узлов машин и машин как изделия. Некоторая особенность заключается в том, что одна сплошная линия присоединения на схеме означает "разъемное соединение"; двоякая сплошная – "неразъемное соединение"; сплошная и параллельная пунктирная – "условно неразъемное соединение". Например: клеевое соединение, подвижные посадки, гуммирование и т.д.

Основными операциями при сборке аппаратов являются: соединение, ориентация, прихватки, сварка, фиксация. Сопряжение элементов включает: установку их на приспособлении; исправление формы их поперечного сечения; совмещение стыкуемых кромок и поверхностей. Ориентация элементов включает обеспечение заданного относительного положения элементов (осей, поверхностей, лап, опор, штуцеров, люков и др.), зазоров под сварку. Прихватка – прерывистая сварка, фиксирующая положение и ориентирующая собираемые элементы относительно друг друга.

Сварка – создание неподвижного (неразъемного) соединения, окончательно ориентирующая и фиксирующая собираемые элементы.

### **5.3. НОРМИРОВАНИЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ СБОРКИ**

Заключительным этапом разработки технологического процесса сборки является нормирование сборочных работ, определение трудоемкости сборки и необходимых рабочих мест или позиций, которые должны пройти собираемые объекты, а также формирование операций переходов. Нормирование и оценку трудоемкости сборочных работ осуществляют по формулам, приведенным в [9] и по нормативам времени на слесарно-сборочные работы [10].

При рассмотрении основ технического нормирования штучное время состоит из четырех элементов: основного времени  $t_{осн}$ , вспомогательного времени  $t_{всп}$ , времени обслуживания рабочего места  $t_{об}$ , времени на отдых  $t_{п}$ .

В слесарных и сборочных работах в большинстве случаев отсутствует четкое разделение основного и вспомогательного времени на том или ином переходе. Нормативы времени на слесарно-сборочные работы содержат нормы основного технологического и вспомогательного времени выполнения наиболее распространенных сборочных переходов. Время обслуживания рабочего места, выделяемое рабочему для раскладки инструмента перед началом работы, очистки рабочего места, замены инструмента в процессе работы, передачи рабочего места сменщику, устанавливаются в зависимости от вида сборочных работ в размере 2 – 6 % оперативного времени, представляющего собой сумму основного технологического и вспомогательного времени. Перерывы на отдых составляют 4 – 6 % оперативного времени. При конвейерной сборке рекомендуется делать перерыв на 10 минут через каждые 1 час 40 минут работы. Во многих случаях приемы измеряются во времени как единый комплекс работ, нормируя его целиком, определяя так называемое неполное оперативное время. Вспомогательные приемы работ, связанные с установкой и снятием детали, как более длительные и имеющие самостоятельное значение, нормируются отдельно.

Таким образом, формула штучного времени в общем виде будет следующей

$$t_{шт} = t'_{оп} + t_y + t_{об} + t_{п}, \quad (5.12)$$

где  $t'_{оп}$  – неполное оперативное время для выполнения комплекса приемов работ с учетом конкретных условий и объема работы;  $t_y$  – вспомогательное время на установку и снятие детали (узла);  $t_{об}$  – время организационно-технического обслуживания рабочего места;  $t_{п}$  – время на отдых.

При нормировании в серийном производстве для каждой сборочной операции определяют по соответствующим нормативам подготовительно-заключительное время, которое составляет 3 – 6 мин для слесарных работ и 6 – 15 мин – для сборочных. При определении времени, затрачиваемого на операцию (трудоемкость операции), подготовительно-заключительное время относится к одному изделию и суммируется со штучным временем. Суммирование трудоемкостей отдельных операций дает возможность найти трудоемкость сборки всего изделия, определить число необходимых рабочих мест или позиций и потоков, требуемых для сборки одинаковых изделий, по формулам, приведенным в работе [9].

Время на сборку партии  $t_{парт}$  узлов или изделий

$$t_{парт} = nt_{шт} + t_{п-3}, \quad (5.13)$$

где  $n$  – размер партии.

При разработке технологического процесса сборки поточным методом должна быть обеспечена длительность операций, равная или кратная такту сборки изделий. Равенство и кратность времени операции такту сборки может быть достигнуто путем частичных изменений последовательности сборки, перекомплектования операций из переходов, совмещения и расчленения операций, изыскания более производительных методов сборки, использования более производительного оборудования и технологической оснастки, а также корректирования режимов работы оборудования.

Все мероприятия по упорядочению операций сборки во времени ни в коем случае не должны влиять на качество собранного изделия, производительность и удобство.

## 5.4. Лабораторная работа 5

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СБОРКИ УЗЛОВ МАШИН И АППАРАТОВ

**Цель работы:** усвоить методику разработки и составления технологических схем сборки.

**Оборудование:** полотно колпачковой тарелки в сборе; мотор-редуктор типа МРВ-02; мотор-редуктор типа МРВ-04; комплект сборочных чертежей (поузловой и общей сборки изделия); технологические карты сборки узлов изделий (рис. П5.7).

Работа состоит из двух частей: 1 – сборка редуктора; 2 – сборка полотна колпачковой тарелки. Перед выполнением лабораторной работы группа разбивается на несколько подгрупп, каждая из которых получает индивидуальный узел и сопровождающую информацию. После составления схемы сборки подгруппы обмениваются данными с другими подгруппами для составления общей технологической схемы сборки изделия.

#### Порядок выполнения работы

1. По полученному варианту изучить узловые и общий сборочные чертежи.
2. Определить вид сборки, обеспечивающий заданную точность и программу выпуска.
3. Провести анализ на технологичность деталей, узлов и изделия в целом.
4. В отчет занести эскиз узла и спецификации к нему.
5. Составить технологические схемы узловой и общей сборки.
6. В качестве примера составить технологический эскиз на один вариант технологической операции.
7. Определить нормы времени по нормативным материалам.
8. Оформить отчет по выполненной лабораторной работе.

#### Контрольные вопросы

1. Что содержат понятия: сборка, собираемость изделия; изделие; деталь; сборочная единица; группа; подгруппа?
2. Каковы исходные данные для проектирования технологического процесса сборки?

3. Какие задачи решаются при разработке технологических процессов сборки?
4. Какими методами достигается точность замыкающего звена при сборке?
5. От чего зависит выбор метода сборки?
6. В чем сущность методов полной взаимозаменяемости, неполной, групповой, методов пригонки и регулирования?
7. Обосновать целесообразность применения того или иного метода сборки?
8. Каковы организационные формы сборки?
9. Каковы принципы осуществления стационарной и подвижной сборки?
10. Какие задачи решает технологическая схема сборки?
11. Каковы рекомендации и принцип построения технологических схем сборки?
12. В чем суть нормирования и определения трудоемкости сборочных работ?

### Список литературы

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных вузов / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Новиков, М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М.П. Новиков. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.
3. Дунаев, П.Ф. Допуски и посадки. Обоснование выбора : учеб. пособие для студентов машиностроительных вузов / П.Ф. Дунаев и др. – М. : Высшая школа, 1984. – 112 с.
4. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С. Солонин, С.И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 665 с.
6. Аверченко, В.Ч. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / В.Ч. Аверченко, О.А. Горленко и др. – М. : Машиностроение, 1988. – 192 с.
7. Ковшов, А.И. Технология машиностроения : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.И. Ковшов. – М. : Машиностроение, 1987. – 320 с.
8. Воробьев, Л.Н. Технология машиностроения и ремонт машин / Л.Н. Воробьев. – М. : Высшая школа, 1981. – 334 с.
9. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1969. – 560 с.
10. Корсаков, В.С. Справочник по механизации сборочных работ / В.С. Корсаков, М.П. Новиков. – М. : Машгиз, 1961. – 375 с.
11. Никифоров, А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.Д. Никифоров. – М. : Высшая школа, 2000.
12. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация / А.Г. Сергеев. – М. : Лагос, 2003.

### Приложение

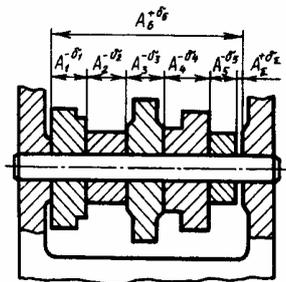
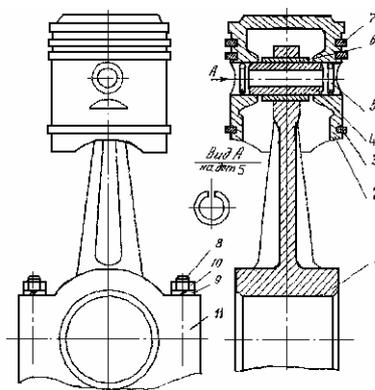


Рис. П5.1. Схема сборки узла методом неполной взаимозаменяемости



	11	Крышка	1	
	10	Гайка (высокая)	2	$M_{кр} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$
	9	Шайба (стопорная)	2	
	8	Болт шатунный	2	
	7	Кольцо компрессионное	2	
	6	Втулка	1	<b>Запрес. в дет. 1</b>
	5	Кольцо стопорное	2	

		4		Палец	1	
		3		Кольцо маслоъемное	1	
		2		Поршень	1	
		1		Шатун	1	
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание

Рис. П5.2. Сборочный чертеж шатунно-поршневой группы

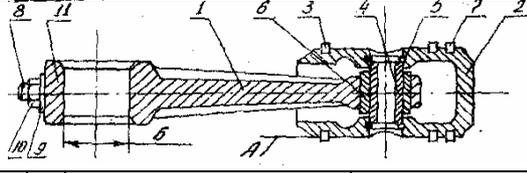
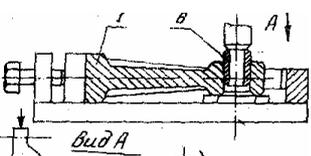
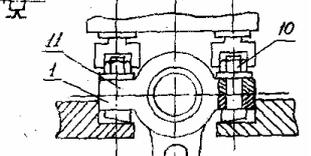
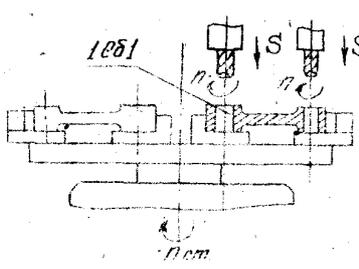
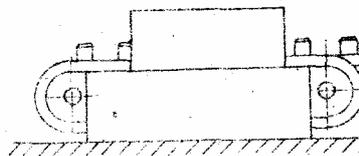
		<p>1. Посадка пальца 4 с поршнем 2 по P7/6 с втулкой 6 по С7/6.</p> <p>2. Неперпендикулярность пов. А и оси отв. В не более 0,02:100.</p>		<p><b>Сводная технологическая карта сборки</b></p> <p><b>Шатунно-поршневая группа компрессора</b></p> <p>ТГТУ, кафедра ТТМП</p> <p>Компрессор малогабаритный</p> <p>Студент: Иванов п/п</p> <p>Консультант: Петров п/п</p>					
Операция	Переход	Наименование операции и содержание перехода	Операционный эскиз	Оборудование	Приспособления и инструмент	Режим работы	$T_{шт}$	Разряд работ	Кол-во рабочих
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I		Сборочная							
	1	Запрессовать втулку 6 в головку шатуна 1, обеспечить выступание втулки за торец головки в пределах $3+0,5$ мм		Специальный пресс-полуавтомат	Переналаживаемое приспособление с загрузкой механической рукой типа 2А063 ГОСТ 16558-80.	Автоматический	0,5	0,5	4
	2	Присоединить крышку 11 к нижней головке шатуна 1, затянув гайку 10 крутящим методом $M_{кр} = 40$ Н/м		Двухшпindelный автомат завин. гаек	Магазины для крепежных деталей механической руки 2А063 для крышки и шатуна; накопители	Автоматический	0,4	0,5	4

Рис. П5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
II		Сверлильная							
	1	Развернуть отверстия в головках шатуна 1СБ.1		Четырехшпindelный агрегатный станок с поворотным столом	Пневмозажимы развертки Р6М5	Автоматический	0,3	1	3
III		Контрольная							
	1	Проверить размеры отверстий и межосевое расстояние		Стол контролера	Скоба микрометрическая	Ручная работа	0,5	1	4
IV		Термическая							
	1	Нагреть поршень в камерной печи до температуры 90 °С		Печь камерная с транспортом	Конвейер непрерывной подачи поршней.	Полуавтоматический	0,3	1	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
V	Сборочная									
1	Сориентировать и установить поршень			Автомат сборки шатунно-поршневой группы	Накопители; промышленные роботы для загрузки и выгрузки модели 3388	Автоматический	0,5	0,5	4	
2	Сориентировать, установить шатун в сборе 1СБ.1				Механизм формирования и установки колец в канавки поршня	Магазин заготовок для колец, для изделий; накопитель; робот 3388	Автоматический	0,04	0,5	4
3	Запрессовать палец 4 в отверстия поршня 2 и шатуна 1СБ.1									
4	Сформировать стопорные кольца 5									
5	Установить стопорные кольца 5 в канавки поршня 2									
6	Установить кольцо масло-съемное 3 в канавку поршня 2									
7	Установить 2 кольца компрессионных 7 в канавки поршня 2									
VI	Контрольная			Стол контролера	Специальное приспособление	Ручная работа	0,5	1	4	
	Проверить перпендикулярность поршня и шатуна									

Рис. П5.3. Окончание

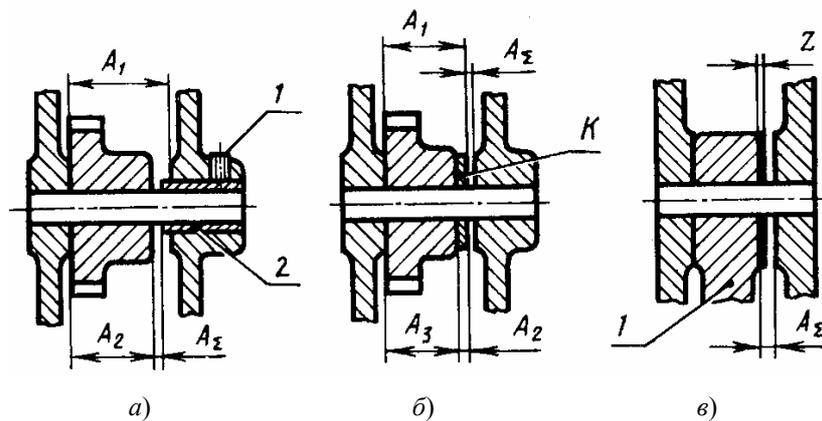


Рис. П5.4. Схемы сборки узла:

- а – с помощью втулки-компенсатора (метод регулирования);
- б – с помощью компенсатора-кольца (метод регулирования);
- в – сборка узла методом пригонки

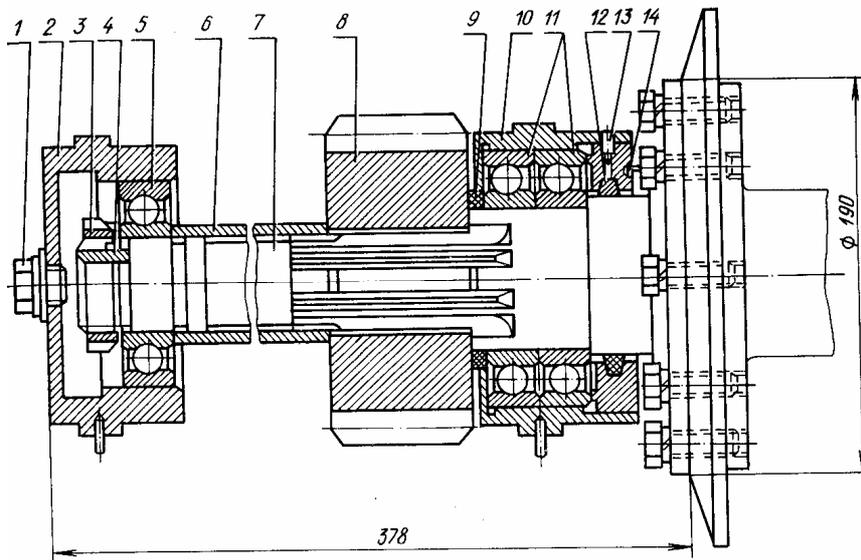


Рис. П5.5. Узел муфты сцепления

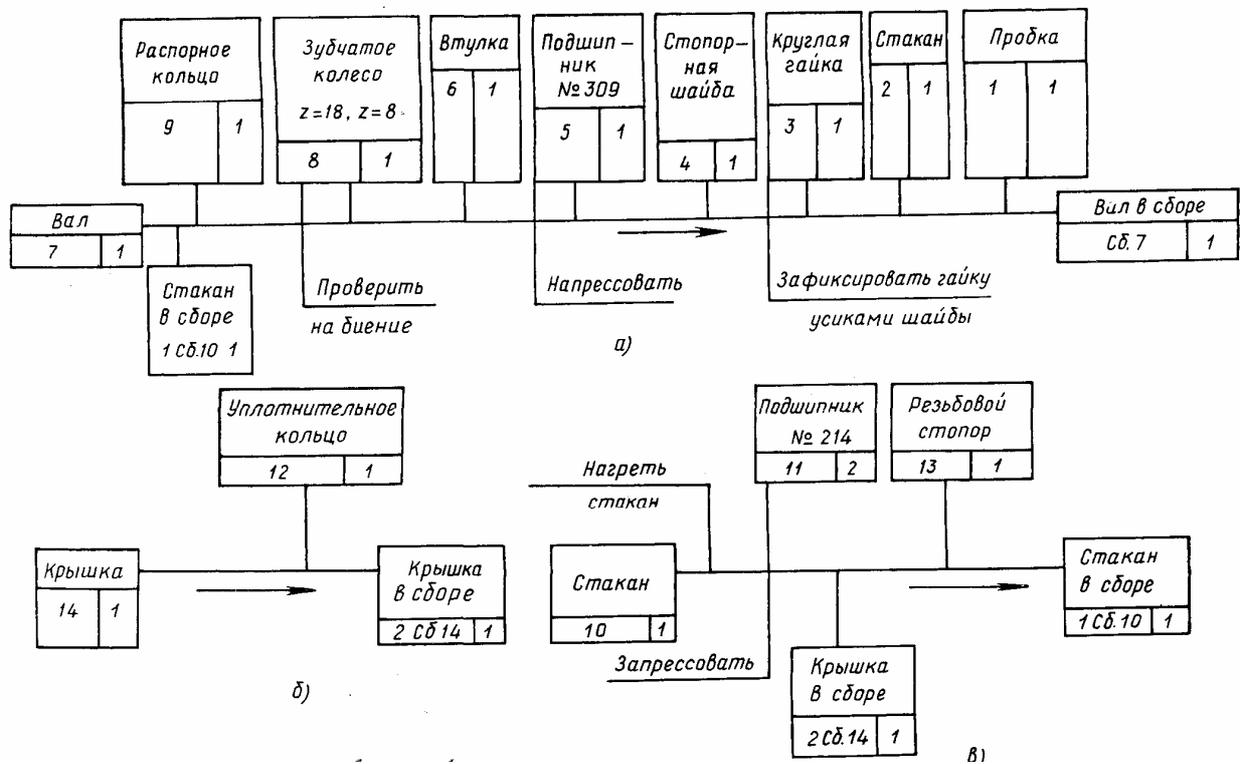


Рис. П5.6. Технологическая схема сборки муфты сцепления:  
а – узел муфты; б, в – подузлы муфты



## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ПРОСТЕЙШИМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ .....	3
1.1. Штангенинструменты .....	3
1.2. Микрометры .....	5
1.3. Индикаторы часового типа .....	8
1.4. Подготовка измерительных средств к работе .....	10
1.5. Выбор измерительных средств .....	11
1.6. Лабораторная работа 1. Контроль линейных размеров простейшими измерительными средствами .....	13
2. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....	15
2.1. Общие методические указания. Точность механической обработки, способы ее обеспечения .....	15
2.2. Погрешности. Причины возникновения. Классификация. Методы расчета точности механической обработки .....	19
2.3. Анализ параметров точности механической обработки вероятностно-статистическим методом .....	21
2.4. Лабораторная работа 2. Определение погрешности установки размера по лимбу станка .....	28
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА .....	35
3.1. Общие методические указания по определению коэффициента жесткости .....	35
3.2. Лабораторная работа 3. Определение коэффициента жесткости и жесткости токарного станка статическим и производственным методами .....	41
4. ГИБКА ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ХИМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ .....	47
4.1. Общие вопросы технологии и способы гибки .....	47
4.2. Деформации и напряжения при гибке .....	56
4.3. Выбор наименьшего радиусагиба .....	59
4.4. Удлинение труб при гибке .....	60
4.5. Лабораторная работа 4. Гибка труб и трубных заготовок .....	60
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ УЗЛОВ МАШИН И АППАРАТОВ .....	64
5.1. Общие вопросы технологии сборки. Понятия и определения .....	64
5.2. Организационные формы сборки. Составление технологических схем сборки .....	69
5.3. Нормирование. Определение трудоемкости сборки .....	72
5.4. Лабораторная работа 5. Разработка технологических схем сборки узлов машин и аппаратов .....	74