

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

---

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Омский государственный технический университет»

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное текстовое электронное издание  
локального распространения

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Омского государственного технического университета*

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2022

Составители: *Р. Л. Артюх, А. В. Артеменко, Н. В. Бобков, Ю. О. Бредгауэр*

Рецензент *Е. В. Васильев*, канд. техн. наук, доцент

**Основы технологии машиностроения** : метод. указания к лаб. работам / Мин-обрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т ; сост.: Р. Л. Артюх, А. В. Артеменко, Н. В. Бобков, Ю. О. Бредгауэр. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2022. – 1 CD-ROM (2,36 Мб). – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб RAM и более ; свободное место на жестком диске 300 Мб и более ; Windows XP и выше ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с титул. экрана.

В краткой форме изложены некоторые теоретические вопросы, а также методы лабораторных исследований при изучении основ технологии машиностроения.

Издание предназначено для обучающихся по направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Редактор *М. А. Болдырева*

Компьютерная верстка *Ю. П. Шелехиной*

---

Сводный темплан 2022 г.

© ОмГТУ, 2022

Подписано к использованию 25.04.22.

Объем 2,36 Мб.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение дисциплины «Основы технологии машиностроения» по техническим направлениям подготовки бакалавров сопровождается проведением лабораторных работ, способствующих усвоению этой дисциплины и закреплению теоретических знаний студентов.

Основными целями проведения лабораторных работ являются:

- установление связей теории с практикой в форме экспериментального подтверждения положений теории;
- обучение студентов умению анализировать полученные результаты, сопоставлять их с теоретическими положениями и расчетными данными;
- контроль самостоятельной работы студентов по освоению курса.

Порядок изложения лабораторных работ соответствует расположению учебного материала в дисциплине «Основы технологии машиностроения».

В каждой лабораторной работе приводятся: основные теоретические положения, описание порядка ее выполнения, необходимое оснащение, инструменты и содержание отчета.

Цели лабораторного практикума достигаются наилучшим образом в том случае, если выполнению эксперимента предшествует определенная подготовительная внеаудиторная работа. Поэтому перед каждой лабораторной работой с целью оценки готовности студента к выполнению работы проводится короткое собеседование. Перед выполнением работы студент обязан подготовить форму отчета по лабораторной работе.

Отчет должен быть выполнен аккуратно (записи – ручкой или с применением печатающих устройств, рисунки и графики – карандашом при помощи чертежных инструментов). При подготовке отчета к защите следует проанализировать экспериментальные результаты, сопоставить их с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде лаконичных выводов по работе, подготовить ответы на вопросы, приводимые в настоящих методических указаниях.

# Лабораторная работа № 1

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Цель работы:** определение влияния режимов резания на шероховатость поверхностей.

### Оснащение:

- профилометр TR-200 – 1 шт.;
- образцы шероховатости;
- призма – 1 шт.;
- деталь «Вал» – 3 шт.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для выполнения работы выдается три ступенчатых валика, обработанных при различных режимах резания (табл. 1.1). Необходимо определить шероховатость ступеней валиков:

- 1) *косвенным путем* – сравнением обработанных поверхностей с эталонами шероховатости (для перевода класса шероховатости в параметр  $Ra$  использовать табл. 1.2). Результат занести в столбец 9 отчета (прил. А);
- 2) *прямым путем* – с использованием профилометра модели TR200.

*Таблица 1.1*

### Параметры валиков

Обозначение валика	Режимы обработки ступеней валика		
	Подача $S$ , мм/об	Глубина резания $t$ , мм	Частота вращения $n$ , об/мин
1	0,04	0,5	290, 430, 520 665, 785, 890 1130, 2000
2	0,03; 0,04; 0,06; 0,085; 0,115; 0,165; 0,245; 0,335	0,5	890
3	0,04	0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5	520

Соотношение класса шероховатости и параметра  $Ra$ 

$Ra$ , мкм	80	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,03	0,025	0,02	0,01
Класс шероховатости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Поверхность, ограничивающая тело и отделяющая его от окружающей среды, называется реальной поверхностью. Реальная поверхность детали образуется в процессе ее изготовления и, в отличие от идеальной геометрической номинальной поверхности, изображаемой на чертежах, всегда имеет неровности различной формы и высоты в виде выступов и впадин с небольшими расстояниями между ними.

**Шероховатость поверхности** – совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф обработанной поверхности, который рассматривается в пределах **базовой длины  $l$** .

Числовые значения базовой длины  $l$  выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм (ГОСТ 2789–73).

Шероховатость поверхности принято определять по ее профилю, который образуется в сечении этой поверхности плоскостью, перпендикулярной к номинальной поверхности. При этом профиль рассматривается на длине базовой линии  $l$ , используемой для выделения неровностей и количественного определения их параметров.

При нормировании шероховатости поверхности в основу принята система отсчета, в которой в качестве базовой линии служит **средняя линия профиля** (рис. 1.1).

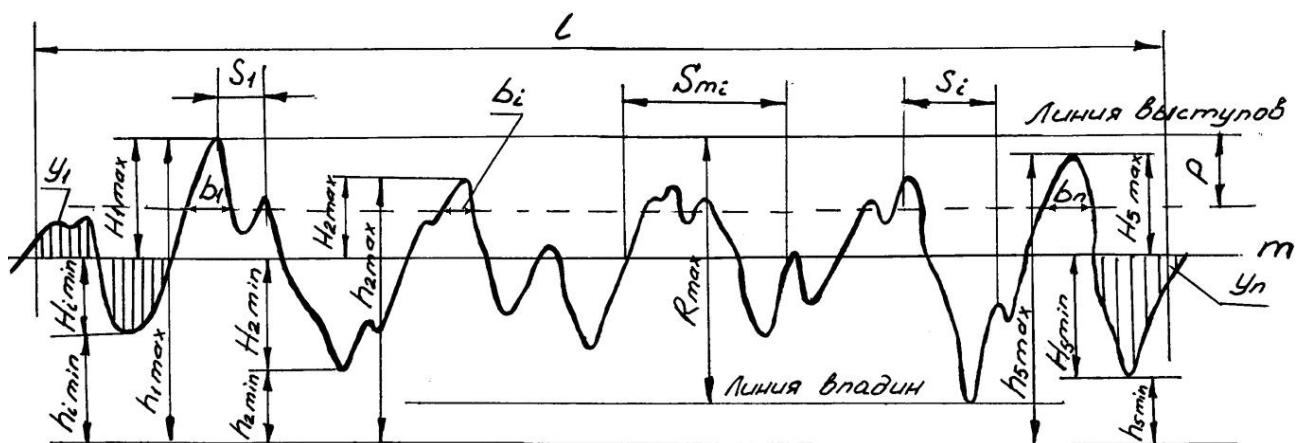


Рис. 1.1. Профиль шероховатости и его характеристика

**Средняя линия профиля (m)** – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная таким образом, чтобы в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии было минимально.

Линия, эквидистантная средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины, называется **линией выступов профиля**.

Линия, эквидистантная средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины, называется **линией впадин профиля**.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, то требования к шероховатости поверхности не устанавливаются и шероховатость этой поверхности контролироваться не должна.

По ГОСТ 2789–73 установлено шесть параметров шероховатости поверхности: три высотных –  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  и три шаговых –  $S_m$ ,  $S$ ,  $tr$ .

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких) из перечня, приведенного ниже, значений выбранных параметров и базовых длин, на которых происходит определение параметров.

ГОСТ регламентирует следующие пределы значений параметров шероховатости:  $Ra = 0,008–100$  мкм;  $Rz$  и  $R_{max}$  равны  $0,025–1600$  мкм;  $Sm$  и  $S$  равны  $0,002–12,5$  мм;  $tp = 10–90$  %;  $l = 0,01–25$  мм, а также направление неровностей.

Числа из табл. 1.3, 1.4 и 1.6 используются для указания наибольших и наименьших допускаемых значений, границ допускаемого диапазона значений и номинальных значений параметров шероховатости.

Для оценки шероховатости поверхности в машиностроении широкое распространение получили высотные параметры  $Ra$  и  $Rz$ . Если параметры  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$  определены на базовой длине в соответствии с табл. 1.5 и 1.6, то эти базовые длины не указываются в требованиях к шероховатости.

**Среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$**  определяется из абсолютных значений отклонений профиля  $y$  от средней линии в пределах базовой длины  $l$ , т. е.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (1.1)$$

где  $y$  – отклонение профиля, определяемое расстоянием между любой точкой профиля и средней линией;

$l$  – базовая длина;

$n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине  $l$ .

Среднеарифметическое отклонение профиля  $Ra$ , мкм

<b><u>100</u></b>	10	1,00	<b><u>0,100</u></b>	0,010
80	8,0	<b><u>0,80</u></b>	0,080	<b><u>0,008</u></b>
63	<b><u>6,3</u></b>	0,63	0,063	–
<b><u>50</u></b>	5,0	0,50	<b><u>0,050</u></b>	–
40	4,0	<b><u>0,40</u></b>	0,040	–
32	<b><u>3,2</u></b>	0,32	0,032	–
<b><u>25</u></b>	2,5	0,25	<b><u>0,025</u></b>	–
20	2,0	<b><u>0,20</u></b>	0,020	–
16	<b><u>1,6</u></b>	0,160	0,0160	–
<b><u>12,5</u></b>	1,25	0,125	<b><u>0,012</u></b>	–

Примечание. Предпочтительные значения параметров подчеркнуты.

Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины представляет собой **наибольшую высоту профиля  $R_{\max}$** .

**Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$**  – это сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}|}{5}, \quad (1.2)$$

где  $H_{i \max}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;

$H_{i \min}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.



Таблица 1.4

**Высота неровностей профиля по 10 точкам  $R_z$   
и наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$ , мкм**

–	1000	<u>100</u>	10,0	1,00	<b><u>0,100</u></b>
–	800	80	8,0	<u>0,80</u>	0,080
–	630	63	<u>6,3</u>	0,63	0,063
–	500	<b><u>50</u></b>	5,0	0,50	<b><u>0,050</u></b>
–	<u>400</u>	40	4,0	<u>0,40</u>	0,040
–	320	32	<b><u>3,2</u></b>	0,32	0,032
–	250	<b><u>25,0</u></b>	2,5	0,25	<b><u>0,025</u></b>
–	<b><u>200</u></b>	20,0	2,0	<b><u>0,2</u></b>	–
1600	160	16,0	<b><u>1,60</u></b>	0,16	–
1250	125	<b><u>12,5</u></b>	<u>1,25</u>	0,125	–

*Примечание.* Предпочтительные значения параметров подчеркнуты.

Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Если параметры  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  определены на базовой длине  $l$  в соответствии с табл. 1.5, то эти базовые длины в требованиях к шероховатости не указываются.

Таблица 1.5

**Соотношение значений параметров  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  и базовой длины  $l$**

$R_a$ , мкм	$R_z$ , $R_{max}$ , мкм	$l$ , мм
До 0,025	До 0,10	0,08
Св. 0,025 >> 0,4	Св. 0,10 >> 1,6	0,25
>> 0,4 >> 3,2	>> 1,6 >> 12,5	0,8
>> 3,2 >> 12,5	>> 12,5 >> 50	2,5
>> 12,5 >> 100	>> 50 >> 400	8,0

К шаговым параметрам относятся:

- 1) средний шаг неровностей профиля  $S_m$ ;
- 2) средний шаг местных выступов профиля  $S$ ;
- 3) относительная опорная длина профиля  $tr$ .

*Неровность профиля* – это выступ профиля и сопряженная с ним впадина профиля.

*Шаг неровностей профиля* – это длина отрезка средней линии профиля, содержащая выступ профиля и сопряженную с ним впадину.

**Средний шаг неровностей профиля  $Sm$**  – среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины:

$$Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sm_i, \quad (1.3)$$

где  $n$  – число шагов неровностей профиля.

*Шагом местных выступов* называется длина отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних местных выступов профиля.

**Средний шаг местных выступов профиля  $S$**  – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Si, \quad (1.4)$$

где  $n$  – число шагов неровностей профиля по вершинам.

На многие эксплуатационные свойства поверхности большое влияние оказывает фактическая поверхность соприкосновения детали с сопряженными деталями изделия. Эта величина может быть частично отражена критерием  $n_p$ .

Опорная длина  $n_p$  профиля определяется суммой длин отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии. Для сопоставления размеров опорных поверхностей, обработанных различными методами, удобно

пользоваться понятием **относительной опорной длины  $tp$  профиля**, определяемой отношением опорной длины профиля к базовой длине, т. е.

$$tp = \frac{n_p}{l} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (1.5)$$

где  $n_p$  – опорная длина профиля;

$b_i$  – длина отрезка, отсекаемого в материале выступа профиля;

$p$  – уровень сечения профиля, определяемый расстоянием между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантной линии выступов профиля.

Относительная опорная длина профиля  $tp$ : 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 %.

Числовые значения уровня сечения профиля  $p$  выбирают из ряда 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 % от  $R_{max}$ .

Таблица 1.6

**Средний шаг неровностей  $S_m$   
и средний шаг неровностей по вершинам  $S$ , мкм**

–	10,0	1,00	0,100	0,010
–	8,0	0,80	0,080	0,008
–	6,3	0,63	0,063	0,006
–	5,00	0,50	0,050	0,005
–	4,0	0,40	0,040	0,004
–	3,2	0,32	0,032	0,003
–	2,5	0,25	0,025	0,002
–	2,0	0,20	0,020	–
–	1,6	0,16	0,016	–
12,5	1,25	0,125	0,0125	–

На шероховатость поверхности, обработанной лезвийным инструментом, оказывает влияние большое число факторов, и в первую очередь – метод обработки заготовок. Каждый метод обработки характеризуется применяемым оборудованием и инструментом и, в зависимости от этого, позволяет получить различную шероховатость поверхности (табл. 1.7).

Таблица 1.7

**Параметры шероховатости поверхности в зависимости  
от методов обработки заготовок**

Обработка	Параметр шероховатости				
	$Ra$ , мкм	$Rz$ , мкм	$Rmax$ , мкм	$Sm$ , мм	$S$ , мм
Точение:					
черновое	12–32	63–160	72–192	0,032–1,25	0,32–1,25
получистовое	2–6	10–80	12–96	0,16–0,4	0,16–0,4
чистовое	0,8–2,5	4–12,5	4,8–15	0,08–0,16	0,01–0,1
тонкое	0,1–0,8	0,5–4	0,6–4,8	0,02–0,1	0,01–0,1
Сверление и рассверливание	3,2–12,6	16–63	19,2–75,6	0,16–0,8	0,08–0,63
Зенкерование:					
черновое	2,5–8	12,5–40	15–48	0,16–0,8	0,063–0,4
чистовое	1,25–3,2	6,2–16	7,5–19,2	0,08–0,25	0,05–0,16
Развертывание:					
черновое	1,25–2,5	6,2–12,5	7,5–15	0,08–0,2	0,04–0,16
чистовое	0,63–1,25	3,2–6,2	3,8–7,5	0,032–0,18	0,012–0,08
тонкое	0,32–0,63	1,6–3,2	1,9–3,8	0,016–0,04	0,008–0,02
Растачивание:					
черновое	4–16	20–80	24–96	0,16–0,4	0,16–0,4
получистовое	1,6–8	8–40	9,6–48	0,12–0,32	0,12–0,32
чистовое	0,8–2	4–12	4,8–12	0,08–0,16	0,05–0,16
тонкое	0,2–0,8	1–4	1,2–4,8	0,02–0,1	0,01–0,1
Торцовое фрезерование:					
черновое	4–16	20–80	24–96	0,16–0,4	0,16–0,4
чистовое	1–4	5–20	6–24	0,08–0,2	0,063–0,2
тонкое	0,032–1,25	1,6–6,2	1,9–7,5	0,023–0,1	0,016–0,08
Строгание:					
черновое	6,4–24	32–120	38–244	0,2–1,6	0,2–1,6
чистовое	1,0–6,3	5–32	6–38	0,8–0,25	0,06–0,025
тонкое	0,32–1,25	1,6–8	1,9–9,6	0,025–0,12	0,012–0,1

Образование шероховатости нельзя объяснить только следом движения режущей кромки (при обработке стальных заготовок) и влиянием хрупкого скалывания частиц (серый чугун, хрупкий цветной металл).

Из режимов резания наиболее существенное влияние на величину шероховатости оказывают подача и скорость резания. При увеличении подачи шероховатость увеличивается. Объясняется это двумя причинами (рис. 1.2):

1) за один оборот снимается большой слой металла, вследствие чего возрастает вероятность отрыва и выламывания частиц металла;

2) увеличивается площадь остаточного сечения снимаемого слоя, так при подаче  $S$  (рис. 1.2) площадь остаточного сечения  $abc$ , а при  $S'$  –  $ab'c'$ , соответственно увеличивается высота неровностей  $H$  и  $H'$ .

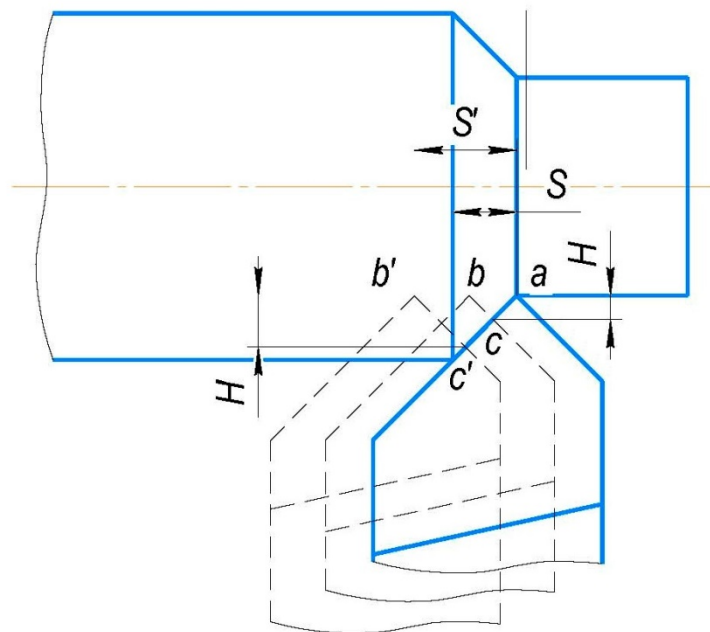


Рис. 1.2. Влияние подачи  
на шероховатость поверхности

Изменение скорости резания на шероховатость влияет по-разному. Например, при обработке стали в определенном диапазоне скоростей

(при точении 18–22 м/мин) на режущей кромке инструмента образуется нарост, который способствует увеличению шероховатости и образованию наклепа на обрабатываемой поверхности; далее, с увеличением скорости, явление наростообразования прекращается, температура в зоне резания повышается и стружка снимается более плавно, без отрыва кристаллов, поэтому величина микронеровностей уменьшается.

Из геометрических параметров режущей кромки существенное влияние на шероховатость оказывает *главный угол в плане  $\phi$ , задний угол  $\alpha$  и радиус при вершине режущей кромки  $R$* .

Чем меньше угол в плане, тем меньше площадь и высота остаточного сечения  $H$ .

Уменьшение заднего угла увеличивает площадь контакта обрабатываемой поверхности с резцом, что вызывает задиры на ней, следовательно увеличивает шероховатость. Поэтому чем меньше шероховатость задней границы режущей головки инструмента, тем меньше шероховатость обрабатываемой поверхности.

Увеличение радиуса  $R$  при вершине режущей кромки уменьшает площадь остаточного сечения, следовательно уменьшает шероховатость.

Из физико-механических свойств материала на шероховатость в основном оказывают влияние его твердость и вязкость. При обработке вязких и мягких материалов добиться малой шероховатости труднее, так как на поверхности от самых малых усилий остаются следы и задиры, при обработке деталей из твердых сплавов этого не происходит [1].

При обработке с применением смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) большое значение имеет ее правильный подбор. СОЖ является смазкой, уменьшающей трение между контактирующими частями режущего инструмента и обрабатываемой поверхности и окислителем поверхностного слоя (окисная пленка легче разрушается). Правильно подобран-

ная СОЖ уменьшает шероховатость на 10–40 %. В качестве СОЖ применяются: веретенное масло, олеиновая кислота, керосин с маслом, содовые растворы и др.

## **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОРТАТИВНОГО ПРОФИЛОМЕТРА TR200**

**Назначение.** Портативный измеритель шероховатости TR200 – новая продукция, разработанная компанией Time Group Inc (табл. 1.8). Измеритель предназначен для работы в условиях производства и может быть использован для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей. Измеритель производит расчёт параметров шероховатости в соответствии с выбранной методикой и чётко отображает на жидкокристаллическом экране график профиля и все измеренные параметры.

**Принцип измерений.** Для измерения шероховатости поверхности детали на поверхности детали располагают датчик и проводят им по поверхности с постоянной скоростью. Датчик воспринимает неровности поверхности острым пером. Неровности поверхности вызывают смещения в датчике, в результате чего изменяется индуктивность катушки, которая генерирует аналоговый сигнал, пропорциональный размерам неровностей. Сигнал поступает на фазочувствительный выпрямитель. После усиления и преобразования уровня этот сигнал поступает в систему сбора данных. Собранные данные подвергаются цифровой фильтрации, и микросхема цифровой обработки сигналов производит расчёт параметров. Результаты измерения можно считать на жидкокристаллическом дисплее, распечатать на принтере и передать на персональный компьютер.

Отсчет результатов измерения производится по шкале показывающего прибора, градуированной по параметру  $Ra$  (ГОСТ 2789–73).

## Технические характеристики профилометра TR-200

Измеряемые параметры шероховатости	$Ra, Rz, Ry, Rq, Rt, Rp, R_{max}, Rv, Rs, R_{sm}, R_{Sk}, R_{mr}$ , исходный профиль ( $P$ )
Коэффициенты увеличения профиля	по вертикали: 200х – 20000х, по горизонтали: 20х, 50х, 200х
Система мер	метрическая, британская
Дискретность индикации	0,001 мкм
Диапазон измерений по параметрам	– $Ra, Rq$ : 0,01–40 мкм – $Rz, Ry, Rp, Rt$ : 0,02–160 мкм – $R_{Sm}, RS$ : 1мм – $R_{mr}$ : 1–100 %
Базовая длина / отсечка шага	Автоматическая, 0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм
Длина оценки	(1~5) * базовая длина
Тип датчика	стандартная модель TS100, индукционный, радиус алмазной иглы 5 мкм
Минимальный диаметр измеряемого отверстия/наибольшая глубина измерения	6,0 мм, глубина 15 мм (при использовании датчика TS100)
Параметры перемещения	Максимальный диапазон перемещения: 17,5 мм
Питание	Номинальная мощность: 6 В, 500 мА Напряжение питания: 220 В Встроенная аккумуляторная батарея (литиевая батарея) Время зарядки: 2,5 часа Длительность непрерывной работы без подзарядки: более 20 часов Функция автоматического отключения Изображение отключается, если работа не производится в течение 5 минут
Диапазон рабочих температур	от 0 до 40 градусов по Цельсию
Относительная влажность воздуха	< 80 %
Диапазон температур при хранении	от –25 до 60 градусов по Цельсию
Степень точности	класс 3 по DIN 4772
Размеры Д x Ш x В	141 x 56 x 48 мм
Масса электронного блока	480 г



Состав прибора:

- профилометр TR-200 – 1 шт.;
- стандартный датчик TS100 – 1 шт.;
- регулируемая подставка – 1 шт.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **Подготовка к работе**

1. Проверить соединение датчика с корпусом.

Перо датчика является основной частью данного прибора и требует особого внимания. При подсоединении или отсоединении к перу нельзя прикасаться, чтобы не повредить его и не провести ошибочные измерения. Соединение датчика должно быть надёжным.

Избегайте ударов, интенсивной вибрации, сильной запылённости, влажности, загрязнения смазкой.

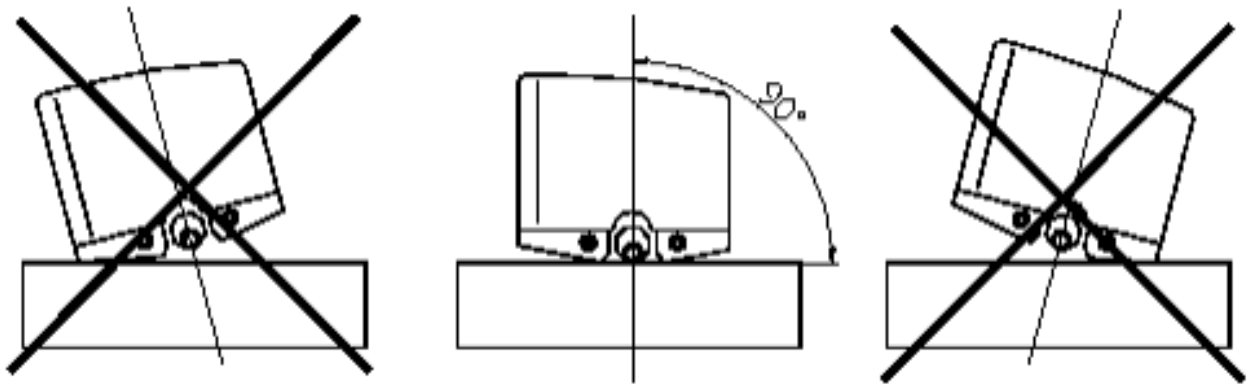
Датчик является прецизионной частью прибора, и его необходимо тщательно оберегать.

2. Очистить ветошью поверхность детали «Вал», которая подлежит измерениям.

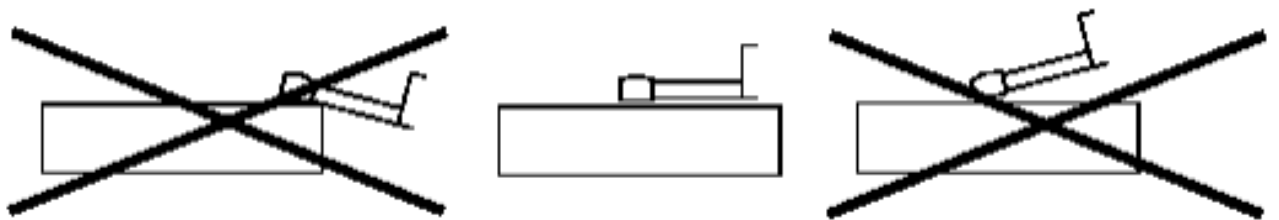
3. Установить деталь на призму (при измерении цилиндрических деталей на плиту стойки устанавливается призма).

4. Расположить правильно прибор над измеряемой поверхностью, руководствуясь рис. 1.3 и 1.4. Его положение должно быть устойчивым и надёжным.

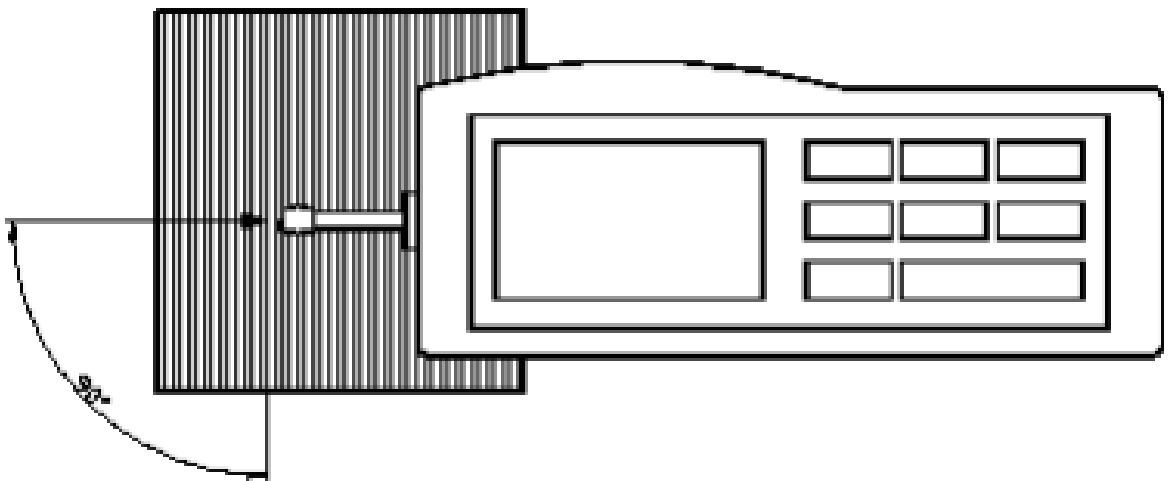
5. В соответствии с рис. 1.5 траектория датчика должна быть перпендикулярна направлению линий обработки на измеряемой поверхности. Правильность расположения прибора – это залог точности измерений.



*Рис. 1.3. Вид спереди*



*Рис. 1.4. Вид сбоку*



*Рис. 1.5. Направление измерений*

## Порядок работы

1. Включить прибор нажатием кнопки питания (рис. 1.6).

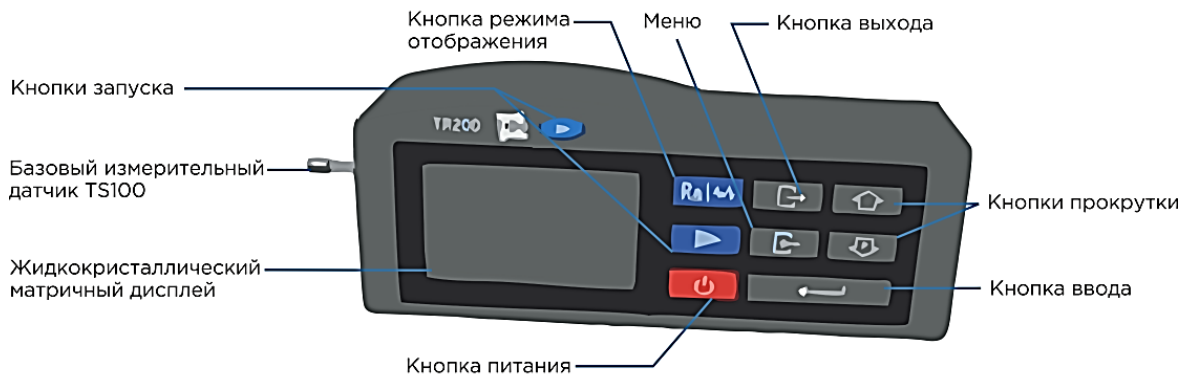


Рис. 1.6. Внешний вид прибора

Прибор автоматически отобразит модель, название и информацию о производителе, а затем перейдет к базовому режиму измерений, как показано на рис. 1.7.

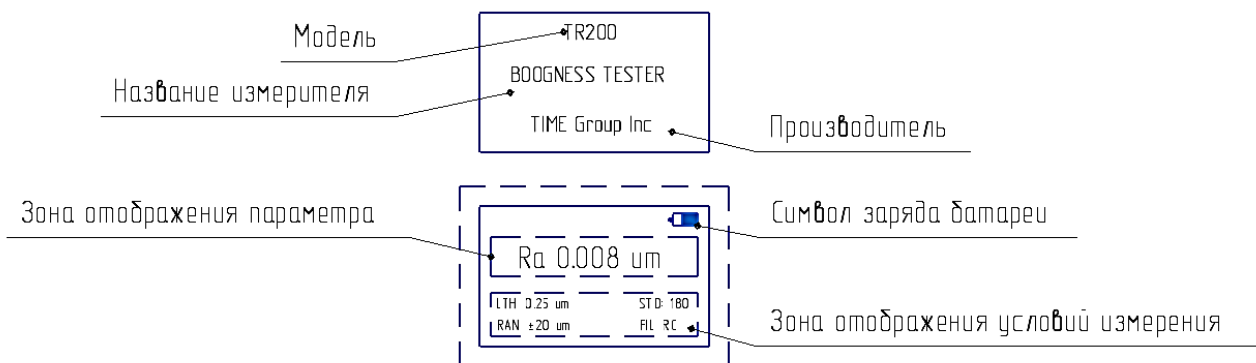


Рис. 1.7. Интерфейс при включении прибора

2. Проверить заряд аккумуляторных батарей на дисплее. При низком заряде устройства сообщить об этом преподавателю.

Параметры базового режима измерения выводятся при самом первом включении (или после возврата в исходное состояние) – это установки,

принимаемые прибором по умолчанию. При последующих включениях прибор отображает условия измерения и данные, которые были на момент его последнего выключения. Базовый режим измерений устанавливается автоматически при каждом включении (как показано на рис. 1.7).

3. Настроить профилометр по высоте. При перемещении рукоятки стойки смотреть на экран профилометра. Стрелка должна оказаться на риске 0 (рис. 1.8).

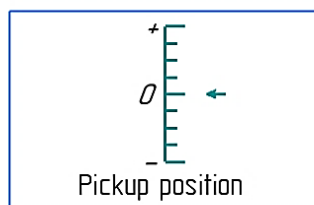
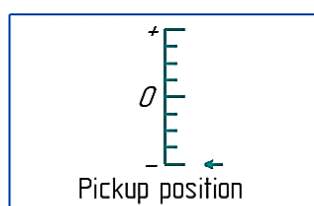


Рис. 1.8. Настройка профилометра

4. Для начала измерений нажать на кнопку запуска, как показано на рис. 1.9.

5. Полученные значения параметра  $Ra$  записать в столбец 7 таблицы отчета (прил. А).

6. Используя табл. 1.5, определить ориентировочное значение базовой длины и установить соответствующее значение отсечки шага на профилометре. Результат занести в столбец 10 таблицы отчета (прил. А).

7. Произвести не менее трех замеров шероховатости каждой ступени валика при помощи профилометра и определить среднюю величину.

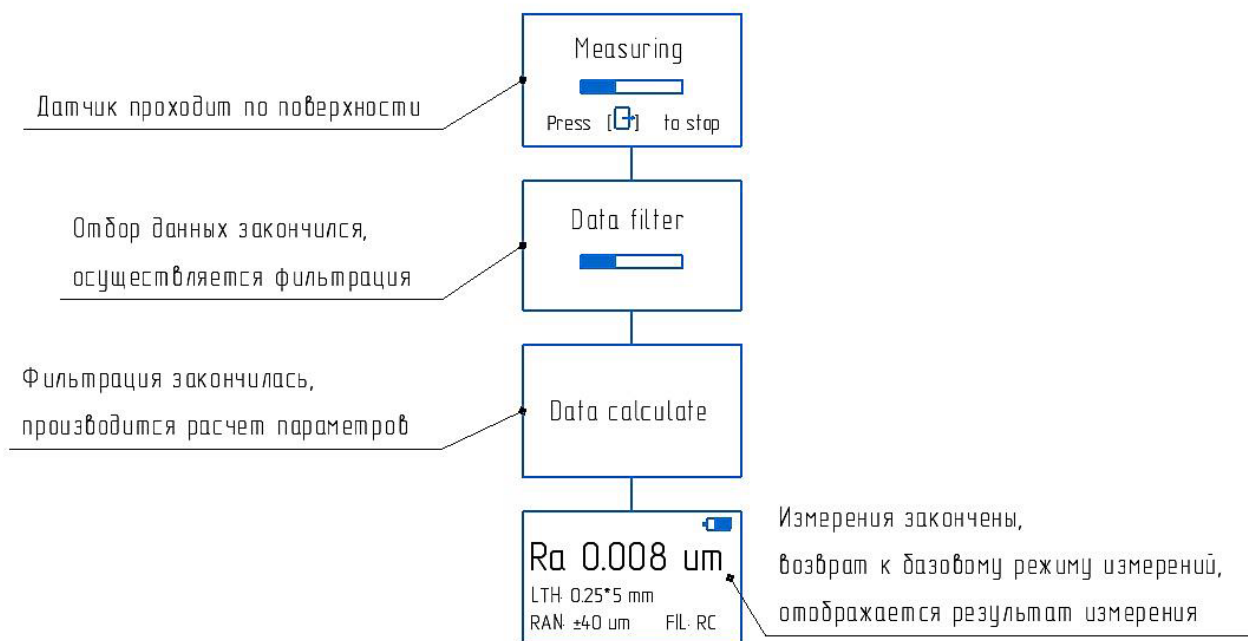


Рис. 1.9. Процесс измерений

8. Результаты измерений и вычислений занести в столбцы 7, 8 таблицы отчета (прил. А).

9. По результатам измерений построить графические зависимости влияния условий обработки (скорости резания, подачи и глубины резания) на шероховатость поверхности.

10. Объяснить характер полученных графических зависимостей, причины несовпадения результатов косвенного и прямого измерения шероховатости. Определить рациональные условия обработки для заданной шероховатости обрабатываемой поверхности детали.

11. По окончании измерений привести рабочее место в исходное состояние.

12. Составить отчет по результатам работы (прил. А). Отчет должен содержать:

- наименование и краткое содержание работы;

- данные об измерительных приборах и приспособлениях;
- экспериментальные и расчетные данные о выполненной работе в виде таблиц и графиков с приведением расчетных формул;
- выводы и заключения по каждому разделу работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение шероховатости поверхности.
2. Назовите параметры шероховатости поверхности. Дайте определения.
3. Способы определения шероховатости.
4. Приборы, применяемые для определения шероховатости.
5. Факторы, влияющие на величину шероховатости.
6. Назовите физические явления, происходящие при резании сталей, влияющие на шероховатость поверхности.
7. Назовите параметры режимов резания; укажите, в чем они измеряются.
8. Дайте определение средней линии профиля. Покажите ее на профилеграмме (рис. 1.1).
9. Дайте определение линии выступов и линии впадин профиля.
10. Опишите принцип измерений профилометра TR200.
11. Из каких элементов состоит измерительная система TR200?

## Лабораторная работа № 2

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВОК ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЗАЖИМНЫХ СИЛ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ИХ ЗАКРЕПЛЕНИЯ В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

**Цель работы:** определение погрешности формы заготовок при различных способах и силах закрепления.

### Оснащение:

- пресс винтовой;
- динамометр;
- индикаторный нутромер;
- специальная вставка для измерения деформации при закреплении заготовки в трех точках;
- призмы с углами:  $\alpha = 90^\circ$  – 2 шт.,  
 $\alpha = 60^\circ$  – 1 шт.;
- заготовки (кольца) – 3 шт.:  
 $L1 = 20$  мм,  $L2 = 30$  мм,  $L3 = 50$  мм,  
 $D = 45$  мм,  
 $d = 40$  мм,  
материал колец – ст. 45;
- микрометр гладкий 25–50 мм;
- штангенциркуль.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Для оценки степени влияния жесткости заготовки на величину ее упругой деформации закрепляют три кольца различных размеров при постоянной нагрузке  $P = 250$  кг применительно к одной из схем закрепления

(по указанию преподавателя). Определяют значения фактической и расчетной погрешности формы.

2. Для оценки степени влияния метода закрепления заготовки на величину погрешности формы одно из колец закрепляют по трем схемам закрепления с постоянным зажимным усилием  $P = 250$  кг. Определяют фактическую и расчетную деформации кольца. На основании полученных данных строят формы кольца, деформированного зажимным усилием, и делают вывод, какая из схем закрепления дает меньшую погрешность формы.

3. Влияние величины зажимной силы на величину погрешности формы определяют на одной из заготовок при закреплении ее по одной из схем (по указанию преподавателя) силой  $P$  от 0 до 250 кг, изменяя силу с интервалом 50 кг. На основании результатов строят график зависимости погрешности формы от величины зажимной силы.

По графику определяют максимально допустимую величину зажимной силы, при которой погрешность формы не превышает допуска 3-го класса точности для внутреннего диаметра кольца.

## **ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

При закреплении тонкостенных заготовок (деталей) в патронах, призмах и других приспособлениях с радиально направленными зажимными усилиями возникают упругие деформации заготовок. По окончании обработки и после снятия действия зажимных усилий упругие деформации вызывают искажение формы деталей, полученных при обработке [2].

Суммарная погрешность формы обрабатываемой заготовки от действия зажимных сил и погрешности обработки не должна превышать допуска на геометрическую неточность формы детали, заданного чертежом.



$$\Delta Z + E \leq \delta, \quad (2.1)$$

где  $\Delta Z$  – погрешность формы в результате действия зажимных сил;  
 $E$  – погрешность обработки;  $\delta$  – допуск на геометрическую неточность обрабатываемой поверхности, заданную чертежом.

На величину погрешности  $\Delta Z$  влияют:

- жесткость заготовки;
- метод закрепления;
- величина зажимных сил.

Способы расчета теоретической и фактической погрешности формы при различных схемах закрепления приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Деформации $\delta_{1-1}$ , $\delta_{2-2}$ и погрешности формы $\Delta Z = 2 \cdot ( \delta_{1-1}  +  \delta_{2-2} )$		Схемы нагружения		
		Схема 1	Схема 2	Схема 3
R const	$\delta_{1-1}$	0,074 C	0,016 C	0,006 C
	$\delta_{2-2}$	-0,068 C	-0,014 C	-0,005 C
	$\Delta Z$	0,285 C	0,060 C	0,023 C

Коэффициент  $C$  рассчитывается по формуле

$$C = \frac{P \cdot r^3}{E \cdot I} \text{ (мм)}, \quad (2.2)$$

где  $r$  – средний радиус кольца,

$$r = \frac{D+d}{4}; \quad (2.3)$$

$I$  – момент инерции,

$$I = \frac{\left[ l \cdot \left( \frac{D-d}{2} \right)^3 \right]}{12} \text{ (мм)}; \quad (2.4)$$

$E$  – модуль (20 000 кг/мм<sup>2</sup>).

Схемы закрепления и направления ожидаемых деформаций приведены на рис. 2.1, 2.2 и 2.3.

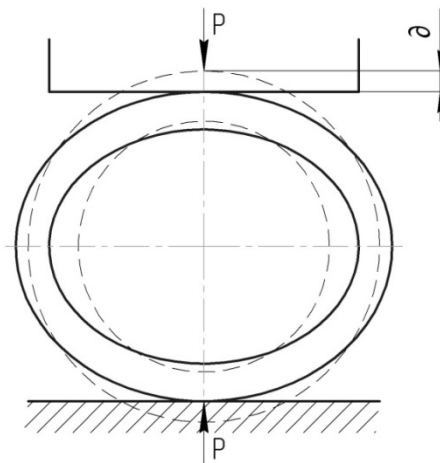


Рис. 2.1. Двухопорное закрепление заготовки

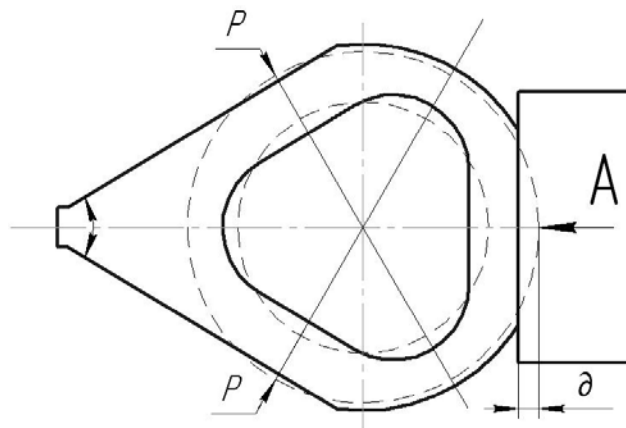


Рис. 2.2. Трёхопорное закрепление заготовки

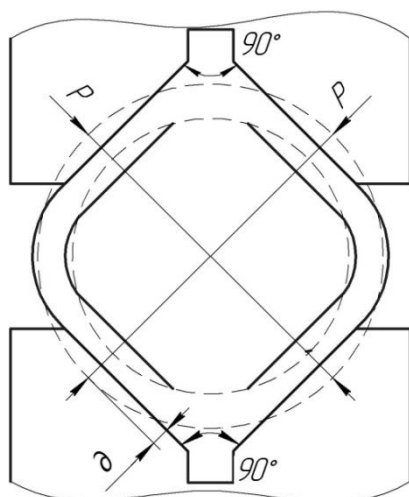


Рис. 2.3. Четырёхопорное закрепление заготовки

Для измерения деформаций заготовок используется индикаторный нутромер. При трёхопорном закреплении заготовок (рис. 2.4) измерение деформации производится нутромером, снабженным специальной жесткой лапкой, при этом деформация определяется по формуле

$$\sigma = \frac{\sigma_n}{1 + \cos^2(\alpha / 2)}, \quad (2.5)$$

где  $\sigma$  – фактическая деформация кольца в точке приложения силы;  $\sigma_n$  – показания индикатора нутромера;  $\alpha$  – угол призмы.

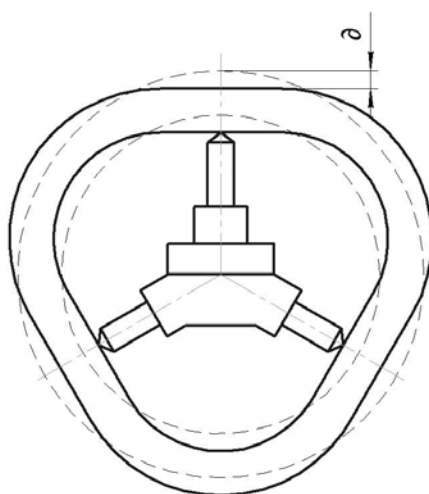


Рис. 2.4. Нутромер с жёсткой лапкой

При закреплении заготовок по двум другим схемам (рис. 2.1 и 2.3) фактическая деформация кольца  $\sigma$  равна половине показания индикаторного нутромера:

$$\sigma_i = \sigma_n / 2. \quad (2.6)$$

Фактическая погрешность формы  $\Delta Z$  определяется по формуле

$$\Delta Z = 2 \cdot (|\sigma_1| + |\sigma_2|), \quad (2.7)$$

где  $\sigma_1$  – величина наибольшего прогиба, мм;  $\sigma_2$  – величина наибольшего выпучивания, мм.

Другими словами фактическая погрешность формы кольца равна разности диаметров окружностей, описанной вокруг наиболее выпученных точек внутренней поверхности контура и вписанной в наибольший размер того же контура.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить влияние жесткости заготовки на погрешность формы при постоянной силе зажима:

а) установить заготовку № 1 в приспособление по схеме 1 или 2 (табл. 2.1);

б) измерить первоначальный внутренний диаметр в местах, где ожидаются наибольшее выпучивание и наибольший прогиб;

в) зажать заготовку с силой  $P = 250$  кг, измерить наибольшее выпучивание и прогиб. Определить фактическую и расчетную погрешности формы заготовки. Чтобы определить необходимое количество делений прибора для закрепления с силой  $P = 250$  кг, необходимо воспользоваться тарифным графиком, представленным на рис. 2.5;

г) повторить пункты а, б, в для заготовок 2 и 3;

д) построить график зависимости деформации заготовок.

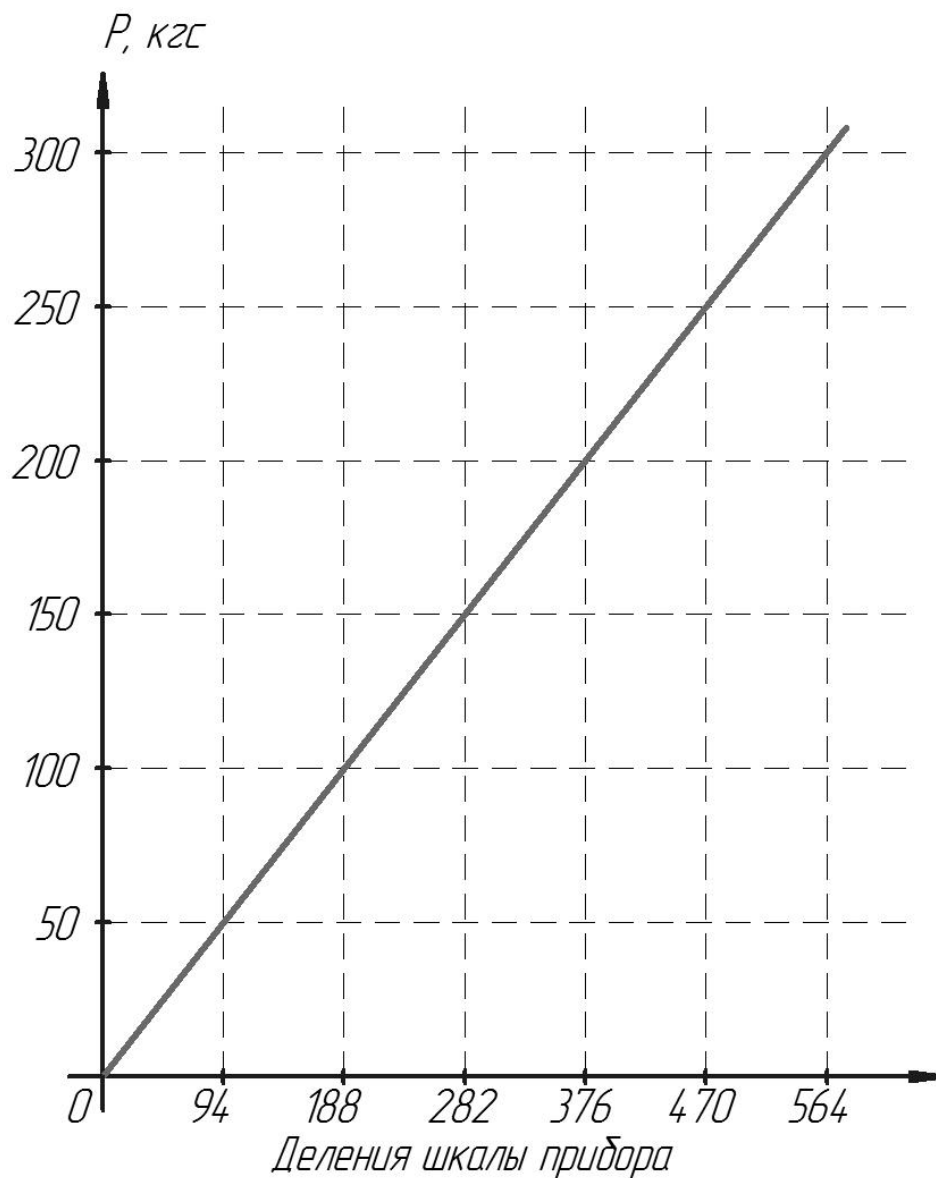


Рис. 2.5. Тарировочный график

При построении графика считать, что жесткость заготовки и первоначальная ее длина равны единице.

2. Определить влияние метода закрепления заготовки:

а) установить одну из заготовок на приспособление по схеме 1 (табл. 2.1);

б) измерить внутренний диаметр заготовки в местах, где ожидаются большой прогиб и выпучивание;

в) зажать заготовку с силой  $P = 250$  кг, измерить выпучивание и прогиб;  
г) определить фактическую и расчетную погрешности формы;  
д) повторить пункты а, б, в, г для той же заготовки, закрепляя ее по схемам 2 и 3;

е) построить форму внутренних поверхностей заготовки, деформированной усилием 250 кг, для всех трех схем закрепления и найти схему, дающую меньшую погрешность формы.

3. Определить влияние величины зажимной силы на погрешность формы:

а) установить одну из заготовок по схемам 1 или 2 (табл. 2.1);  
б) измерить первоначальный внутренний диаметр заготовки в местах, где ожидаются наибольший прогиб и выпучивание;

в) зажать заготовку с силой 50, 100, 150 ... 250 кг, измеряя каждый раз деформацию;

г) определить фактическую и расчетную погрешности формы заготовки, зажатой равными усилиями;

д) построить график зависимости погрешности формы заготовки от величины зажимной силы.

Измерения и расчеты сводить в таблицу.

4. По результатам выполнения работы составить отчет (прил. Б). Отчет должен содержать:

- наименование и краткое содержание работы;
- данные об измерительных приборах и приспособлениях;
- экспериментальные и расчетные данные о выполненной работе в виде таблиц и графиков с приведением соответствующих схем закрепления и расчетных формул;
- выводы и заключения по каждому разделу работы.

## Контрольные вопросы

1. Дать определение отклонения (погрешности) формы. Виды отклонений формы отверстия.
2. Чему равна фактическая величина отклонения формы отверстия?
3. Можно ли определить величину отклонений формы с помощью калибра и как это сделать?
4. Возможна ли схема закрепления детали, при которой отклонения формы отверстия после обработки будут минимальными?
5. Приведите примеры деталей, для которых отклонения формы должны быть строго заданы.
6. Какие зависимости получены в результате выполнения работы и как их использовать на практике?
7. Какие факторы влияют на отклонения формы поверхности детали при обработке в приспособлении?
8. Дать описание экспериментального стенда и методики выполнения измерений.

## **Лабораторная работа № 3**

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ УЗЛА.**

**Цель работы:** ознакомление с содержанием и методикой разработки технологического процесса сборки изделия (на примере сборочной единицы «Редуктор червячный»).

#### **Оснащение:**

- сборочный чертеж червячного редуктора;
- червячный редуктор;
- набор слесарных инструментов;
- таблица расчета норм времени.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

1. Произвести разборку червячного редуктора.
2. Провести анализ сборочного чертежа с целью выявления технологичных и нетехнологичных элементов при сборке.
3. По сборочному чертежу червячного редуктора провести анализ последовательности сборки и разработать маршрутный технологический процесс сборки.
4. Составить технологическую схему сборки червячного редуктора.
5. Произвести сборку червячного редуктора в соответствии с предложенным маршрутным технологическим процессом сборки и технологической схемой сборки червячного редуктора.
6. Рассчитать технологическую норму времени на одну операцию (на остальные ориентировочно). Рассчитать общую трудоемкость сборки редуктора, на основании заданной программы выпуска определить необходимое количество сборщиков и распределить между ними работу.



## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Готовое изделие состоит из ряда деталей и сборочных единиц. **Сборочная единица** – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями (свинчивание, сочленение, сварка, склейка и т. д.).

Каждая сборочная единица имеет одну базовую деталь, к которой присоединяются сборочные единицы низших порядков и отдельные детали.

В соответствии с этим различают сборочные единицы 1-го, 2-го и выше порядков (сборочная единица самого высокого порядка – это готовое изделие). В качестве базовой детали в каждой сборочной единице выбирается такая деталь, поверхности которой входят в наибольшее количество размерных цепей. Это, как правило, наиболее точная или наиболее металлоемкая деталь, к которой присоединяется много других деталей.

Прежде чем приступить к проектированию техпроцесса, необходимо определить наиболее оптимальную последовательность сборки, выявить детали, которые могут быть объединены в более мелкие сборочные единицы, а также детали, входящие в сборку в подсобранном состоянии. Все это позволит определить состав сборочных единиц, их базовые детали, сформировать операции и наметить их последовательность.

После уточнения техпроцесса сборки он оформляется на технологических картах и изображается в форме схемы сборки.

**Технологическая схема сборки** – это графическое отображение состава и последовательности сборки деталей и сборочных единиц изделия. Она является первичным технологическим документом, дающим объемное представление о процессе сборки.

На схеме сборки каждая сборочная единица (деталь) изделия обозначается прямоугольником, разделенным на три части.

Документация маршрутного технологического процесса оформляется в упрощенном виде, без указания переходов и режимов работы сборочного оборудования. При разработке маршрутного технологического процесса устанавливается содержание сборочных операций, причем с таким расчетом, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась по возможности однородная по своему характеру и технологически законченная работа.

В процессе сборки изделия определяется правильность разработанного маршрутного технологического процесса сборки и технологической схемы сборки. При этом устраняются замеченные ошибки, вносятся изменения в последовательность сборки, вносятся технологические примечания и т. д.

Штучное время, необходимое для выполнения одной сборочной операции, определяется по формуле

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{п}} + t_{\text{об}} + t_{\text{пз}}, \quad (3.1)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – штучное время;

$t_{\text{оп}}$  – оперативное время (сумма основного технологического и вспомогательного времени);

$t_{\text{п}}$  – время перерывов на отдых и естественные надобности;

$t_{\text{об}}$  – время обслуживания рабочего места;

$t_{\text{пз}}$  – подготовительно-заключительное время.

Все составляющие штучного времени определяются по таблицам нормирования (табл. 3.2–3.9).

Расчетное количество рабочих мест или позиций  $q$ , которые должен пройти собираемый объект, в общем случае определяется по формуле

$$q = \frac{T_o - T_c}{(T - t_{\Pi})}, \quad (3.2)$$

где  $T_o$  – трудоемкость сборки всего изделия (определяется суммированием штучного времени по всем операциям);

$T_c$  – расчетная трудоемкость переходов, выполнение которых совмещено по времени с выполнением других переходов (совмещение задается технологом);

$T$  – такт выпуска изделий при заданной программе;

$t_{\Pi}$  – время, необходимое для перемещения собираемого объекта с одного рабочего места на другое (зависит от принятых технологом условий транспортировки), или количество параллельных потоков, необходимых для сборки изделия (задается технологом).

Расчетная величина такта выпуска изделий определяется по формуле

$$T = \frac{60 \cdot F_g}{N} \text{ (мин)}, \quad (3.3)$$

где  $F_g$  – действительный фонд времени в часах (4015 ч);

$N$  – программа выпуска изделий, шт./год (по заданию преподавателя).

При изготовлении машин единицами или в небольших количествах применяют главным образом универсальную технологическую оснастку и оборудование [3]. С увеличением масштабов выпуска машин появляется экономически оправдываемая возможность использования специальных средств. В качестве примера можно указать на приспособления для установки базовой детали, для запрессовки, для свинчивания и т. д.

В качестве примера для составления маршрутного технологического процесса сборки рассмотрим процесс сборки изделия «Кронштейн подвесной» (табл. 3.1).

Таблица 3.1

**Маршрутный технологический процесс сборки изделия «Кронштейн подвесной»**

№ операц.	Содержание операции	Оборудование	Норма штуч. времени, мин
1	К кронштейну № 7 приварить шарнир № 6	Сварочный автомат, верстак	1,59
2	Закрутить винт упорный № 2 в кронштейн № 7	4-шпиндельный винтоверт	0,59
3	Кронштейн в сборе № 1Сб7 установить на подвес № 1	Верстак	0,76
4	Шпильку № 5 в подсобранном состоянии с шайбой № 3, закрутить в подвес № 1	4-шпиндельный винтоверт	0,8
5	Закрутить гайку 4	Пневматический ключ	0,4
6	Контролировать технические условия в соответствии с чертежом	Контрольный стол	2,2

Рассмотрим пример составления схемы сборки. В верхней части прямоугольника указывается наименование сборочной единицы (детали). В левой нижней части – ее индекс. В правой нижней – количество деталей (сборочных единиц), входящих в данное соединение. Графически рамка базовой детали выделяется утолщенной линией (рис. 3.1).

Индексация деталей (сборочных единиц) производится в соответствии с номерами, проставленными на сборочных чертежах и в спецификациях.

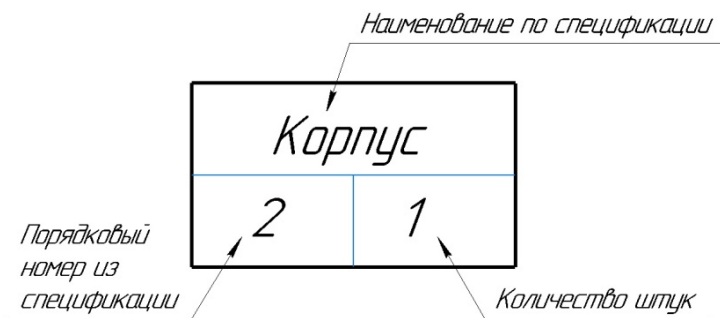


Рис. 3.1. Пример оформления блока базовой детали в схеме сборки

Сборочные единицы обозначаются буквами «сб.», и им присваивается индекс базовой детали. Порядок сборочной единицы указывается соответствующей цифрой, стоящей перед буквенным обозначением «сб.». Например, «1 сб. 7» обозначает сборочную единицу первого порядка с базовой деталью № 7. Графически рамка базовой детали выделяется двойным контуром (рис. 3.2).

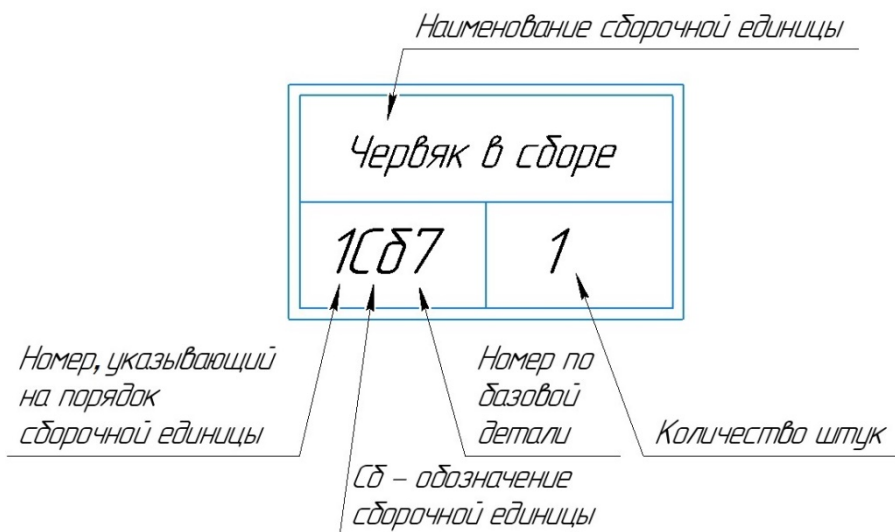


Рис. 3.2. Пример оформления блока сборочной единицы в схеме сборки

Процесс комплектования объекта сборки изображается горизонтальной прямой линией. Ее проводят в направлении от базовой детали, далее изображаются в порядке последовательности сборки все детали и сборочные единицы, непосредственно входящие в изделие.

Технологические схемы сборки снабжаются надписями – сносками, определяющими характер сборочных соединений (запрессовка, пайка, регулировка, совместная обработка и т. д.), когда они не ясны из самой схемы. Также допускается использование нумерованных технических условий (ТУ), с последующей расшифровкой. Ниже приведена схема сборки кронштейна при единичном типе производства (рис. 3.3). ТУ1 в данном примере расшифровывается как «Сварка», ТУ2 – как «Закручивание», а «К1» (рис. 3.5) – «Контроль технических условий в соответствии с чертежом». При единичном типе производства допускается выполнение целого комплекса операций на одном рабочем месте.

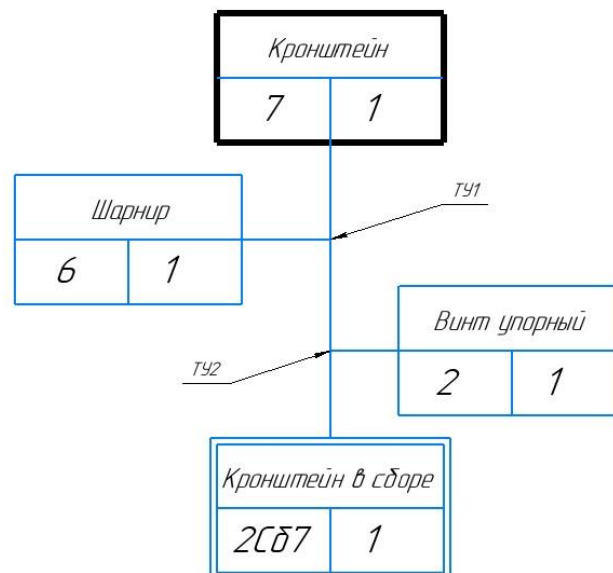


Рис. 3.3. Схема сборки кронштейна при единичном типе производства

В тех случаях, когда тип производства задан как «массовый», для ускорения процесса сборки задействуется конвейер и операции по рабочим местам распределяются с учетом максимальной минимизации времени. Для этого необходимо распределить операции по рабочим местам так, чтобы одна операция проводилась на одном, специально оборудованном рабочем месте (рис. 3.4).

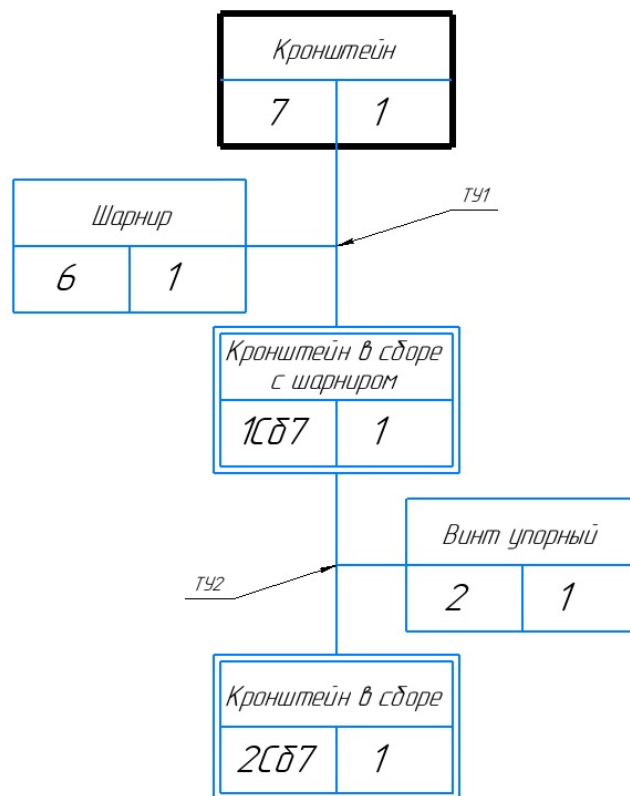


Рис. 3.4. Схема сборки кронштейна при массовом типе производства

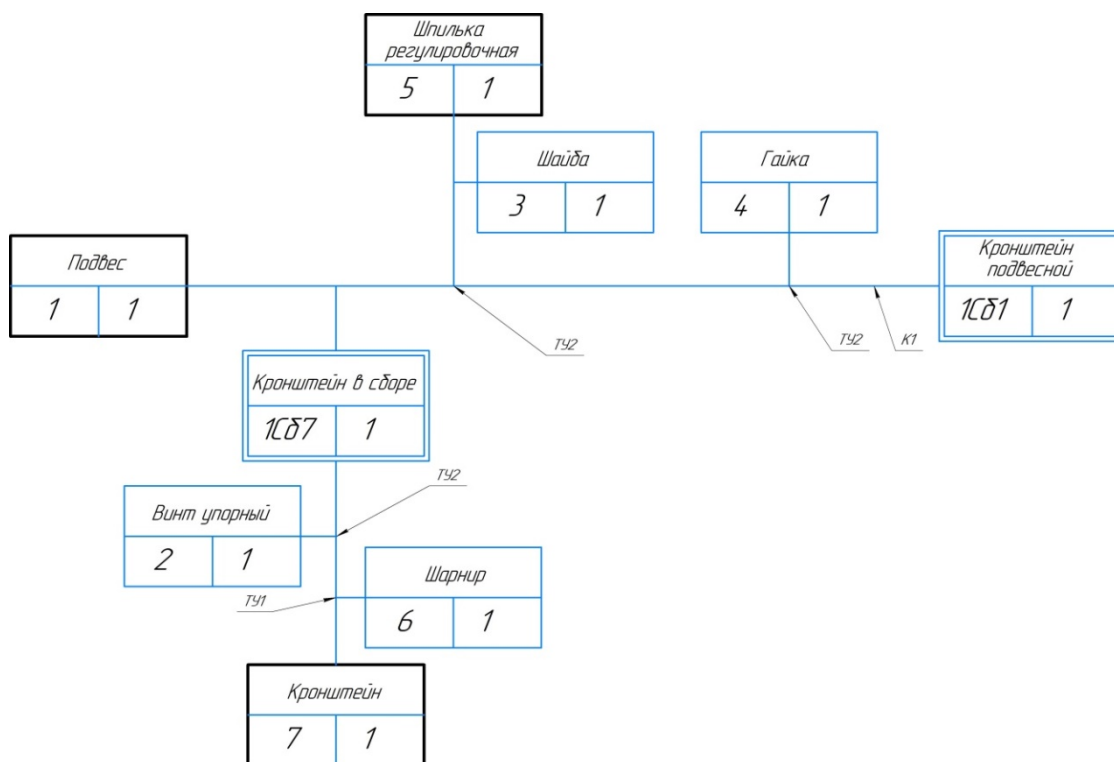


Рис. 3.5. Технологическая схема общей сборки изделия «Кронштейн подвесной»

Ниже приводится пример расчета количества сборщиков и распределения между ними работы.

При программе выпуска 100 000 шт. кронштейнов подвесных в год и двухсменной работе такт выпуска составит:

$$T = \frac{60 \cdot Fg}{N} = \frac{60 \cdot 4015}{100000} = 2,41(\text{мин}).$$

Таблица 3.2

**Нормы времени на выполнение элементов сборочных операций, мин**

Наибольший размер детали, мм, до	Количество совмещаемых отверстий	Масса детали, кг, до		
		1	3	5
75	1	0,07	0,08	–
	2 и более	0,07	0,09	–
150	1	0,07	0,08	0,09
	2 и более	0,08	0,09	0,1
300	1	0,07	0,08	0,1
	2 и более	0,08	0,09	0,1

Таблица 3.3

**Нормы времени для установки деталей узлов на вал  
или в отверстие до упора, вручную, мин**

Диаметр вала или отверстия	Длина продвижения, мм, до	Посадки							
		Х, Л, Ш				С			
		Масса детали, кг, до							
		0,5	1	2	3	0,5	1	2	3
25	200	0,066	0,74	–	–	0,07	0,079	–	–
50	200	0,09	0,1	0,11	0,12	0,1	0,11	0,12	0,13

Таблица 3.4

**Нормы времени для установки пружин без растяжения, мин**

Диаметр пружин, мм, до	Диаметр проволоки, мм, до	Высота пружин, мм, до		
		40	60	100
20	1	0,023	0,026	0,028
20	2	0,033	0,036	0,041



Таблица 3.5

**Нормы времени для установки болтов в отверстие, мин**

Диаметр болта, мм, до	Количество болтов		
	1	3	5
	Время на 1 болт		
10	0,039	0,033	0,03
16	0,045	0,038	0,034

Таблица 3.6

**Нормы времени для запрессовки втулок на вал  
или отверстие на пневмопрессе, мин**

Масса детали, кг, до	Длина запрессовки, мм, до	
	20	40
0,5	0,081	0,095

Таблица 3.7

**Нормы времени для ввертывания болтов предварительного  
на 2–3 витка, мин**

	Количество болтов, до		
	4	6	8
	Время на 1 болт		
0,15	0,1	0,11	

Таблица 3.8

**Нормы времени для окончательного заворачивания винтов (болтов)  
гайковертом, мин**

Шаг резьбы, мм	Длина ввертывания, мм, до				
	8	10	12	15	20
	Время на 1 болт				
1	0,031	0,036	0,041	0,048	0,060
1,25	0,026	0,031	0,036	0,042	0,052
1,5	0,024	0,028	0,032	0,038	0,047
2	–	–	0,027	0,031	0,039

**Нормы времени для запрессовки цилиндрических штифтов вручную, мин**

Длина запрессовки, мм, до	Диаметр штифта, мм, до		
	5	8	12
10	0,08	–	–
16	0,1	0,12	–
20	0,12	0,13	–
30	0,14	0,16	0,18
40	0,16	0,18	0,2

**Технологичность конструкции** – возможность ее изготовления с минимальными временными и материальными затратами применительно к конкретным возможностям предприятия, а также возможность выпуска изделий заданного объема и приспособленности к техническому обслуживанию и ремонту. Говоря о технологичности того или иного элемента, необходимо производить обоснование того, почему данный элемент технологичен или не технологичен [4].

При механической обработке самым технологичным считается сверление сквозного отверстия в плоской плите, так как это действие не требует никаких дополнительных материальных или временных затрат. Менее технологичным считается сверление плоской плиты на какую-то заданную глубину, так как это требует дополнительного измерительного инструмента для проверки, была ли достигнута заданная глубина. Наименее технологичным считается сверление вала по цилиндрической поверхности на заданную глубину, так как это требует привлечения специального приспособления, такого как «Кондуктор с твердосплавной втулкой». Благодаря такому приспособлению удастся избежать ухода сверла в сторону по наклонной поверхности.

При сборке технологичными элементами могут быть: группы деталей, конструкторские приемы или выполняемые операции (технические усло-

вия). Например, операции механической обработки встречаются в технологических процессах сборки, однако такие операции считаются нетехнологичными, так как в сборочном цехе необходимо объединять детали для создания сборочных единиц, а подготовка к этому должна осуществляться в цехе металлообработки. Использование при сборке стандартных изделий считается технологичным, так как на них нет необходимости разрабатывать техническую документацию, протоколы испытаний и др. Такой конструкторский прием, как конструкторское узлование, тоже считается технологичным, так как он позволяет экономить общее время сборки, потому что сборочные единицы низшего порядка можно собирать на разных участках сборочного цеха одновременно.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Получить у преподавателя индивидуальное задание (программа выпуска, организационная форма сборки) и инструментарий.
2. Произвести разборку червячного редуктора, после чего сопоставить имеющиеся в наличии детали с представленными на сборочном чертеже и в спецификации (неразъемные и труднодоступные соединения расчленять не нужно).
3. Предложить последовательность, в которой будет производиться сборка, и оформить это в маршрутный технологический процесс сборки, используя в качестве образца рассмотренный ранее пример для изделия «Кронштейн подвесной».
4. Составить схему сборки червячного редуктора, используя в качестве образца рассмотренный выше пример.
5. Предъявить схему сборки на проверку преподавателю.

6. Собрать червячный редуктор, при этом сборка должна проводиться в соответствии с составленной схемой (при необходимости ее нужно уточнить).

7. Используя таблицы нормирования (табл. 3.2–3.9), рассчитать нормы времени на операции.

8. Составить отчет о работе (прил. В). Отчет должен содержать:

- наименование и краткое содержание работы;
- технологическую схему сборки;
- маршрутный технологический процесс сборки;
- нормы времени на операции.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие технологические задачи решаются при разработке схемы сборки?

2. Что даёт схема сборки технологу для дальнейшей работы?

3. Может ли схема сборки служить для оценки технологичности конструкции изделия? Привести примеры технологичных и нетехнологичных элементов при сборке.

4. Назовите базовые детали в каждой из сборочных единиц.

5. Укажите технические условия, выдерживание которых затруднится или станет невозможным при изменении последовательности сборки?

6. Как может измениться состав операций при увеличении (или уменьшении) программы выпуска?

7. Как может измениться распределение операций по рабочим местам при изменённой программе выпуска?

8. Как может измениться технологическая оснастка при изменении программы выпуска?

## Лабораторная работа № 4

### ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН НАРУШЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ

**Цель работы:** установление фактической точности технологического процесса изготовления детали «Валик» и анализ причин возникновения погрешностей при изготовлении.

#### Оснащение:

- штангенглубиномер – 1 шт.;
- деталь «Валик» – 8 шт.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На партии заготовок, изготовленных по методу автоматического получения размеров на предварительно настроенных станках в соответствии с технологическим процессом, представленным на рис. 4.1, проверить фактическую глубину фрезерованных пазов с помощью штангенглубиномера (операции № 3 «Фрезерная» и № 4 «Фрезерная») (рис. 4.2).

Сравнить полученные значения с анализируемым размером ( $12,5^{+0,24}/4^{+0,16}$ ). Определить годность изделия (годно/не годно) и вид брака (исправим/не исправим).

Используя расчётно-аналитический метод обеспечения точности, определить погрешности, повлиявшие на точность, и рассчитать их величину.

Результат расчета проанализировать, сравнив суммарную погрешность с допусковой погрешностью на анализируемый размер, сделать выводы и предложить мероприятия, повышающие точность изучаемых параметров.

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под точностью детали понимается ее соответствие требованиям чертежа: по размерам, геометрической форме, правильности взаимного расположения обрабатываемых поверхностей и по степени их шероховатости.

Существует два принципиально отличных метода обеспечения точности при обработке заготовок:

### 1. Метод пробных проходов и промеров.

*Суть метода:* к обрабатываемой поверхности заготовки подводят режущий инструмент и снимают пробный слой материала, затем станок останавливается, производится замер контролируемого размера, определяется величина его отклонения от соответствующего размера на чертеже. Если отклонение не входит в допуск размера, то положение инструмента корректируется для достижения размера на чертеже. Таким образом, положение инструмента корректируется до тех пор, пока контролируемый размер не будет соответствовать размеру на чертеже. Метод пробных проходов и промеров, как правило, используют при единичном и мелкосерийном производстве, а также при опытном и ремонтном.

*Достоинства:* возможно получить точный размер на неточном оборудовании; метод пробных проходов и промеров позволяет избавиться от погрешности, вызываемой износом инструмента; в некоторых случаях позволяет рабочему избавиться от необходимости использовать или изготавливать сложную оснастку типа кондукторов, поворотных и делительных приспособлений при использовании разметки на заготовке.

*Недостатки:* появление брака по вине рабочего; низкая производительность обработки из-за больших временных затрат на промеры, проходы и разметку.

### 2. Метод автоматического получения размеров на настроенных станках.

*Суть метода:* при обработке заготовок станок предварительно настраивается таким образом, чтобы требуемая точность достигалась автоматиче-

ски без промежуточных промеров заготовки. Этот метод, как правило, используют при серийном, крупносерийном и массовом производствах.

*Достоинства:* высокая производительность; повышение точности и снижение количества бракованных изделий; не требует высокой квалификации рабочего; повышение экономичности производства.

*Недостатки:* использование точной оснастки, высокой квалификации наладчика, необходимость правильного выбора технологических баз и методов установки и закрепления заготовки.

Каждый из рассмотренных методов неизбежно сопровождается погрешностями обработки, вызываемыми различными причинами систематического и случайного характера.

Систематические погрешности не изменяются при обработке одной заготовки или нескольких партий, возникают под влиянием постоянно действующего фактора (например, погрешность от износа режущего инструмента, погрешность от тепловой деформации системы и т. д.).

Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества не связанных между собой факторов, их появление не подчиняется никакой видимой закономерности, могут иметь различное значение, поэтому представляется возможным только определение пределов изменения погрешности (например, погрешность базирования, погрешность от приспособления и т. д.).

В совокупности эти погрешности формируют суммарную погрешность обработки, в результате чего заданные по технологии параметры точности (размеры, форма и взаимное расположение) получают отклонения. Сумма этих отклонений (суммарная погрешность) может находиться в пределах заданного технологического допуска на размер, но может и превысить его. В таком случае изделие может получиться бракованным. Для предотвращения брака следует найти причину и ликвидировать возникшие нарушения [5].

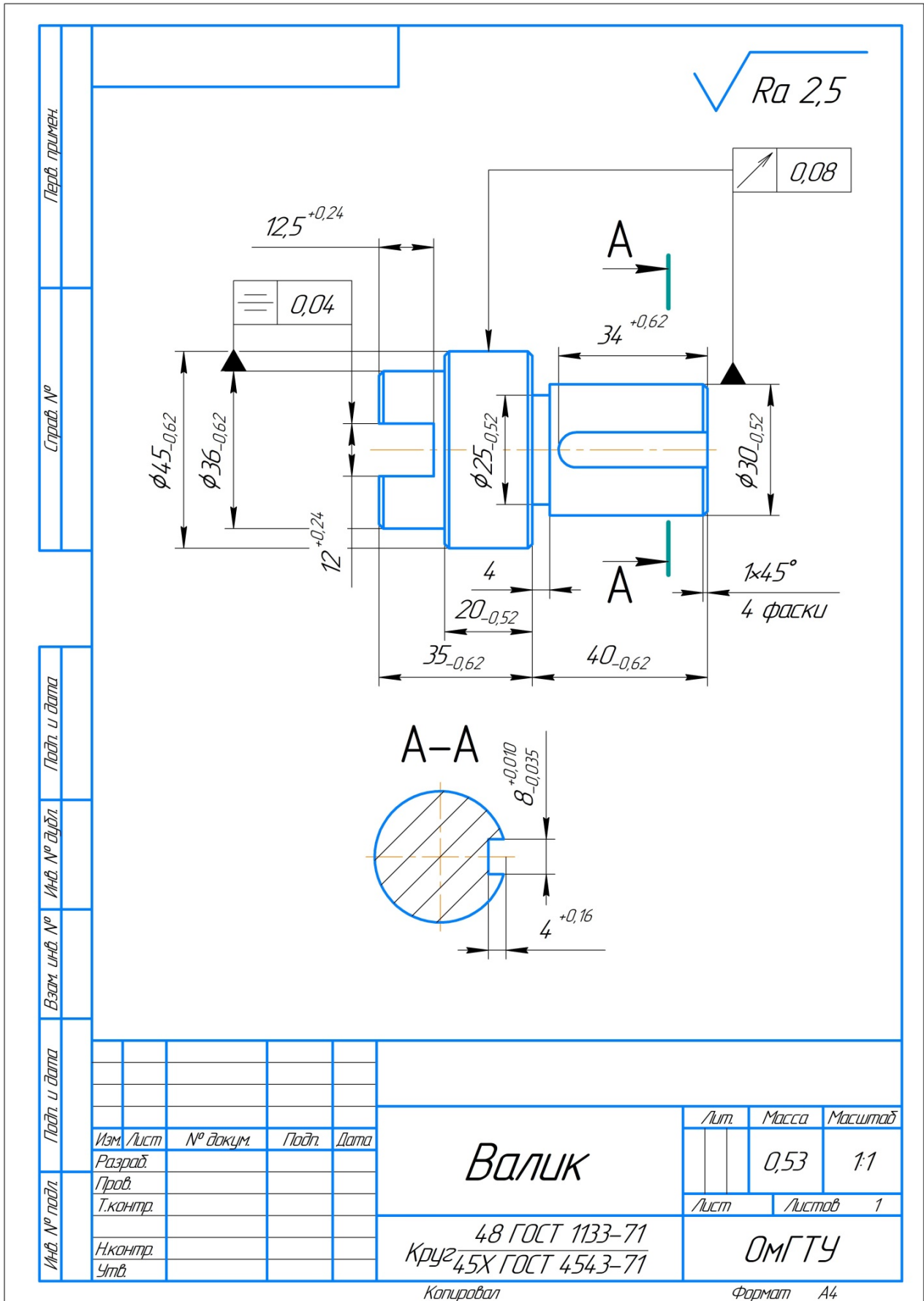


Рис. 4.1. Чертеж детали «Валик»



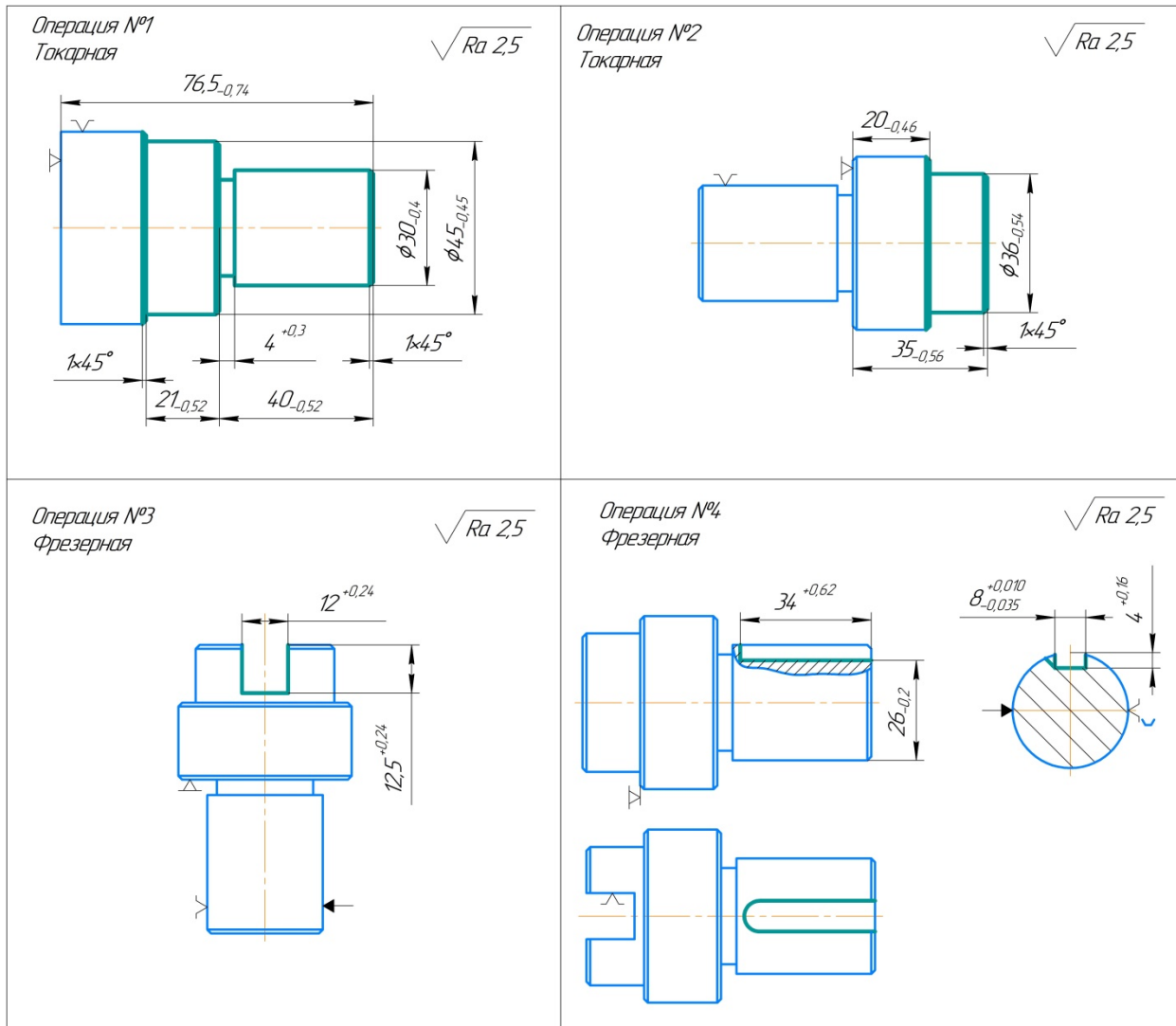


Рис. 4.2. Технологический процесс изготовления детали «Валик»

Различают несколько видов погрешностей:

**1. Погрешность установки заготовок в приспособление  $\epsilon$ .** Данная погрешность состоит из погрешности базирования  $\epsilon_6$ , погрешности закрепления  $\epsilon_3$  и погрешности положения заготовки  $\epsilon_{пр}$ , вызываемой неточностью приспособления.

*Погрешностью базирования* называют разность предельных расстояний от измерительной базы заготовки до установленного на размер инструмента. Эта погрешность возникает при несовмещении измерительной и технологической баз заготовки при обработке по методу автоматического получения размеров на настроенных станках.

В качестве примеров на рис. 4.3 приведены три случая обработки поверхности, выделенной утолщенной линией, – с установкой валика на плоскость (рис. 4.3, а), валика на призму ( $\alpha = 60^\circ$ ) (рис. 4.3, б), кубика на плоскость (рис. 4.3, в).

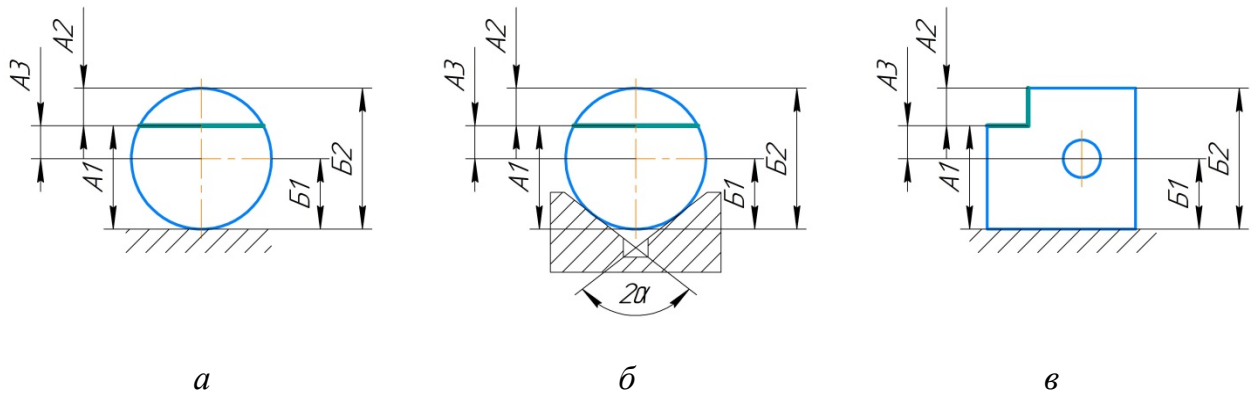


Рис. 4.3. Схемы установки заготовок

В каждом из этих случаев размер обработки может быть задан одним из трёх способов:  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ . В соответствии с приведёнными выше положениями при обработке на настроенных станках точность размеров  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  будет зависеть от погрешности базирования. С помощью элементарных расчётов можно определить её величину (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Формулы для расчёта величины погрешности базирования**

Характер установки	Погрешность базирования		
	$E\delta_{A1}$	$E\delta_{A2}$	$E\delta_{A3}$
Валик на плоскость	0	$\delta_D$	$\frac{1}{2}\delta_D$
Валик на призму	$0,5\delta_D \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right)$	$0,5\delta_D \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$	$0,5\delta_D \left( \frac{1}{\sin \alpha} \right)$
Кубик на плоскость	0	$\delta_{B2}$	$\delta_{B1}$

*Погрешностью закрепления* называется разность предельных расстояний от измерительной базы до установленного на размер инструмента в результате смятия неровностей и других деформаций базовых поверхностей под действием силы закрепления.

Величина смятия и деформации  $Y$  определяется эмпирическими зависимостями вида

$$Y = C \cdot Q^n \cdot \cos \beta, \quad (4.1)$$

где  $C$  – коэффициент, определяющий условия контакта, материал, твёрдость и шероховатость базирующих поверхностей;  $Q$  – сила, действующая на опору;  $\beta$  – угол между направлением выдерживаемого размера и направлением смещения измерительной базы.

Величины, входящие в эту формулу, не постоянны для партии заготовок, поэтому возникает погрешность закрепления как разность предельных значений смятия и деформации:

$$\varepsilon_3 = (Y_{\max} - Y_{\min}) \cos \beta. \quad (4.2)$$

Главную роль здесь играет угол  $\beta$ , определяющий взаимное расположение направления выдерживаемого размера и направления сил закрепления.

Для ориентировочных расчётов погрешность закрепления может быть определена не расчётным, а опытным путём. Примерные величины опытных данных приведены в табл. 4.2.

**Погрешность закрепления заготовок при установке на опорные пластинки приспособлений с винтовыми зажимами**

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления, мкм		
	Поперечные размеры заготовок, мм		
	30–50	50–80	80–120
Литье в песчаную форму, горячая штамповка, горячекатаный прокат	120	135	150
Предварительно обработанная	70	80	90
Чисто обработанная	60	70	80

*Погрешность, связанная с приспособлением, зависит от его конструкции, точности и от погрешности присоединения к станку. Подробно это рассматривается в лекционном курсе. В приближенных расчётах эту погрешность принимают 10–30 % от допуска на анализируемый размер.*

**Погрешность от деформации технологической системы.** Под воздействием сил резанья звенья системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) деформируются. Силы резанья не постоянны. Они изменяются при обработке партии заготовок и даже в пределах одной заготовки из-за нестабильности величины припуска, твёрдости материала, состояния режущей кромки инструмента. В результате этого возникает погрешность в выдерживаемом размере как разность предельных значений деформации:

$$\Delta Y = Y_{\max} - Y_{\min}. \quad (4.3)$$

Эту же величину можно определить упрощённым способом: в долях погрешности снимаемого припуска (известно, что благодаря явлению ко-

пирования погрешностей часть погрешностей предыдущей обработки копируется). Расчётная формула следующая:

$$\Delta Y = K_{yt} \cdot \rho_z, \quad (4.4)$$

где  $K_{yt}$  – коэффициент уточнения, определяющий долю оставшейся погрешности (принимается 0,05);  $\rho_z$  – погрешность припуска или напуска (может быть определена по графу размерной цепи припуска или напуска).

**Погрешность настройки станка.** Периодическая смена или регулировка положения режущего инструмента вызывает необходимость каждый раз настраивать станок на выполняемый размер. При каждой смене/регулировке инструмента нельзя обеспечить такую установку, чтобы инструмент занимал совершенно одинаковое положение на станке. Существует два метода настройки инструмента на размер – по пробным деталям и по эталону. Погрешность настройки зависит от принятого метода и средств настройки. Табличные значения погрешностей настройки в зависимости от способа установки инструмента даны в табл. 4.3.

Таблица 4.3

**Погрешность установки инструмента по эталону**

Способ установки инструмента	$\Delta H$ , мкм
Подведение инструмента до касания с эталоном:	
– непосредственно	20–30
– через бумажный щуп	10–20
– с помощью металлического щупа	7–10
– с помощью индикатора	5–15

**Погрешности от размерного износа инструмента.** В процессе механической обработки резанием происходит износ режущих кромок инструмента в результате трения их о структуру и обрабатываемую поверхность, что вызывает появление погрешности от размерного износа

инструмента  $\Delta U$ . Эта погрешность относится к систематическим и имеет значительное влияние на точность размеров при обработке на предварительно настроенных станках, рассчитывается по формуле

$$\Delta U = U_H + U_0 \cdot L, \quad (4.5)$$

где  $U_H$  – начальный износ;  $U_0$  – относительный износ;  $L$  – длина пути резания.

В начальный период резания происходит приработка инструмента (начальный износ  $U_H$ ). Величина начального износа для углеродистых и легированных сталей при обработке твердосплавным режущим инструментом составляет примерно 2–8 мкм.

Относительный износ  $U_0$  (износ в микрометрах на километр пути резания) характеризуется нормальным износом инструмента, пропорциональным пути резания (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Относительный износ инструмента  $U_0$ , мкм/км

Материал инструмента	Материал детали	
	Углеродистая сталь	Легированная сталь
T15K6	5–7	9–10
T5K10	8	12–13

Путь резания определяется простейшими расчётами. Для фрезерования можно предложить самостоятельно упрощённый подход для приблизительной оценки длины пути. Для точения он равен:

$$L = \frac{\pi D l}{1000 S} \text{ (м)}, \quad (4.6)$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой заготовки, мм;  $l$  – длина обработки, мм;  $S$  – подача, мм/об.

**Погрешность от тепловой деформации.** Основными причинами нагревания станков и их отдельных частей (шпиндельных бабок, столов, станин и т. д.) являются потери на трение в подвижных механизмах станков, гидроприводах, электромоторах, а также теплопередача от охлаждающей жидкости, отводящей теплоту из зоны резания, и нагревание от внешних источников. В результате все звенья технологической системы нагреваются и претерпевают деформацию.

Тепловое расширение (деформация) в наиболее простом случае определяется по формуле

$$\Delta T = \alpha \cdot L \cdot \Delta t, \quad (4.7)$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент линейного расширения (например, 0,000012);

$L$  – выдержанный размер;

$\Delta t$  – разность температур (до и во время резания).

Величина  $\Delta t$  зависит от многих факторов, в частности при обработке углеродистой стали температура в среднем составляет от 100 до 400 °С при использовании смазывающей охлаждающей жидкости.

**Погрешности, зависящие от геометрической точности станков.**

Погрешности изготовления и сборки станков ограничиваются нормами ГОСТов, определяющими допуски и методы выверки геометрической точности станков  $\Delta_{ст}$ , т. е. точности станков в ненагруженном состоянии. Так как эта погрешность относится к систематической, то должна поддаваться предварительному анализу и расчету. Однако для приблизительных расчетов можно воспользоваться ориентировочными данными, относя-

щимися к станкам нормальной точности, предназначенным для обработки заготовок средних размеров в пределах допусков 7–9 квалитетов точности (табл. 4.5).

Таблица 4.5

**Характеристики геометрической точности станков общего назначения**

Вид погрешности	Значение, мм
Радиальное биение шпинделей токарных и фрезерных станков	0,01–0,015
Торцевое (осевое) биение шпинделей	0,01–0,02
Прямолинейность и параллельность направляющих токарных и продольно-строгальных станков	0,05–0,08
Прямолинейность продольных направляющих и столов фрезерных станков на длине 1000 мм	0,03–0,04

**Погрешности, зависящие от геометрической точности и установки режущего инструмента.** В ряде случаев на точность выдерживаемого размера влияют точность режущего инструмента и точность его установки на станке. Так, для фрез эта точность определяется следующими данными (табл. 4.6).

Таблица 4.6

**Геометрическая точность фрез**

Фрезы	Предельное отклонение по наружному диаметру	Торцевое биение режущих кромок, мкм	Радиальное биение при установке, мкм
Концевые Ø 3–50 мм	V <sub>5</sub> ОСТ 1015	30–40	40
Цилиндрические Ø 40–100 мм, длиной 10–160 мм	V <sub>8</sub> ОСТ 1010	20	70

Выше были рассмотрены основные погрешности, влияющие на точность обработки детали. Воздействие каждой них рассматривается в каждом конкретном случае (не всегда те или иные погрешности оказывают



влияние на результат). Поэтому возникает задача – определить, какие из факторов необходимо учитывать в конкретных условиях:

1) характер размера (относится ли размер к отдельной поверхности или координирует взаимное положение двух поверхностей);

2) условия обработки (обработка производится за одну установку или при разных установках);

3) метод получения размера (автоматическое получение размера на настроенном станке или методом пробных проходов).

**Определение суммарной погрешности.** Вначале необходимо отнести все выявленные при анализе погрешности к одной из двух групп – случайные или постоянные, а затем их просуммировать. Суммирование погрешностей ведётся с учетом реальных закономерностей проявления погрешностей при обработке.

Случайные погрешности суммируются по законам математической статистики. Упрощённая формула суммирования имеет следующий вид:

$$\Delta_{\text{случ}} = 1,2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}. \quad (4.8)$$

Постоянные погрешности суммируются алгебраически, так как могут в ряде случаев компенсировать друг друга.

$$\Delta_{\text{сист}} = |\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|. \quad (4.9)$$

Формула для определения суммарной погрешности обработки имеет следующий вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{случ}} + \Delta_{\text{сист}}. \quad (4.10)$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя задание с исходными данными:

- размер, подлежащий анализу ( $12,5^{+0.24}$  или  $4^{+0.16}$ );
- применявшийся метод получения размера (метод автоматического получения размеров на настроенных станках / метод пробных проходов и промеров).

2. Произвести измерение заданного размера у восьми деталей. Сравнить результаты замеров с предельными величинами заданного размера и его допуском. Определить у каждой из деталей степень годности (годна/не годна) и вид брака при наличии (исправим/не исправим).

3. Для выяснения причин нарушения заданной точности произвести анализ состава погрешностей, исходя из конкретных условий обработки (выбрать погрешности, влияющие на точность анализируемого размера).

4. Определить характер каждой из погрешностей (случайная/постоянная).

5. Определить расчётную величину выявленных погрешностей, произвести расчет суммарной погрешности. Результат расчета проанализировать, сравнив суммарную погрешность с допускаемой погрешностью на анализируемый размер, сделать выводы.

6. Найти доминирующие погрешности, предложить меры по их устранению или уменьшению. Подтвердить предложения расчётом суммарной погрешности по новым данным.

7. Составить отчет о работе (прил. Г). Отчет должен содержать:

- наименование и краткое содержание работы;
- технологический операционный эскиз;
- замеры деталей с указанием степени годности и вида брака;
- расчёт погрешностей;
- выводы и заключения по каждому разделу работы.

## Контрольные вопросы

1. Какие погрешности определяют суммарную погрешность обработки?
2. Что такое погрешность установки и какие у нее составляющие?
3. Как рассчитать погрешность базирования?
4. От каких факторов зависит погрешность закрепления?
5. Какие существуют методы настройки станка?
6. Какие условия необходимо учитывать при анализе состава погрешностей?
7. Назовите пример погрешности, которая не может влиять на размер при работе методом пробных проходов?
8. Назовите пример погрешности, которая не может влиять на размер при работе на предварительно настроенном станке?
9. Что такое доминирующая погрешность?
10. Какие виды брака вы знаете?
11. Что можно определить по величине суммарной погрешности?
12. Какие меры необходимо предпринять, чтобы снизить влияние или избавиться от погрешности закрепления/ от погрешности базирования/ от погрешности приспособления?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики : межгос. стандарт : изд. офиц. : утв. и введ. в действие Постановлением Гос. комитета стандартов Совета Министров СССР от 23.04.73 № 995 : взамен ГОСТ 2789–59 : дата введ. 1975-01-01 // Кодекс : офиц. портал. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003160> (дата обращения: 20.04.2022). – Режим доступа: открытый.

2. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учеб. / А. А. Маталин. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 512 с. – ISBN 978-5-8114-0771-2. – URL: <https://e.lanbook.com/book/71755> (дата обращения: 15.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Нестеренко, Г. А. Технология машиностроения : учеб. пособие / Г. А. Нестеренко ; Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – 1 CD-ROM (460 Кб). – Загл. с этикетки диска.

4. Блюменштейн, В. Ю. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов ; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово : Изд-во КузГТУ, 2017. – 308 с. – ISBN 978-5-906888-61-7. – URL: <https://e.lanbook.com/book/71755> (дата обращения: 20.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Технология машиностроения. Практикум : учеб. пособие / А. А. Желобов, А. М. Федоренко, Ж. А. Мрочек [и др.] ; под ред. А. А. Желобова. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 336 с. – ISBN 978-985-06-2410-9. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/48020.html> (дата обращения: 20.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

#### «ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН»

Цель работы: \_\_\_\_\_

Исходные данные: деталь «Вал» ( $d = 22$  мм) – 3 шт.

1. Дать определение параметров шероховатости:

*Среднее арифметическое отклонение профиля* (\_\_\_) – \_\_\_\_\_

*Высота неровностей профиля по десяти точкам* (\_\_\_) – \_\_\_\_\_

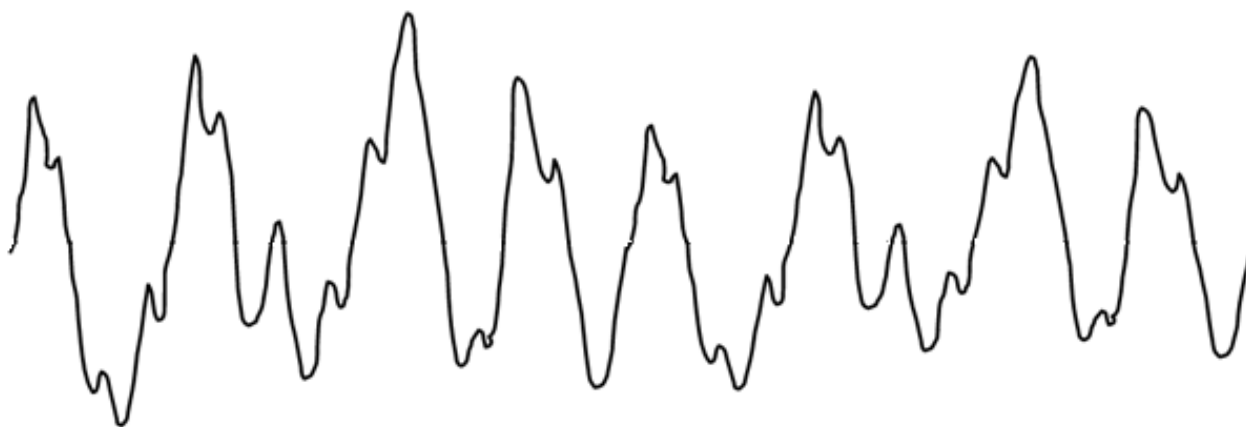
*Наибольшая высота неровностей профиля* (\_\_\_) – \_\_\_\_\_

*Средний шаг неровностей профиля* (\_\_\_) – \_\_\_\_\_

*Средний шаг местных выступов профиля* (\_\_\_) – \_\_\_\_\_

*Относительная опорная длина профиля* (\_\_\_) – \_\_\_\_\_

2. Перенести параметры на профилограмму.



3. Перечислить факторы, влияющие на формирование микрорельефа поверхности детали.

4. Заполнить таблицы на основании проведенных измерений и по результатам построить графические зависимости шероховатости поверхности от режимов резания; сделать выводы.

Зависимость шероховатости от скорости резания

№ образца	№ ступени	Режимы обработки				Величина шероховатости, определенная прямым методом	Среднее значение шероховатости	Величина шероховатости, определенная косвенным методом	Значение отсечки шага
		Число оборотов $n$ , об/мин	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	Глубина резания $t$ , мм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	1	290		0,04	0,5				
	2	430							
	3	520							
	4	665							
	5	785							
	6	890							
	7	1130							
	8	2000							



Вывод:

Зависимость шероховатости от скорости подачи

№ образца	№ ступени	Режимы обработки				Величина шероховатости, определенная прямым методом	Среднее значение шероховатости	Величина шероховатости, определенная косвенным методом	Значение отсечки шага
		Число оборотов $n$ , об/мин	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	Глубина резания $t$ , мм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
II	1	890		0,03	0,5				
	2			0,04					
	3			0,06					
	4			0,085					
	5			0,115					
	6			0,165					
	7			0,245					
	8			0,335					



Вывод:

Зависимость шероховатости от глубины резания

№ образца	№ ступени	Режимы обработки			Глубина резания $t$ , мм	Величина шероховатости, определенная прямым методом	Среднее значение шероховатости	Величина шероховатости, определенная косвенным методом	Значение отсечки шага	
		Число оборотов $n$ , об/мин	Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
III	1	520		0,04	0,25					
	2					0,5				
	3						1,0			
	4				1,5					
	5					2,0				
	6				2,5					
	7					3,0				
	8				3,5					



Вывод:



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**ОТЧЕТ**  
**ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2**  
**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВОК ПОД ДЕЙСТВИЕМ**  
**ЗАЖИМНЫХ СИЛ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ИХ ЗАКРЕПЛЕНИЯ**  
**В ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ»**

Цель работы: \_\_\_\_\_

Исходные данные: деталь «Кольцо» необходимо обработать – расточить отверстие, при этом должен быть выдержан допуск на отклонение от цилиндричности 0,08 мм.

**1. Экспериментальная часть.**

Результаты замеров сведены в таблицы:

Сила зажима	Фактическое (экспериментальное) значение.		
	Длина заготовки _____ Схема закрепления _____		
	Прогиб $\sigma_1$	Выпучивание $\sigma_2$	Погрешность $\Delta Z$
50 кгс			
100 кгс			
150 кгс			
200 кгс			
250 кгс			
300 кгс			

Схема закрепления	Фактическое (экспериментальное) значение.		
	Сила зажима _____ Длина заготовки _____		
	Прогиб $\sigma_1$	Выпучивание $\sigma_2$	Погрешность $\Delta Z$
2-опорная			
3-опорная			
4-опорная			

Длина заготовки	Фактическое (экспериментальное) значение.		
	Сила зажима _____ Схема закрепления _____		
	Прогиб $\sigma_1$	Выпучивание $\sigma_2$	Погрешность $\Delta Z$
20 мм			
30 мм			
50 мм			

## 2. Расчётная часть

Результаты расчётов сведены в таблицы:

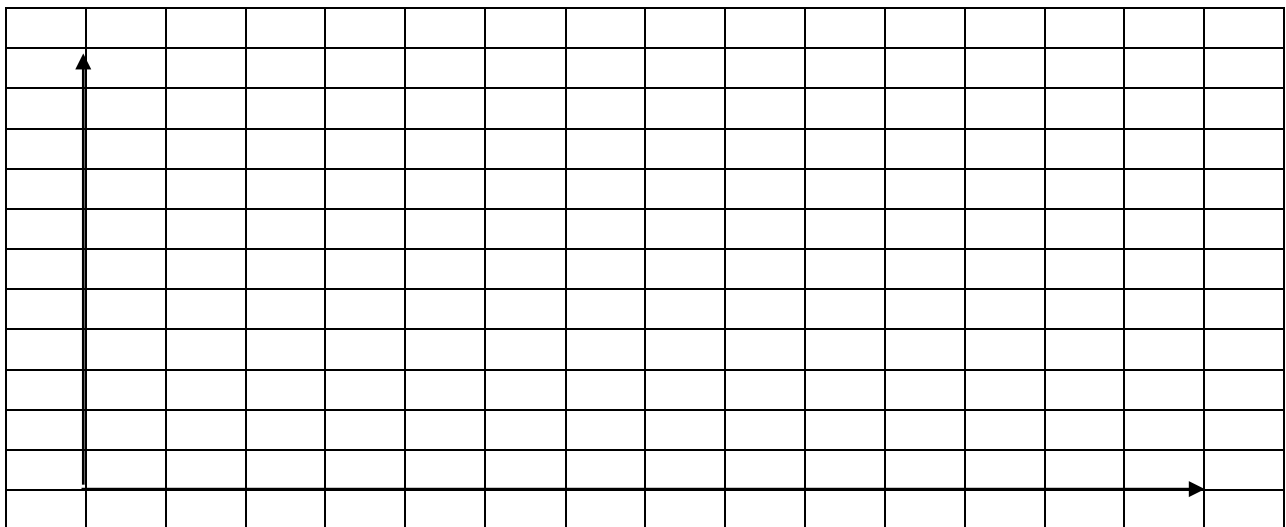
Сила зажима	Расчётное значение. Длина заготовки _____ Схема закрепления _____		
	Прогиб $\sigma_1$	Выпучивание $\sigma_2$	Погрешность $\Delta Z$
50 кгс			
100 кгс			
150 кгс			
200 кгс			
250 кгс			
300 кгс			

Схема закрепления	Расчётное значение. Сила зажима _____ Длина заготовки _____		
	Прогиб $\sigma_1$	Выпучивание $\sigma_2$	Погрешность $\Delta Z$
2-опорная			
3-опорная			
4-опорная			

Длина заготовки	Расчётное значение. Сила зажима _____ Схема закрепления _____		
	Прогиб $\sigma_1$	Выпучивание $\sigma_2$	Погрешность $\Delta Z$
20 мм			
30 мм			
50 мм			

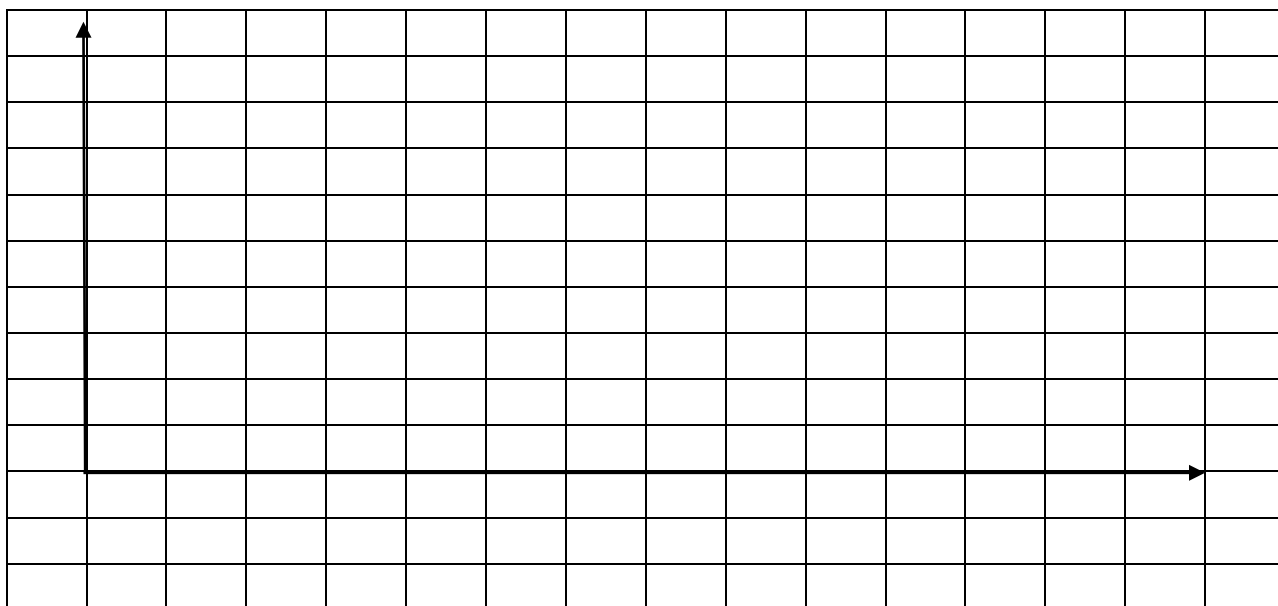
По результатам измерений построены графические зависимости:

*Влияние длины заготовки на погрешность формы*



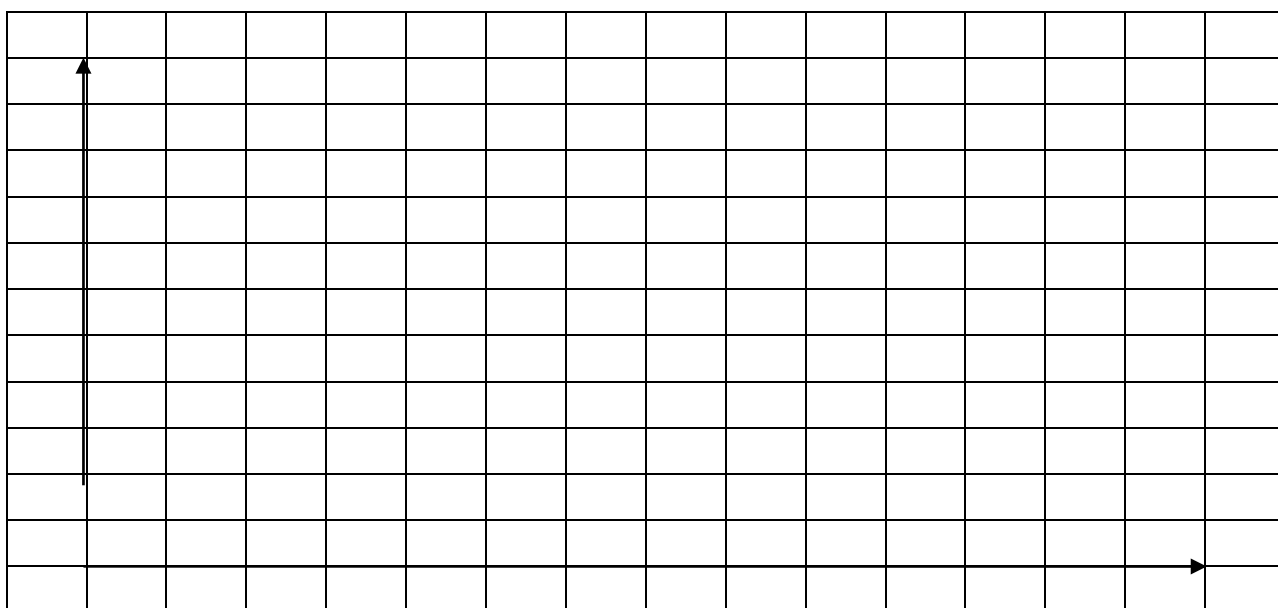
Вывод \_\_\_\_\_

*Влияние схемы закрепления на погрешность формы*



*Вывод* \_\_\_\_\_

*Влияние силы зажима на погрешность формы*



*Вывод* \_\_\_\_\_

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## ОТЧЕТ

### По ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3

#### «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ УЗЛА»

Цель работы: \_\_\_\_\_

Исходные данные: сборочный чертеж со спецификацией, червячный редуктор.

Тип производства – \_\_\_\_\_

Организационная форма сборки: \_\_\_\_\_

#### Маршрутный технологический процесс сборки изделия «Редуктор червячный»

№ операции	Содержание операции	Оборудование	Норма шт. времени, мин

#### Технические условия:

ТУ1 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

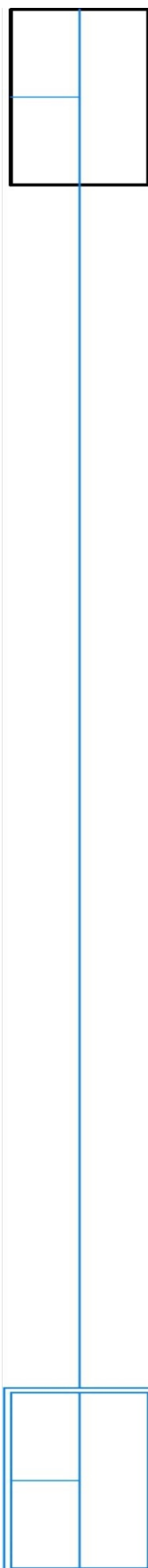
\_\_\_\_\_

#### Контроль:

К1 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**Технологическая схема общей сборки «Редуктор червячный»**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**Отчет**  
**ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4**  
**«ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН НАРУШЕНИЯ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ**  
**РАЗМЕРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ»**

Цель работы: \_\_\_\_\_

Исходные данные: анализируемый размер \_\_\_\_\_

метод обеспечения точности \_\_\_\_\_



Технологический операционный эскиз

**1. Экспериментальная часть.**

Результаты замеров сведены в таблицу:

№ п/п	Действительный размер	Заключение о годности	Вид брака
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

**2. Расчетная часть.**

1.  $\varepsilon_6$  – погрешность базирования: \_\_\_\_\_

2.  $\varepsilon_3$  – погрешность закрепления: \_\_\_\_\_

3.  $\varepsilon_{пр}$  – погрешность приспособления: \_\_\_\_\_

4.  $\Delta Y$  – погрешность от деформации технологической системы: \_\_\_\_\_

5.  $\Delta H$  – погрешность настройки инструмента: \_\_\_\_\_

6.  $\Delta U$  – погрешность от размерного износа инструмента: \_\_\_\_\_

7.  $\Delta T$  – погрешность от тепловой деформации: \_\_\_\_\_

8.  $\Delta_{ст}$  – погрешность, зависящая от геометрической точности станков: \_\_\_\_\_

9.  $\Delta_{и}$  – погрешность, зависящая от геометрической точности и установки инструмента: \_\_\_\_\_

10. Определение суммарной погрешности: \_\_\_\_\_

$\Delta_{случ} =$  \_\_\_\_\_

$\Delta_{сист} =$  \_\_\_\_\_

$\Delta_{\Sigma} =$  \_\_\_\_\_

Вывод: \_\_\_\_\_

Доминирующая погрешность: \_\_\_\_\_

Предложения по уменьшению величины доминирующей погрешности: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_