

Министерство образования Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Лабораторный практикум

для студентов специальностей

1-38 01 01 «Механические и электромеханические  
приборы и аппараты»

1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и  
системы»

1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного  
производства»

1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация»

Минск  
БНТУ  
2019

**СОСТАВИТЕЛИ:**  
М.Г.Киселев, В.П.Луговой  
М.И.Филонова, Д.А.Шишурин

Лабораторный практикум предназначен для студентов специальностей 1-38 01 01 «Механические и электромеханические приборы и аппараты», 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», 1-52 02 01 «Технология и оборудование ювелирного производства» и 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация» при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технология приборостроения».

Описание лабораторных работ, приведенных в практикуме, включает следующие разделы: цель работы, материалы, инструменты и принадлежности к работе, основные положения, где приводятся краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы, порядок выполнения работы, содержание отчета, литература и контрольные вопросы.

## **Содержание**

<b>Лабораторная работа № 1</b>	
<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ЛИТЬЕМ .....</b>	<b>4</b>
<b>Лабораторная работа № 2</b>	
<b>ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ.....</b>	<b>24</b>
<b>Лабораторная работа № 3</b>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ .....</b>	<b>41</b>
<b>Лабораторная работа №4</b>	
<b>СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ НА НАСТРОЕННОМ СТАНКЕ.....</b>	<b>58</b>
<b>Лабораторная работа № 5</b>	
<b>СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....</b>	<b>79</b>
<b>Лабораторная работа № 6</b>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ .....</b>	<b>98</b>
<b>Лабораторная работа № 7</b>	
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА.....</b>	<b>117</b>
<b>Лабораторная работа № 8</b>	
<b>ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ. ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ .....</b>	<b>131</b>

## **Лабораторная работа № 1**

### **ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ЛИТЬЕМ**

#### **Цель работы**

1. Изучить литейные свойства сплавов и элементы литейной формы
2. Изучить последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям.
3. Получить практические навыки изготовления восковых моделей с помощью резиновой пресс-формы
4. Изучить конструкции кокилей
5. Изучить технологический процесс изготовления отливок способом литья в кокиль
6. Изучить способы литья под давлением
7. Получить практические навыки получения отливок способом литья в кокиль
8. Изучить способ и разновидности получения отливок центробежным литьем
9. Получить практические навыки получения отливок способом центробежного литья

#### **Инструменты и принадлежности к работе**

1. Модель металлического кокиля
2. Парафин
3. Тальк
4. Электроплитка
5. Емкость для плавления парафина
6. Устройство для центробежного литья
7. Гипс
8. Емкость для получения раствора гипса в воде
9. Пресс-форма из сырой резины
10. Металлическая модель
11. Моделировочный воск
12. Восковой инжектор

#### **Теоретическая часть**

##### **Основные сведения о литейном производстве**

**Литейное производство** - отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением фасонных заготовок и деталей путём заливки расплавленного металла в специальную форму, полость которой имеет конфигурацию

заготовки (детали). При охлаждении залитый металл затвердевает и в твердом состоянии сохраняет конфигурацию той полости, в которую он был залит. Конечную продукцию называют отливкой. В процессе кристаллизации расплавленного металла и последующего охлаждения формируются механические и эксплуатационные свойства отливок.

**Литье** - наиболее простой и дешевый способ формообразования заготовок. Литьем получают разнообразные конструкции заготовок массой от нескольких граммов до 300 т, длиной от нескольких сантиметров до 20 м, со стенками толщиной 0,4–500 мм. Область применения того или иного способа литья определяется объемом производства, требованиями к геометрической точности и шероховатости поверхности отливок, экономической целесообразностью и другими факторами.

### **Литейные свойства сплавов.**

Не все сплавы в одинаковой степени пригодны для изготовления фасонных отливок. Так, из одних сплавов (серого чугуна, силумина) можно легко изготовить отливку сложной конфигурации, а из других (титановых сплавов, легированных сталей) получение таких отливок связано с определенными трудностями. Получение качественных отливок, без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, к основным из которых относят:

- жидкотекучесть;
- усадку сплавов;
- газопоглощение;
- ликвацию.

**Жидкотекучесть** - способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести литейные сплавы заполняют все элементы литейной формы, а при низкой - полость формы заполняется частично и в узких местах образуются недоливы. Жидкотекучесть сплавов определяют по специальным пробам, а за меру жидкотекучести принимают длину заполненной спирали в литейной форме. В зависимости от жидкотекучести сплава выбирают минимальную толщину стенок отливок.

**Усадка** – процесс уменьшения объема отливки при охлаждении, начиная с некоторой температуры жидкого металла в литейной форме до температуры окружающей среды. Различают линейную и объемную усадки, которые определяют в процентах. Так относительная линейная усадка  $K_{\text{л}}$  определяется следующим приближенным соотношением:

$$K_{\text{л}} = \frac{l_{\phi} - l_{\text{отл}}}{l_{\phi}} \cdot 100\%,$$

где  $l_{\phi}$  – размер формы в мм; – размер отливки при температуре 20 °C, мм.

Относительная объемная усадка  $K_{об}$  определяется:

$$K_{об} = \frac{v_{\phi} - v_{отл}}{v_{отл}} \cdot 100\%,$$

где  $v_{\phi}$  и – объем формы и отливки при температуре 20 °С.

Изготавлять отливки из сплавов с повышенной усадкой сложно, так как в массивных частях отливки образуются усадочные раковины и усадочная пористость. Для предупреждения образования усадочных раковин предусматривают установку прибылей – дополнительных резервуаров с расплавленным металлом для питания отливок в процессе их затвердевания.

**Газопоглощение** – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять, водород, азот и другие газы. При последующем охлаждении и затвердевании растворимость газов уменьшается и в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры. Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы. С целью уменьшения газонасыщенность сплавов применяют плавление в вакууме или в среде инертных газов.

**Ликвация** – неоднородность химического состава в различных частях отливки. Ликвация зависит от химического состава сплава, конфигурации отливки, скорости охлаждения и ряда других факторов.

### Элементы литейной формы.

Литейная форма – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

На рисунке 1.1, *a* показана литейная форма для получения отливки тройника (рисунок 1.1, *б*).

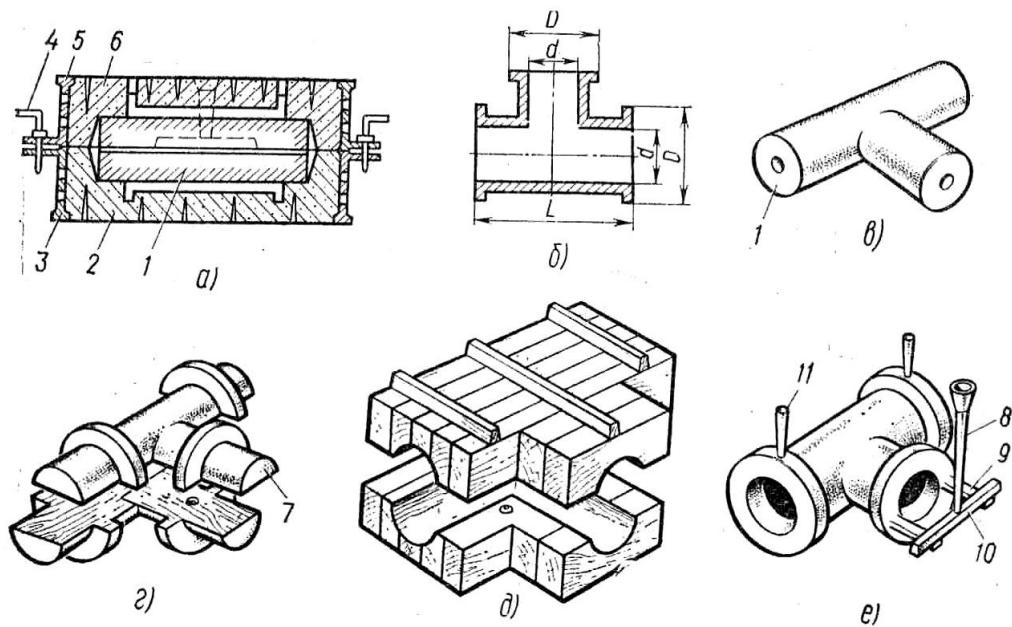


Рисунок 1.1 – Литейная форма и ее элементы

Литейная форма обычно состоит из нижней 2 и верхней 6 полуформ, которые изготавливают по литейным моделям 7 (рисунок 1.1, г) в литейных опоках 3, 5. Литейная опора-приспособление предназначена для удержания формовочной смеси при приготовлении формы. Верхнюю и нижнюю полуформы взаимно ориентируют с помощью цилиндрических металлических штырей 4, вставляемых в отверстия приливов у опок.

Для образования полостей, отверстий или иных сложных контуров в форме устанавливают литейные стержни 1, которые фиксируют посредством выступов (стержневых знаков), входящих в соответствующие впадины форме. Литейные стержни изготавливают по стержневым ящикам (рисунок 1.1, д). Для подвода расплавленного металла в полость литейной формы и её заполнения, и питания отливки в процессе затвердевания металла используют литниковую систему 8-11. После заливки расплавленного металла в полости литейной формы, его охлаждении и затвердевания форму разрушают, извлекают готовую отливку (рисунок 1.1, е).

### **Литье по выплавляемым моделям**

При этом способе отливки получают путем заливки расплавленного металла в формы, изготовленные по выплавляемым моделям, путем многократного погружения в керамическую сусpenзию с последующей обсыпкой и отверждением.

Разовые выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах из модельных составов, состоящих из двух или более легкоплавких компонентов (парафина, стеарина, воска, жирных кислот). Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям показана на рисунке 1.2.

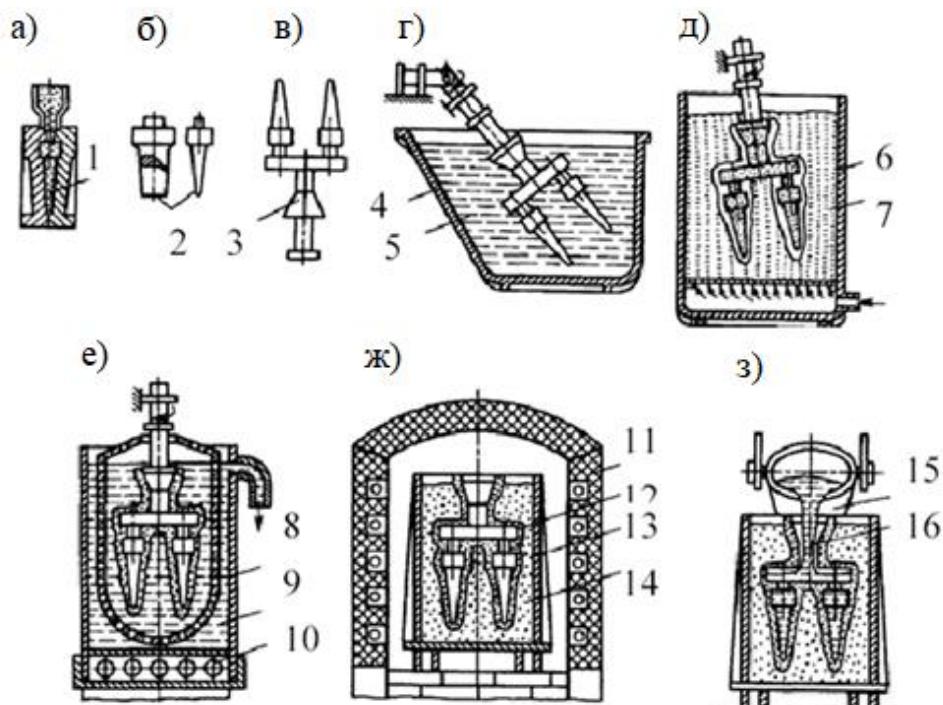


Рисунок 1.2 – Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям

Модельный состав обычно получают в пресс-формах (рисунок 1.2, а). После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рисунок 1.2, б) выталкивается в ванну с холодной водой. После этого модели собирают в модельные блоки 3 (рисунок 1.2, в) с общей литниковой системой (в один блок собирают от 2 до 100 моделей).

Керамическую сусpenзию изготавливают тщательным перемешиванием оgneупорных материалов (пылевидного кварца, электрокорунда и других) со связующим – гидролизованным раствором этилсиликата.

Формы по выплавляемым моделям изготавливают путем погружения модельного блока 3 в керамическую сусpenзию 5, налитую в емкость 4 (рисунок 1.2, г) с последующей обсыпкой кварцевым песком 7 в специальной установке 6 (рисунок 1.2, д). Затем модельные блоки сушат 2-2,5 часа на воздухе (или 20–40 минут в среде аммиака). На модельный блок последовательно наносятся 4-6 слоев оgneупорного покрытия с последующей сушкой каждого.

Модельный материал из полученной формы удаляют путем его выталкивания в горячей воде. Для этого ее на несколько минут погружают в бак 8, наполненный водой 9, которая устройством 10 нагревается до температуры 80-90°C (рисунок 1.2, е). При этом модельный состав расплывается, всплывая на поверхность ванны, откуда периодически удаляется для нового использования. Затем оболочки извлекаются из ванны, промываются водой и сушатся в шкафах в течении 1,5-2 часов при температуре 20°C. После этого оболочки 12 ставят вертикально в жаростойкой опоке 13 и вокруг засыпают сухой кварцевый песок 14 и уплотняют его. После этого форму помещают в электропечь 11 (рисунок 1.2, ж), в которой ее прокаливают не менее двух часов при температуре 900 – 950°C. При прокалке частички связующего спекаются с частичками оgneупорного материала, испаряется влага, выгорают остатки модельного состава. Формы сразу после прокалки, т.е. горячими заливают расплавленным металлом 16 из ковша 15 (рисунок 1.2, з). После охлаждения отливки форма разрушается. Путем механической обработки отливки отделяются от литников и производится его очистка.

Этот способ литья позволяет получать отливки с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью, что в отдельных случаях не требует последующей механической обработки. В общем случае припуск на обработку составляет 0,2-0,7 мм. Этот способ позволяет получить сложные по конфигурации отливки с толщиной стенки от 0,5 мм и массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов в массовом производстве.

Недостатки способа связаны с тем, что он представляет собой многооперационный и трудоемкий процесс. При этом возможно образование дефекта в виде окисленного и обезуглероженного слоя на глубине до 0,5 мм, возникающего из-за высокой температуры на поверхности формы при заливке металла, а также возникновение газовых пор и усадочных раковин.

## **Литье в кокиль.**

При этом способе литья отливки получают путем заливки расплавленного металла в кокиль. **Кокиль** – металлическая литейная форма, которая обеспечивает высокую скорость кристаллизации металла и формирования отливки. Кокиль изготавливают из чугуна, стали и других сплавов.

Способ литья в кокиль имеет преимущества перед литьём в песчаные формы. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от заливаляемого в них сплава: чем ниже температура заливаляемого сплава, тем больше их стойкость. При этом способе исключается применение формовочной смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок с высокими механическими свойствами. Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров с небольшими припусками на механическую обработку. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

К недостаткам этого способа литья относится высокая трудоёмкость изготовления и стоимость кокилей.

Существует опасность образования внутренних напряжений в отливке из-за отсутствия податливости металлической формы. В поверхностном слое кокильных чугунных отливок образуется структура цементита, что затрудняет их механическую обработку, поэтому необходима термическая обработка (отжиг) отливок.

В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 6 % стальных отливок, 11 % чугунных отливок. Этот способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производстве.

В зависимости от конфигурации и размеров отливки металлические формы делятся на неразъёмные и разъёмные.

**В неразъёмных формах** вся отливка целиком получается в одной форме (типа чаши). На рисунке 1.3 изображена неразъёмная вытряхиваемая форма. Ее применяют для получения простых отливок, имеющих достаточные уклоны на боковых стенках (плиты, коробки и т. п.).

Внутреннюю и внешнюю поверхности отливки в неразъёмном кокиле формируют при помощи стержней. Литниковая система делается внутри стержня. Такие металлические формы обычно закрепляются при помощи цапф на специальных стойках. После заливки производится поворот формы на 180° и удаляется (вытряхивается) отливка вместе со стержнем.

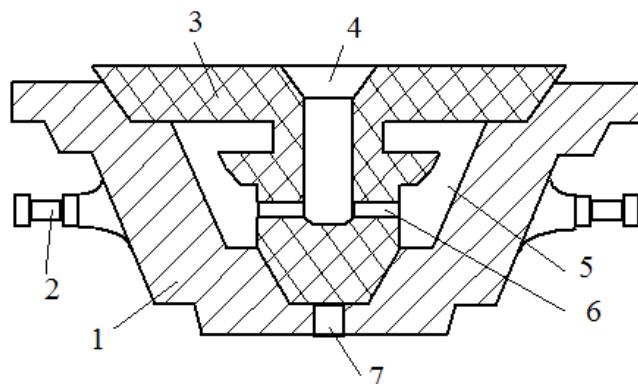


Рисунок 1.3 – Металлическая неразъёмная форма: 1 – корпус формы; 2 – цапфа для поворота формы при выбивке отливки; 3 – песчаный стержень; 4 – литниковая чаша со стояком; 5 – полость формы; 6 – питатели; 7 – вентиляционный канал

**Разъёмные формы** состоят из двух или более частей и, в свою очередь, разделяются на формы с горизонтальной, вертикальной и комбинированной плоскостями разъёма.

Металлическую форму с **горизонтальным разъёмом** (рисунок 1.4) применяют для таких же отливок, как и в неразъёмной форме, но с более сложной верхней поверхностью, образуемой рабочей частью верхней половины формы.

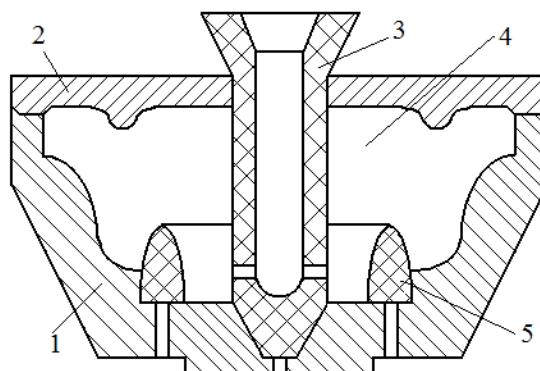


Рисунок 1.4 – Кокиль с горизонтальным разъёмом: 1 – нижняя часть формы; 2 – верхняя часть формы; 3 – центральный песчаный стержень; 4 – полость формы; 5 – нижний кольцевой стержень

Металлические формы с **вертикальным разъёмом** (рисунок 1.5) применяют для изготовления более разнообразных и сложных отливок (корпусные детали, литье блоков цилиндров автомобильных двигателей, крупные поршни, крышки с массивными фланцами и т. д.).

Металлические формы с комбинированным разъёмом применяют для отливки сложных по конфигурации деталей. Внутреннюю конфигурацию и отверстия в отливках получают с помощью стержней, песчаных или металлических.

Песчаные стержни применяют для отливок из стали и чугуна. Они обладают повышенной податливостью, газопроницаемостью и огнеупорностью. Однако чистота внутренней поверхности отливок хуже, чем при применении металлических стержней.

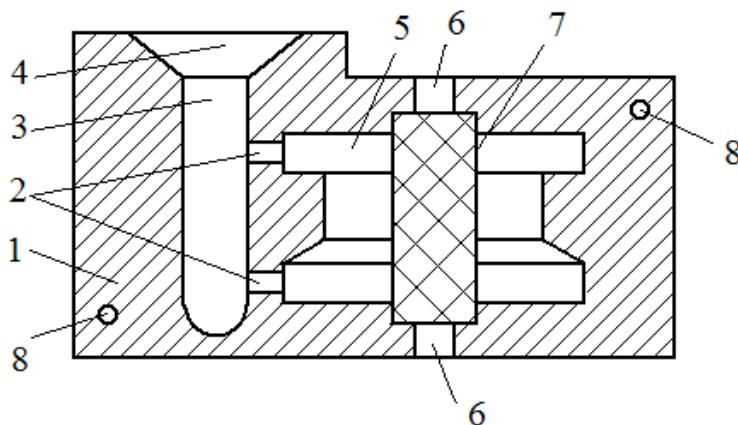


Рисунок 1.5 – Кокиль с вертикальным разъёмом, с песчаным стержнем:  
 1 – левая половина формы; 2 – каналы-питатели; 3 – стойк литниковой системы;  
 4 – литниковая воронка; 5 – полость формы; 6 – вентиляционные каналы;  
 7 – песчаный стержень; 8 – центрирующие отверстия

Металлические стержни применяют для сплавов с низкой температурой плавления, алюминиевых, магниевых и др. Металлические стержни, не обеспечивают свободной усадки отливки при охлаждении, поэтому они удаляются из отливки ещё во время затвердевания, перед выбивкой всей отливки из формы. Для удаления газов из кокиля по линии разъёма изготавливают газовые каналы и выпоры. Газовые каналы делают обычно глубиной 0,2–0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав, но легко удаляются газы.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования упрочнённого слоя на их поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их приготавливают из одного или нескольких огнеупорных материалов (кварцевой пыли, молотого шамота, графита, мела, талька и др.) и связующего материала (жидкого стекла, сульфидного щёлока и др.).

Механизировать и автоматизировать процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины – однопозиционные и карусельные. В этих машинах автоматизируют следующие технологические операции: открывание и закрывание кокилей, установку и удаление металлических стержней, выталкивание отливки из кокиля.

В металлических формах получают отливки чугунные от 10 г до 15 т, стальные от 0,5 г до 5 т и из цветных сплавов (медных, алюминиевых, магниевых) от 4 г до 400 кг

### Литье в оболочковые формы

Оболочковые формы (разъёмные, тонкостенные) изготавливают следующим образом (рисунок 1.6).

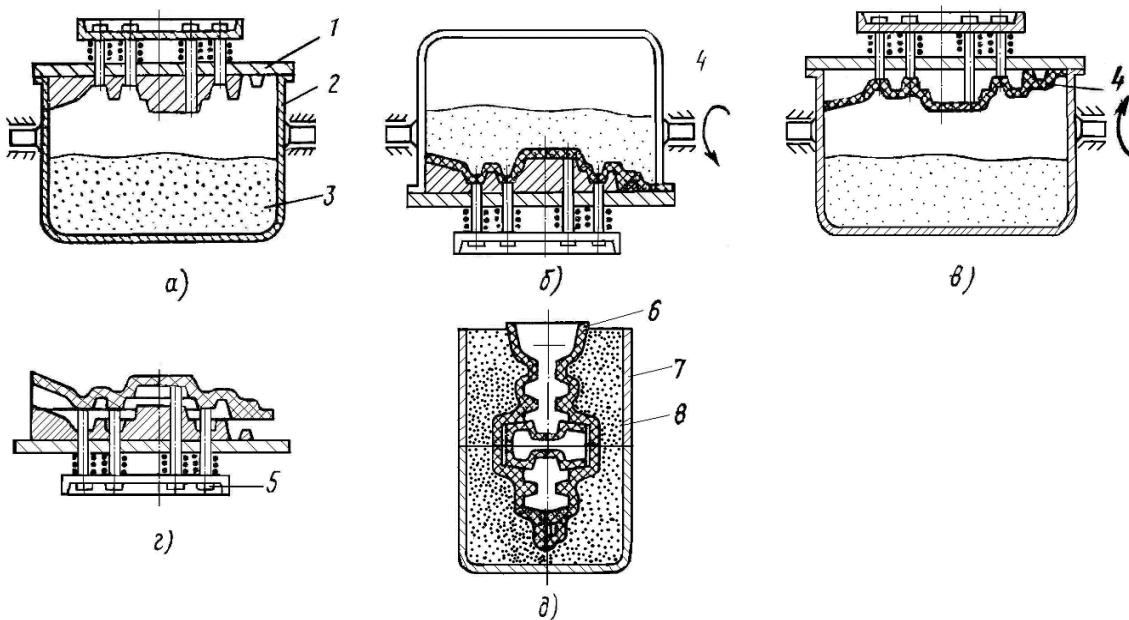


Рисунок 1.6 – Основные этапы изготовления оболочковых форм

Металлическую модельную плиту 1 (рисунок 1.6, *а*), нагретую до температуры 200-250°C, закрепляют на опрокидывающем бункере 2 с формовочной смесью 3 и поверчивают его на 180° (рисунок 1.6, *б*). Формовочная смесь, состоящая из мелкозернистого кварцевого песка (93-96 %) и термореактивной смолы (4-7 %), насыпается и выдерживается 10-30 с. От теплоты модельной плиты термореактивная смола в пограничном слое переходит в жидкое состояние, склеивает песчинки с образованием песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5-20 мм в зависимости от времени выдержки. После этого бункер возвращается в исходное положение (рисунок 1.6, *в*), излишки формовочной смесисыпаются на дно бункера, а модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и нагревается в печи при температуре 300-350°C в течение 1-1,5 мин. В результате термореактивная смола переходит в твердое необратимое состояние. Затем твердая оболочка снимается с модели специальными толкателями 5 (рисунок 1.6, *г*). Аналогичным образом изготавливают и вторую полуформу.

Готовые оболочковые полуформы склеивают быстротвердеющим kleem на специальных прессах, предварительно установив в них литейные стержни.

Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении. При заливке в вертикальном положении литейные формы 6 (рисунок 1.6, *д*) помещают в опоки-контейнеры 7 и засыпают кварцевым песком или металлической дробью 8 для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава. Выбивку отливок проводят на специальных выбивных или вибрационных установках.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок и снизить припуски на их дальнейшую механическую обработку. В оболочковых формах изготавливают отливки с толщиной стенки 3-15 мм и массой 0,25-100 кг.

## Центробежное литье.

При этом способе литья сплав заливают во вращающиеся формы, и формирования отливки осуществляются под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

В данном случае центробежная сила действует при вращении опоки вокруг произвольной точки. Она зависит от скорости и радиуса вращения центра массы:

$$F = m\omega^2 R = \frac{m\vartheta^2}{R},$$

где  $m$  - точка масса опоки с металлом;  $\omega$  - угловая скорость;  $R$  - радиус вращения;  $\vartheta$  – линейная скорость вращения.

Центробежным литьем отливки изготавливают в металлических, песчаных оболочковых формах и в формах для литья по выплавляемым моделям.

Металлические формы (изложницы) изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы обычно в 1,5-2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитное покрытие для увеличения срока службы. Перед работой изложницы нагревают до температуры 200°C.

Процесс реализуется на специальных центробежных в машинах, у которых заполнение формы расплавом происходит при ее вращении вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси, либо вращений по сложной траектории. Наибольшее распространение получили два варианта реализации рассматриваемого способа литья: с горизонтальной и вертикальной осью вращения формы.

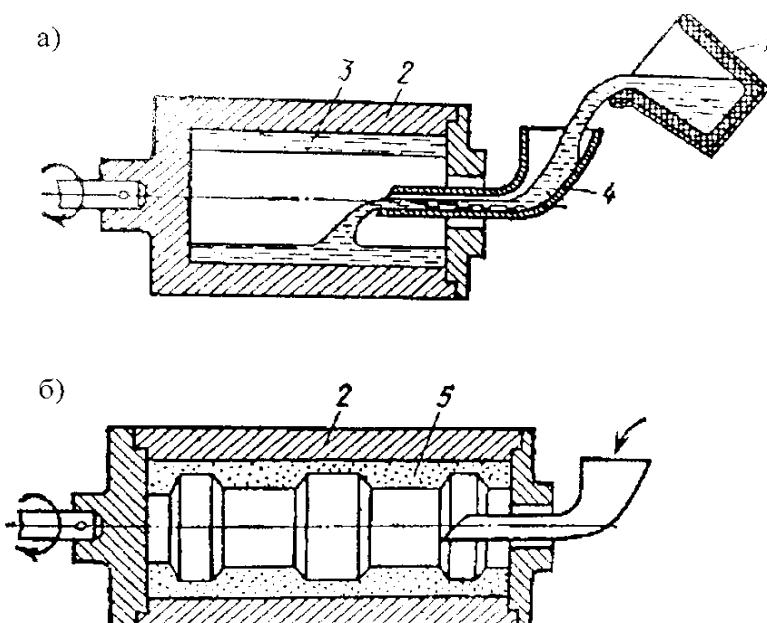


Рисунок 1.7 – Схема получения отливок центробежным литьем при вращении формы вокруг горизонтальной оси: а – при получением отливки в виде изготовленного цилиндра; б – при получении фасонных отливок в песчаные формы

В машинах с горизонтальной осью вращения (рисунок 1.7, а) отливка 3 формируется в поле центробежных сил со свободной цилиндрической поверхностью, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы.

Фасонные отливки можно получать центробежным литьем в песчаные формы 5 (рисунок 1.7, б). Песчаные части формы 2 и 5 устанавливают и путём на центробежном столе, а расплав заливают через желоб в полость формы.

При получении отливок при вращении формы вокруг вертикальной оси (рисунок 1.8, а) расплав из ковша 1 заливают в вращающую форму 2.

Расплав 3 под действием центробежных и гравитационных сил распределяется по стенкам формы и затвердевает, после чего вращение формы прекращают и извлекают из неё полученную отливку.

Отливки с внутренней поверхностью сложной конфигурацией получают с использованием стержней (рисунок 1.8, б) формах 2 с вертикальной осью вращения (венцы зубчатых колес и т.п.). Расплав из ковша через заливочный отверстие и стояк 1 поступает в центральную полость формы, а затем под действием центробежных сил через щелевые питатели – в рабочую полость форму.

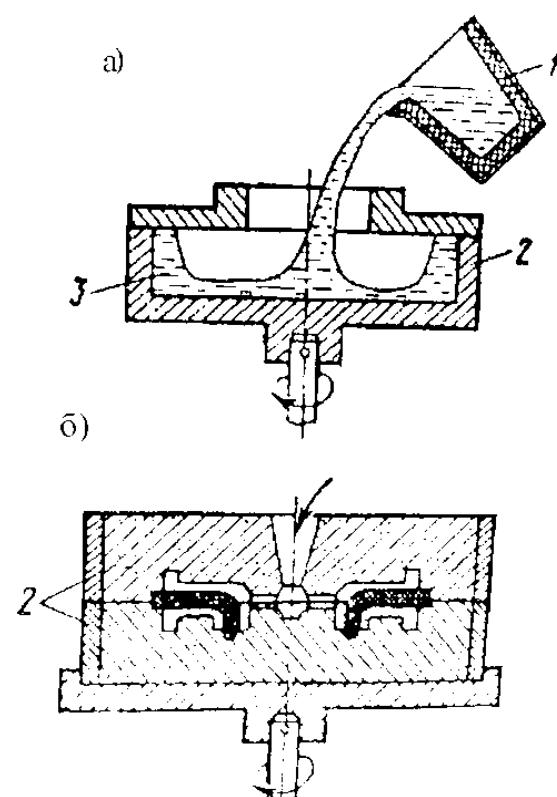


Рисунок 1.8 – Схема получения отливок центробежным литьем при вращении формы вокруг вертикальной оси: а – при получении отливок простой формы; б – при получении отливок сложной конфигурации.

В процессе охлаждения расплав в изложнице по объему охлаждается неравномерно. Часть теплоты отводится на расплав через стенку изложницы

и ее крышку, а часть – конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности.

В условиях центробежного литья это явления способствуют направленному затвердевания отливки в радиальном направлении, в результате чего кристаллы растут в направлении поступающего расплава. Свободная поверхность расплава затвердевает в последнюю очередь и при горизонтальной оси его вращения форма свободной поверхности остается геометрически правильный – цилиндрической. Инеродные частицы (газы шлак и т.д.) меньшей плотностью, чем плотность расплава всплывают на свободную поверхность расплава.

Преимущества центробежного литья – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, большая экономия сплава за счёт отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т.п.)

### Литье под давлением.

Литье под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливка металла в форму и формирования отливки осуществляется под давлением. Изготавливают отливки на машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На рисунке 1.9 показана схема изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования.

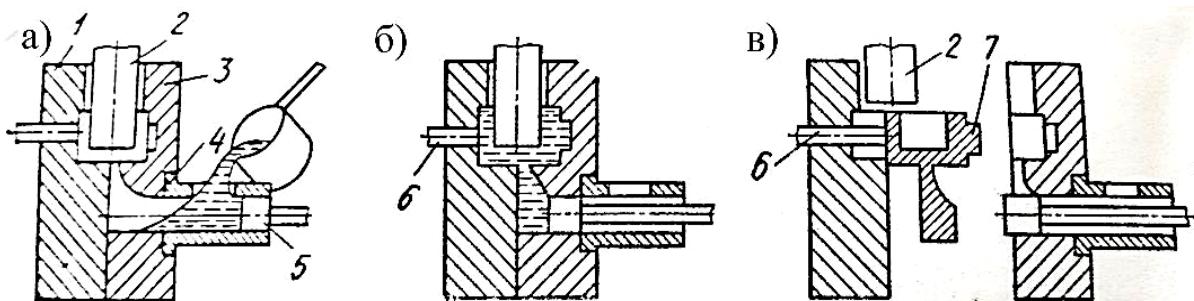


Рисунок 1.9 – Схема изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования 4 (рисунок 1.9, а), который плунжером 5 под давлением 40–100 МПа подается в полость пресс-формы (рисунок 1.9, б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (рисунок 1.9, в), извлекается стержень 2, и отливка 7 выталкивается из рабочей полости пресс-формы. Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120–320 °С. Воздух и газы удаляют через каналы, расположенные в полости разъёма

пресс-формы. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рисунок 1.10) камера прессования 2 расположена в обогревательном тигле 1 с расплавленным металлом.

При верхнем положении плунжера 3 расплавленный металл через отверстия 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз, отверстия перекрываются, сплав под давлением 10-30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжера возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла из канала сливаются в камеру прессования, а отливку из пресс-формы удаляется выталкивателем 6. Такие машины используются для изготовления отливок из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких грамм до 25 кг.

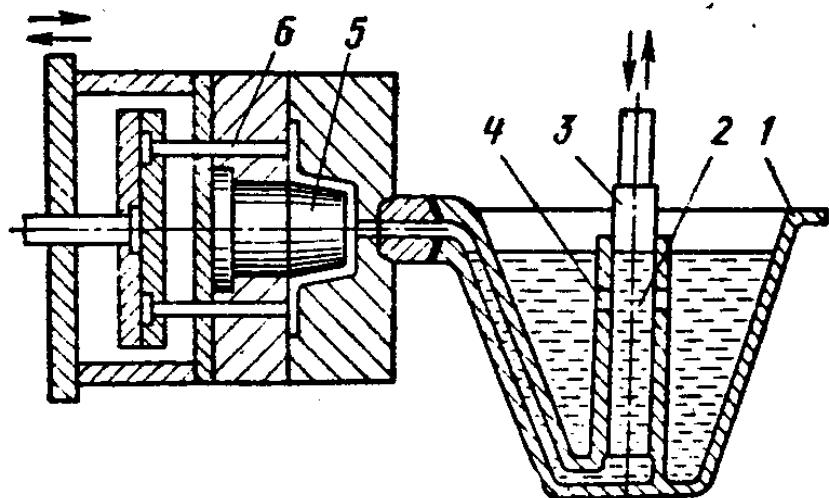


Рисунок 1.10 – Схема изготовления отливок с горячей камерой прессования

Литье под давлением используется в крупносерийном и массовом производстве отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм с высотой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, достигнутых за счёт точной обработки и тщательного полирования рабочей поверхности пресс-формы. Это резко снижает объём последующей механической обработки отливок, или вовсе без неё получают готовые детали.

Недостатки литья под давлением высокая стоимость пресс-формы и оборудование, а также ограниченность габаритам размеров и массы отливок.

## Порядок выполнения работы

### *Получение отливки центробежным литьем*

Для выполнения этой части работы используется специальное устройство, фотография общего вида которого представлена на рисунке 1.11

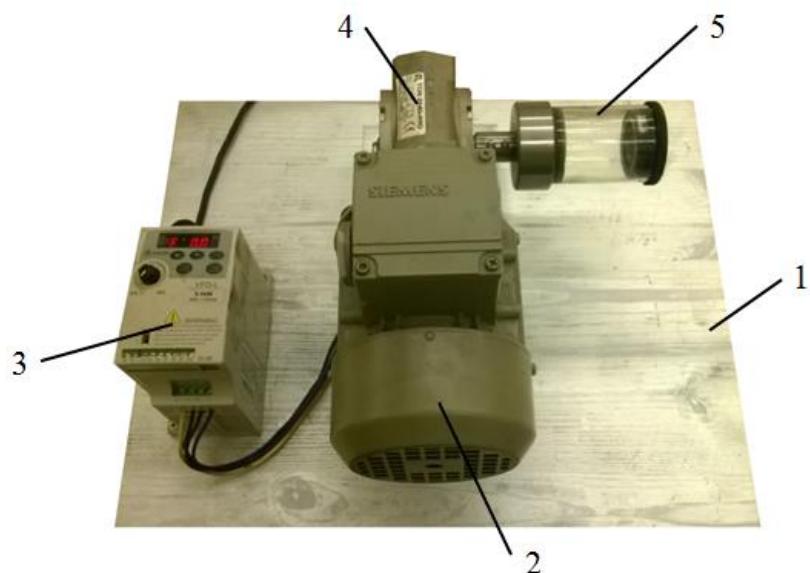


Рисунок 1.11 – Фотография общего вида устройства для центробежного литья с горизонтальной осью вращения формы

На массивном основании 1 закреплен электродвигатель 2 с встроенным редуктором 4, выходной вал которого имеет горизонтально расположенную ось вращения. На нем устанавливается литейная форма 5, фотография общего вида которой приведена на рисунке 1.12



Рисунок 1.12 – Фотография литейной формы

Она представляет собой отрезок стеклянной трубки 3, один конец которой неподвижно закреплен (приклеен) в стальной втулке 1, а второй – закрывается резиновой крышкой 4 с отверстием. Стальная втулка по скользящей посадке устанавливается на вал редуктора и с помощью стопорных винтов 2 закрепляется на нем.

Питание электродвигателя осуществляется с применением частотного преобразователя 3 (рисунок 1.11), что позволяет бесступенчато регулировать частоту вращения вала.

Порядок получения отливки с помощью данного устройства заключается в следующем

1. Предварительно снять форму с вала редуктора для чего освободить стопорные винты 2, после чего снять резиновую крышку 4 (рисунок 1.12)

В данном случае, когда расплавленный металл моделируется раствором гипса, предусматриваются следующие действия.

2. Из картона толщиной 1 мм с помощью ножниц вырезать прокладку длиной 153 мм и шириной 50 мм, которая предотвращает сцепление гипса со стеклянной поверхностью формы

3. Смазать обе поверхности картонной прокладки маслом

4. Свернуть прокладку в виде цилиндра и поместить ее во внутреннюю полость стеклянной формы (рисунок 1.13)

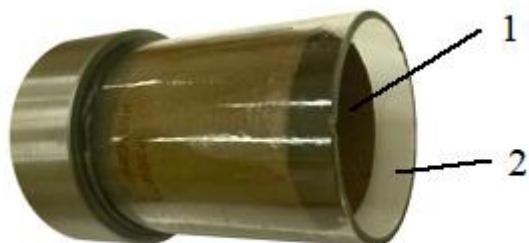


Рисунок 1.13 – Фотография картонной прокладки 1, установленной во внутреннюю полость формы 2

5. С помощью мерного стакана отмерить 50г гипса

6. Пересыпать гипс из мерного стакана в пластмассовую емкость

7. Постепенно добавить в гипс воду, постоянно перемешивая состав, до получения консистенции раствора, соответствующей состоянию жидкой сметаны.

8. Установить форму вертикально и в полость формы залить полученный раствор.

9. Закрыть форму резиновой крышкой и закрепить форму на валу редуктора электродвигателя (рисунок 1.11)

10. Включить питание электродвигателя и с помощью частотного преобразователя увеличить частоту вращения формы до значения, при котором под действием центробежных сил раствор гипса будет равномерно распределен по внутренней поверхности формы.

11. По истечении 15-17 минут, необходимых для затвердевания гипса, отключить питание электродвигателя, снять форму с вала редуктора, снять с формы резиновую крышку и извлечь из формы полученную гипсовую отливку (рисунок 1.14)



Рисунок 1.14 – Фотография полученной гипсовой отливки

12. С помощью штангенциркуля измерить внутренний и наружный диаметры полученной отливки с ее двух сторон и оценить качество ее поверхности.

## **Получение отливки литьем в кокиль**

1. Разобрать металлический кокиль на составные части (рисунок 1.15)

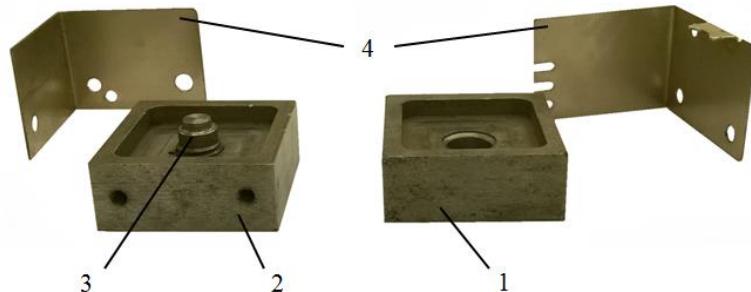


Рисунок 1.15 – Фотография составных частей металлического кокиля:

1-верхняя полуформа; 2-нижняя полуформа; 3-стержень;  
4-скобы для соединения полуформ

2. С помощью ватного тампона тщательно очистить формообразующие поверхности кокиля

3. С помощью ватного тампона нанести на формообразующие поверхности формы тонким слоем тальк.

4. Собрать кокиль, для чего ввернуть стержень в нижнюю полуформу, накрыть ее верхней и закрепить их с помощью скоб (рисунок 1.16)



Рисунок 1.16 – Фотография собранного металлического кокиля

5. Загрузить в металлический ковшик измельченный парафин

6. Включить электроплиту и установить на ее поверхность ковшик с парафином (рисунок 1.17)



Рисунок 1.17 – Фотография ковшика, установленного на поверхности электроплиты

7. Одновременно установить на электроплиту собранный кокиль для его предварительного прогрева.

8. По истечении 5 минут с помощью специальной перчатки снять кокиль с плиты и поместить его на керамическую плитку литьевым каналом вверх (рисунок 1.18)



Рисунок 1.18 – Фотография кокиля, установленного на керамической плитке

9. После расплавления парафина, аккуратно взять ковшик за ручку и залить парафин в литьевой канал формы до ее полного заполнения (рисунок 1.19)

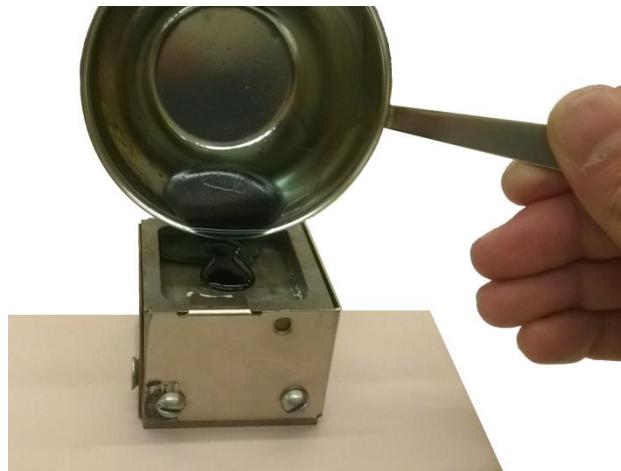


Рисунок 1.19 – Фотография процесса заливки расплавленного парафина в кокиль

10. Для быстрейшего охлаждения кокиля с расплавленным парафином поместить его в емкость со льдом (рисунок 1.20)



Рисунок 1.20 – Фотография кокиля, помещенного в емкость со льдом

11. По истечении 7-10 минут, необходимых для охлаждения кокиля, произвести его разборку, для чего выкрутить стержень из нижней

полуформы, освободить скобу, разнять полуформы и извлечь полученную отливку (рисунок 1.21)



Рисунок 1.21 – Фотография полученной отливки из парафина

### ***Получение восковой модели***

Выполнению работы предшествует подготовительный этап, включающий в себя изготовление эталона литьевой заготовки. Этalon заготовки может быть получен методом прототипирования на 3D-принтере по разработанной заранее модели из пластика, либо механической обработкой из металла.

**1. Изготовление пресс-формы для восковых моделей.** Форма для тиражирования восковых моделей может быть изготовлена из различных материалов: сырой или силиконовой резины, пластмассы и пр. Резиновая пресс-форма получила более широкое распространение благодаря тому, что обладает эластичностью, долговечностью, прочностью. Различают два вида пресс-форм: разрезная и составная, состоящая из двух полуформ.

Разрезную пресс-форму изготавливают в металлической рамке. Внутрь рамки укладывают слой мягкой сырой резины и вдавливают металлическую модель детали с литником до ее середины толщины (рисунок 1.22).

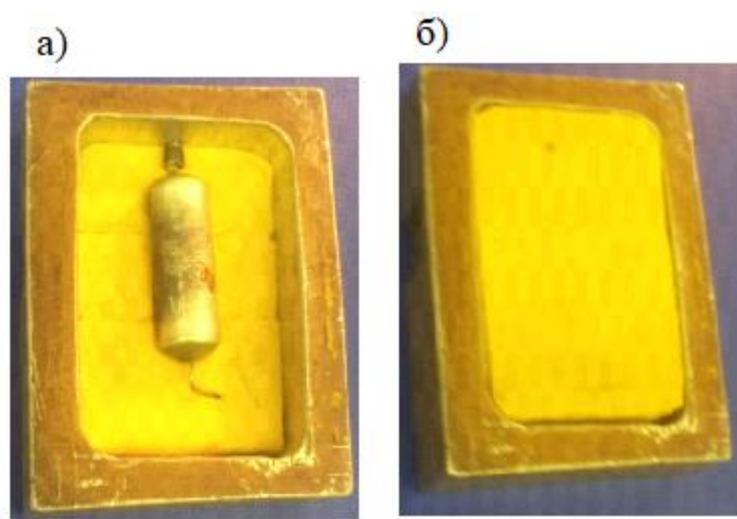


Рисунок 1.22 – Заполнение рамки сырой резиной

Затем заполняют рамку до верхнего уровня вторым слоем сырой резины и, обжав её с двух сторон металлическими пластинками, помещают в вулканизатор для вулканизации при температуре 130°C в течение 30 мин (рисунок 1.23, а). Охлажденную пресс-форму извлекают из рамки, разрезают

посередине (рисунок 1.23, б) зигзагообразными движениями ножа и извлекают из неё металлическую модель.

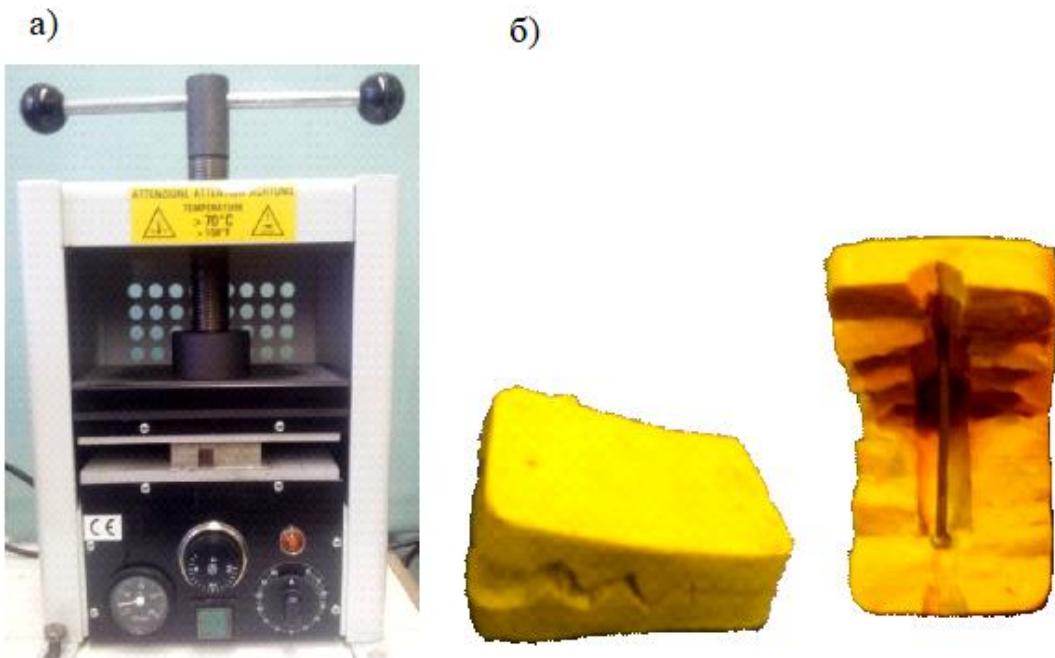


Рисунок 1.23 – Вулканизатор (а) и разрезная резиновая форма (б)

**2. Получение восковой модели.** Для тиражирования восковой модели используют восковый инжектор, в котором расплавленный инжекционный воск выдавливается под избыточным давлением в полость резиновой формы. Для этого резиновую форму плотно обжимают двумя металлическими пластинками и придавливают к штуцеру воскового инжектора (рисунок 1.24, а). Для того чтобы восковая модель не прилипала к резине её внутреннюю поверхность предварительно обсыпают тальком

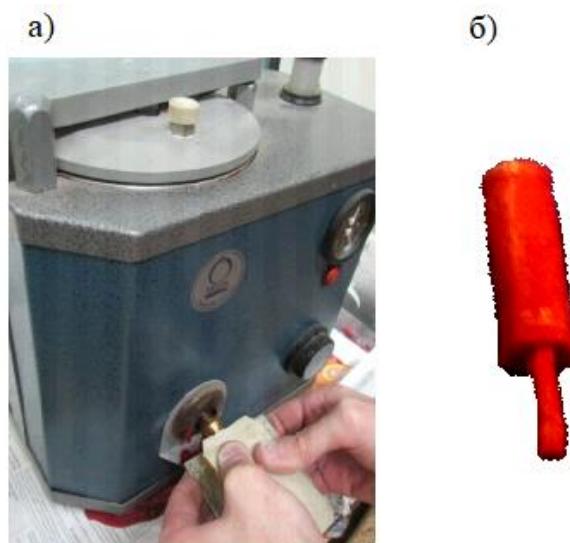


Рисунок 1.24 – Восковый инжектор (а) и восковая модель (б)

Через несколько минут застывшую восковую модель аккуратно изъять из резиновой формы и обмыть в мыльном растворе (рисунок 1.24, б).

## **Содержание отчёта**

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть:
  - 4.1 Получение отливки центробежным литьем
  - 4.2 Получение отливки литьем в кокиль
  - 4.3 Получение восковой модели
5. Вывод

## **Контрольные вопросы**

1. Какие способы литья применяются в литейном производстве?
2. Перечислить и охарактеризовать специальные виды литья.
3. В чем заключаются преимущества и недостатки специальных методов литья?
4. Что называют центробежным литьем?
5. В чем заключаются преимущества центробежного литья? Какие способы центробежного литья применяются в литейном производстве?
6. Перечислите особенности центробежного литья.
7. Перечислите особенности методов литья в кокиль.
8. Назовите область применения литья в кокиль
9. Назовите область применения литья под давлением.
10. Какие металлы и сплавы применяют для литья под давлением?
11. Для чего предназначены стержни при литье?
12. Назовите достоинства и недостатки способов литья в одноразовые формы.
13. Какими литейными свойствами характеризуются сплавы металлов?
14. Из каких элементов состоит литейная форма?
15. Перечислите последовательность операций литья в одноразовые формы.
16. Какова последовательность получения резиновой пресс-формы и восковой модели?

## **Литература**

1. Ефимов В.А. Специальные способы литья Справочник. — М.: Машиностроение, 1991. — 436 с.
2. Чуркин, Б. С. Специальные способы литья : учеб.-метод. пособие для вузов / Б. С. Чуркин, А. Б. Чуркин, Ю. И. Категоренко ; Рос. гос. проф.-пед. ун-т. - Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2012. - 188 с.

## **Лабораторная работа № 2**

# **ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ**

### **Цель работы**

1. Изучить основные операции получения заготовок обработкой давлением, включая холодную и горячую штамповку, гибку, вытяжку, прокатку и волочение
2. Изучить устройство и принцип работы прокатных валцов
3. Получить практические навыки формообразования заготовок методом прокатки на ручных вальцах
4. Изучить устройство и принцип работы волок
5. Получить практические навыки формообразования заготовок волочением с использованием фильтерной доски

### **Инструменты и принадлежности к работе**

1. Вальцы ручные
2. Фильтерная доска
3. Штангельциркуль ШЦ-1-125-0,1
4. Линейка
5. Образцы для прокатки и волочения

### **Теоретическая часть**

#### **Обработка материалов давлением**

К категории процессов, объединяемых под общим наименованием «обработка давлением», относятся – штамповка в холодном и горячем состоянии, прессование, волочение, прокатка, накатки и другие. Сущность этих процессов заключается в том, что металл в холодном состоянии изменяет свою форму, т.е. деформируется под действием приложенного давления.

#### **Холодная штамповка**

Все разнообразные операции холодной штамповки по характеру деформации объединяются в две группы:

- разделительные
- формоизменяющие

К первым относятся операции, в результате которых происходит полное или частичное отделение одной части от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, а к формоизменяющим – операции, в результате которых происходит изменение формы и размеров заготовки, перераспределение и заданное перемещение объема металла.

**Раскрой материала.** Под общим наименованием «раскрой материала» следует понимать способ расположения штампаемых заготовок (деталей) в пологе, ленте, листе.

Существует три типа раскroя:

- с отходами (перемычками) по всему контуру вырубаемой заготовки
- с частичными отходами по краям полосы (ленты)
- без отходов

Раскрой с отходами (рисунок 2.1,а-в) применяют для получения простых по форме деталей и повышенной прочности (8-10 квалитет), а так же независимо от точности для деталей сложной формы, а раскрой с частичными отходами и без отходов (рисунок 2.1,ж-з) применяют для простых по форме деталей низкой точности (10-14 квалитета).

Показателем, характеризующим раскрой, является коэффициент использования материала  $\eta$ , рассчитываемый по формуле:

$$\eta = \frac{N * F}{B * L} * 100\%$$

где  $N$  - число деталей, штампемых из листа, полосы, ленты

$F$  – площадь детали,  $\text{мм}^2$

$B$  и  $L$  – ширина и длина ленты, полосы, листа,  $\text{мм}$

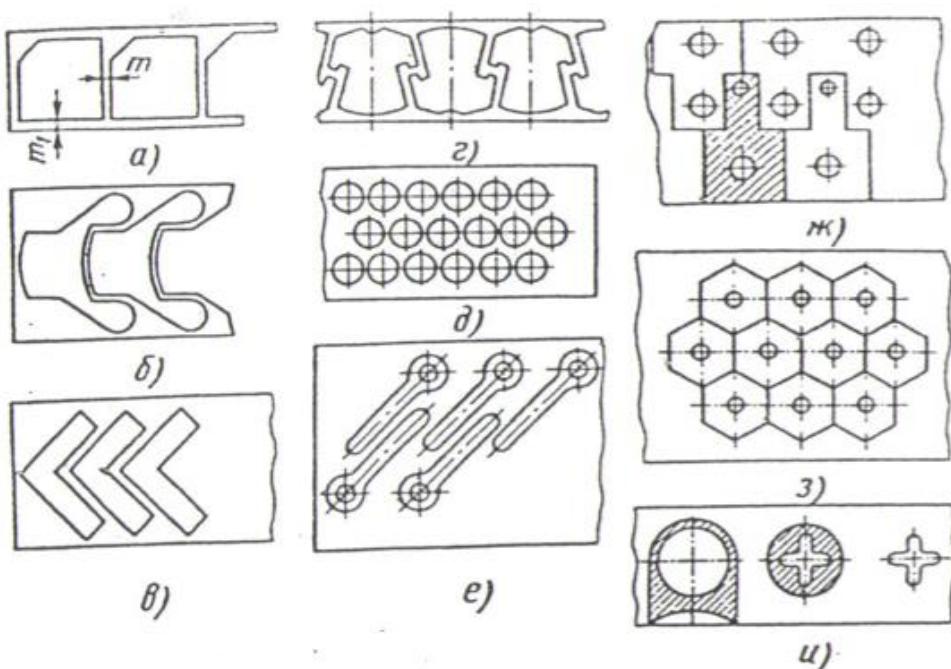


Рисунок 2.1 – Типы раскroя

Перемычки между деталями и краем полосы (ленты) и деталью (рисунок 2.1,а) зависят от толщины и марки материала, формы и размеров вырубаемых деталей и выбираются по справочникам. Значение величины перемычек и раскладки деталей на пологе (ленте) позволяет определить ширину последней.

При раскладке деталей неправильной геометрической формы следует добиваться так называемого «линейного эффекта», при котором экономия материала достигается благодаря заходу деталей друг в друга (рисунок 2.1 б и в). Многорядовая раскладка (рисунок 2.1 д) с точки зрения экономии материала выгоднее однорядовой. Количество рядов на полосе (ленте) ограничивается удорожанием изготовления и эксплуатации штампа и размерами стола пресса.

**Разделительные операции.** К ним относятся отрезка, вырезка, вырубка, пробивка, подрезка, обрезка, зачистка.

**Отрезка** – отделение одной части материала от другой по незамкнутому контуру производится на ножницах или в штампах.

Ножницы для отрезки листового материала (рисунок 2.2) бывают гильотинные, параллельные, роликовые и вибрационные.

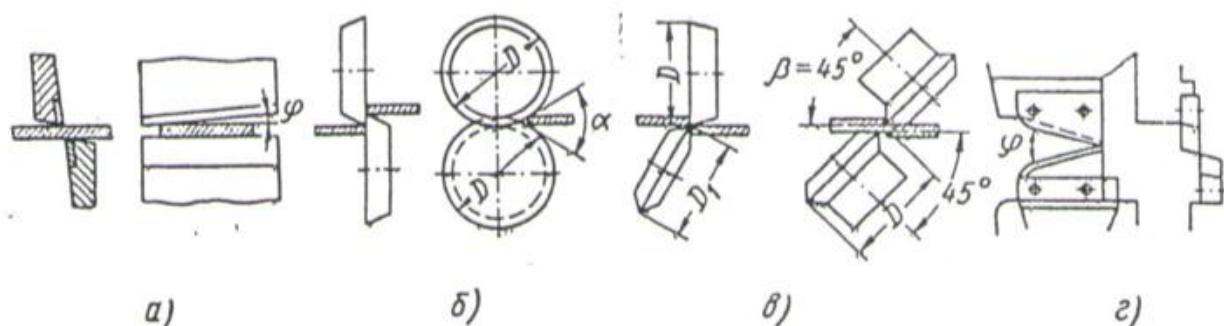


Рисунок 2.2 – Схемы ножниц: а – гильотинные;

б – дисковые с прямо поставленными ножами;

в – дисковые с наклонно поставленными ножами; г – вибрационные.

Параллельные, гильотинные и роликовые с прямо поставленными ножами ножницы применяют для прямолинейной отрезки, а ножницы с наклонно поставленными ножами и вибрационные ножницы – для криволинейной резки и вырезки деталей (заготовок) с замкнутым контуром.

Точность отрезки на гильотинных и дисковых ножницах соответствует 10-14 квалитетам.

Отрезку в штампах используют для малогабаритных деталей.

**Вырубка и пробивка.** Наименьшие размеры деталей и их элементов, получаемых вырубкой, приведены на рисунке 2.3 а, б; минимальные размеры отверстий, пробиваемых в штампах и минимальные расстояния между отверстиями, отверстиями и контуром детали на рисунке 2.3 в и г. На рисунке 2.3 К – коэффициент, принимаемый для мягкой стали 1, высокоуглеродистых и легированных сталей – 1.4, латуни и алюминия – 0.75.

Точность и качество поверхности среза при вырубке и пробивке зависят от конфигурации, размеров вырубаемой детали или пробиваемого отверстия, толщины штампуемого материала, расположения детали относительно направления прокатки (анизотропии материала), точности изготовления штампа и жесткости пресса.

Точность вырубки и пробивки в инструментальных штампах (повышенной точности) соответствует 6-9 квалитетам. При этом точность расстояний между отверстиями составляет  $\pm 0,05$ мм.

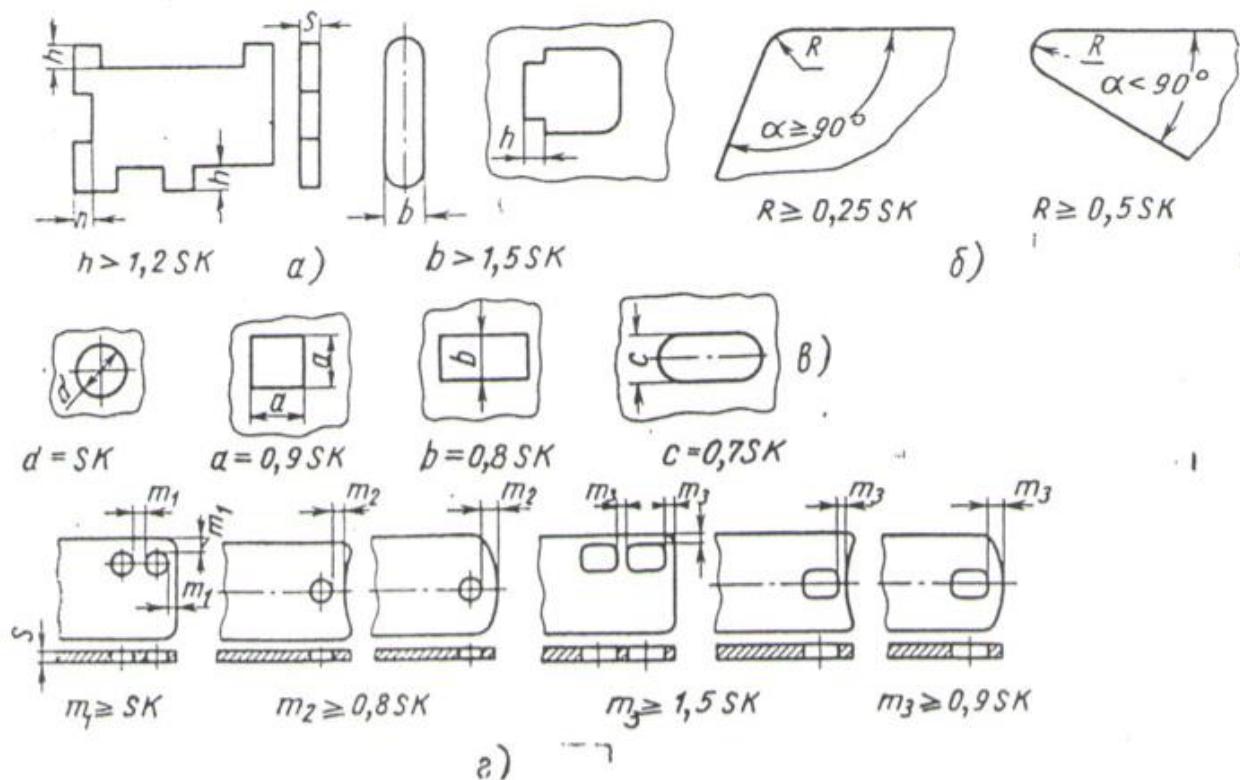


Рис 2.3

**Надрезку**, т.е. отделение части материала по незамкнутому контуру без её удаления, применяют главным образом, для создания на деталях таких элементов, как язычки и подобные им элементы. Надрезку выполняют пуансоном с косо расположенной режущей плоскостью.

**Обрезку** применяют для удаления неровных краёв у полых деталей после вытяжки, формировки, отбортовки, выдавливания, а так же для удаления излишков материала (заусенца) после операции объёмной штамповки. Обрезку производят в штампах и на специальных станках дисковыми ножами.

**Зачистка и калибровка.** Зачистку по наружному контуру снятием припуска применяют для деталей с периметром до 300 мм и толщиной до 10 мм в том случае, когда необходимо обеспечить высокое качество поверхности среза и когда контур детали является базой для последующей обработки.

Зачистка со снятием припуска заключается в снятии тонкого слоя материала по контуру детали. В зависимости от толщины и свойств материала величина припуска колеблется от 0.1 до 0.5 мм

**Калибровку отверстий** снятием припуска производят после сверления или пробивки. Припуск для калибровки малых отверстий составляет 0.15-0.2 мм на диаметр, а для средних – такой же, как и при зачистке наружного контура. Калибровку осуществляют как отдельно взяты отверстий, так и

одновременно группы отверстий. При одновременной калибровке группы отверстий точность межосевых размеров повышается.

### Формоизменяющие операции

**Гибка** – операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения её линейных размеров (рисунок 2.4 а)

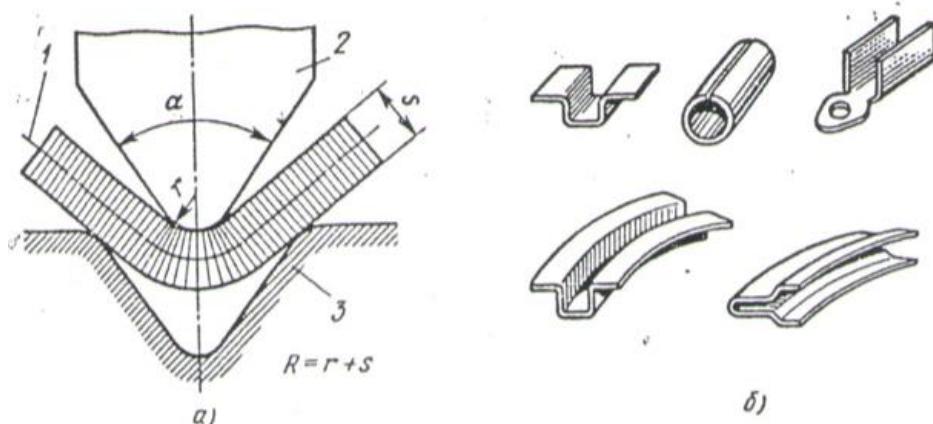


Рисунок 2.4 – Схема гибки (а) и изделия, получаемые при её использовании (б).

1 – нейтральный слой; 2 – пuhanсон; 3 – матрица.

В процессе гибки пластическая деформация сосредотачивается на узком участке, контактирующем с пuhanсоном, в то время как участки, образующие полки детали деформируются упруго. В зоне пластических деформаций наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пuhanсону) сжимаются. У середины заготовки (по толщине) находятся слои, деформация которых равно нулю (нейтральный слой). Отсюда следует, что с достаточной точностью размеры заготовки для детали, получаемой гибкой можно определить по условию равенства длин заготовки и детали по средней линии.

Деформация растяжения наружного слоя и сжатия внутреннего увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пuhanсона. Деформация растяжения наружного слоя не беспредельна и при определенной её величине может начаться разрушение заготовки с образованием трещин, идущих от наружной поверхности в толщину заготовки. Это обстоятельство ограничивает минимальные радиусы  $r_{min}$ , исключающие разрушение заготовки. В зависимости от пластичности материала заготовки  $r_{min}=(0.1-2)*S$

При снятии внешних сил, вызывающих изгиб заготовки, растянутые слои стремятся сжаться, а сжатые слои – удлиниться. Благодаря этому при разгрузке изменяются углы между полками (пружинение при гибке). Угол между полками при разгрузке изменяется в зависимости от механических свойств материала заготовки ( $\sigma_t/E$ ) от  $2/S$  до  $\alpha$  и увеличивается с увеличением этих параметров. Углы пружинения увеличиваются при гибке с подчеканкой (когда полки заготовки с определенным усилием сжимаются между соответствующими плоскостями пuhanсона и матрицы), а так же при приложении сжимающих или растягивающих сил, действующих вдоль оси

заготовки. В последнем случае можно устраниить зону растяжения или сжатия в очаге пластических деформаций.

На рисунок 2.4 б показаны примеры деталей, полученных гибкой. Детали, изогнутые в нескольких плоскостях, обычно изготавливают последовательным деформированием заготовки в нескольких штампах.

**Вытяжка** – образование полой детали из плоской или полой заготовки. Она может выполняться без утонения стенок заготовки и с утонением.

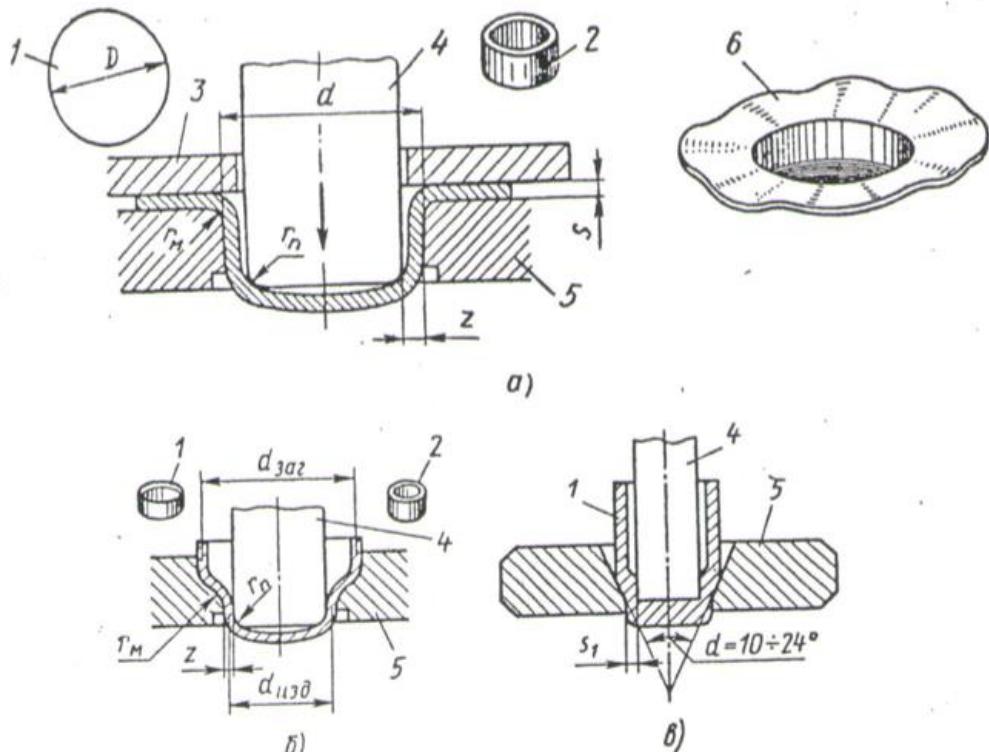


Рисунок 2.5 – Схема первого перехода вытяжки (а), последующей вытяжки (б), вытяжки с утонением стенки (в) 1 – заготовка, 2 – изделие, 3 – прижим, 4 – пуансон, 5 – матрица, 6 – изделие со складками, без прижима

Исходную вырубленную заготовку 1 (рисунок 2.5 а) укладывают на плоскость матрицы 5. Пуансон 4 надавливает на центральную часть заготовки и смещает её в отверстие матрицы и образует стенки изделия 2. Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки  $k_b = D/d$ , который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 1.8-2.1.

При  $D-d > (18-20)S$  возможна потеря устойчивости и образуются складки на изделии 6. Их предотвращают с помощью прижима 3, который с определенной силой прижимает фланец к плоскости матрицы.

Для уменьшения концентрации напряжений и соответственно опасности разрушения заготовки кромки пуансона и матрицы скругляют по радиусу, равному 5-10 толщины заготовки. Для уменьшения силы трения вытяжку осуществляют с применением смазочных материалов.

При вытяжке без утонения стенки зазор  $z = (1.1-1.3)S$  выбирают из условия, при котором утолщенный край заготовки не должен утоняться

сжатием между поверхностями пuhanсона и матрицы (это способствует повышению стойкости инструмента)

Если при допустимом для первого перехода коэффициенте вытяжки невозможно получить деталь с заданным отношением высоты к диаметру, её вытягивают за несколько переходов. В последующих переходах заготовкой служит полый полуфабрикат, полученный на предыдущем переходе вытяжки. Схема вытяжки на последующем переходе показана на рисунок 2.5,б. На этом переходе уменьшается диаметр полой заготовки и по условию равенства поверхностей увеличивается её высота.

Вытяжка с утонением стенки увеличивает длину полой заготовки в основном за счёт уменьшения длины стенок исходной заготовки (рисунок 2.5,в). При вытяжке с утонением стенки зазор между пuhanсоном и матрицей должен быть меньше толщины стенки, которая сжимаясь между этими поверхностями утоняется и одновременно удлиняется.

Вытяжку с утонением стенки применяют для получения деталей, у которых толщина донышка больше толщины стенок, деталей со стенкой, толщина которой уменьшается к краю (в этом случае пuhanсон выполняют коническим).

### Горячая объемная штамповка

В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах. Штамповка в открытых штампах (рисунок 2.6 а) характеризуется переменным зазором 1 между подвижной и неподвижной частями штампа.

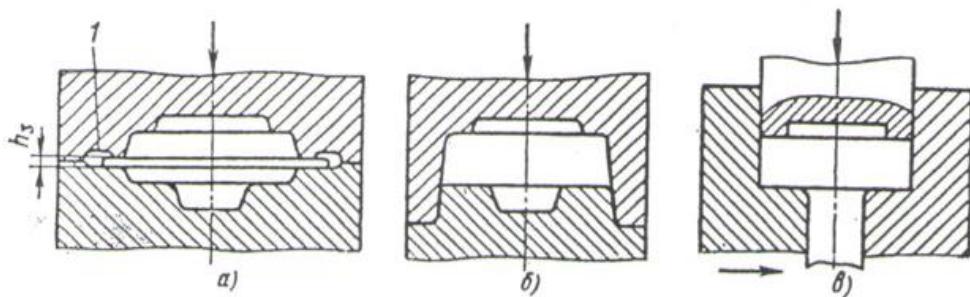


Рисунок 2.6

В тот зазор вытекает заусенец (облой), который закрывает выход из полоски штампа и заставляет металл целиком заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в заусенец выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять особо высокие требования к точности заготовок по массе. Заусенец затем обрезается в специальных штампах. Штамповкой в открытых штампах получают поковки всех типов (рисунок 2.7 а, б).

Штамповка в закрытых штампах (рисунок 2.6 б, в) характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом весьма небольшой, так что образование заусенца в нем не предусмотрено. Закрытый

штамп может иметь не одну, а две взаимно перпендикулярных плоскости разъема, т.е. состоять из трех частей (рисунок 2.6 в).

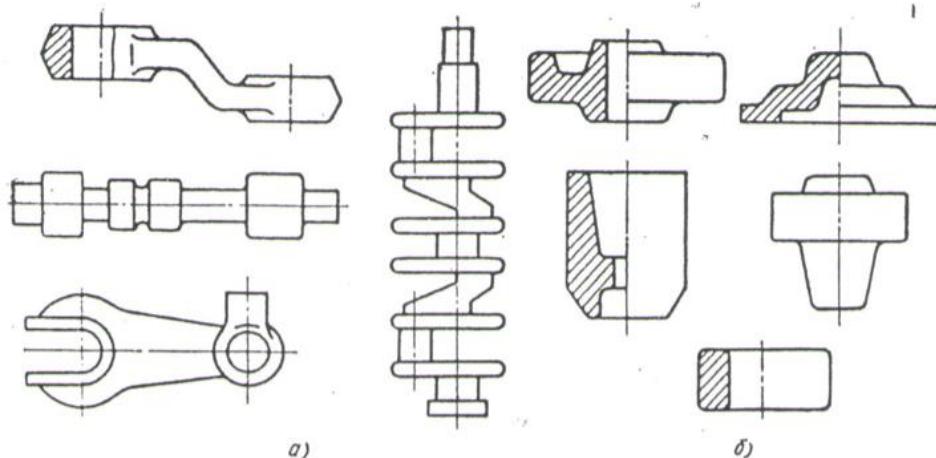


Рисунок 2.7

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемом заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Как правило, штамповкой в закрытых штампах получают поковки, показанные на рисунок 2.7 б.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в заусенец (в открытых штампах этот расход достигает 20%). Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную макроструктуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в заусенец.

### Получение заготовок из проката

**Прокатка** – деформирование металла вращающимися волоками для уменьшения формы и размеров поперечного сечения и увеличения длины предварительно нагретых или холодных заготовок. Прокатке подвергают до 90% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Взаимное расположение волоков и заготовки, форма и число волоков могут быть различными. Выделяют три вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-клиновую (рисунок 2.8).

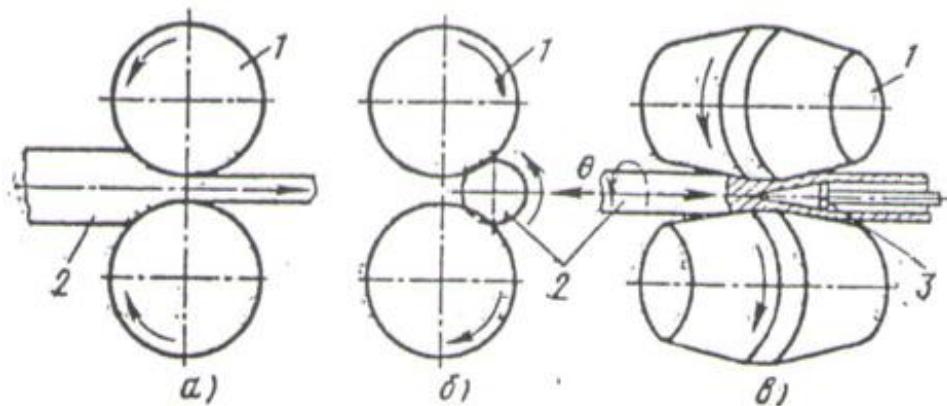


Рисунок 2.8

При продольной прокатке (рисунок 2.8 а) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны и перемещается перпендикулярно к осям валков.

При поперечной прокатке (рисунок 2.8 б) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2 и деформируют её.

При поперечно-клиновой прокатке (рисунок 2.8 в) валки 1 расположены под углом и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения.

В процессе прокатки металл непрерывно втягивается в зазор между валками под действием сил трения между металлом и валками. При прокатке уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении её длины и ширины. Деформацию заготовки определяют относительным обкатом в %:

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \quad 2.1$$

где  $H_0$  и  $H_1$  – высота заготовки соответственно до и после прокатки.

Площадь поперечного сечения заготовки всегда уменьшается, поэтому для определения деформации (особенно когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый вытяжкой:

$$\mu = \frac{l}{l_0} = \frac{F}{F_0} \quad 2.2$$

Где

$l_0$  и  $F_0$  – первоначальная длина и площадь поперечного сечения;

$l$  и  $F$  – те же величины после прокатки.

Как правило, вытяжка за проход составляет от 1.1 до 1.6

Инструментом для прокатки являются валки, которые в зависимости от прокатываемого профиля могут быть гладкими (рисунок 2.9 а), применяемыми для прокатки листов, ленты и т.п., ступенчатыми для прокатки полосовой стали и ручьевые (рисунок 2.9 б) для получения сортового проката.

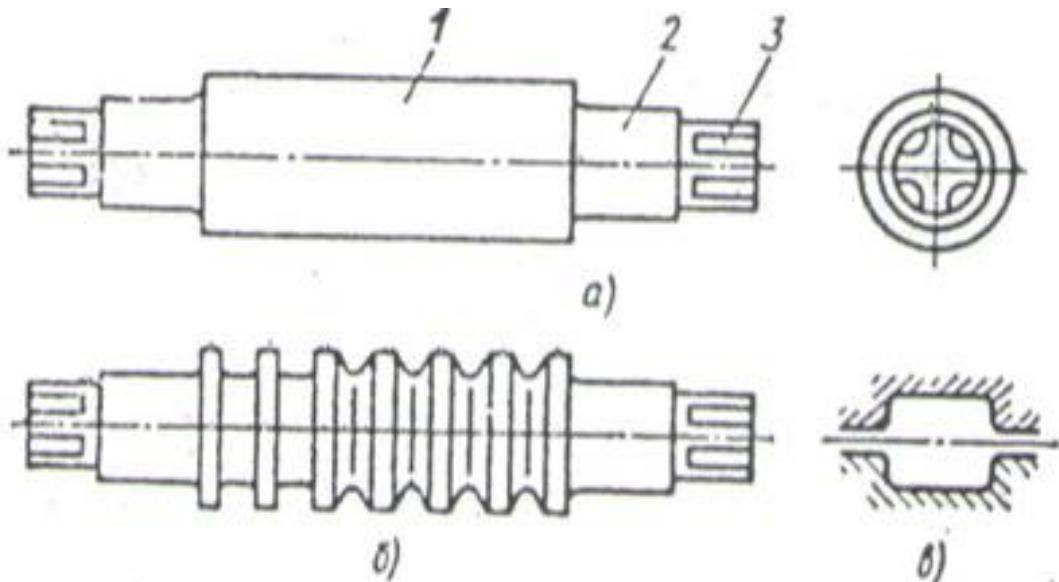


Рисунок 2.9

Ручьем называют вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьев образует калибр (рисунок 2.9 в). Каждая пара ручьевых валков обычно образует несколько калибров. Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и трефы 3, сечение которых имеет форму квадратов, крестовин.

Шейки валков врачаются в подшипниках, которые у одного из валков могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного положения их осей.

При всех схемах прокатки металл подвергается деформации только на некотором участке, который по мере вращения валков и движения заготовки вперед как бы перемещается по прокатываемому металлу. В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Площадь поперечного сечения заготовки  $F$  в результате прокатки всегда становится меньше первоначальной  $F_0$ . Отношение полученной длины  $l$  к первоначальной  $l_0$  называется вытяжкой  $\mu$ :

$$\mu = \frac{l}{l_0} = \frac{F_0}{F}.$$

Эта величина является одной из основных количественных характеристик деформации при прокатке и составляет обычно 1,1–1,6 за проход. Для прокатки обязательным является наличие контактного трения между валками и деформируемым металлом. В частности, на начальной стадии должно быть выполнено так называемое условие захвата металла валками. Заготовка (рисунок 2.10) подается в валки с некоторой начальной силой  $P$ , которая вызывает со стороны валков нормальные реакции  $N$  и силу трения  $T$ . Спроектировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками:  $N \sin \alpha < T \cos \alpha$ . Угол  $\alpha$  называется углом захвата. Выразив силу трения через  $T = fN$  ( $f$  – коэффициент трения) и подставив это выражение в условие захвата, получим  $\sin \alpha < f \cos \alpha$  или  $f > \tan \alpha$ .

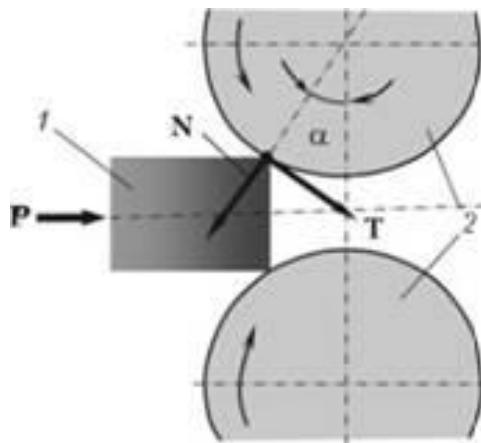


Рисунок 2.10 - Схема действия сил в момент захвата заготовки металла 1 валками 2.

Скорость выхода прокатанного металла из валков всегда больше, чем скорость входа заготовки в валки. Это необходимо учитывать при прокатке заготовки последовательно несколькими парами валков.

Форму поперечного сечения прокатанной полосы называют профилем. Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют сортаментом. При этом параметры практически всего сортамента проката гостираны. Сортамент прокатываемых профилей разделяется на четыре основных группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды поката.

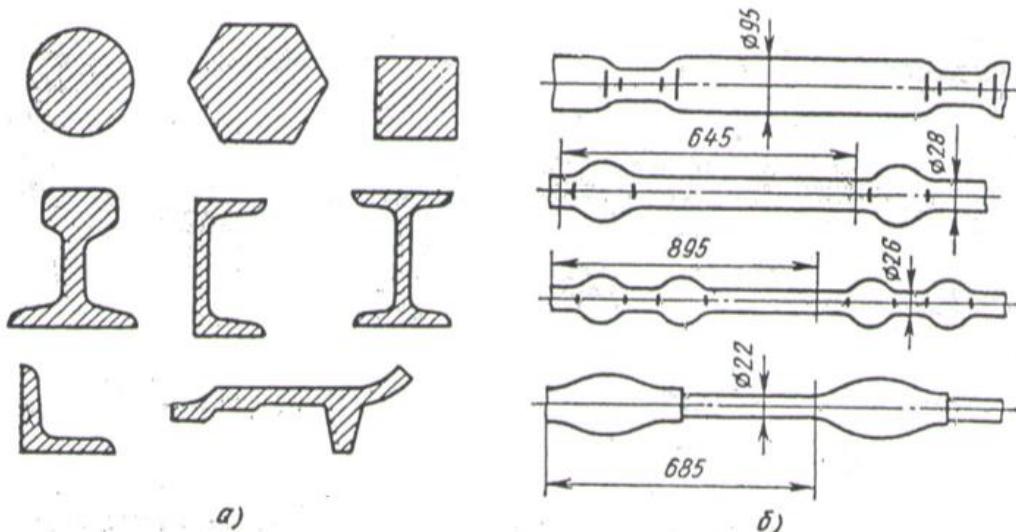


Рисунок 2.11

Сортовой прокат (рисунок 2.11 а) делят на профили глубокой геометрической формы (квадрат, круг, шестиугольник, прямоугольник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровый профили и т.д.).

Листовой прокат из стали и цветных металлов используется в различных отраслях промышленности. Листовую сталь разделяют на толстолистовую (толщиной 4-160 мм) и тонколистовую (толщиной менее 4 мм).

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30-650 мм с толщиной стенки 2-160 мм из

углеродистых и легированных сталей, а сварные – диаметром 5-2500 мм с толщиной стенки 0.5-16 мм из углеродистых и низколегированных сталей.

К специальным видам проката относят колёса, кольца, шары, периодические профили с периодически меняющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки (рисунок 2.11 б).

### Получение заготовок волочением

Волочение применяют для получения заготовок сплошных или полых деталей, сечение которых по всей длине постоянно.

При волочении заготовку 2 протягивают через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой. Волока (рисунок 2.12) представляет собой кольцо, выполненное из металлокерамики, эльбора или алмаза. Ее рабочее отверстие состоит из входной или смазочной зоны, деформирующей зоны, калибровочного пояска заданного профиля и выходного конуса.



Рисунок 2.12 - Внешний вид волок с круглым и шестигранным отверстием.

Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии. Исходными заготовками служат прокатные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов.

Схема волочения трубы показана на рисунок 2.13, а. При волочении полого профиля (например, трубы) дополнительно используют оправку 3. Вследствие того что к заготовке приложено тянувшее усилие Р, в отверстии волоки 2 и после выхода из нее металл испытывает растягивающее напряжение.

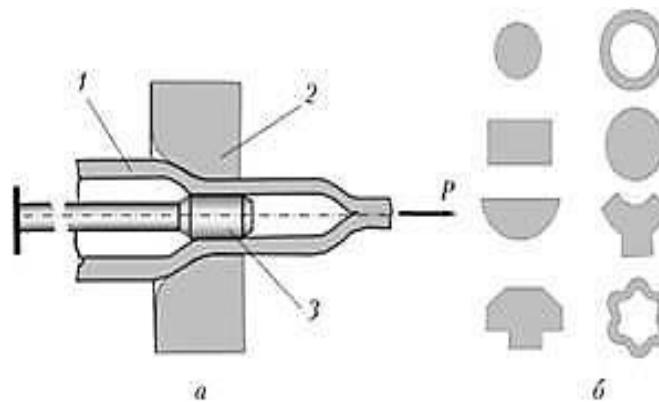


Рисунок 2.13 - Схема волочения трубы (а) и примеры профилей, получаемых волочением (б) из прутков и труб: 1 – заготовка; 2 – волока; 3 – оправка.

На выходящем из волоки конце прутка пластическая деформация недопустима. Тянувшее усилие, приложенное к заготовке, необходимо не только для деформирования металла, но и для преодоления сил трения его об инструмент (волоку). Для их уменьшения применяют смазки и полируют отверстие в волоке.

Сортамент изделий, изготовленных волочением, очень разнообразен: проволока диаметром 0,002–10 мм и фасонные профили, примеры которых показаны на рисунок 2.13, б. Этот метод обеспечивает допуск на стальную проволоку диаметром от 1,0-1,6 мм до 0,02 мм, высокое качество поверхности, получение очень тонких профилей.

### Описание ювелирных вальцов В-10

Вальцы предназначены для изготовления листового гладкого и фактурного проката. С помощью различных комбинаций сменных валов, можно получить дополнительный ассортимент профильного проката. Основным назначением дополнительных профильных валов является придание фактуры листовому прокату, а также уменьшение толщины проволоки и получение заготовок полукруглого и треугольного сечения.

Кинематическая схема ювелирных вальцов приведена на рисунке 2.14

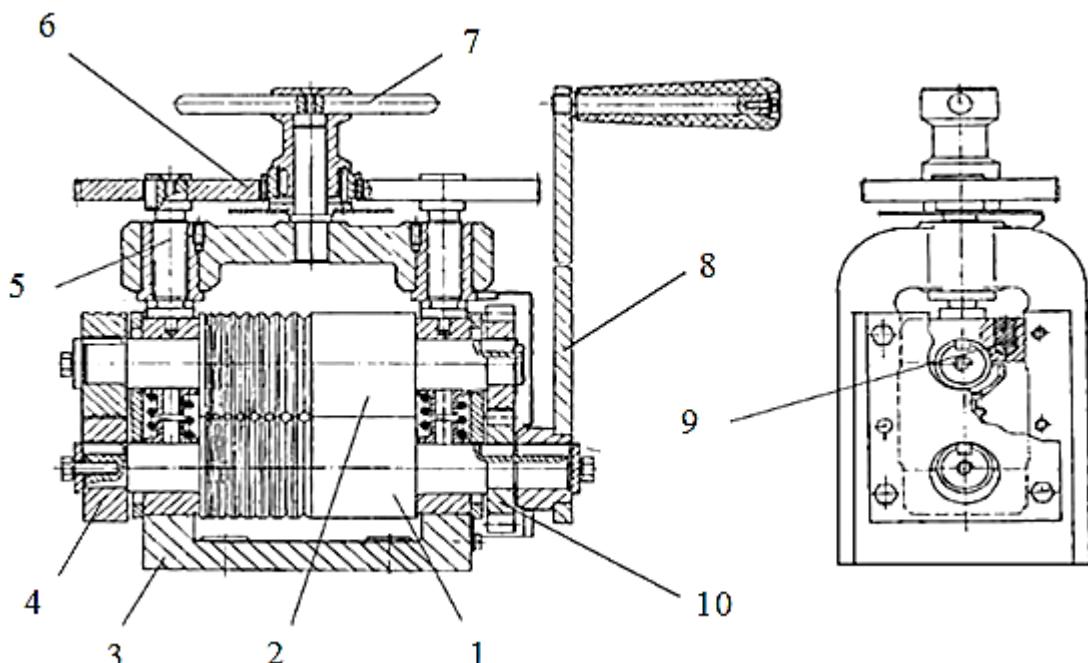


Рисунок 2.14 – Кинематическая схема одного из вариантов ювелирных вальцов

Ювелирные вальцы, показанные на рисунке 2.14, имеют прокатные валки 1 и 2 смонтированы на подшипниках скольжения в корпусе 3. Вращение вала 1 осуществляется рукойткой 8. Верхний вал 2 получает вращение от нижнего вала через зубчатую передачу 10. Регулировка зазора между валами осуществляется перемещением верхнего вала с помощью маховика 7 через зубчатую передачу 6 и винты 5. Для смазки опор в подшипниках предусмотрены карманы 9, заполненные войлоком.

## **Порядок выполнения работы**

### ***Волочение проволоки с использованием фильтерной доски***

1. Получить фильтерную доску (рисунок 2.15) и проволоку



Рисунок 2.15 – Фотография фильтерной доски

2. Установить фильтерную доску параллельно губкам тисков и надежно ее зажать (рисунок 2.16)



Рисунок 2.16 – Фотография фильтерной доски закрепленной в тисках

3. С помощью напильника сформировать на проволоке заходную фаску
4. Вставить проволоку в требуемое отверстие таким образом, чтобы ее конец вышел из фильтерной доски (рисунок 2.17)

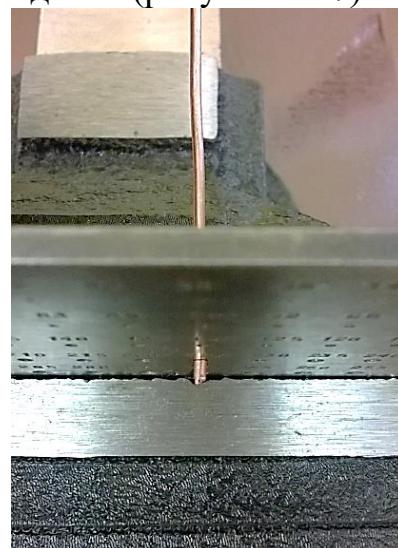


Рисунок 2.17 – Фотография проволоки, вставленной в отверстие фильтерной доски

5. Захватить конец проволоки пассатижами и приложив усилие протянуть проволоку через отверстие в фильтерной доске (рисунок 2.18)



Рисунок 2.18 – Фотография позиции волочения проволоки с помощью фильтерной доски

### ***Прокатка проволоки***

1. Смазать поверхность валков маслом
2. Измерить первоначальные размеры проволоки, в частности диаметр и длину
3. Вращая маховик 6 выставить требуемый зазор между валками
4. С помощью напильника сформировать на проволоке заходную фаску
5. Вставить проволоку в зазор между валками (рисунок 2.19)



Рисунок 2.19 – Фотография проволоки вставленной между валками

6. Медленно вращая рукоятку осуществить прокатку проволоки по всей ее длине (рисунок 2.20)

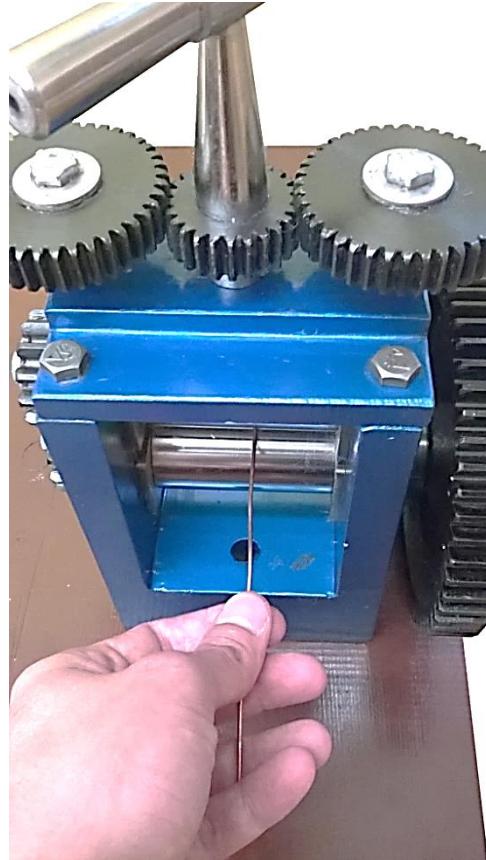


Рисунок 2.20 – Фотография прокатки проволоки

7. Измерить полученные размеры проволоки (высоту и ширину ее поперечного сечения, а так же длину), после ее прокатки

8. Рассчитать по формулам 2.1 и 2.2 относительный обкат и вытяжку

### **Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть
  - 4.1 Результаты волочения проволоки с использованием фильтерной доски
  - 4.2 Результаты расчетов относительного обката и вытяжки
5. Вывод

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое раскрой материала?
2. Какие существуют типы раскроя?
3. Какие операции относятся к разделительным?

4. Какие операции относятся к формоизменяющим?
5. В чем сущность горячей объемной штамповки?
6. В чем сущность получения заготовок из проката?
7. В чем сущность получения заготовок волочением?
8. Описание устройства и принципа работы ювелирных вальцов?

### **Литература**

1. Технология металлов и других конструкционных материалов. В.В.Архипов, А.А.Абиндер, М.А.Касенков и др. – М.: Высшая школа, 1978.
2. Справочник инструментальщика / И.А.Ординарцев, Г.И.Филиппов, А.Н.Шевченко и др. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
3. Справочник технолога-приборостроителя. В 2-х т. Под ред. П.В. Сыроватченко. – М.: Машиностроение, 1980.
4. Красников В.Ф. Технология миниатюрных изделий. – М.: Машиностроение, 1976. – 328 с.
5. Ачкасов Н.А., Терган В.С. Технология точного приборостроения. – М.: Высшая школа, 1973. – 336 с.

## **Лабораторная работа № 3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

#### **Цель работы:**

1. Ознакомление с технологией получения деталей и заготовок методом порошковой металлургии.
2. Приобретение практических навыков по определению угла естественного откоса и текучести порошка.

#### **Инструменты и принадлежности к работе**

1. Комплект прессованных деталей (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Комплект деталей.

2. Стойка с устройством определения текучести порошка (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Стойка с устройством определения текучести порошка

3. Лабораторные весы
4. Шихта.
5. Секундомер

## **Теоретическая часть**

### **Введение**

**Порошковая металлургия (ПМ)** — это процесс изготовления деталей из металлических порошков и их смесей с неметаллическими материалами без расплавления основного компонента.

Используя методы ПМ, можно изготавливать изделия из тугоплавких металлов, создавать материалы с особыми составами, структурой и свойствами, иногда вообще недостижимыми при применении других методов производства, либо с обычным уровнем свойств, но при существенно лучших экономических показателях.

Методы ПМ позволяют получить материалы деталей, обладающие высокой жаропрочностью, износостойкостью, стабильными магнитными свойствами, а также полупроводниковые материалы. Детали можно получать из чистых металлов, сплавов и композиций металлов с неметаллами, которые невозможно создать приемами обычной металлургии вследствие их жаропрочности или неспособности сплавляться.

В ПМ используют следующие металлические порошки: железные, кобальтовые, вольфрамовые, никелевые, серебряные, медные, алюминиевые, оловянные и свинцовые.

Механические свойства изделий из чистых металлических порошков близки к свойствам литьих деталей. В некоторых случаях удается подобрать режимы прессования и спекания, обеспечивающие повышенную прочность изделий.

Механические свойства деталей, полученных из металлических порошков, незначительно уступают механическим свойствам литьих и кованых заготовок. Методами ПМ могут быть изготовлены такие же детали, что и из отливок, но с тем существенным отличием, что потери при изготовлении этих деталей методами ПМ составляют 3-7%, тогда как при изготовлении из отливок отходы материала иногда достигают 80%. Процессы порошковой металлургии наиболее эффективны в условиях крупносерийного и массового производства.

### **Методы получения металлических порошков, свойства порошков**

Методы получения металлических порошков делят на **механические**, обычно используемые для переработки отходов, и **физико-химические**, дающие возможность получать очень чистые шихтовые материалы.

**Механическое измельчение** (дроблением, размолом или истиранием) - старейший метод перевода твердых веществ в порошкообразное состояние. Наиболее целесообразно применять механическое измельчение при производстве порошков хрупких металлов и сплавов. В качестве сырья лучше использовать стружковые и другие отходы, образующиеся при обработке металлов.

Операция механического измельчения часто совмещается с операцией приготовления смесей порошков.

Механические методы получения порошков это:

1) обработка металлов резанием с превращением их в мелкую стружку или опилки. Так получают, например, магнитный порошок путем царапания компактного магния стальными щетками или на специальных фрезерных станках;

2) измельчение металла в шаровых (карбиды титана, вольфрама, кремния и др.), вихревых (ковкие металлы) и др. типах мельниц;

3) ультразвуковое диспергирование. Его ведут в воде, спирте, ацетоне и др. жидкостях. Механизм его состоит в расклинивающем действии кавитационных ударов. Полученные порошки достаточно химически чистые, но частицы содержат больше микроискажений, чем после измельчения в шаровой мельнице.

Для получения порошков может использоваться и диспергирование расплавов.

**Физико-химические методы** — это такие технологические процессы, которые связаны с существенным изменением химического состава исходного материала в результате происходящих в нем глубоких физико-химических превращений. По сравнению с механическими методами физико-химические более универсальны, причем некоторые требования, предъявляемые к металлическим порошкам, можно удовлетворить, используя только их.

К физико-химическим методам относятся:

1) получение металлических порошков восстановлением химических соединений. Этим методом могут быть получены практически все металлы. В общем случае простейшую реакцию восстановления можно представить как:



где  $Me$  — любой металл, порошок которого требуется получить;

$A$  — неметаллическая составляющая (кислород, фтор, хлор, солевой остаток и др.) восстанавливаемого химического соединения  $MeA$ ;

$X$  — восстановитель;

$Q$  — Термический коэффициент реакции;

2) производство металлических порошков электролизом растворов или расплавов соединений металлов. Это своеобразный процесс восстановления, при котором перераспределение электронов и передача их металлу с одновременной перестройкой структуры происходит не с помощью восстановителей, а за счет использования энергии электрического поля.

Электролиз используется для выделения порошков: меди, серебра, железа, никеля, кобальта, хрома, олова и др.

Существуют и другие физико-химические методы получения порошков.

Металлические порошки принято характеризовать **химическими, физическими и технологическими** свойствами.

В некоторых случаях необходимо характеризовать порошки по **специальным свойствам**: а) коррозионная стойкость, б) химическая активность, в) адсорбционная способность, г) цвет, д) блеск и т. п.

Знание свойств порошков необходимо для правильной организации техпроцесса производства заготовок. Основные характеристики порошков регламентированы ГОСТ или ТУ.

**Химические свойства** порошков — это содержание основного металла, примесей (или загрязнений) и газов, пирофорность и токсичность.

Для получения большинства изделий из порошков содержание основного металла в них должно быть не ниже 98-99%. Предельное содержание примесей в порошках определяется допустимым содержанием их в готовой продукции.

В металлических порошках содержится значительное количество газов (кислорода, водорода, азота и др.), как адсорбированных на поверхности, так и попавших внутрь частиц в процессе изготовления. Большое количество газов увеличивает хрупкость порошков, затрудняет формование, а интенсивное их выделение может привести к короблению изделий. Поэтому порошки часто подвергают вакуумной обработке для отгонки газов.

Для некоторых порошков характерна способность к самовозгоранию при соприкосновении с воздухом — пирофорность. К таким порошкам относятся тонкие порошки железа, кобальта, алюминия, циркония и др. Например, для циркония со средним размером частиц 3-6 мкм пирофорность проявляется при его расположении в слое при 180°C, а для взвешенной в воздухе пыли циркония — при 20 °C.

Пыль любого металла может воздействовать на человека и вызывать патологические изменения в организме, т.е. быть токсичной. Поэтому при контакте с порошком обращается особое внимание на соблюдение мер, обеспечивающих безопасность работающих.

**Физическими свойствами** порошков являются: а) форма частиц; б) размеры и распределение их по крупности; в) удельная поверхность; г) пикнометрическая плотность; д) микротвердость.

#### *a) Форма частиц.*

Она зависит от метода получения и обработки порошка и бывает: сферическая (распыление расплава с кристаллизацией частиц в свободном полете), губчатая (восстановление оксидов), оскольчатая (измельчение в шаровой мельнице), дендритная (электролиз водных растворов и расплавов солей) и др.

#### *б) Размер частиц.*

Металлические порошки состоят из частиц различной крупности. В зависимости от набора размеров частиц порошок характеризуется гранулометрическим (фракционным) составом. Фракция — это диапазон размеров частиц между их максимальным и минимальным значениями.

Гранулометрический состав — содержание частиц (%) в определенных фракциях по отношению к их общему количеству.

В зависимости от размеров частиц порошки условно делят на группы: ультрадисперсные (до 500 нм), ультратонкие (0,5-10 мкм), тонкие (10-40 мкм), средней крупности (40-250 мкм), грубые или крупные (250-1000 мкм).

Гранулометрический состав определяют различными методами анализа: ситовым, микроскопическим и др.

в) *Удельная поверхность порошка* — это суммарная поверхность всех частиц, составляющих его единицу массы (или объема). Для различных порошков она составляет от 0,01 до 10-20 м<sup>2</sup>/г. Величина удельной поверхности определяет активность протекания физико-химических процессов, сопутствующих формированию свойств частиц, их компактированию, спеканию, взаимодействию с окружающей средой и т.д.

Удельная поверхность порошка определяется дисперсностью, формой и состоянием поверхности его частиц. Для ее определения используют методы измерения газопроницаемости и адсорбции.

г) *Плотность.*

Плотность частицы порошка — это отношение ее массы к занимаемому объему и зависит от совершенства внутренней макро- и микроструктуры частицы, наличия оксидов, нитридов и т.д. Для сплавов плотность частицы зависит также от равномерности распределения легирующих элементов и фаз.

Пикнометрическую (истинную) плотность частицы порошка определяют при помощи мерных сосудов — пикнометров.

д) *Микротвердость.*

Она позволяет косвенно оценивать способность частиц к деформированию. Ее определяют по величине отпечатка, оставленного при вдавливании алмазного наконечника (индентора) конусной формы в полированную плоскую поверхность частиц порошка, закрепленных в шлифе.

**Технологические свойства** порошков это: а) угол естественного откоса, б) насыпная плотность, в) текучесть, г) плотность утряски, д) уплотняемость, е) прессуемость, ж) формуемость.

Знание технологических характеристик позволяет в сочетании с известными физическими свойствами оценивать поведение исследуемых порошков при их компактировании, скорость заполнения порошком пресс-форм, величину необходимого при прессовании давления и т.д.

а) *Угол естественного откоса.*

При истечении сыпучего материала на горизонтальную плоскость образуется горка с некоторым углом откоса, соответствующим равновесию частиц. Угол между горизонтальной плоскостью и линией откоса называют углом естественного откоса. Он является наибольшим углом, который может быть образован плоскостью естественного откоса с горизонтальной плоскостью, и служит одним из основных показателей подвижности материала. Его величина определяется силами трения, которые зависят от

формы, размера частиц и влажности. Увлажнение материала приводит к увеличению угла естественного откоса. В большинстве случаев угол естественного откоса сыпучих материалов не превышает  $55\text{--}60^\circ$ .

Наибольшая подвижность частиц сыпучего материала соответствует минимальному углу естественного откоса, по мере увеличения этого угла подвижность частиц уменьшается.

Угол естественного откоса необходимо учитывать при определении поперечного сечения ленточного питателя и полезной емкости бункера.

Различают угол естественного откоса материала в покое и в движении на поверхностях транспортирующих устройств. При движении опорная горизонтальная плоскость колеблется, величина угла естественного откоса уменьшается. Таким образом, угол естественного откоса в покое всегда больше угла естественного откоса в движении ( $f_{\text{дв}} \ll 0,7f$ ). Угол естественного откоса обычно определяют с помощью специальных приборов. Иногда, если это необходимо, угол естественного откоса с достаточной точностью может быть определен следующим образом: отрезок цилиндрической трубы устанавливают вертикально на горизонтальной плоскости и заполняют испытуемым материалом.

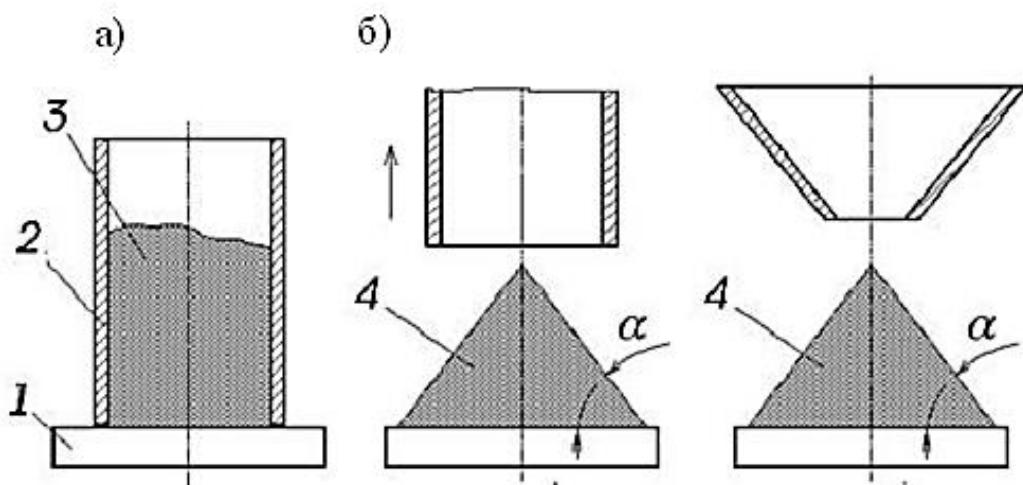


Рисунок 3.3 – Способы определения угла естественного откоса. а – с помощью убираемой трубы, б – при свободном истечении из воронки. 1 – гладкая плита, 2 – труба, 3 – порошок, 4 – свободно отсыпанный порошок, а – угол естественного откоса

Затем трубу медленно поднимают. Высыпавшийся материал располагается на плоскости под углом естественного откоса (рисунок 3.3).

*б) Насыпная плотность* – это масса единицы объема порошка при свободной его насыпке.

Эта характеристика определяется плотностью материала порошка, размером (формой) его частиц, плотностью укладки частиц и состоянием их поверхности. Например, сферические порошки с гладкой формой частиц обеспечивают более высокую насыпную плотность.

Насыпную плотность определяют по ГОСТ на приборе, называемом волюрометр.

Насыпную плотность учитывают при расчете объема полости матрицы при прессовании.

Величина, обратная насыпной плотности, характеризует объем, занимаемый единицей массы порошка, который называют *насыпным объемом*. Эта величина помогает оценить способность порошка к наполнению формующей полости матрицы пресс-формы.

*в) Плотность утряски.*

При приложении механических колебаний к сосуду с порошком его частицы, перераспределяясь друг относительно друга, расположатся существенно более компактно. Сокращение объема произойдет без деформации частиц порошка. Отношение массы порошка к величине этого нового, уменьшенного объема, называют *плотностью утряски*.

Метод определения этой характеристики регламентируется ГОСТ.

Плотность утряски (а она по сравнению с насыпной плотностью может увеличиваться на 25-50%) зависит от тех же свойств порошка, что и насыпная плотность.

Отношение насыпной плотности к плотности утряски дает также качественное представление о текучести порошка.

*г) Текучесть порошка* — это его способность перемещаться под действием силы тяжести, которая оценивается временем истечения (с) навески порошка массой 50 г через калиброванное отверстие диаметром 2,5 мм.

Текучесть зависит от плотности материала, гранулометрического состава, формы и состояния поверхности частицы, степени окисления и т.д.

Текучесть учитывают при определении производительности автоматических процессов. Текучесть ухудшается при увлажнении порошка, увеличении его удельной поверхности и доли мелкой фракции. Она несколько улучшается при окислении поверхности частиц.

*д) Уплотняемость* порошков показывает их способность к уменьшению занимаемого объема под воздействием давления или вибрации.

Данные по уплотняемости представляют в виде таблицы или графика зависимости плотности прессовок от давления прессования.

*е) Прессуемость* порошка оценивают его способностью образовывать под воздействием давления тело, имеющее заданные размеры, форму и плотность.

Эта характеристика дает качественную оценку свойств порошка, комплексно связанную с уплотняемостью и формируемостью.

*ж) Формуемость* порошка оценивают его способностью сохранять приданную ему в результате прессования форму в заданном интервале пористости.

Формуемость порошка зависит в основном от формы, размера и состояния поверхности частиц.

## **Технология изготовления деталей**

Технологический процесс изготовления деталей состоит из следующих операций:

- приготовление шихты требуемого состава;
- дозирование;
- прессование (формование);
- спекание;
- калибрование;
- механическая обработка (обработка резанием);
- нанесение гальванопокрытия.

### **Приготовление шихты**

Ввиду того, что невозможно учесть все требования, которые предъявляют к порошкам различные потребители в соответствии с техническими условиями на готовую продукцию, существует необходимость придания порошку определенных химических, физических и технологических характеристик, обеспечивающих выпуск продукции с нужными конечными свойствами. Основными операциями при подготовке порошков к формированию являются отжиг, рассев и смещивание.

*Отжиг* — это вид обработки порошков, применяемый с целью повышения их пластичности, и, следовательно, улучшения уплотняемости, прессуемости и формируемости.

При отжиге снимается наклеп, и очень часто происходит восстановление оксидов, оставшихся после получения порошка или образовавшихся в результате неправильного их хранения.

Нагрев осуществляют взащитой среде (восстановительная, инертная или вакуум) при температуре  $t = (0,4-0,6)T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  — температура плавления порошка.

*Рассев* — это разделение порошков по величине частиц на фракции, используемые затем либо для формования, либо для составления смеси, содержащий требуемый процент частиц нужного размера.

В порошковой металлургии чаще всего применяют ситовую классификацию порошков.

*Приготовление смесей.* Смешивание порошков заключается в приготовлении однородной механической смеси из порошков различного химического и (или) гранулометрического состава, а также их смеси с неметаллическими порошками. Длительность смещивания составляет от 1 до нескольких часов. Наиболее распространенным является механическое смещивание в шаровых мельницах и смесителях различных типов.

В общем случае равномерное распределение частиц порошков в объеме смеси достигается тем легче и быстрее, чем ближе плотности смешиаемых компонентов.

Смешивание осуществляют в газовой среде (воздух или инертный газ) и в жидкой (вода, бензин, спирт и т.д.). В жидкой среде смешивание происходит значительно интенсивнее, что объясняется уменьшением силы электрического притяжения между частицами и, следовательно, лучшему их объемному распределению, а также увеличением подвижности частиц в жидкой среде.

В некоторых случаях применяют химический метод смешивания.

Результаты смешивания контролируют:

1) по физико-технологическим свойствам шихты (гранулометрический состав, насыпная плотность, текучесть, прессуемость, а также физические и механические свойства спеченных тел)

2) химическим анализом проб. На практике обычно контролируют часть технологических характеристик смеси и проводят химический анализ проб из нее.

### **Дозирование шихты**

Шихту дозируют по массе или по объему. В крупносерийном производстве при автоматизации дозирования и достаточно стабильном качестве смеси предпочтение следует отдать объемному способу, при котором определяют насыпной объем.

Успешное осуществление объемной дозировки, особенно автоматической, возможно только для порошков с высокой текучестью и однородными технологическими свойствами. Для улучшения текучести применяют предварительное гранулирование прессуемого материала обкаткой его во вращающемся барабане, в том числе с увлажнением (например, бензином).

В зависимости от выбранного способа дозирования дозу рассчитывают по формулам:

$$G_{\text{нас}} = \rho V_{\text{дем}} K \left(1 - \frac{P_{\text{дем}}}{100}\right);$$

$$V_{\text{нас}} = \frac{\rho K}{m_{\text{нас}}} V_{\text{дем}} \left(1 - \frac{P_{\text{дем}}}{100}\right),$$

где  $G_{\text{нас}}=G_{\text{дем}}$  — величина навески шихты, кг;

$V_{\text{нас}}$  — насыпной объем,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{дем}}$  — объем готовой детали,  $\text{м}^3$ ;

$P_{\text{дем}}$  — заданная пористость готовой детали, %;

$m_{\text{нас}}$  — насыпная масса порошка,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho$  — плотность прессуемого порошка при 100% плотности (в компактном состоянии),  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$K$  — коэффициент потерь ( $K=1,04+1,05$ ).

Для смеси порошков:

$$\rho_i = \frac{1}{\frac{G_1}{r_1} + \frac{G_2}{r_2} + \dots + \frac{G_i}{r_i}}$$

где  $G_i$  — содержание компонентов смеси в долях единицы;  
 $\rho_i$  — плотность компонентов, кг/м<sup>3</sup>;

### Прессование (формование)

*Прессование* — это формование металлического порошка в пресс-форме под воздействием давления.

Его главная цель — получение брикетов с размерами и формой, необходимыми для получения готовых изделий.

Сущность процесса прессования порошка заключается в уменьшении его начального объема обжатием, тогда как при деформировании компактного материала его объем остается постоянным. Объем порошкового тела при прессовании изменяется в результате заполнения пустот между частицами за счет их смещения и пластической деформации.

Уплотнение порошка обеспечивается прессованием в металлических прессформах или в эластичных оболочках, шликерным\* формированием, прокаткой и другими методами.

Если строить график, на котором по оси ординат отложить относительную плотность (т.е. отношение фактической плотности к плотности беспористого материала) в %, а по оси абсцисс — давление прессования, то зависимость между этими величинами в общей форме можно было бы выразить идеализированной кривой уплотнения с 3-мя характерными участками а, б, в (рисунок 3.4).

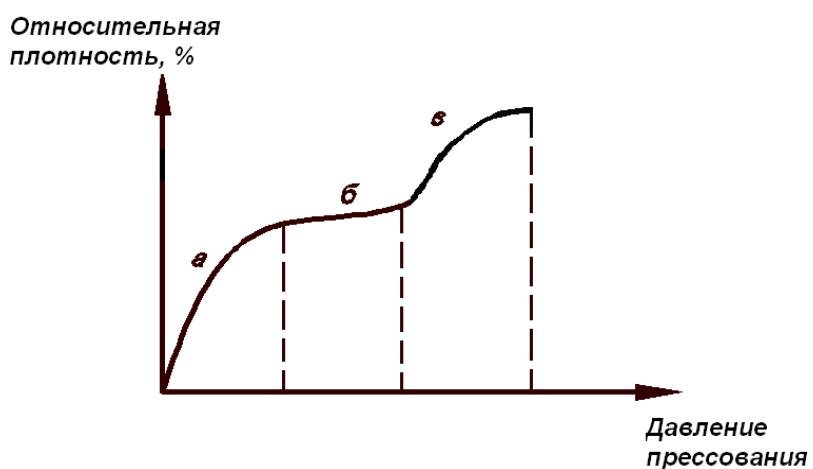


Рисунок 3.4 – Идеализированная кривая уплотнения порошков пластиичных металлов.

Наиболее интенсивное уплотнение должно происходить на первой стадии процесса (участок *а*). Вторая стадия процесса (участок *б*) характеризуется тем, что частицы порошка, упакованные достаточно плотно, оказывают определенное сопротивление сжатию, давление прессования

возрастает, а плотность порошкового тела при этом некоторое время не увеличивается.

Когда давление прессования превысит сопротивление сжатию частиц порошка, начинается их пластическая деформация и процесс уплотнения вступает в третью стадию - участок  $\sigma$ . С этого момента пластическая деформация охватывает весь объем каждой частицы, смещение контактов фактически прекращается, и они фиксируются.

На практике в процессе прессования происходит взаимное наложение указанных стадий уплотнения, протекающих одновременно, а реальная кривая уплотнения большинства порошков монотонна и в средней части не имеет явно выраженного горизонтального участка.

Важным моментом, особенно при прессовании сложных изделий, является равномерное распределение порошка по матрице пресс-формы и горизонтальность его поверхности. Это достигается различными путями, например вибрированием пресс-формы (вручную или механически) или применением специальных разравнивателей порошка, чаще всего в тех случаях, когда прессуют крупные брикеты.

Пресс-формы, применяемые в порошковой металлургии, могут быть классифицированы: по эксплуатационным особенностям (стационарные и съемные); по принципу заполнения порошком полости матрицы (с объемной и весовой дозировкой); по принципу прессования (одностороннее и двустороннее); по конструкции матрицы (со сплошной и разъемной матрицей); по количеству формующих гнезд (одногнездные и многогнездные); породу применяемых прессов (для неспециализированных и специализированных прессов); по методу прессования (для ручного, полуавтоматического и автоматического прессования); по количеству слоев в прессуемой детали (для однослойных и многослойных деталей); по конструкции пресс-формы, которая зависит от конфигурации прессуемой детали и ее размеров, в частности от отношения высоты детали к ее диаметру (поперечному размеру) или толщине стенки.

При конструировании пресс-форм учитывают четыре основных требования: 1) формирование детали заданных форм и размеров; 2) обеспечение равномерной плотности во всех частях прессуемого изделия; 3) обеспечение возможности наиболее простого выпрессовывания изделия; 4) надежность, простота, экономичность и обеспечение длительности срока службы конструкции.

Совершенно очевидна зависимость конструкции пресс-формы от конфигурации размера изготавливаемой детали, форму которой стремятся максимально упростить.

Кроме того, невозможно получать изделия с боковыми впадинами или отверстиями; их изготавливают дополнительной механической обработкой.

Число изменений по толщине и диаметру должно быть минимальным у прессуемой детали, причем указанные изменения не должны быть резкими, а сама толщина — достаточной (0,8 мм и более).

Деталь рекомендуется делать без узких и длинных выступов или выемок, обратной конусности, острых углов и других форм, приводящих к ослаблению конструкции пресс-формы. Необходимо предусматривать небольшие площадки на концах скосов и углов, что позволяет устраниить острые углы на торцах пuhanсонов. При сопряжении поверхностей следует предусматривать радиус закругления, равный не менее 0,25 мм.

Схема пресс-формы для получения изделий простой цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру  $\leq 1$  односторонним прессованием приведена на рисунке 3.5. Для выпрессовывания удаляют нижний пuhanсон, устанавливают специальную подставку с центральным отверстием, и верхним пuhanсоном выталкивают изделие из пресс-формы. Если пресс-форма смонтирована в столе пресса, то выталкивание изделия происходит снизу или сверху соответственно нижним или верхним пuhanсоном или специальным толкателем.

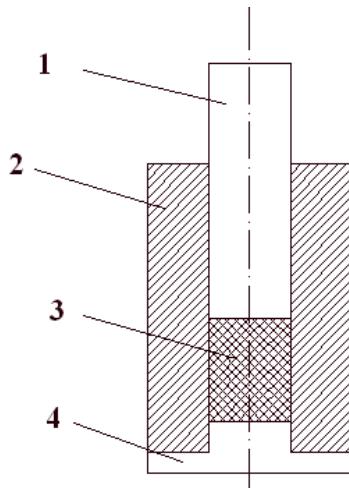


Рисунок 3.5 – Пресс-форма: 1- пuhanсон верхний, 2- матрица, 3- прессуемый порошок, 4- пuhanсон нижний (подставка).

При необходимости прессования изделий с отношением высоты к диаметру (поперечному размеру) более единицы используют пресс-формы двустороннего прессования (рисунок 3.6).

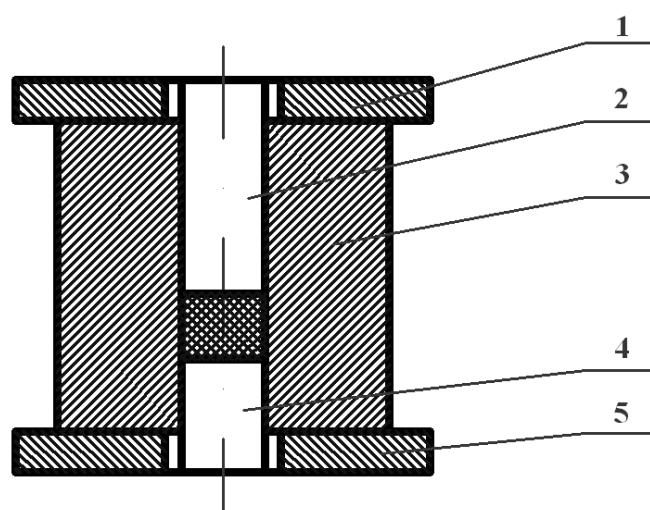


Рисунок 3.6 – Схема двустороннего прессования 1, 5 – прокладки, 2,4 – пuhanсоны, 3 – матрица.

Для прессования изделий сложной формы применяют верхние и (или) нижние составные пуансоны с несколькими подвижными частями, количество которых соответствует числу переходов (изменений размеров) по высоте изделия (рисунок 3.7).

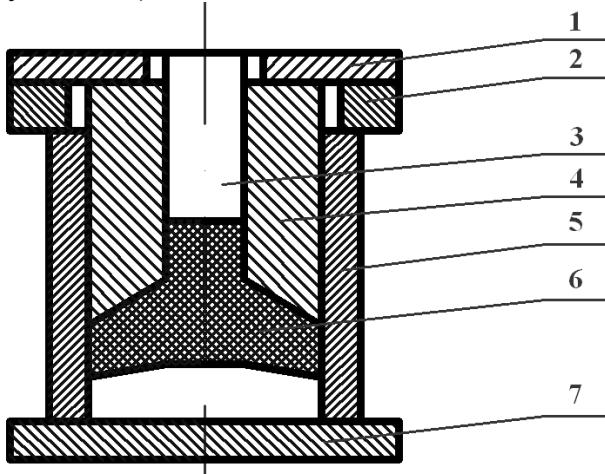


Рисунок 3.7 – Схема сложного прессования 1,2,7 – прокладки, 3,4 – пуансоны, 5 – матрица, 6 – вставка.

Прессы, используемые в настоящее время в порошковой металлургии для одно- или двустороннего прессования, гидравлические и механические, вертикальные (верхнего и нижнего деления) или горизонтальные (как правило, только гидравлические), автоматизированные и неавтоматизированные. В свою очередь механические прессы бывают кривошипные, кривошипноколенные, кулачковые и карусельные.

Прессы должны обеспечивать: достаточное давление в требуемом направлении, возможность регулирования хода скоростей прессования и выталкивания, возможность регулирования наполнения пресс-формы порошком, синхронизирование ходов составных пуансонов; жесткость конструкции, износостойкость против абразивного действия прессуемого материала, простоту систем смазки и удобное расположение механизмов управления и регулировки.

Выбор типа пресса определяется количеством, качеством, формой и размерами прессуемых изделий, в том числе требуемой плотностью брикета, его поперечным сечением, конструкцией пресс-формы, а также производительностью пресса и его пригодностью для выполнения различных работ.

Существуют два варианта прессования:

- 1) по заданному давлению прессования;
- 2) по смыканию матрицы и пуансона.

В первом случае заготовка прессуется до определенного давления по манометру. При этом методе прессования заготовки имеют постоянную пористость и непостоянную высоту.

Более прост и производителен второй метод прессования, обеспечивающий постоянство размеров детали.

Оформляющие элементы пресс-форм (матрицы и пуансоны) изготавливаются из конструкционных хромоникелевых сталей по 7-10 квалитету точности шероховатостью  $Ra = 1,25\text{--}0,32$  мкм.

Давление прессования определяется по зависимости:

$$p = \frac{P}{F},$$

где  $p$ - давление прессования,  $N/m^2$ ;

$P$ - усилие прессования,  $N$ ;

$F$ - площадь прессования,  $mm^2$ .

Усилие прессования  $P$  определяется по тарировочному графику. Пористость заготовки (детали) определяется по формуле:

$$P_{dem} = 100 \left(1 - \frac{G_{dem}}{V_{dem}}\right),$$

где  $V_{det}$  - объем готовой детали,  $m^3$ ;

$G_{dem}$ - величина навески шихты, кг.

## Спекание

Спекание представляет собой сложный комплекс большого количества физико-химических явлений, протекающих одновременно или последовательно при нагревании формовок или свободно насыпанного порошка. Некоторые из этих явлений связаны с обычными эффектами влияния повышенных температур на любое поликристаллическое тело, другие же являются специфичными для пористых порошковых тел.

Практической целью спекания является достижение определенного уровня требуемых свойств, формирующихся в процессе нагрева исходного порошкового тела. Спекание есть нагрев и выдержка порошковой формовки при температуре ниже точки плавления основного компонента с целью обеспечения заданных механических и физико-химических свойств.

Температура спекания должна составлять 0,65 — 0,75 температуры плавления основного компонента металлокерамической смеси. Выдержка по достижении максимальной температуры спекания 30 — 80 мин. При увеличении выдержки плотность существенно не повышается. Процесс спекания делят на три этапа:

1 этап: нагрев до 150,0  $C^\circ$  — удаление влаги;

2 этап: нагрев до температуры, которая на 20–25 % меньше температуры спекания — снятие упругих напряжений и активное сцепление частиц;

3 этап: нагрев до температуры спекания в защитной или нейтральной среде — восстановление оксидных пленок и окончательное сцепление частиц.

Спекание осуществляют в водородных или вакуумных печах непрерывного действия, в которых для загрузки и выгрузки кассет с деталями применяют шлюзовые устройства.

## Калибрование

После прессования и спекания детали имеют 11 – 13 квалитет точности размеров. Калиброванием при давлении до  $10000 \text{ кгс/см}^2$  можно повысить точность до 8 – 10 квалитета. Размеры калибровочных форм отличаются от номинальных размеров детали на величину упругого последействия, составляющую 0,11- 0,12 %.

## Механическая обработка и нанесение гальванопокрытий

После калибрования изделия можно обрабатывать резанием (например, для получения боковых впадин, отверстий, резьбы) и цементировать, кроме того, на них можно наносить гальванопокрытия.

## Порядок выполнения работы.

### *Определение пористости деталей.*

Исходные данные:

Давление прессования, $\text{кгс/см}^2$	80	100	120
Высота деталей, мм	4.2	4	3.8
Диаметр деталей, мм		8	
Масса детали, г		1	

1. Определить пористость 3-х деталей по формуле:

$$P_{\text{дет}} = 100 \left( 1 - \frac{G_{\text{дет}}}{V_{\text{дет}}} \right)$$

где  $V_{\text{дет}}$  – объем готовой детали,  $\text{м}^3$

$G_{\text{дет}}$  – величина (масса) навески шихты, кг

2. Построить зависимость  $P_{\text{дет}} = f(p)$  пористости детали (%) от давления прессования ( $\text{кгс/см}^2$ ).

### *Определение текучести порошка.*

Текучесть порошка определяется скоростью его истечения через выходное отверстие носика 2 воронки 1 диаметром 2,5 мм (рисунок 3.8). Для этой цели:

1. Взвесить с помощью весов 50 грамм порошка;

2. Высыпать порошок в воронку с углом конуса  $60^\circ$  и носиком, срезанным под прямым углом на расстоянии 3 мм от конуса воронки. Перед засыпкой порошка выходное отверстие воронки закрыть заглушкой 3.

3. После наполнения воронки порошком открыть заглушку и одновременно включить секундомер.

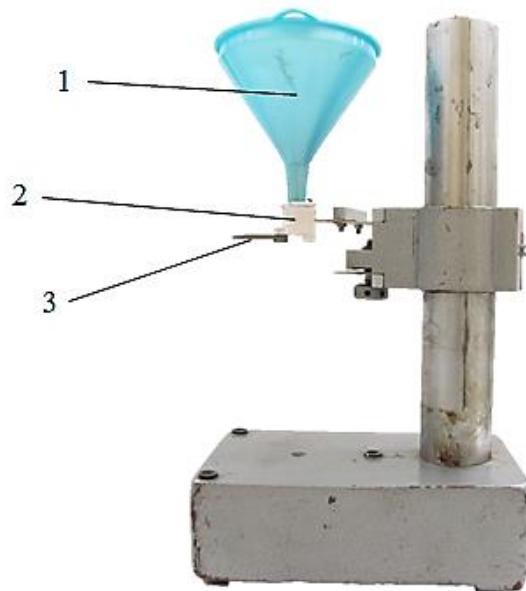


Рисунок 3.8 – Стойка с устройством определения текучести порошка.

***Определение угла естественного откоса порошка.***

1. Взвесить с помощью весов 100-150 грамм порошка;
2. Высыпать порошок в воронку;
3. Открыть заглушку и после истечения порошка (рисунок 3.9,а) сделать фотографию(рисунок 3.9,б);
- 4.С помощью транспортира определить угол естественного откоса
5. Зная угол естественного откоса порошка определить по таблице 3.1 степень сыпучести порошка.

а)

б)

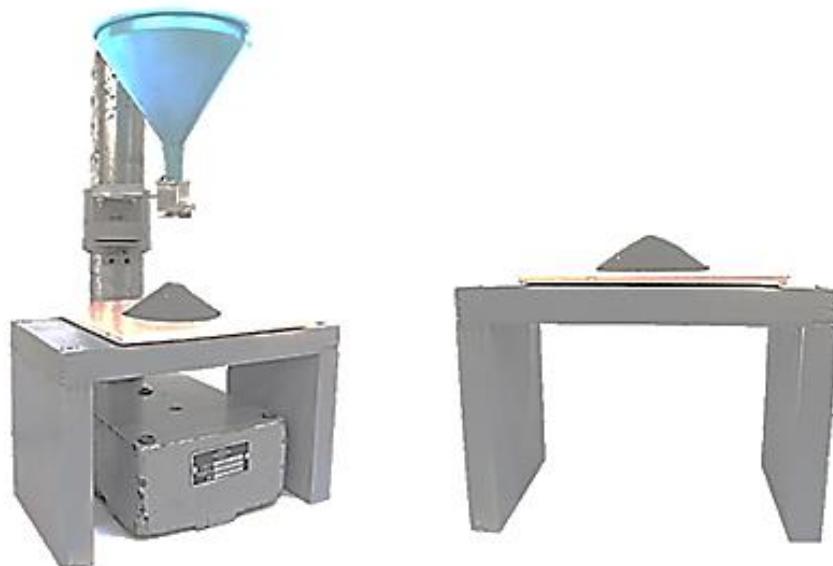


Рисунок 3.9 – Стойка с устройством определения естественного угла откоса свободно-насыпаемого порошка

Таблица 3.1

Степень сыпучести порошков и соответствующий угол естественного откоса

Степень сыпучести	Угол естественного откоса, градус
Очень хорошая	25-30
Хорошая	31-35
Удовлетворительная	36-45
Неудовлетворительная	46-55
Плохая	56-65
Очень плохая	Более 66

## Содержание отчета

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть
  - 4.1 Результаты расчета пористости 3-х деталей. График зависимости пористости деталей от давления прессования.
  - 4.2 Результаты экспериментального определения угла естественного откоса исследуемых порошков.
  - 4.3 Результаты экспериментального определения текучести исследуемых порошков.
5. Вывод

## Контрольные вопросы

1. Методы получения порошков.
2. Химические свойства порошков.
3. Технологические свойства порошков.
4. Физические свойства порошков.
5. Что такое угол естественного откоса.
6. Что такое текучесть порошка.
7. Назвать операции техпроцесса изготовления деталей методом порошковой металлургии.
3. Кратко пояснить операции техпроцесса изготовления деталей методом порошковой металлургии.

## Литература

1. Порошковая металлургия и напылённые покрытия, М.: Машиностроение, 1997.
2. Справочник технолога приборостроителя, под редакцией Сыроватченко П.В. – М.: Машиностроение, 1980, Т.1.с.270-279.
3. Технология материалов в приборостроении, под редакцией Малова А.Н.- М.: Машиностроение, 1969. с.132-139.

## **Лабораторная работа № 4**

### **СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ НА НАСТРОЕННОМ СТАНКЕ.**

#### **Цель работы**

1. Овладеть методикой построения экспериментальной и теоретической кривых распределения размеров партии деталей, обработанных на предварительно настроенных станках.

2. Овладеть методикой определения вероятного количества годных и бракованных деталей в партии.

#### **Задачи работы**

1. Изучить последовательность построения гистограммы и полигона распределения размеров деталей в партии

2. Изучить законы распределения размеров обрабатываемых деталей, в частности, закон нормального распределения, закон Симпсона, закон равной вероятности и закон Релея

3. Изучить методику оценки точности и стабильности технологического процесса, а также размерной настройки станка

4. Построить теоретическую кривую распределения размеров деталей в партии

5. Построить теоретическую кривую распределения значений радиального бieniaия шейки валов в обработанной партии

6. Определить законы распределения размеров и радиального бieniaия валов в партии

#### **Инструмент, материалы и принадлежности**

1. Партия обработанных деталей (80-90 шт.) (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Фотография партии деталей.

2. Головка рычажно-зубчатая 1ИГ, ГОСТ 18833-73 (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Фотография рычажно зуbachатой головки.

3. Стойка С-III ГОСТ 10197-70 (рисунок 4.3).

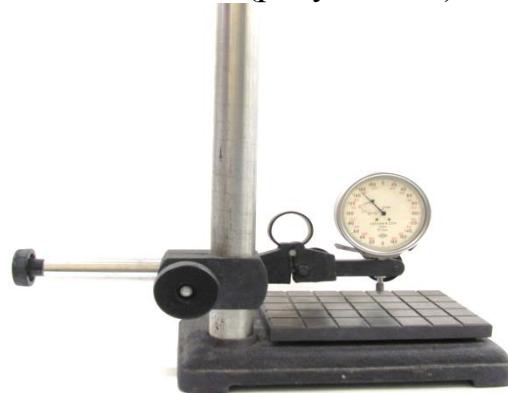


Рисунок 4.3 – Фотография стойки С-III.

4. Чертеж детали (рисунок 4.4).

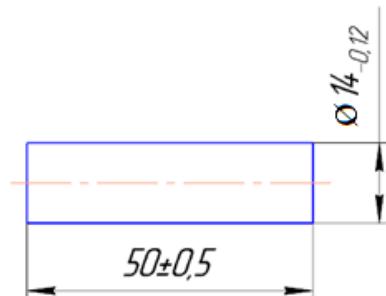


Рисунок 4.4 – Чертеж детали

5. Чертеж ступенчатого валика (рисунок 4.5)

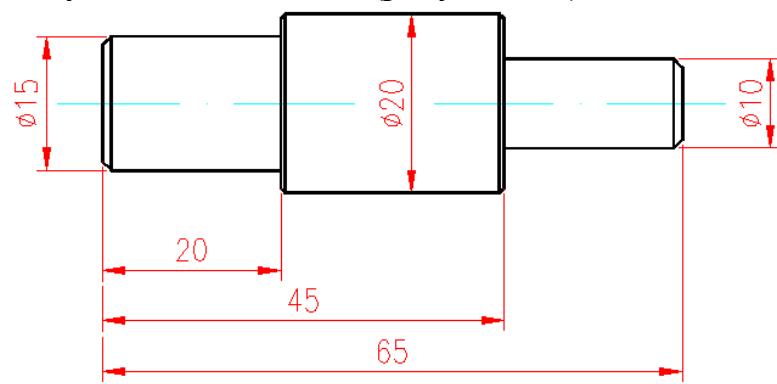


Рисунок 4.5 – Чертеж ступенчатого валика

## Теоретическая часть

### Гистограмма и полигон распределения случайной величины

Все погрешности, возникающие при механической обработке, могут быть сведены к трем видам:

- 1) систематические постоянные;
- 2) систематические переменные;
- 3) случайные.

Систематические постоянные погрешности – это такие, величина которых остается постоянной у каждой детали партии. Причиной возникновения таких погрешностей являются, например, неточность настройки станка на заданный размер, износ станка и другие.

Систематические переменные погрешности также имеются у каждой детали партии, но их величина меняется по какой-либо закономерности. Источниками возникновения этих погрешностей могут быть, например, размерный износ инструмента, температурные деформации системы СПИД и др.

Случайные погрешности появляются в результате действия одного или нескольких факторов, которые сами подвержены колебаниям случайного характера. Источниками случайных погрешностей могут быть, например, колебания твердости и припусков у деталей данной партии.

С помощью методов математической статистики и теории вероятностей можно по результатам измерений части деталей (выборки) определить закон распределения размеров деталей сколь угодно большой партии (генеральной совокупности), обработанной на данном станке. Этот закон распределения будет учитывать величину и вероятность возникновения случайных погрешностей.

Многочисленными исследованиями показано, что в большинстве случаев распределение размеров деталей при обработке их на настроенном станке происходит по закону нормального распределения случайных величин (закон Гаусса). Кривая нормального распределения описывается уравнением, которое будет приведено ниже. Анализ параметров этого уравнения позволяет оценивать точность обработки деталей, правильность настройки станка на размер, прогнозировать ожидаемую точность и возможный процент брака большого количества деталей по результатам измерений выборочной партии. Покажем это на примере.

У детали задан наружный диаметр

$$D = 30_{-0,12} \quad (D_{max} = 30,00; D_{min} = 29,86; D_{cp} = 29,94; IT = 0,12).$$

Случайная выборка из партии в количестве  $n = 24$  шт. была измерена. Результаты измерений показали, что детали имеют минимальный размер, равный 29,86 мм, и максимальный размер, равный 30,00 мм.

Разница между максимальным и минимальным размерами называется размахом:

$$\omega = 30,00 - 29,86 = 0,14 \text{ мм.}$$

Разобьем величину размаха на несколько интервалов (примем число интервалов равным 7). Тогда размер интервала  $\Delta x$  будет равен 0,02 мм.

Количество деталей, попадающих в данный интервал размеров, называется частотой  $K$ .

Внесем полученные данные в таблицу.

Предположим, что частоты  $K$  оказались следующими (таблица 4.1)

Таблица 4.1  
Результаты измерений партии деталей

Номер интервала	Интервал	Середина интервала $x_i$	Частота $K_i$ (количество деталей в интервале)
1	29,86-29,88	29,87	2
2	Св. 29,88-29,90	29,89	4
3	Св. 29,90-29,92	29,91	5
4	Св. 29,92-29,94	29,93	6
5	Св. 29,94-29,96	29,95	4
6	Св. 29,96-29,98	29,97	2
7	Св. 29,98-30,00	29,99	1

$$n = \sum K_i = 24$$

По полученным значениям можно найти среднее арифметическое значение размера  $\bar{X}$  (средний размер деталей в партии):

$$\bar{X} = \sum x_i \frac{K_i}{n} = \frac{1}{n} \sum x_i K_i \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \bar{X} = \frac{1}{24} (29,87 \cdot 2 + 29,89 \cdot 4 + 29,91 \cdot 5 + 29,93 \cdot 6 + 29,95 \cdot 4 + \\ + 29,97 \cdot 2 + 29,99 \cdot 1) = 29,923 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Следует учесть, что средний размер деталей в партии отличается от среднего значения размера, найденного по размаху. И действительно, это значение будет:

$$B_{cp} = D_{min} + \frac{1}{2} \omega = 29,86 + 0,07 = 29,93 \text{ мм.}$$

Имеем  $\bar{X} \neq B_{cp}$ .

В данном примере эта разница невелика, но в других случаях она может быть и значительной.

Для наглядности по найденным результатам построим эмпирическую кривую распределения (рисунок 4.5).

В координатной сетке по оси абсцисс отложим значения интервалов размера  $x$ , а по оси ординат частоты  $K_i$ , то есть количества деталей, попадающих в тот или иной интервал (данные из таблицы 4.1). В результате построения получим фигуру, состоящую из вертикальных столбиков, которая называется гистограммой распределения. Проведя ломаную через середины вершин столбиков, получим ломаную, называемую полигоном

распределения случайной величины  $x$ .

На график нанесем все заданные и найденные значения:  $D_{max}$ ,  $D_{cp}$ ,  $D_{min}$ ,  $IT$  – заданные значения величин;  $\omega$ ,  $1/2\omega$ ,  $B_{cp}$ ,  $\bar{X}$  – найденные значения.

Из сравнения нанесенных величин видно, что в данной выборке имеются детали, лежащие вне заданных значений  $D = 30_{-0,12}$ . Это детали первого интервала с размерами от 29,86 до 29,88 в количестве 2 шт. ( $K = 2$ ). Так как размер этих деталей менее нижнего предела, следовательно, брак неисправный. Определим процент брака:

$$\frac{K_i \cdot 100}{n} = \frac{2 \cdot 100}{24} \approx 8,3\%.$$

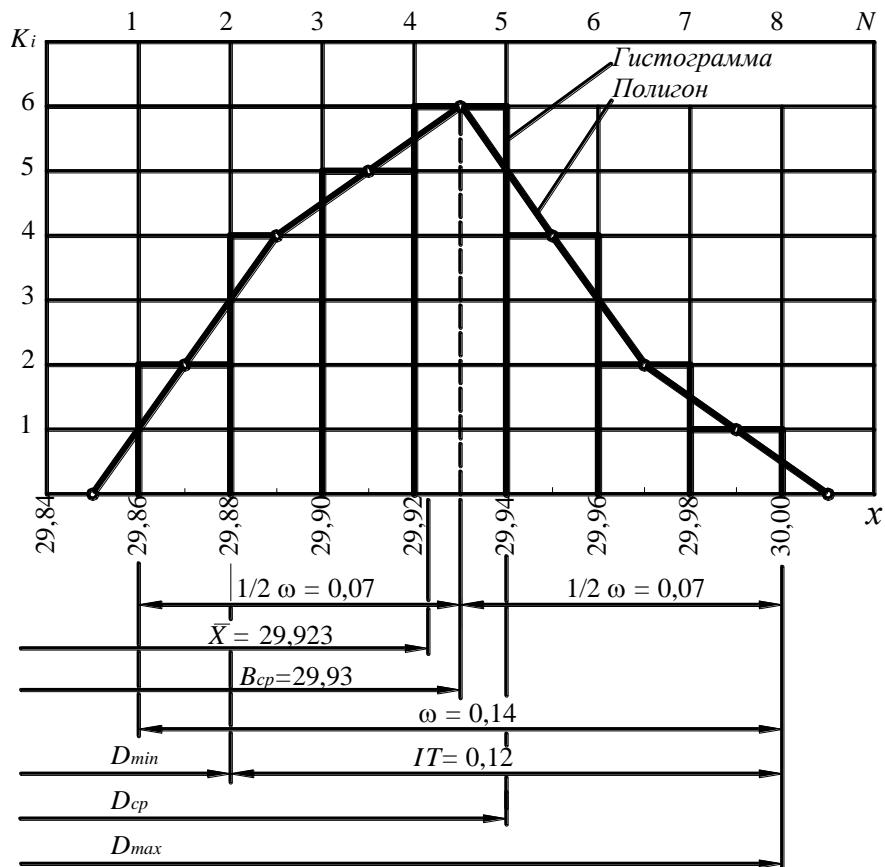


Рисунок 4.5 – График распределения случайной величины

Из рисунка 4.5 видно, что площади гистограммы и полигона равны и соответствуют величине

$$S = (\Delta x K_1 + \Delta x K_2 + \dots + \Delta x K_i) = \Delta x (K_1 + K_2 + \dots + K_i) = \Delta x \cdot n.$$

Если в формуле, определяющей процент брака, числитель и знаменатель умножить на  $\Delta x$ , тогда получим

$$\frac{\Delta x K_i \cdot 100}{\Delta x \cdot n} = \frac{S_1 \cdot 100}{S} \approx 8,3\%.$$

где  $S_1$  – площадь полигона, выходящая за пределы допуска;  $S$  – площадь всего полигона.

Следовательно, процент брака мог быть найден как отношение площади полигона (гистограммы), выходящей за пределы допуска  $IT$ , ко всей площади полигона.

Гистограммы распределения партии деталей из  $n$  штук могут иметь различную форму. На рисунке 4.6 представлены для примера две возможные формы гистограмм.

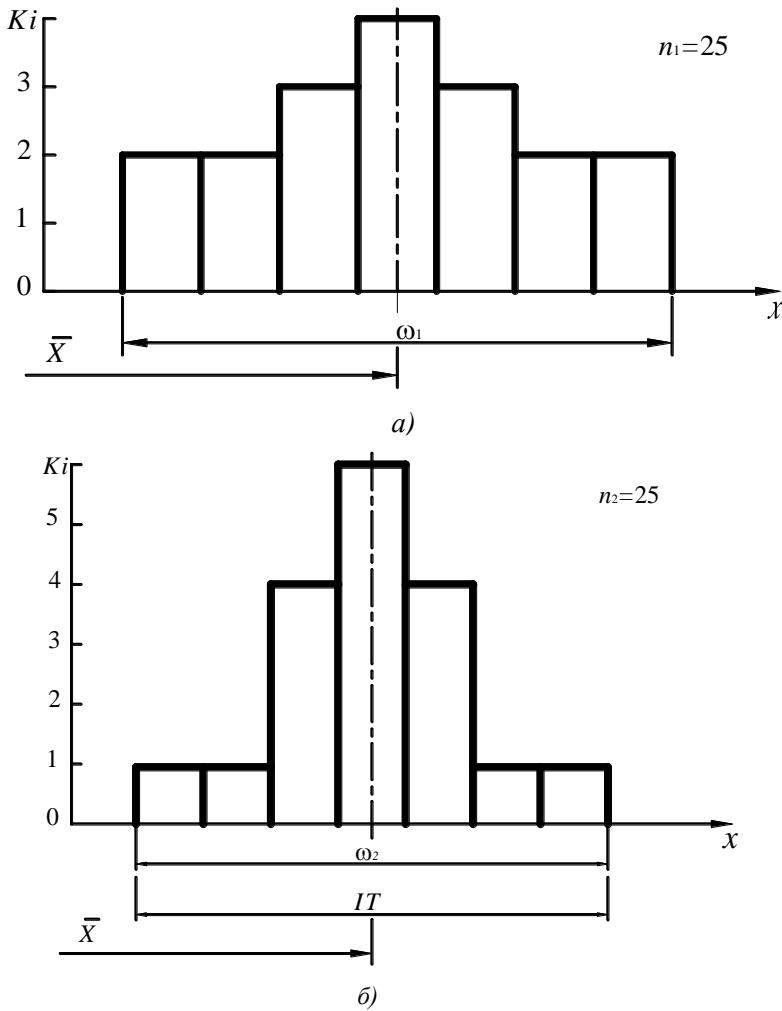


Рисунок 4.6 – Возможные графики распределения случайной величины

Несмотря на то, что в обеих партиях число деталей одинаково, а следовательно, и площади одинаковы, несмотря на равенство размахов  $\omega_1$  и  $\omega_2$  и равенство  $\bar{X}$ , эти партии не равноценны по точности. У первой партии большое количество деталей находится у крайних пределов и возможен выход этих деталей из поля допуска, у второй партии, наоборот, детали тесно группируются у размера  $\bar{X}$  (центра группирования), и выход за пределы допуска маловероятен. Технологический процесс, по которому была обработана вторая партия деталей, более надежен и брак будет менее вероятным.

Рассмотренные ранее характеристики  $\bar{X}$ ,  $\omega$  не дают возможности оценить плотность группирования размеров деталей около значения  $\bar{X}$ , что очень важно для оценки качества технологического процесса и вероятности возникновения брака. Характеристикой, которая может дать такую оценку, является среднеквадратическое отклонение от среднего значения  $\sigma$ , которое вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 K_i}{n}}. \quad (4.2)$$

Величина среднеквадратического отклонения  $\sigma$  оценивает форму кривой распределения и фактически дает характеристику того, какие количества величин  $x$  и на каких расстояниях отстоят от величины  $\bar{X}$ . Так, например, для показанной на рисунке 4.2, а кривой распределения, величина  $\sigma$ , подсчитанная по формуле (2), дает значение

$$\sigma = 0,038 \text{ мм},$$

а для кривой распределения на рисунке 4.2, б

$$\sigma = 0,025 \text{ мм}.$$

Размерность  $\sigma$  совпадает с размерностью случайной величины  $x$  (в нашем примере мм).

Для оценки генеральной совокупности по результатам оценки выборочной партии необходимо эмпирическую кривую распределения заменить теоретической кривой.

### Закон нормального распределения.

#### Построение теоретической кривой распределения размеров деталей в партии

Как было указано, случайные величины в большинстве случаев имеют распределение, соответствующее закону Гаусса (рисунок 4.7).

Кривая Гаусса строится в координатах  $x$  и  $y$ , где  $x$  – значение случайной величины,  $y$  – плотность вероятности возникновения той или иной величины. В эмпирическом законе распределения взамен плотности вероятности  $y = f(x)$  используется частота  $K_i$ . По смыслу эти понятия одинаковы, но  $K_i$  используется для оценки выборки, а  $y = f(x)$  для оценки генеральной совокупности.

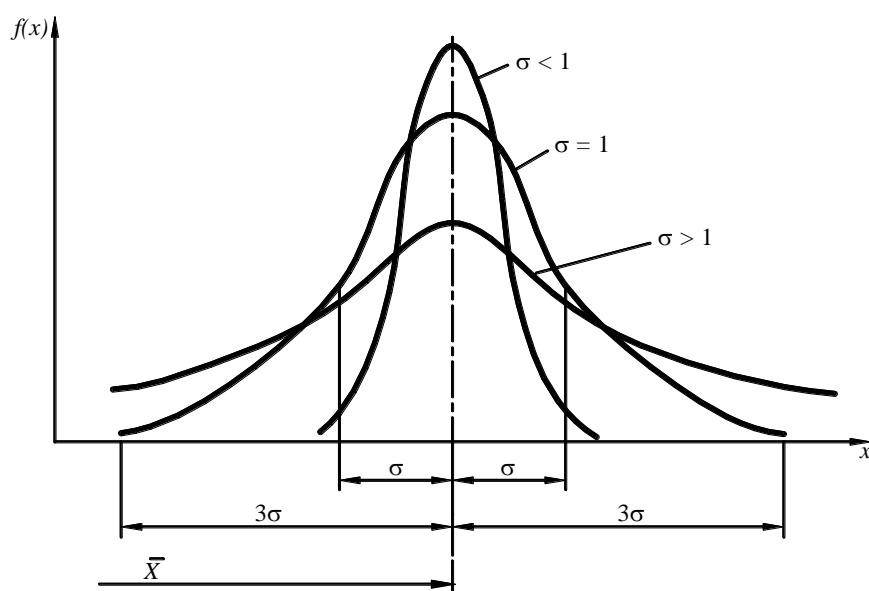


Рисунок 4.7 – Теоретическая кривая нормального распределения

## Уравнение кривой Гаусса

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.3)$$

где  $x$  – переменная случайная величина;  $y = f(x)$  – плотность вероятности;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение величин  $x$  от  $\bar{X}$ .

Кривая Гаусса обладает рядом свойств. Отметим главные из них.

1. Ветви кривой асимптотически приближаются к оси абсцисс, сливаясь с ней в бесконечности, то есть зона рассеивания случайной величины  $x$  лежит в пределах  $\pm\infty$ :

2. Максимальное значение величины  $y$  будет при  $x = \bar{X}$  и соответственно составит

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

3. Значение величины  $y$  для значений  $x = \sigma$  составляет

$$y_\sigma = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,24}{\sigma}.$$

4. Кривая имеет перегибы, отстоящие на расстоянии  $6\sigma$  от среднего значения  $\bar{X}$ .

5. При увеличении  $\sigma$  кривая "сплющивается", а при уменьшении «вытягивается» вверх (рис.3).

6. Площадь под кривой нормального распределения может быть найдена путем интегрирования уравнения (3) и характеризует собой вероятность того, что случайная величина будет располагаться внутри интервала  $\pm\infty$ . Совершенно очевидно, что в пределы  $\pm\infty$ : попадут полностью все значения  $x$ . Поэтому вероятность попадания в этот интервал равна единице:

$$F(-\infty < x < \infty) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx = 1.$$

7. Для практики достаточными являются пределы, равные не  $\pm\infty$ , а  $\pm 3\sigma$  от значения  $\bar{X}$ , так как в эти пределы попадает 99,73% всех значений случайной величины  $x$ . Практически считают

$$F(\bar{X} - 3\sigma < x < \bar{X} + 3\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{(\bar{X}-3\sigma)}^{(\bar{X}+3\sigma)} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx = 0,9973 \approx 1.$$

Вероятность значений величины  $x$  в любом другом интервале может быть найдена по аналогичной формуле

$$F(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4.4)$$

Произведя замену переменной  $x$  путем подстановки

$$\frac{x - \bar{X}}{\sigma} = t, \quad (4.5)$$

получим  $F(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$

Интеграл  $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  носит название нормированной функции

Лапласа, и его значения для различных  $t = \frac{x - \bar{X}}{\sigma}$  приведены в таблице 4.2.

Там же приведены и удвоенные значения  $2\Phi(t)$ . Значение  $\Phi(t)$  выражает отношение площади, соответствующее заданному интервалу  $[0, t]$  ко всей площади под кривой, которая равна единице.

Введением переменной  $t$  начало отсчета величин  $x$  переносится в точку, соответствующую  $\bar{X}$ .

Таблица 4.2  
Значения нормированной функции Лапласа

$t$	$\Phi(t)$	$2\Phi(t)$	$T$	$\Phi(t)$	$2\Phi(t)$
0,0	0,0000	0,0000	1,8	0,4641	0,9281
0,1	0,0398	0,0797	1,9	0,4713	0,9426
0,2	0,0793	0,1585	2,0	0,4772	0,9545
0,3	0,1179	0,2358	2,1	0,4821	0,9643
0,4	0,1554	0,3108	2,2	0,4861	0,9722
0,5	0,1915	0,3829	2,3	0,4893	0,9886
0,6	0,2257	0,4515	2,4	0,4918	0,9836
0,7	0,2580	0,5161	2,5	0,4938	0,9876
0,8	0,2881	0,5763	2,6	0,4953	0,9907
0,9	0,3159	0,6319	2,7	0,4965	0,9931
1,0	0,3413	0,6827	2,8	0,4974	0,9949
1,1	0,3643	0,7287	2,9	0,4981	0,9963
1,2	0,3849	0,7699	3,0	0,49865	0,99730
1,3	0,4032	0,8064	3,1	0,49903	0,99806
1,4	0,4192	0,8385	3,2	0,49931	0,99862
1,5	0,4332	0,8664	3,3	0,49952	0,99903
1,6	0,4452	0,8904	3,4	0,49966	0,99933
1,7	0,4554	0,9109	3,5	0,49977	0,99953

Ранее при рассмотрении полигонов распределения было показано, что отношением площадей может быть найден процент годных и бракованных деталей. Следовательно, этот процент может быть найден и через значения  $\Phi(t)$ . По полигону распределения (рисунок 4.1) был найден процент брака для выборки из  $n = 24$ , который равнялся 8,3%. Для определения процента брака для генеральной совокупности необходимо заменить полигон

теоретической кривой распределения с теми же характеристиками  $\bar{X}$  и  $\sigma$  и найти значения  $\Phi(t)$  в диапазоне значений  $x$  выходящих за пределы допуска.

Определим вероятный процент брака генеральной совокупности по выборке, представленной на рисунке 4.1. Прежде всего определим  $\sigma$  по формуле (2).

Для подсчета  $\sigma$  удобно воспользоваться таблицей 4.1 и, несколько увеличив количество интервалов, продолжить ее, как это показано в таблице 4.3.

Таблица 4.3  
Последовательность вычислений параметров теоретической кривой распределения

Номер интервала	Интервал	Середина интервала $x_i$	Частота $K_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^2 \cdot K_i$
1	29,824 429,84	29,83	0	-0,093	-	0
2	29,844 429,86	29,85	0	-0,073	-	0
3	29,864 429,88	29,87	2	-0,053	0,002810	0,005620
4	29,884 429,90	29,89	4	-0,033	0,001090	0,004360
5	29,904 429,92	29,91	5	-0,013	0,000169	0,000845
6	29,924 429,94	29,93	6	0,007	0,000049	0,000294
7	29,944 429,96	29,95	4	0,027	0,000729	0,002920
8	29,964 429,98	29,97	2	0,047	0,002210	0,004420
9	29,984 430,00	29,99	1	0,067	0,004480	0,004480
10	30,004 430,02	30,01	0	0,087	-	0

$$\Sigma K_i = 24$$

$$\Sigma(x_i - \bar{X})^2 \cdot K_i = \\ 0,022939$$

Построить на одном графике полигон распределения (был ранее построен на рисунке 4.1) и теоретическую кривую распределения с одинаковыми характеристиками  $\bar{X} = 29,923\text{мм}$  и  $\sigma = \sqrt{\frac{(\sum x_i - \bar{X})^2 \cdot K_i}{n}} =$

$= \sqrt{\frac{0,0022939}{24}} = 0,03$  мм. При этом должно быть выдержано равенство

площадей под кривыми. Для обеспечения этого требования ординаты теоретического распределения необходимо домножить на масштабный коэффициент  $\Delta x \cdot n$  (площадь под эмпирической кривой).

С учетом этого ординаты теоретической кривой

$$y_{max} = \frac{0,4\Delta x \cdot n}{\sigma} = \frac{0,4 \cdot 0,02 \cdot 24}{0,03} \approx 6,4, \quad (4.6)$$

$$y_{\sigma} = \frac{0,24 \cdot \Delta x \cdot n}{\sigma} = \frac{0,24 \cdot 0,02 \cdot 24}{0,03} \approx 3,85, \quad (4.7)$$

$$y_{3\sigma} \approx 0.$$

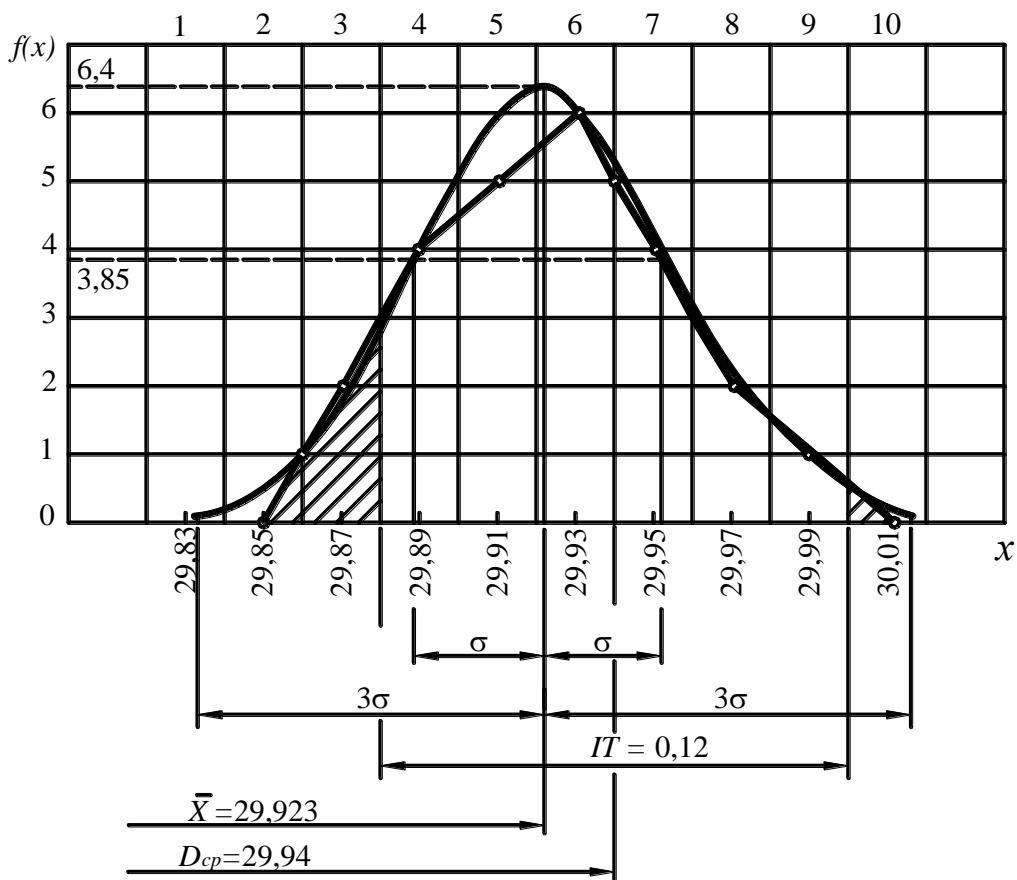


Рисунок 4.8 – Замена полигона распределения размеров теоретической кривой

Совмещенные кривые распределения представлены на рисунке 4.8. Нанеся на график заданные размеры  $D_{cp}$  и поле допуска  $IT = 0,12$  мм, видим, что часть значений размеров оказывается вне поля допуска (участки заштрихованы).

Для определения процента брака необходимо определить отношение этих площадей ко всей площади кривой. Левый заштрихованный участок справа ограничен значением  $x_1 = 29,88$ . Найдем  $t$ :

$$t = \frac{x_1 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{29,88 - 29,923}{0,03} \approx 1,39.$$

Знак минус можно опустить, так как функция  $\Phi(t)$  является нечетной:

$$\Phi(-t) = -\Phi(t).$$

По таблице 4.2 для  $t = 1,39$  находим

$$\Phi(1,39) \approx 0,41.$$

Вероятный процент брака определяется из выражения

$$\begin{aligned} [\Phi(\infty) - \Phi(t)] \cdot 100 &\approx [\Phi(3) - \Phi(1,39)] \cdot 100 \approx \\ &\approx (0,5 - 0,41) \cdot 100 \approx 9,0\%. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Размеры деталей, попавших в этот диапазон, меньше допустимого предельного значения, поэтому брак является неисправимым.

Правый заштрихованный участок:

$$t_2 = \frac{x_2 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{30,00 - 29,923}{0,03} = \frac{0,077}{0,03} \approx 2,48,$$

$$\Phi(2,48) \approx 0,4938.$$

Вероятный процент брака:

$$[\Phi(3) - \Phi(2,48)] \cdot 100 = (0,5 - 0,4938) \cdot 100 \approx 0,6\%.$$

Размеры этих деталей выше верхнего предельного значения, следовательно, этот брак исправимый.

### Законы распределения Симпсона, равной вероятности и Релея

При различных условиях обработки заготовок рассеяние их действительных размеров могут подчиняться и другим законом распределения.

Закон Симпсона (равнобедренного треугольника) применяется для описания погрешности размеров заготовок, на которых оказывает влияние один доминирующий фактор с переменным характером изменения во времени, сначала ускоренным, потом замедленным, а затем вновь ускоренным. Такие условия могут возникнуть при быстром изнашивании инструмента (рисунок 4.9,а). Дифференциальный закон распределения Симпсона

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{l^2} & \text{при } a < x < a + l; \\ \frac{a+2l-x}{l^2} & \text{при } a + l < x < a + 2l; \\ 0 & \text{при } x < a; \quad x > a + 2l. \end{cases} \quad (4.9)$$

Кривая распределения размеров заготовок имеет вид равнобедренного треугольника (рисунок 4.9, б). Средние арифметические  $\bar{X}$  и среднее арифметическое отклонение  $\sigma$  соответственно равны:

$$\bar{X} = a + l; \quad \sigma = \frac{l}{\sqrt{6}}$$

Поле рассеяния  $\omega = 2\sqrt{6}\sigma \approx 4,9\sigma$

Закон Симпсона действует при обработке заготовок по 7-му, 8-му, а иногда и по 6-му квалитетам.

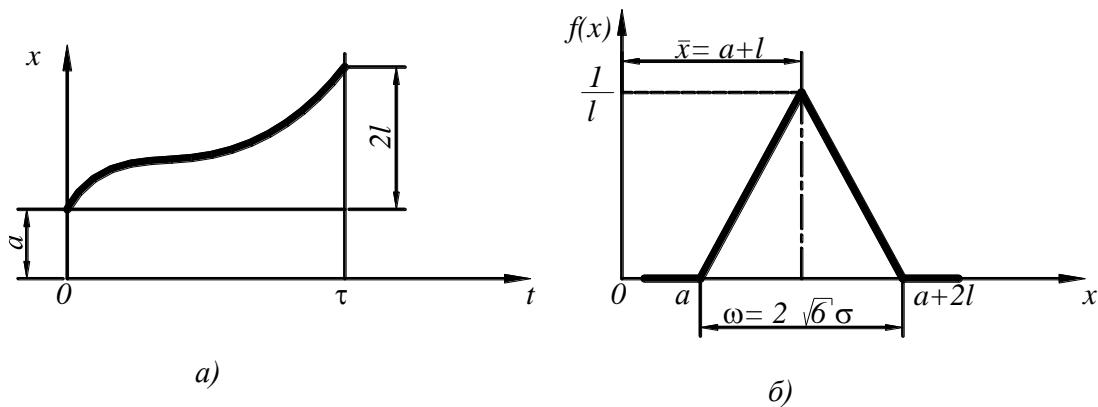


Рисунок 4.9 Характер изменения доминирующего фактора (а)  
и кривая распределения размеров по закону Симпсона (б)

Закон равной вероятности наблюдается в том случае, если на погрешность размеров оказывает влияние один доминирующий фактор, равномерно изменяющийся во времени (равномерный износ режущего инструмента). За время  $\tau$  (рисунок 4.10, а) размер заготовок изменился в пределах от  $a$  до  $a + 2l$ . Вследствие того, что переменная систематическая погрешность изменяется по линейной зависимости  $x = a + 2l(t/\tau)$ , то появление каждого размера равно вероятно. Дифференциальный закон распределения равной вероятности:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2l} & \text{при } a < x < a + 2l; \\ 0 & \text{при } x < a; \quad x > a + 2l. \end{cases} \quad (4.10)$$

Графически такое распределение имеет вид прямоугольника (рисунок 4.10, б). Среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонение соответственно равны:

$$\bar{X} = a + l; \quad \sigma = \frac{l}{\sqrt{3}}$$

Поле рассеяния  $\omega = 2\sqrt{3}\sigma \approx 3,46\sigma$ . Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров деталей, повышенной точности (5-й, 6-й квалитеты и выше при их обработке по методу пробных ходов и измерений). Из-за сложности получения размеров очень высокой точности, вероятность попадания размера заготовки в узкие границы допуска по среднему, наибольшему и наименьшему его значению становится одинаковой.

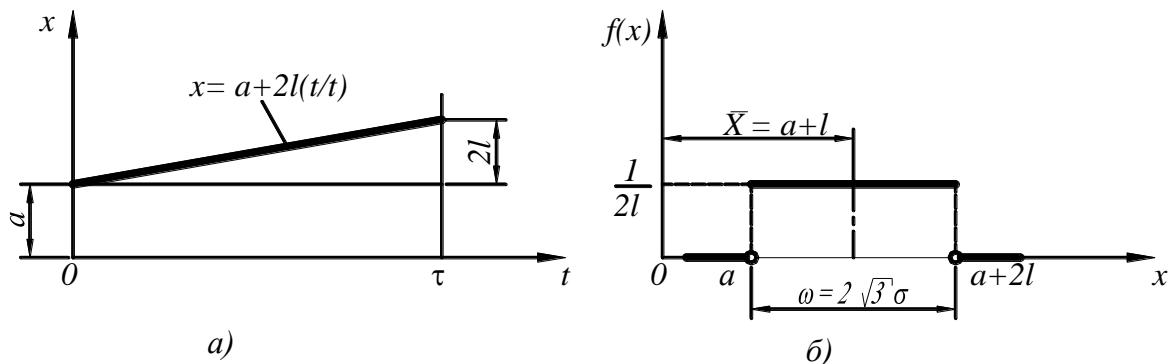


Рисунок 4.10 – Характер изменения доминирующего диаметра (а) и кривая распределения размеров заготовок по закону равной вероятности (б)

Если распределение по законам Симпсона и равной вероятности рассматривать как отклонение от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента  $\lambda$ , именуемого относительным среднеквадратическим отклонением:

$$\lambda = \frac{2\sigma}{\omega}. \quad (4.11)$$

Подставив в эту формулу величины  $\sigma$  и  $\omega$  соответствующие трём законам распределения случайной величины, получим для каждого из них своё значение коэффициенты  $\lambda$  (таблица 4.4).

Таблица 4.4  
Значения относительного среднеквадратического отклонения

Закон распределения	$\sigma$	$\omega$	$\lambda$
Гаусса	$\sigma$	$6\sigma$	$\frac{1}{3}$
Симпсона	$\frac{l}{\sqrt{6}}$	$2l$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$
Равной вероятности	$\frac{l}{\sqrt{3}}$	$2l$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

Закону Релея подчиняются случайные погрешности принимающие только неотрицательные значения: радиальное биение цилиндрических поверхностей; отклонения от соосности; торцевое биение; отклонение от параллельности двух плоскостей; отклонение от перпендикулярности двух плоскостей; овальность; конусообразность и др.

Распределение по закону Релея формируются, в частности, когда случайная величина  $r$  представляет собой геометрическую сумму двух случайных величин  $x$  и  $y$  (рисунок 4.11, а)

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Каждая из случайных величин  $x$  и  $y$  подчиняется закону Гаусса с параметрами:

$$\bar{X} = \bar{Y} = 0; \quad \sigma_x = \sigma_y = \sigma.$$

Дифференциальный закон распределения Релея:

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}. \quad (4.12)$$

Кривая закона Релея (рисунок 4.11, б) по внешнему виду напоминает кривую Гаусса, но ее начало совпадает с началом координат и ее вершина смещена в сторону начала координат. Среднее арифметическое значение  $\bar{r}$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_r$  и поле рассеяния  $\omega$  соответственно равны:

$$\bar{r} = 1,253\sigma; \quad \sigma_r = 0,655\sigma; \quad \omega = 3,44\sigma$$

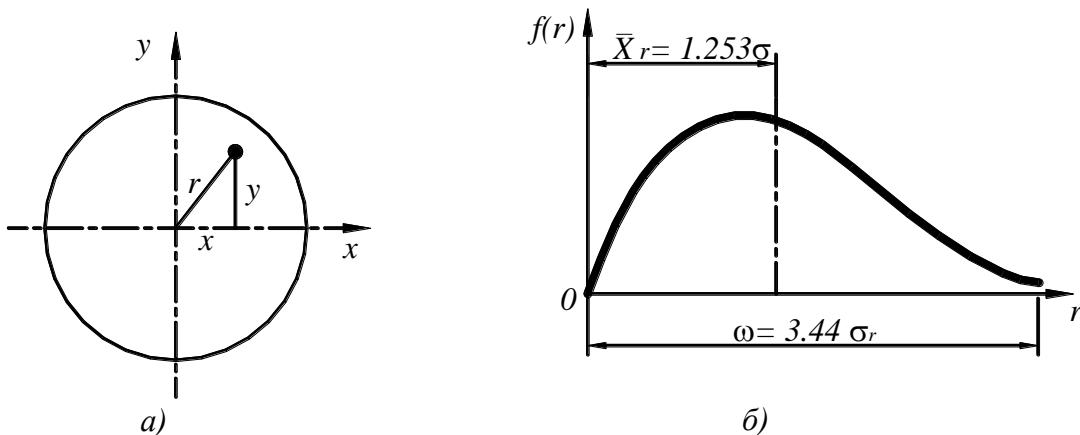


Рисунок 4.11 – Характер изменения доминирующего диаметра (а) и кривая распределения размеров заготовок по закону Релея (б)

При обработке заготовок на настроенных станках на точность их размеров одновременно воздействуют разные факторы, вызывающие появление, как случайных погрешностей, так и систематических постоянных и переменных погрешностей. В подобных случаях закон распределения размеров обработанных заготовок представляет собой композицию нескольких законов распределения. Например, композиционный закон Гаусса и равной вероятности наблюдается в тех случаях, когда наряду с множеством случайных факторов, дающих в совокупности нормальный закон, на погрешность размеров оказывает влияние систематический доминирующий фактор, равномерно изменяющийся во времени. Композиция законов Гаусса и равной вероятности создает симметричные кривые распределения различной формы, зависящей от степени воздействия на

конечное распределение каждого из соответствующих законов. Если доминирующий систематический фактор неравномерно изменяется во времени, то форма кривой распределения становится несимметричной. Наличие переменных систематических погрешностей  $\Delta_{\text{сист}}$  приводит к расширению поля  $\omega$  суммарного рассеяния размеров заготовок

$$\omega = 6\sigma + \Delta_{\text{сист}}.$$

### Оценка точности технологического процесса и размерной настройки

Для оценки точности процесса необходимо сравнить фактическое поле рассеяния  $\omega$  с полем допуска  $IT$  на размер детали. Точность процесса считается достаточной или избыточной, если удовлетворяется неравенство  $\omega \leq IT$ . Для сравнительной оценки точности операций вводится коэффициент точности  $K_T = \frac{\omega}{IT}$ . При условии правильной настройки станка обработка заготовок может осуществляться без брака, если  $K_T \leq 1$ .

В рассмотренном выше примере, учитывая нормальный закон распределения размеров детали, коэффициент точности

$$K_T = \frac{6\sigma}{IT} = \frac{6 \cdot 0,03}{0,12} = 1,5 \quad (4.13)$$

Следовательно, точность процесса изготовления детали неудовлетворительная.

Появление брака возможно и при избыточной точности процесса, если настройка была выполнена с погрешностью, величина которой превышала допустимое значение. Для оценки точности настройки станка пользуются коэффициентом точности настройки

$$K_H = \left| \frac{\bar{X} - D_{cp}}{IT} \right| = \frac{|E|}{IT}; \quad (4.14)$$

где  $D_{cp}$  – средний заданный размер детали,  $E$  – смещение центра группирования размеров детали относительно середины поля допуска.

Основываясь на опыте, считают, что точность настройки удовлетворительная, если  $K_H \leq 0,05$ . В рассмотренном примере

$$K_H = \frac{|29,923 - 29,94|}{0,12} = 0,14 > 0,05.$$

Следовательно, настройка станка при обработке партии деталей была неудовлетворительной. Это видно из графика на рисунке 4.4.

Из рассмотренного примера видно, что по полигону и по теоретической кривой распределения может быть достаточно полно охарактеризована точность партии деталей, соответствие технологического процесса

предъявленным точностным требованиям и оценена точность настройки станка, на котором обрабатывались детали.

При проведении точностных статистических исследований с более строгим подходом следовало бы находить доверительные интервалы для  $\sigma$  и  $\bar{X}$  с заданной доверительной вероятностью. Это дало бы возможность более точно оценить неравенство  $K_T \leq 1$  и  $K_H \leq 0,05$  для генеральной совокупности. В данной работе доверительные интервалы определяются не будут.

### **Оценки стабильности технологического процесса**

Под стабильностью технологического процесса понимают постоянство во времени его точностных характеристик: среднего арифметического значения  $\bar{X}$  и эмпирического среднеквадратического отклонения  $\sigma$  размеров картин обработанных заготовок. Непостоянство параметра  $\bar{X}$  свидетельствует о смещении центра настройки во времени, обусловленное действием систематических факторов; непостоянство параметра  $\sigma$  свидетельствует об изменении рассеяния размеров заголовок вследствие действия множества случайных факторов, изменяющихся с течением времени.

Для оценки стабильности процесса обработки со станка берутся в разное время выборки заготовок, вычисляются их характеристики  $\bar{X}_1, \sigma_1, \bar{X}_2, \sigma_2$ ; и сравниваются между собой. Если расхождение между ними случайно, несущественно, то можно сделать вывод, что центр рассеяния размеров  $\bar{X}$  не смещается и величина среднеквадратического отклонения  $\sigma$  не изменяется во времени, т.е. процесс является стабильным. Сравнение выборочных средних арифметических проводится с помощью критерия Стьюдента, а сравнение выборочных среднеквадратических отклонений – с помощью критерия Фишера.

Вероятностно-статистический метод позволяет достоверно оценить точность различных методов обработки в условиях серийного и массового производства. Данный метод универсален. Его можно применять для определения точности обработки, сборки, контрольных и других операций. Однако он не раскрывает сущность физических явлений и факторов, определяющих точность обработки.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с чертежом детали.

2. Пользуясь рычажно-зубчатой головкой измерить партию деталей.

Для этого:

2.1 Подобрать блок концевых мер 4 на величину установочного размера заданного чертежом (в данном случае 14мм.)

2.2 Открутить винт 2 и опустить кронштейн 3(рисунок 4.12) по колонке стойки 6 до соприкосновения наконечника индикатора с поверхностью блока концевых мер 4 до тех пор, пока большая стрелка индикатора сделает 1-2 оборота(обычно достаточно одного оборота). В таком положении закрепить кронштейн 3 винтом 2. “Натяг” делается для того, чтобы в процессе измерений индикатор мог показывать как положительные, так и отрицательные отклонения от начального положения.

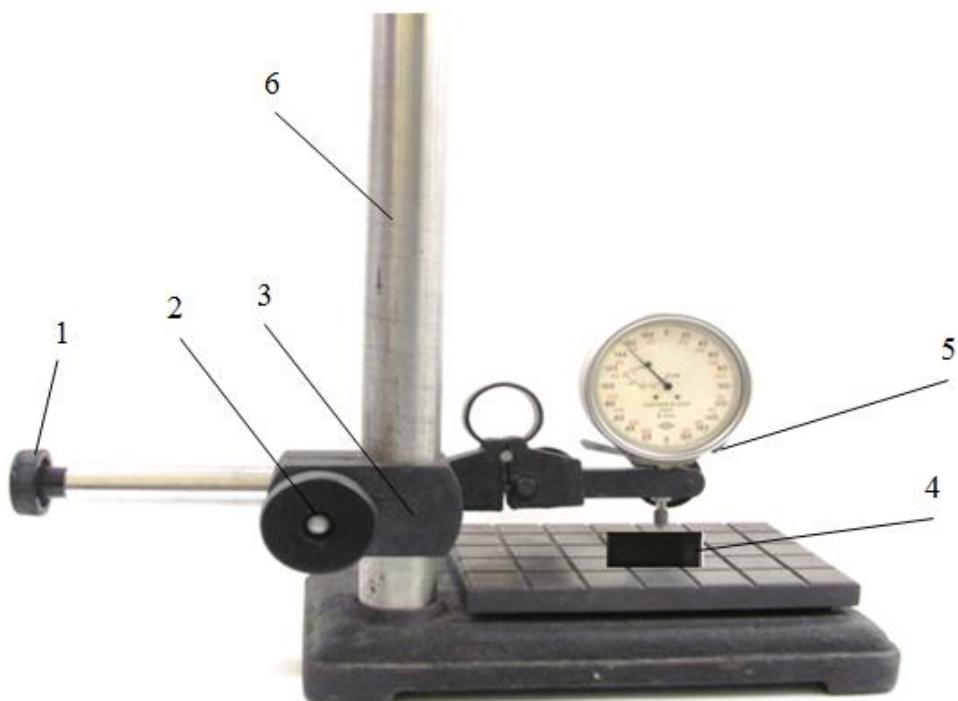


Рисунок 4.12 – Приспособление измерения диаметров деталей

2.3 Вращая винт 1 добиваемся максимально близкого совмещения большой стрелки индикатора с нулевым штрихом шкалы.

2.4 Точная настройка осуществляется вращением винта 5 на индикаторе.

2.5 Убрать концевые меры и произвести измерения деталей.

3. Определить величину размаха  $\omega$ . Затем разбить размеры на равные интервалы (количество интервалов 8-10 шт.) и подсчитать частоты, то есть количество деталей, попадающих в каждый интервал.

4. Внести полученные данные в таблицу (графы 1, 2, 3, 4), как было показано в примере (таблица 4.3).

5. По данным таблицы 4.3 построить гистограмму и полигон.

6. Определить значение  $\bar{X}$  по формуле (4.1) и значения  $\sigma$  по формуле (4.2), используя для подсчетов таблицу 4.3 (графы 5, 6, 7).

7. Найти значения  $y_{\max}$ ,  $y_{\sigma}$  с учетом масштабного коэффициента ( $\Delta x \cdot n$ ) по формулам (4.6) и (4.7).

8. Построить совмещенную с гистограммой теоретическую кривую распределения по координатным точкам.

$x$	$x = \bar{X}$	$x = \sigma$	$x = 3\sigma$
$y$	$y_{\max}$	$y_\sigma$	$y = 0$

9. Нанести на график найденное значение размаха  $\omega$  и заданные значения  $D_{min}$ ,  $D_{max}$ ,  $D_{cp}$  и  $IT$ .

10. По гистограмме (по отношению площадей) определить процент брака деталей в партии и дать заключение о возможности исправления брака (исправимый или неисправимый).

11. Определить значения переменной  $t$  по формуле:

$$t = \frac{x - \bar{X}}{\sigma}.$$

12. Используя таблицу 4.2, определить по формуле (4.8) процент брака в генеральной совокупности.

13. Используя формулы (4.13) и (4.14), оценить точность обработки и правильность настройки станка, на котором были обработаны детали.

### *Измерение радиального биение валов*

1. Установить деталь в центрах приспособления (рисунок 4.13)

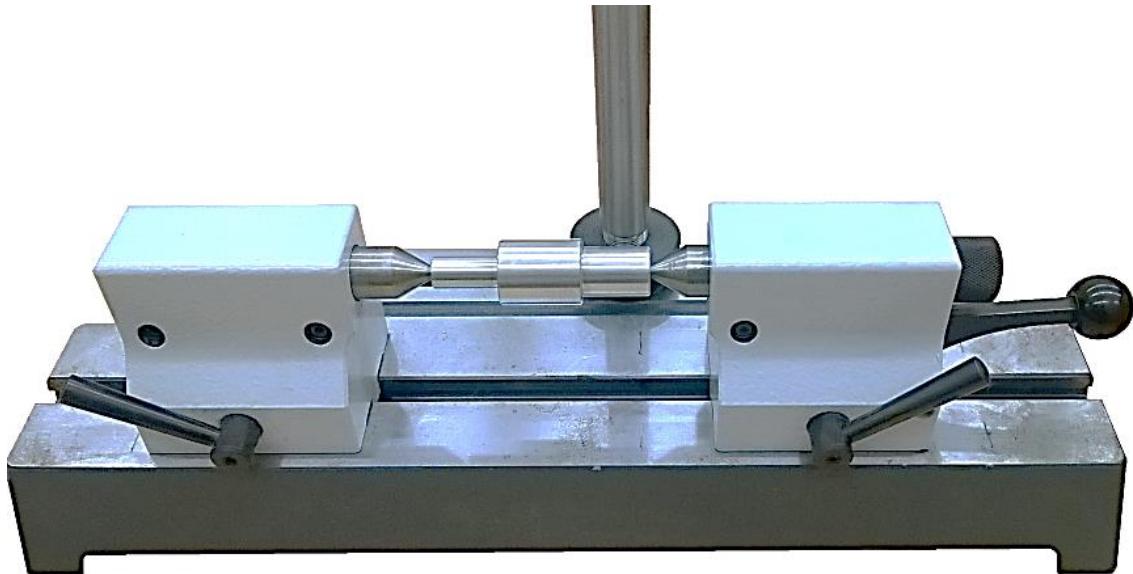


Рисунок 4.13 – Фотография детали, установленной в центрах приспособления

2. Установить наконечник индикатора на поверхность детали с натягом и совместить нулевой штрих большой шкалы с большой стрелкой индикатора (рисунок 4.14)

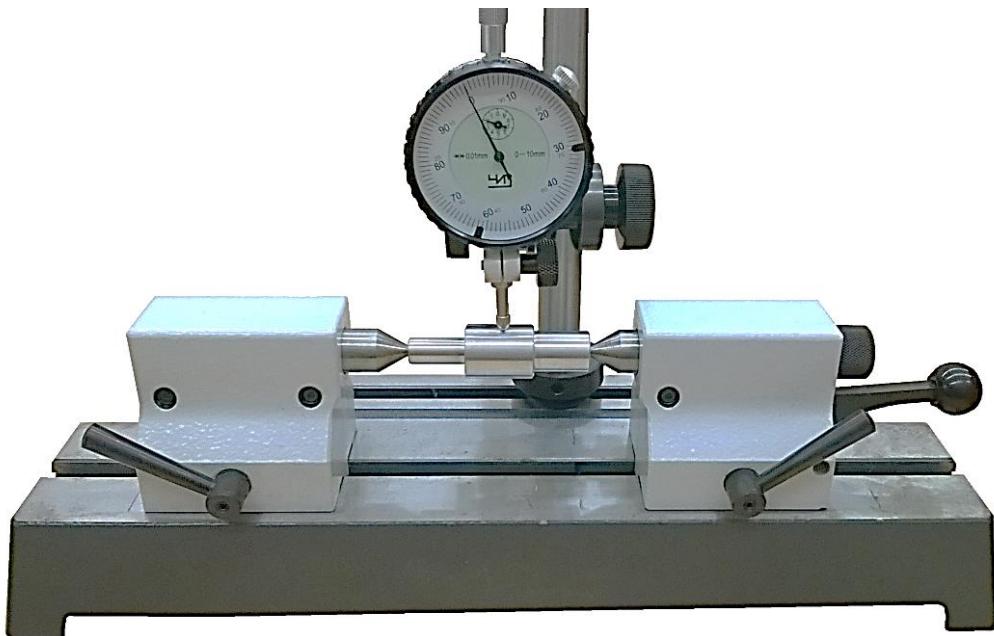


Рисунок 4.14 – Фотография индикатора, наконечник которого установлен на поверхности детали

3. Вручную, медленно вращая деталь, снять показания радиального биения, которое будет равно разнице между максимальным и минимальным значениями индикатора за один оборот детали. Таким образом измерить партию деталей

4. По результатам измерений построить гистограмму и полигон распределения значений радиального биения, руководствуясь п.3-п.5 описанными выше.

### **Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть
  - 4.1 Результаты измерений партии деталей, сведенные в таблицу для расчета среднеквадратического отклонения.
  - 4.2 Экспериментальные и теоретические кривые распределения размеров деталей.
  - 4.3 Экспериментальные и теоретические кривые распределения значений радиального биения шейки валов
5. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Виды погрешностей обработки.
2. Для чего устанавливают закон распределения размеров по данным

измерений выборки деталей?

3. Как влияет погрешность настройки на точность обработки деталей?
4. Напишите формулу кривой Гаусса. Назовите все переменные и постоянные, входящие в эту формулу.
5. Что такое функция Лапласа и как она применяется в данной работе?
6. Куда переносится начало координат после замены переменной в уравнении кривой Гаусса?
7. Как изменяется во времени доминирующий фактор при действии законов распределения Симпсона и равной вероятности?
8. Что такое относительное квадратическое отклонение и чему оно равно для законов распределения Симпсона и равной вероятности?
9. Какие случайные погрешности подчиняются закону Релея?
10. Как определить точность настройки станка по кривой Гаусса?
11. Какие величины используют для оценки точности технологического процесса?
- 12.Что понимают под стабильностью технологического процесса?

## Литература

1. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб.для машиностроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1999. – 591 с.: ил. – С. 16-35.
2. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов / А.И.Якушев, Л.Н.Воронцов, Н.М.Федотов. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.: ил. – с. 60-78
- 3.Технология машиностроения: Учебное пособие по выполнению лабораторных работ/ С. Н. Корчак, В.ВЛ. Кулыхин, И. М. Морозов и др. – Челябинск: ЧГТУ, 1990. – 81с.:ил. – с.3 – 19.

## **Лабораторная работа № 5**

# **СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

### **Цель работы**

Получить практические навыки применения методов статистического регулирования технологических процессов механической обработки

### **Задачи работы**

1. Изучить методы статистического регулирования техпроцессов с применением контрольных карт средних арифметических значений и медиан.
2. Изучить методы оценки точности механической обработки построением точечных диаграмм
3. По результатам измерений деталей в выборках построить карты статистического регулирования и определить моменты поднастройки техпроцесса
4. По результатам измерений деталей в последовательности их обработки построить точечную диаграмму и проанализировать причины, влияющие на точность обработки партии заготовок

### **Инструмент, материалы и принадлежности**

1. Комплект деталей в порядке их изъятия (80-90шт.)

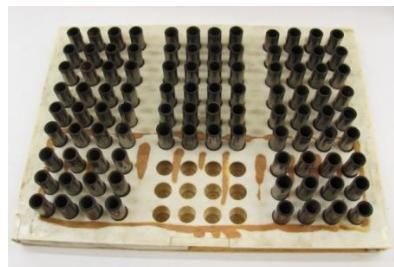


Рисунок 5.1 – Комплект деталей в порядке их изъятия

2. Измерительная стойка типа С-III ГОСТ 10197-70

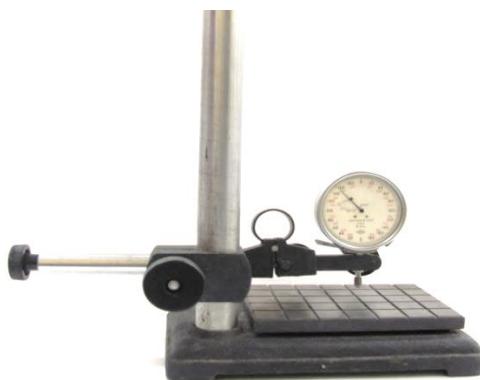


Рисунок 5.2 – Измерительная стойка типа С-III ГОСТ 10197-70

3. Набор концевых мер НКП №1 кл.2 ГОСТ 9038-73

## **Теоретическая часть**

### **Статистические методы управления качеством продукции**

Статистические методы управления качеством продукции позволяют по ограниченному числу наблюдений принимать решения по состоянию качества всей контролируемой продукции.

Основные преимущества этих методов управления следующие:

1) осуществляется одна из форм активного контроля качества, практически исключающая появление брака при обработке;

2) т. к. это выборочный контроль, то он менее трудоемок по сравнению со 100%-ной проверкой деталей (в 1,5–1,6 раз);

3) применяется научно обоснованный способ регулирования качества, где четко определены объемы выборок и периодичность их взятия (при обычном выборочном контроле эти процедуры часто случайны и не соответствуют фактическому состоянию точности и стабильности технологических операций);

4) по сравнению с другими формами автоматического регулирования качества, которые достаточно дороги, статистические методы не требуют каких-либо значительных экономических затрат.

В зависимости от решаемых задач статистические методы управления качеством продукции включают:

а) статистический анализ состояния техпроцессов и операций (анализ точности и стабильности процессов и операций);

б) статистическое регулирование техпроцессов и операций;

в) статистический приемочный контроль качества (при входном, операционном и окончательном контроле готовой продукции).

Статистический анализ точности отдельной операции техпроцесса подразумевает сопоставление поля рассеивания интересующего нас признака (например, размера) на данной операции с заданным допуском, отвечающее некоторой вероятности. Это есть зона, лежащая между границами значений признака качества, вероятность выхода за которые пренебрежимо мала.

Если поле рассеивания ( $\omega$ ) не больше допуска ( $IT$ ), то суммарная точность операции признается удовлетворительной (или излишней, если допуск намного больше поля рассеивания). Точность считается недостаточной, если поле рассеивания больше допуска ( $\omega > IT$ ).

Сущность статистических методов состоит в том, чтобы по некоторым выборкам обоснованно судить обо всей совокупности контролируемых объектов, не прибегая к сплошной их проверке. Такой вид контроля называется приемочным (или последующим) статистическим контролем. Предупредительным статистическим контролем называют переход от выявления брака в уже изготовленной партии к предупреждению его возникновения на всем протяжении обработки.

Поле рассеивания строится с учетом погрешностей настройки, т. е. с учетом уклонения центра рассеивания от соответствующего допускаемого

значения его положения (при симметричном рассеивании допускаемые значения будут лежать в средней части поля допуска). Учитывается также и погрешность измерения, накладываемая на погрешность обработки, и увеличивающая поле рассеивания размеров.

Задача статистического анализа сводится:

а) к оценке (с нужным приближением) закона распределения признака, интересующего нас;

б) к нахождению (с помощью этого закона) поля рассеивания, отвечающего достаточно близкой вероятности нахождения признака в пределах этого поля;

в) к сопоставлению полученного таким образом поля с допуском.

Текущий предупредительный статистический контроль обеспечивает переход от выявления брака в уже изготовленной партии к предупреждению его возникновения на всем протяжении обработки.

Здесь различают два вида контроля:

– контроль положения центра настройки по медиане и рассеивания по крайним значениям;

– контроль положения центра настройки по среднеарифметическому значению и рассеивания размеров по крайним значениям, размаху вариирования или среднему квадратическому.

Эти варианты осуществляются с помощью карт статистического контроля, содержащих контрольные диаграммы.

На рисунке 5.3 представлены графики, поясняющие вероятность увеличения брака после смещения центра настройки и после увеличения дисперсии (рассеивания).

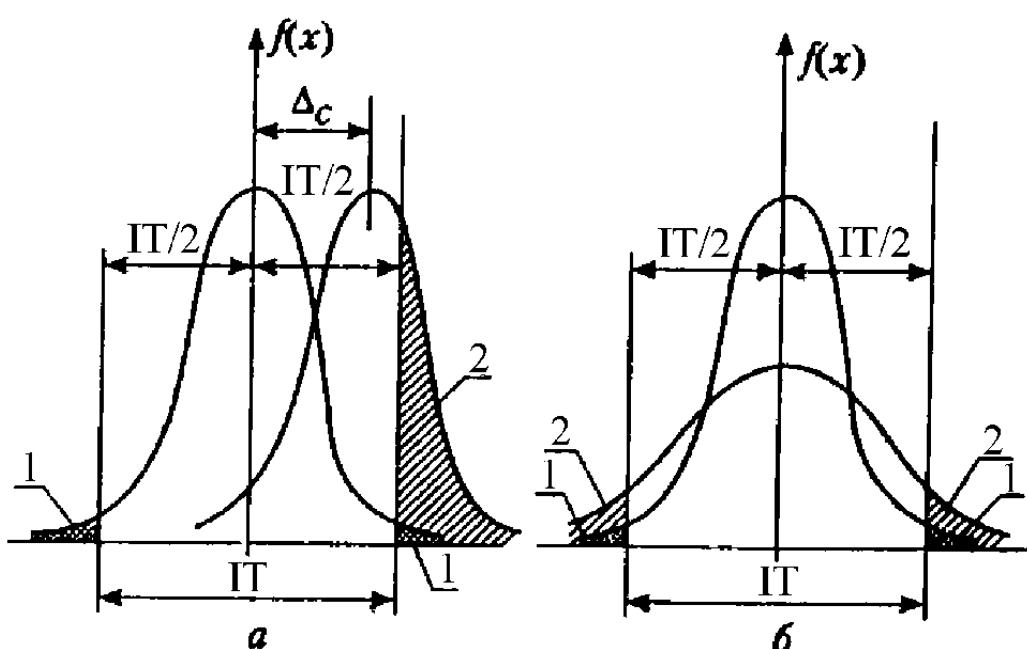


Рисунок. 5.3 – Увеличение вероятности (риска) получения брака в результате: а – смещения центра настройки  $\Delta_c$ ; б – увеличения дисперсии; 1 – начальная (малая) вероятность; 2 – увеличенная вероятность (риск) получения брака.

## **Статистическое регулирование технологических процессов с применением контрольных карт на основе средних длин серий**

При механической обработке деталей наиболее часто распределение показателей качества происходит по законам нормального распределения (Гаусса) и эксцентриситета (Релея и Максвелла).

Закону нормального распределения подчиняются многие непрерывные случайные величины, на которые влияет большое число взаимно независимых случайных факторов. В условиях механической обработки ее погрешность складывается из многочисленных погрешностей элементов технологической системы станок-приспособление-инструмент- деталь (СПИД).

При устойчивом процессе обработки деталей на настроенных станках и при отсутствии существенного влияния изменяющихся во времени систематических погрешностей такие параметры, как размеры получаемых деталей, высота микро неровностей поверхностей, обработанных различными методами, а также погрешности измерения распределяются по закону Гаусса.

Статистическое регулирование технологических операций является одним из методов управления качеством продукции. Сущность методов статистического регулирования состоит в том, что при обработке на предварительно настроенном оборудовании через определенные промежутки времени берутся выборки из обрабатываемых деталей. Детали в каждой выборке измеряются шкальными приборами по рассматриваемому параметру. На основании полученных измерений на контрольной карте делаются отметки, которые должны располагаться в пределах заранее рассчитанных и нанесенных на контрольную карту границ. Если это условие выполняется, то технологический процесс протекает удовлетворительно. В случае выхода размеров за пределы контрольных границ необходима корректировка настройки станка или отладка технологической системы.

Статистическое регулирование целесообразно применять в тех случаях, когда в суммарной погрешности обработки имеется систематическая составляющая, изменяющаяся по известной закономерности, как, например, износ режущего инструмента. Другим условием применения статистического регулирования является достаточно большой период стойкости режущего инструмента, как, например, при токарной обработке. Если стойкость инструмента мала, например, при шлифовании (особенно при внутреннем, когда приходится часто править шлифовальный круг), то целесообразнее применять методы активного контроля.

При механической обработке партии деталей вследствие износа режущего инструмента закономерному изменению более всего подвержены диаметральные и линейные размеры, распределение случайных погрешностей которых обычно подчиняется нормальному закону.

Различают 1) *статистическое регулирование уровня наладки технологической операции* и 2) *статистическое регулирование рассеивания*

*значений параметров качества обрабатываемой детали.* В обоих случаях применяемая в лабораторных работах методика может быть использована, если контролируемый показатель качества является случайной непрерывной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения.

Данный метод рекомендуется для техпроцессов серийного и массового производства при условии, что процессы отлажены и стабильны, причем контроль может осуществляться как по количественному, так и по альтернативному признакам.

Статистическое регулирование может осуществляться с применением следующих контрольных карт:

1. Средних арифметических значений ( $\bar{x}$ -карта).
2. Медиан ( $\tilde{x}$ -карта).
3. Средних квадратических значений ( $S$ -карта).
4. Размахов ( $R$ -карта) и др.
5. Доли дефектов ( $p$ -карта).

Карты  $\bar{x}$ ,  $\tilde{x}$ ,  $S$ ,  $R$  используются для контроля по количественному признаку. Контролируемым показателем качества при этом является непрерывная случайная величина, подчиняющаясяциальному закону распределения.

Для осуществления статистического регулирования выбирается план контроля, по соответствующим таблицам стандарта исходя из заданных значений средних длин серий (СДС) налаженного  $L_0$  и разложенного  $L_1$  процесса.

СДС налаженного процесса определяет среднее количество выборок до появления ложного сигнала о разладке процесса, поэтому ее величину нужно выбирать, возможно, наибольшей ( $L_0 = 20\text{--}2000$ ). СДС разложенного процесса определяет среднее количество выборок, необходимое для обнаружения разладки процесса, и ее величину следует выбирать возможно наименьшей ( $L_1 = 1,2\text{--}10,0$ ).

### **Статистическое регулирование техпроцессов с помощью контрольных карт средних арифметических и медиан**

Статистическое регулирование уровня наладки технологической операции производится с применением контрольных карт **средних арифметических значений или медиан**. При этом в результате предварительного анализа должно быть установлено среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра  $\sigma$ . Предполагается, что  $\sigma$  остается постоянным в течение длительного времени выполнения операции.

Указанные методы статистического регулирования применяются как для регулирования по одностороннему критерию, когда проверяется только увеличение или уменьшение контролируемого параметра, так и по двустороннему, когда возможно изменение параметра в обе стороны.

Методы средних арифметических значений и медиан применяются для статистического регулирования технологических процессов, для которых

разладка характеризуется смещением наладки инструмента. Рассеивание контролируемого параметра при этом практически остается постоянным. Метод средних арифметических значений при одинаковых условиях требует в 1,57 раза меньше объема выборки, чем метод медиан. Однако последний проще в осуществлении, так как при определении медиан не требуется или почти не требуется выполнения вычислений.

Для осуществления этих методов контроля должны быть известны:  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра  $x$ ;  $\mu_0$  – среднее значение контролируемого параметра  $x$ , при котором по данной технологии выпускается продукция наилучшего качества (чаще всего  $\mu_0$  соответствует значению середины поля допуска);  $\mu_1$  – предельно допустимое среднее значение параметра  $x$ , при котором необходима наладка процесса.

Техпроцесс считается налаженным при  $\mu = \mu_0$  и разлаженным при  $\mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$  или при  $\mu = \mu_{-1} = \mu_0 - \delta\sigma$ .

Величина  $\delta = (\mu_{-1} - \mu_0)/\sigma$  характеризует нормированное смещение уровня наладки техпроцесса при его разладке.

Исходными данными для статистического регулирования с помощью контрольных карт средних арифметических являются выборочные средние

$$\bar{x}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{m_i}.$$

Исходными данными для статистического регулирования с применением контрольных карт медиан являются значения выборочных медиан  $\tilde{x}$  (при четном числе членов вариационного ряда медиана – среднее арифметическое двух значений, расположенных в середине ряда; при нечетном числе медианой является центральное значение вариационного ряда).

Далее выбирается план контроля, который устанавливает следующие величины:

- 1) период отбора выборок –  $\tau$ ;
- 2) объем выборки –  $n$ ;
- 3) границы регулирования  $K_+$  и (или)  $K_-$ ;
- 4) значения средних длин серий  $L_0$  и  $L_1$ ;
- 5) нормированное смещение уровня наладки процесса при его разладке  $\delta$ .

Исходными величинами для выбора плана контроля являются  $\sigma$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_{-1}$ ,  $\mu_1$ ,  $L_0$ ,  $L_1$ . Иногда величины  $\sigma$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_1$ ,  $L_0$ ,  $n$  являются заданными, а  $L_1$  подлежит определению.

Для контрольных карт средних арифметических для заданных  $L_0$ ,  $L_1$  и  $\delta$  по таблице стандарта устанавливаются объемы выборок  $n$  и значения  $\frac{u}{\sqrt{n}}$ , определяющие положение границ регулирования:

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma, \quad K_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma.$$

Для контрольных карт медиан для тех же исходных данных по таблице определяются объемы выборок  $n$  и значения  $\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}}$ , Границы регулирования при этом

$$K_+ = \mu_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma, \quad K_- = \mu_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma.$$

### **Статистическое регулирование техпроцессов с применением контрольных карт средних квадратических отклонений и размахов**

Статистическое регулирование рассеивания значений параметров качества обрабатываемой детали производится с применением контрольных карт средних квадратических отклонений или размахов. В результате предварительного анализа должны быть установлены среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  контролируемого параметра  $x$ , при котором процесс считается налаженным, и предельно допустимое значение среднего квадратического отклонения  $\sigma_1$ , при котором требуется корректировка процесса.

Методы статистического регулирования по среднему квадратическому отклонению или размаху применяются для одностороннего регулирования, так как при этом контролируется только увеличение рассеивания значений параметра. Методы средних квадратических отклонений и размахов применяются для статистического регулирования технологических процессов, разладка которых характеризуется существенным увеличением рассеивания значений контролируемого параметра. Метод средних квадратических отклонений при одинаковых условиях осуществления технологического процесса и одних и тех же объемах выборки позволяет более эффективно выявлять разладку процесса, чем метод размахов. Однако последний значительно проще в осуществлении, так как при определении размахов выполняемые вычисления элементарно просты.

Статистическое регулирование может выполняться по уровню наладки и рассеиванию значений контролируемого параметра. При этом может быть использовано различное сочетание перечисленных методов. Например, метод средних арифметических значений может быть применен вместе с методом средних квадратических отклонений или размахов. Метод медиан также может быть использован в сочетании с этими методами регулирования.

Измерение мгновенных выборок деталей за межнастроочный период позволяет определить показатели точности и стабильности технологической операции.

Метод выборочных средних квадратических отклонений позволяет быстрее определять разладку процесса, чем метод размахов при одинаковых объемах выборки, но метод размахов не требует сложных вычислений,

необходимых для определения выборочных средних квадратических отклонений.

Метод размахов целесообразно применять при объеме выборки, не превышающем десяти единиц.

На основании предварительного анализа должны быть получены следующие данные;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение параметра  $x$ , при котором выпускается продукция наилучшего качества, т.е. процесс наложен;  $\sigma_1$  – предельно допустимое значение среднего квадратического отклонения параметра  $x$ , когда требуется корректировка процесса.

Исходными данными для статистического регулирования с помощью контрольных карт средних квадратических отклонений являются выборочные средние квадратические отклонения, которые определяются по формулам:

при известном среднем значении параметра  $x$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \mu_0)^2}{n}},$$

где  $x_{ij}$  –  $j$ -й результат измерения контролируемого параметра в  $i$ -й выборке;  
 $\mu_0$  – среднее значение параметра  $x$ ;

при неизвестном среднем значении параметра  $x$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n}}$$

где  $\bar{x}_i$  – выборочное среднее значение параметра  $x$ .

Исходными данными для статистического регулирования с применением контрольных карт размахов являются значения размаха

$$R_i = x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}.$$

Выбор плана статистического регулирования состоит в назначении величин  $\tau$ ,  $n$ ,  $K$  (граница регулирования).

Исходными величинами при этом являются  $L_0$ ,  $L_1$  и отношение  $\sigma_1/\sigma_0$ .

Периодичность взятия выборок  $\tau$  и их объем  $n$  выбираются по таблицам приложения к СТ СЭВ 2835-80. Границу регулирования устанавливают при известном и неизвестном среднем значении параметра  $x$  по формуле

$$K = Z\sigma_0.$$

Значения  $Z$  приведены в таблицах ГОСТ. Граница регулирования для контрольных карт размахов определяется по формуле

$$K = \omega\sigma_0.$$

Значения  $\omega$  приведены в таблице СТ СЭВ 2835-80.

## Примеры применения стандарта

### *Статистическое регулирование технологических процессов с применением контрольных карт средних арифметических и медиан*

Пример 1. Рассмотрим процесс обработки деталей на токарном станке. Процесс считается налаженным, если средний диаметр обработки деталей  $\mu_0 = 52,64$  мм, и разложенным, если  $\mu_1 = 52,65$  мм и  $\mu_{-1} = 52,63$  мм. Предварительным статистическим анализом установлено, что  $\sigma = 0,005$  мм.

Определим план контроля и рассчитаем границу регулирования при заданных значениях  $L_0 = 100$  и  $L_1 = 1,25$ .

*Решение.* Определяем нормированное смещение уровня наладки оборудования при его разладке:

$$\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma} = \frac{52,65 - 52,64}{0,005} = 2,0.$$

По величинам  $\delta$ ,  $L_0$  и  $L_1$  по таблице 1 стандарта определяем значения  $n$  и  $\frac{u}{\sqrt{n}} - n = 3,0$ ;  $\frac{u}{\sqrt{n}} = 1,465$ ;

Так как контролируемый параметр может как увеличиваться, так и уменьшаться, нужно строить карту с 2-сторонним критерием, т. е. с верхней и нижней границами регулирования:

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 + 1,465 \cdot 0,005 = 52,647 \text{ мм},$$

$$K_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 - 1,465 \cdot 0,005 = 52,633 \text{ мм}.$$

На рисунке 5.4 представлена контрольная карта для данной технологической операции с результатами контроля 10 выборок. На 10-й выборке точка выходит за нижнюю границу регулирования, что является сигналом о разладке станка и необходимости его остановить для наладки.

Если осуществлять статистическое регулирование данного процесса с применением контрольной карты медиан, то план контроля изменяется в соответствии с табл. 2 стандарта. Для  $\delta = 2,0$ ,  $L_0 = 100$  и  $L_1 = 1,25$  по этой таблице определяем объем выборки  $n = 4$  и  $\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{u}{\sqrt{n}} = 1,467$ , которая определяет положение границ регулирования

$$K_+ = \mu_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 + 1,467 \cdot 0,005 = 52,648 \text{ мм},$$

$$K_- = \mu_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 - 1,467 \cdot 0,005 = 52,632 \text{ мм}.$$

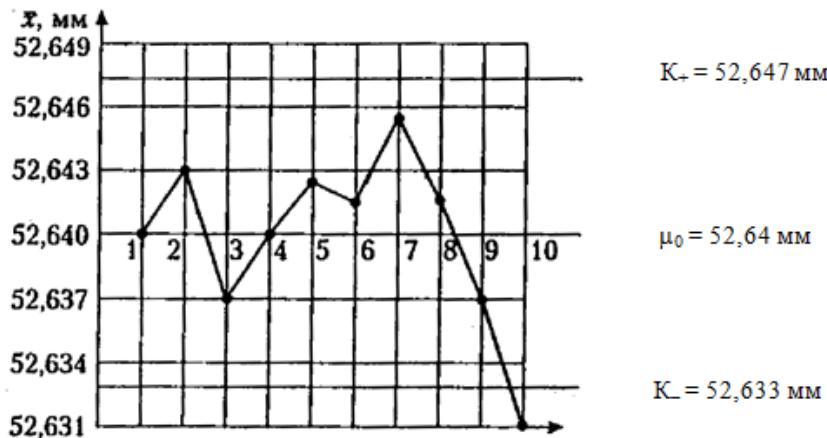


Рисунок. 5.4 – Контрольная карта статистического регулирования методом средних арифметических ( $\bar{x}$ ).

На рисунке 5.5 представлена контрольная карта медиан, на которой отмечены результаты контроля 10 последовательных выборок. На 10-й выборке точка на контрольной карте вышла за верхнюю границу регулирования, что служит сигналом о разладке станка.

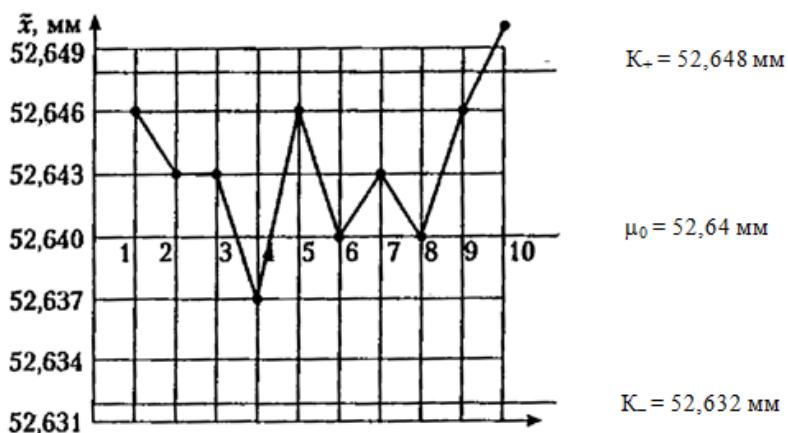


Рисунок. 5.5 – Контрольная карта статистического регулирования методом медиан ( $\tilde{x}$ ).

### *Статистическое регулирование технологических процессов с применением контрольных карт средних квадратических отклонений и размахов*

Пример 2. Осуществляется процесс фрезерования плоскостей на горизонтально-фрезерном станке. Он считается налаженным при  $\sigma_0 = 0,03$  мм и разложенным при  $\sigma_1 = 0,075$  мм.

Заданы значения  $L_0 = 20$  и  $L_1 = 1,053$ .

Требуется определить объем выборки и границу регулирования для построения контрольной карты средних квадратических отклонений.

*Решение.* Определяем отношение  $\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \frac{0,075}{0,03} = 2,5$ . По этому отношению и значениям  $L_0$  и  $L_1$  по табл. 3 стандарта определяем объем выборки  $n = 7$  при известном среднем значении контролируемого параметра

и  $n = 8$  при неизвестном значении.

Величина  $Z = 1,419$ . По ней определяем положение границы регулирования

$$K_+ = 1,419 \cdot 0,03 = 0,0426 \text{ мм.}$$

На рисунке 5.6 представлена контрольная карта средних квадратических отклонений с результатами  $S_i$  последовательных выборок. Как видно, 12-я точка попадает за границу регулирования, что говорит о разладке оборудования.

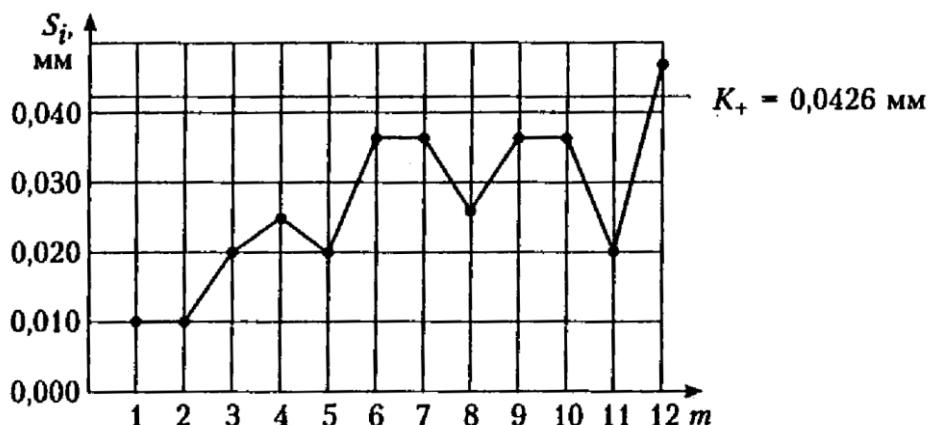


Рисунок. 5.6 – Контрольная карта статистического регулирования методом средних квадратических ( $S_i$ ).

Если статистическое регулирование данной операции осуществляется с применением контрольной карты размахов, то для выбора плана контроля нужно использовать табл. 4 стандарта. В этой таблице для значений  $\sigma_1/\sigma_0 = 2,5$ ;  $L_0 = 20$  и  $L_1 = 1,053$  находим величину объема выборки  $n = 9$  и  $\omega = 4,387$ , которые определяют положение границы регулирования

$$K_+ = \omega \sigma_0 = 4,387 \cdot 0,03 = 1,316 \text{ мм.}$$

На рисунке 5.7 представлена контрольная карта размахов с результатами  $R_i$ , полученными по 10 последовательным выборкам. Размер 10-й выборки попадает за границу регулирования, и станок требует подналадки.

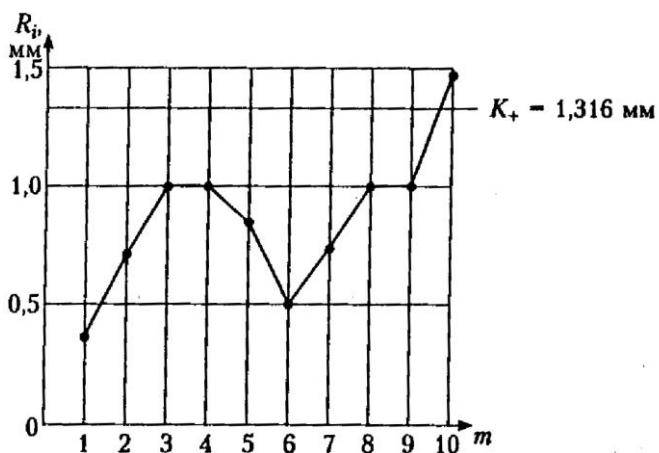


Рисунок. 5.7 – Контрольная карта статистического регулирования методом размахов ( $R_i$ ).

## **Оценка точности процесса механической обработки методом построения точечных диаграмм**

Для оценки точности процесса механической обработки может применяться метод построения точечных диаграмм. При их построении (рисунок 5.8) по оси абсцисс откладывают номера последовательно обработанных деталей или другие величины, характеризующие стабильность процесса обработки, а по оси ординат – их размеры (рисунок 5.8,а)

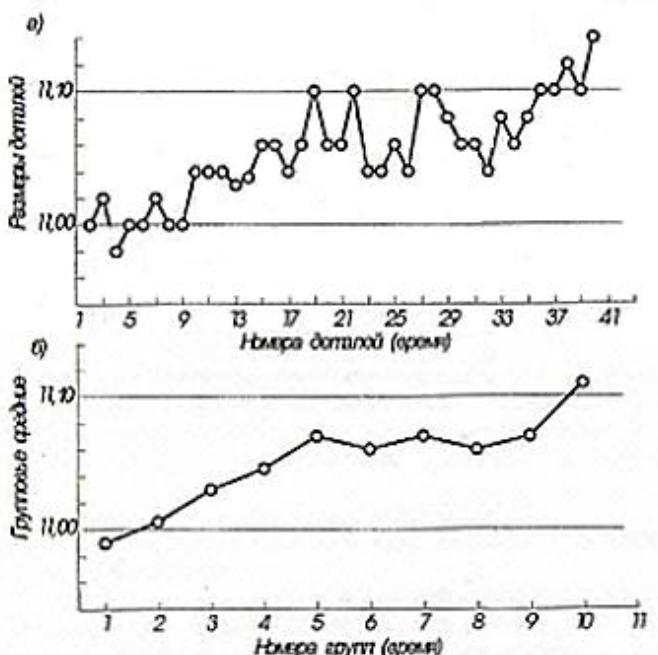


Рисунок 5.8 – Примеры точечных диаграмм: а – с использованием номеров последовательно обрабатываемых деталей; б – с использованием номеров групп последовательно обрабатываемых деталей

Длина диаграммы может быть сокращена, если вместо номеров деталей на оси абсцисс откладывать номера групп деталей. Причем в каждую группу входит одинаковое количество последовательно снимаемых со станка деталей (рисунок 5.8,б). По оси ординат откладывают средние арифметические значения размеров, входящих в каждую группу. В этом случае влияние закономерно изменяющегося фактора просматривается более отчетливо.

Как правило, построение точечных диаграмм применяется при статическом контроле хода выполнения операции. Выход точки на диаграмме за определенную границу служит сигналом о возможности появления брака и указывает на необходимость подналадки оборудования.

### **Порядок выполнения работы**

1. По исходным данным ( $L_0$ ,  $L_1$ ,  $\sigma$ ) выбрать план статистического регулирования.
2. Произвести измерения контролируемого параметра.

3. Выполнить расчеты по определению  $\bar{x}_{ij}$  или медиан и занести результаты в контрольную карту.
4. Построить контрольную карту.
5. Проанализировать ход технологического процесса и сделать выводы.
6. Построить точечную диаграмму

### **Методические указания**

Для выполнения лабораторной работы исходными параметрами являются:

- 1) Комплект деталей (например, втулки) диаметром 14 мм с полем допуска 0,07 мм ( $\varnothing 14_{-0,07}$ ).
- 2) Нормы основные и штучные времени:  $T_0 = 0,1$  мин;  $T_{шт.} = 0,15$  мин.
- 3) Стойкость инструмента  $T = 90$  мин.
- 4) Риск изменений наладки  $\alpha = 0,05$ ; риск незамеченной разладки  $\beta = 0,05 - 0,1$ .
- 5) Параметр регулирования процесса – среднее арифметическое значение  $\bar{x}$  или медиана  $\tilde{x}$ .

Варианты задания:

№ варианта	Метод регулирования	Исходные данные				
		$\mu_1, \text{мм}$	$\mu_0, \text{мм}$	$L_1$	$L_0$	$\sigma, \text{мкм}$
1	ср. арифметических значений	13,983	13,997	1,18	100	8,7
2	ср. арифметических значений	13,984	13,997	1,18	740	6,8
3	ср. арифметических значений	13,980	13,998	1,66	200	6,3
4	Медиан	13,990	14,003	1,18	20	5,4
5	Медиан	13,988	14,002	1,18	40	9,1
6	Медиан	13,988	13,996	1,25	100	4,1

В соответствии с ГОСТ 15893-77 (СТ СЭВ 2835-80) для выбора плана статистического регулирования с применением контрольных карт средних арифметических значений и медиан необходимо предварительно определить следующие характеристики:

- 1)  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра  $x$ ;
- 2)  $\mu_0$  – среднее значение контролируемого параметра  $x$ , которое при соблюдении заданной технологии соответствует выпуску продукции наилучшего качества (в большинстве случаев  $\mu_0$  соответствует значению середины поля допуска);
- 3)  $\mu_1, \mu_{-1}$  – предельно допустимые средние значения контролируемого параметра  $x$ , при которых требуется корректировка процесса (эти значения соответствуют максимально допустимой доле брака):

$$\mu_1 = \mu + \delta\sigma; \mu_{-1} = \mu_0 - \delta\sigma,$$

где  $\delta$  – величина, характеризующая нормированное смещение наладки (установки) техпроцесса при его разладке;

$$\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma} \text{ или } \delta = \frac{\mu_0 - \mu_{-1}}{\sigma};$$

4) средняя длина серий выборок налаженного  $L_0$  и разложенного  $L_1$  процессов, т. е. среднее число мгновенных выборок за межнастроочный период.

Средняя длина серий, для которой составлены таблицы ГОСТ, определена по формулам:

- для налаженного процесса  $L_0 = 1/\alpha$ ;
- для разложенного процесса  $L_1 = 1/(1 - \beta)$ ;

где  $\alpha$  – риск излишней наладки,  $\beta$  – риск незамеченной разладки.

В работе следует принимать:

$\mu_0$  – равно середине поля допуска на контролируемый размер;

$\mu_1$  – верхнее предельное отклонение размера;

$\mu_{-1}$  – нижнее предельное отклонение размера;

$\delta \leq 2$ ;

$L_0$  – удобно принять равной 20 выборкам, допуская риск излишней наладки  $\alpha = 0,05$ , т. е. 5%;

$L_1$  – принять в соответствии с индивидуальным заданием при условии, что объем мгновенной выборки  $n \leq 5$ .

Выбор плана статистического регулирования уровня наладки состоит в назначении:

- объема мгновенных выборок  $n$ ;
- периода их отбора  $t$ ;
- границ регулирования  $K_+, K_-$ .

По исходным данным  $L_1, L_0, \delta$  в таблицах 5.1 – 5.4 находят значения  $n$  и

$\frac{u}{\sqrt{n}}$  для контрольных карт средних арифметических значений параметра или

$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{u}{\sqrt{n}}$  для контрольных карт медиан.

Периоды взятия выборок определить по формуле:

$$\tau = \frac{T_{um} T}{T_0 L_0}.$$

Положение границ регулирования определить по формулам:

а) для контрольных карт средних арифметических значений параметра

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma; \quad K_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma;$$

б) для контрольных карт медиан

$$K_+^M = \mu_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma; \quad K_-^M = \mu_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma.$$

При одностороннем смещении контролируемого уровня наладки вычисляют одну из двух границ регулирования.

Выборочные средние значения параметра вычислить по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij},$$

где  $x_{ij}$  –  $j$ -й результат измерения контролируемого параметра в  $i$ -й выборке;  $n$  – объем мгновенной выборки.

Для определения медианы в  $i$ -й выборке значения контролируемого параметра располагают в виде возрастающего вариационного ряда. При четном числе членов вариационного ряда медиану определяют как среднее арифметическое двух значений, расположенных в середине ряда. При нечетном числе членов медианой является значение параметра, находящегося в центре вариационного ряда.

После нанесения на соответствующую карту медиан или средних арифметических значений параметра надо сделать выводы о характере настройки (настроенности) процесса и приемлемости выбранного плана статистического регулирования.

### *Пример нахождения границы регулирования*

Исходные данные:

Метод регулирования – по средним арифметическим значениям:

$$\mu_0 = 13,996 \text{мм}; \quad \mu_1 = 13,990 \text{мм}; \quad L_1 = 1,18; \quad L_0 = 200$$

Предварительной обработкой статистических данных установлено, что  $\sigma = 2,8$

2. Находим нормальное смещение наладки процесса при его разладке, используя формулу:

$$\delta = \frac{\mu_0 - \mu_1}{\sigma}$$

$$\delta = \frac{13,996 - 13,990}{0,0028} = 2,14$$

3. По таблицам приложения определяем объем выборки и значение выражения  $\frac{U}{\sqrt{n}}$

В таблице находим  $n=5$ ;  $\frac{U}{\sqrt{n}} = 1,425$

3. Находим границы регулирования

$$K^- = \mu_0 - \frac{U}{\sqrt{n}} \sigma$$

$$K^- = 13,996 - 1,425 \times 0,0028 = 13,992 \text{ мм}$$

$$K^+ = \mu_0 + \frac{U}{\sqrt{n}} \sigma$$

$$K^+ = 13,996 + 1,425 \times 0,0028 = 13,999 \text{ мм}$$

4. Выборочные средние значения параметра вычислить по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij},$$

$$\bar{x}_1 = \frac{13,990 + 13,994 + 14,020 + 13,990 + 13,992}{5} = 13,997 \text{ мм}$$

5. Найденные значения наносим на контрольную карту(рисунок 5.9)

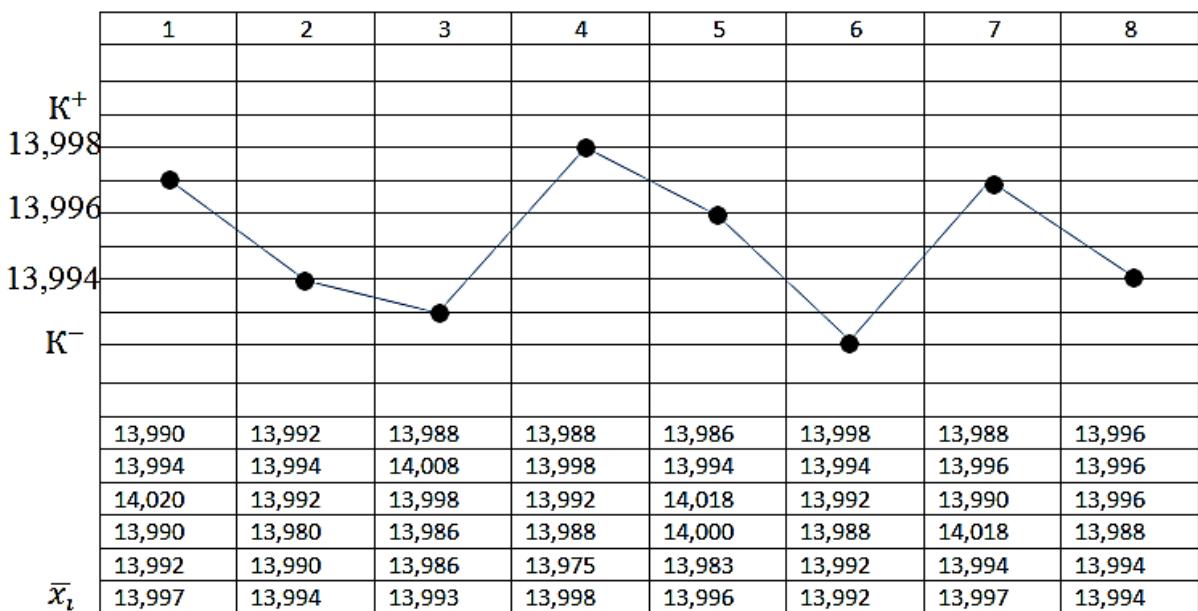


Рисунок 5.9 – Контрольная карта статистического регулирования методом средних арифметических значений

## Приложения, справочные таблицы

**L<sub>1</sub>=1,18**

L <sub>0</sub>	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$
	при $\delta$									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	-	-	29	0,609	19	0,760	8	1,141	5	1,531
740	-	-	25	0,593	16	0,742	7	1,113	4	1,484
200	36	0,427	20	0,569	13	0,712	6	1,068	3	1,425
100	32	0,414	18	0,533	11	0,691	5	1,637	3	1,382
40	25	0,392	14	0,522	9	0,553	4	0,980	2	1,306
30	20	0,367	11	0,490	7	0,612	3	0,918	2	1,225

**L<sub>1</sub>=1,66**

L <sub>0</sub>	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$
	при $\delta$									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	35	0,56	20	0,743	13	0,925	6	1,392	3	1,865
740	29	0,554	16	0,738	11	0,920	5	1,385	3	1,848
200	22	0,547	12	0,429	8	0,910	4	1,320	2	1,825
100	18	0,543	10	0,724	7	0,903	3	1,360	2	1,812
40	14	0,525	8	0,710	5	0,885	2	1,330	1	1,772
20	10	0,512	6	0,692	4	0,864	1	1,295	1	1,735

**L<sub>1</sub>=1,18**

L <sub>0</sub>	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$
	при $\delta$									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	-	-	-	-	30	0,760	13	1,140	8	1,520
740	-	-	40	0,583	26	0,742	11	1,112	7	1,483
200	-	-	32	0,569	21	0,712	9	1,066	6	1,423
100	-	-	28	0,553	18	0,691	8	1,030	5	1,382
40	39	0,391	22	0,522	14	0,653	7	0,978	4	1,305
20	31	0,364	18	0,490	11	0,612	5	0,918	3	1,224

**L<sub>1</sub>=1,25**

L <sub>0</sub>	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{\pi}{2} \frac{U}{\sqrt{n}}$
	при $\delta$									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	-	-	43	0,636	28	0,795	12	1,195	7	1,594
740	-	-	37	0,623	24	0,778	11	1,168	6	1,558
200	-	-	29	0,601	19	0,751	9	1,128	5	1,504
100	-	-	25	0,586	16	0,732	8	1,099	4	1,467
40	35	0,418	20	0,554	13	0,697	6	1,046	4	1,388
20	28	0,395	16	0,528	10	0,659	5	0,989	3	1,320

## **Оценка точности механической обработки методом построения точечной диаграммы**

В качестве образцов при выполнении данной части работы используются ступенчатые валики в количестве 15 штук, изготовленные из алюминиевого сплава. На рисунке 5.10 указаны размеры ступенчатого валика.

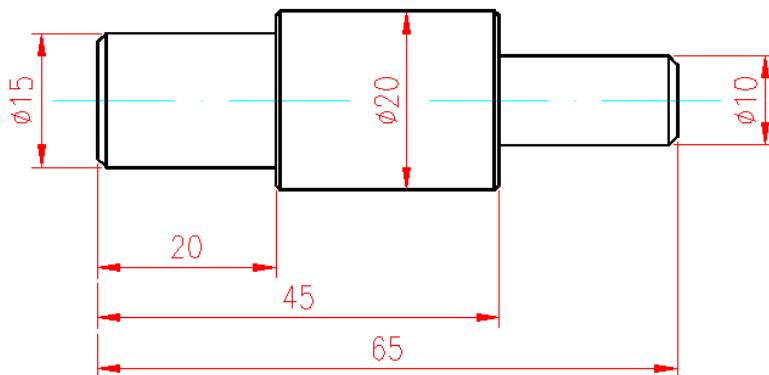


Рисунок 5.10 – Чертеж ступенчатого валика

Он состоит из трех степеней. Степень диаметром 20 мм является обрабатываемой в ходе выполнения данной операции и используется для оценки точности исследуемого процесса механической обработки. На ступени диаметром 15 мм указан номер, соответствующий последовательности обработки данного валика на станке (рисунок 5.11)



Рисунок 5.11 – Фотография валика с указанием номера последовательности его обработки

Для построения точечной диаграммы необходимо последовательно выполнить следующие действия:

1. Набрать блок концевых мер на величину измеряемого диаметра валика, равного 20 мм.
2. Осуществить настройку приспособления измерения диаметров, согласно пункта 2.2 (лабораторная работа №4 → порядок выполнения работы)
3. Убрать концевые меры
4. Произвести измерения диаметра валиков в последовательности их обработки
5. По полученным значениям построить точечную диаграмму и произвести ее анализ

## **Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть
  - 4.1 Эскиз детали с указанием измеряемого размера
  - 4.2 Контрольная карта статистического регулирования
  - 4.3 Точечная диаграмма
5. Вывод.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается сущность статистического регулирования процесса?
2. Как определяется медиана?
3. Как определяются границы статистического регулирования по среднему арифметическому значению и медиане?
4. В чем заключается выбор плана статистического регулирования?
5. Что понимается под длиной серии налаженного и разложенного процессов и на основании чего она определяется?
6. В чем заключается оценка точности механической обработки методом построения точечных диаграмм?

## **Литература**

1. Международные стандарты. Управление качеством продукции. ИСО 8402, ИСО 9000- ИСО 9004. М.: Издательство стандартов, 1988. 96 с.
2. РД 3.02-93 Рекомендации по применению статистических методов управления качеством продукции. Мин.: Издательство Госкомпрома РБ, 1994. 35 с.
3. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1979. 464 с.
4. Маталин А. А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 512 с.
5. Дипломное проектирование по технологии машиностроения / Под ред. В.В. Бабука. Мин.: Вышэйшая школа, 1979. 464 с.

## **Лабораторная работа № 6**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ**

### **Цель работы**

1. Изучить методику расчета жесткости технологической системы и методы экспериментального определения жесткости станка
2. Определить погрешности формы детали в продольном сечении после обработки на токарном станке.

### **Задачи работы**

1. Установить связь точности изготовленных деталей с припусками и свойствами материала заготовки.
2. Изучить экспериментальный и расчетный методы определения жесткости элементов технологической системы.
3. Определить экспериментальным путем погрешность профиля продольного сечения консольно закрепленного нежесткого вала, и сравнить полученные данные с расчетными.
4. Определить жесткость передней и задней бабок токарного станка методом статического нагружения.
5. Определить экспериментальным путем погрешность формы профиля продольного сечения вала после обработки его в центрах и рассчитать величину упругих перемещений вала с учетом податливости передней и задней бабок.

### **Оборудование, инструмент и принадлежности**

1. Станок токарный настольный модель Т – 28.
2. Устройство нагружающее.
3. Центр передней бабки, закрепляемый в трехкулачковом патроне.
4. Ключ торцевой четырехгранный ( $S=6$  мм).
5. Индикатор часового типа ИЧ–10 ГОСТ 577 – 68.
6. Линейка измерительная металлическая ГОСТ 427 – 75.
7. Вал  $d = 10$  мм,  $L = 200$  мм,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>.

### **Теоретическая часть**

#### **Связь точности изготовления детали с припуском и свойствами материала заготовки**

Станок, приспособление, инструмент и заготовка образуют

технологическую систему, элементы которой в процессе обработки должны быть замкнуты. С момента врезания режущих кромок инструмента в материал заготовки технологическая система подпадает под действие сил резания, а так же периодически изменяющихся сил, вызванных дисбалансом быстрорращающихся узлов станка или заготовки. Под действием этих сил, вследствие зазоров в стыках деталей технологической системы, контактного и упругого деформирования, заготовка и режущий инструмент начинают перемещаться в пространстве в направлениях, не предусмотренных кинематикой процесса обработки. Эти перемещения происходят до тех пор, пока силы сопротивления, создаваемые упругими свойствами материала деталей, не уравновесят действия внешних сил и пока в технологической системе не создастся натяг, необходимый для съема слоя материала с заготовки.

Силовые факторы, действующие в технологической системе непостоянны. Наиболее значительное влияние на силу резания оказывают глубина резания и свойства материала заготовки. Глубина резания определяется припуском на обработку, колебание значений которого в партии заготовок является причиной рассеяния размеров деталей, изготовленных из них. Неравномерный припуск на отдельной поверхности заготовки приводит к отклонениям формы этой поверхности у изготовленной детали из-за неодинакового упругого перемещения элементов технологической системы. Избыточный и неравномерный припуск вынуждает назначать дополнительные рабочие ходы, что ведет к снижению производительности процесса изготовления детали.

Различие твердости материала заготовок в обрабатываемой партии и колебание ее значений в разных частях отдельной заготовки также вызывает изменение сил резания, а следовательно и величины деформации элементов технологической системы. В процессе обработки заготовки непрерывно идет изнашивание режущего инструмента, что приводит к увеличению силы резания, особенно на заключительном этапе периода стойкости инструмента. В своей совокупности эти явления приводят к отклонениям формы, относительного положения и размеров обработанных поверхностей деталей. Увеличение полей рассеяния значений припусков или характеристик свойств материалов приводят к увеличению поля рассеяния сил резания.

## **Жесткость технологической системы**

Величина упругих перемещений инструмента и заготовки кроме силы резания зависит от жесткости элементов технологической системы. Под **жесткостью** технологической системы понимают ее способность оказывать сопротивление относительному перемещению режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в направлении действия силы, порождающей это перемещение. В общем случае связь между силой  $P$  и соответствующей ей упругому перемещению  $u$  не линейна, поэтому жесткость  $j$  следует измерять

отношением приращения деформирующей силы  $\Delta P$  к приращению перемещения  $\Delta y$ , измеренному в направлении ее действия

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta y}.$$

Жесткость  $j$  измеряется в килоニュтонах на миллиметр (кН/мм).

Сила резания вызывает упругие отжатия (деформации) элементов технологической системы, а колебания силы резания приводят к постоянному изменению упругих отжатий. Общая картина деформирования системы показана на рисунок 6.2. Режущий инструмент настроен на выполнение размера  $d_H$ . Однако как только начинается процесс резания и появляется сила  $P_y$ , технологическая система деформируется, центр  $O$  заготовки упруго перемещается в положение  $O_1$  на расстояние  $y_1$ , а инструмент – на расстояние  $y_2$ . Поэтому станок будет обтачивать заготовку диаметром  $d_1 = d_H + 2(y_1 + y_2)$ . Такая ситуация характерна для определенного момента времени. В следующий момент силовая картина изменится, так как постоянно меняется сила резания. Поэтому упругие перемещения  $y_1$  и  $y_2$  нельзя полностью компенсировать предварительной настройкой технологической системы.

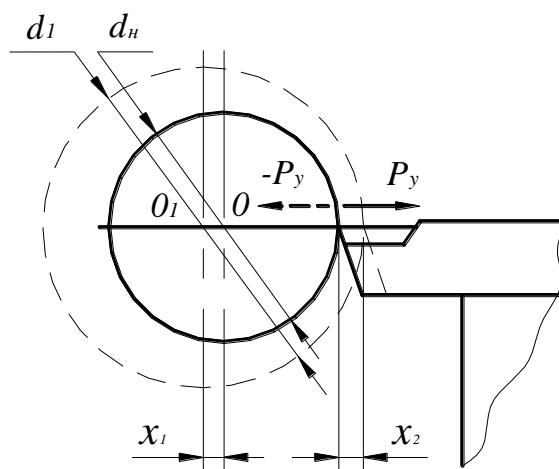


Рисунок 6.2 – Схема определения упругих деформаций технологической системы

При определении жесткости перемещение  $y$  измеряется в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, и в расчет вводится нормальная составляющая  $P_y$  силы резания. В качестве приближенной характеристики технологической системы используют среднюю жесткость  $j$  для данного диапазона изменения силы  $P_y$

$$j = \frac{P_y}{y}. \quad (1)$$

Эксперименты показывают, что жесткость зависит от направления действия силы резания, поэтому необходимо учитывать также ее

составляющие  $P_z$  и  $P_x$ . В связи с этим при экспериментальном определении жесткости технологическую систему следует нагружать системой сил, близкой к эксплуатационной.

Свойство технологической системы упруго деформироваться под действием силы называется **податливостью**. Податливость численно равна величине обратной жесткости и измеряется в миллиметрах на килоныютон (мм/кН)

$$u = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}. \quad (2)$$

Суммарная деформация системы равна сумме деформаций отдельных элементов этой системы, приведенных к точке и направлению, принятым при измерении жесткости

$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_n.$$

Аналогично можно определить суммарную податливость системы  $u$  по формуле

$$u = u_1 + u_2 + \dots + u_n$$

Последнее выражение позволяет найти суммарная жесткость системы  $j$  через жесткости отдельных звеньев системы

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \dots + \frac{1}{j_n} \quad (3)$$

В случае обработки заготовки на токарном станке при положении резца на расстоянии  $x$  от передней бабки жесткость станка  $j_{cm}$  в сечении, где располагается резец, определяется по формуле

$$\frac{1}{j_{cm}} = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{j_{n.u}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{j_{z.u}} + \frac{1}{j_c} + \frac{1}{j_p}, \quad (4)$$

где  $L$  – длина заготовки;  $j_{n.u}$  и  $j_{z.u}$  – жесткости задней и передней бабок, измеренные на заднем и переднем центрах соответственно;  $j_c$  – жесткость суппорта;  $j_p$  – жесткость резца.

При обработке нежестких валов необходимо также учитывать их деформацию, во многом зависящую от способа крепления заготовки на станке. Жесткость гладкого вала, консольно закрепленного в патроне может быть найдена по формуле

$$j_z = \frac{3EJ}{l^3}, \quad (5)$$

где  $l$  – длина выступающей из патрона части вала;  $E$  – модуль упругости;  $J$  – момент инерции сечения заготовки.

Жесткость гладкого вала закрепленного в центрах значительно выше и ее минимальное значение при положении резца в середине вала составляет

$$j_3 = \frac{48EJ}{L^3}. \quad (6)$$

Жесткость вала закрепленного в патроне и поддерживаемого задним центром еще выше и ее минимальное значение равно

$$j_3 = \frac{100EJ}{l^3}. \quad (7)$$

Момент инерции сечения вала диаметром  $d$  вычисляется по формуле

$$J = 0,05d^4. \quad (8)$$

Жесткость технологической системы во времени не является постоянной величиной. Значения характеристик жесткости станка в статическом состоянии и во время работы неодинаковы. В работающем станке возникают вибрации, толчки и удары, при наличии которых силы трения в стыках деталей уменьшаются, и зазоры между деталями выбираются при меньших нагрузках.

Как правило, заготовки имеют ступенчатую форму, поэтому деформации таких валов следует рассматривать как деформации ступенчатых балок. Для упрощения расчетов пользуются приведенным диаметром  $d_{np}$ . Для деталей типа валов с разносторонним расположением ступеней (рисунок 6.3, а)

$$d_{np} = \sum_{i=1}^n d_i l_i / \sum_{i=1}^n l_i,$$

для валов с двухсторонним расположением ступеней (рисунок 6.3, б)

$$d_{np} = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2 l_i / \sum_{i=1}^n l_i},$$

где  $n$  – число ступеней.

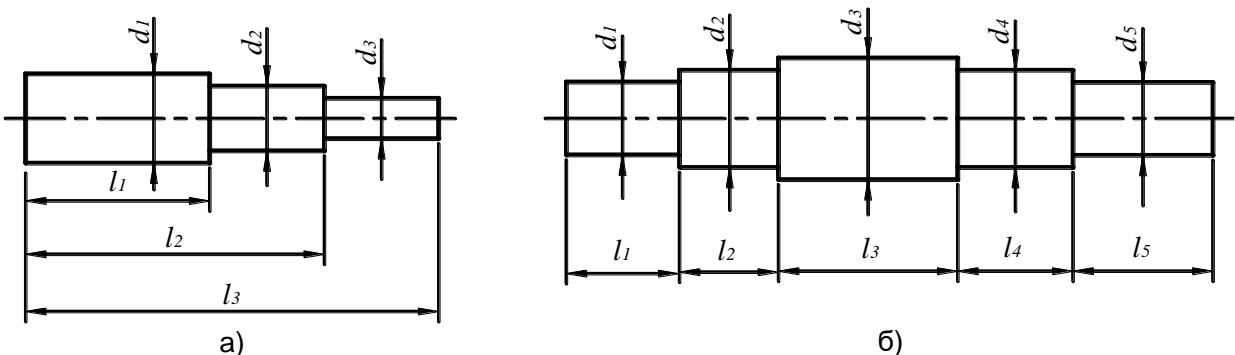


Рисунок 6.3 – Виды ступенчатых валов

Существенное изменение жесткости станка вызывает его нагрев. Так, например, жесткость шпиндельной бабки круглошлифовального станка, составлявшая при нормальной температуре 15,1 кН/мм, через 30 минут его работы на холостом ходу достигала 22,4 кН/мм, т. е. возросла на 44%. Жесткость шпинделей станков также неодинакова в радиальном направлении.

Учитывая, что жесткость технологической системы переменна и ее значение зависит от многих факторов, проявление которых невозможно предвидеть заранее, ее характеристику следует отнести к разряду случайных величин.

Вследствие рассеяния значений припусков и характеристик свойств материалов заготовок, например твердости, значения сил резания будут также рассеиваться от  $P_{\min}$  до  $P_{\max}$ . Если при этом учесть, что значения жесткости технологической системы случайны и подлежат рассеянию от  $j_{\min}$  до  $j_{\max}$ , то даже при стабильном рассеянии значений силы резания, значения поля  $\omega_y$  рассеяния упругих перемещений и координаты  $\Delta\omega_y$  его середины не будут оставаться постоянными. Изменения характеристик рассеяния упругих перемещений в связи с изменением состояния технологической системы показаны на рисунок 6.4, а. Заштрихованный участок диаграммы представляет собой поле  $\omega_j$  рассеяния значений жесткости технологической системы. Постепенное увеличение жесткости технологической системы, которое может быть вызвано ее нагревом, будет сопровождаться уменьшением мгновенного поля  $\omega_A$  рассеяния размеров  $A$  (рисунок 6.4, б) и смещением центра группирования  $M(x)_A$  к нижней границе поля допуска  $IT(A)$ .

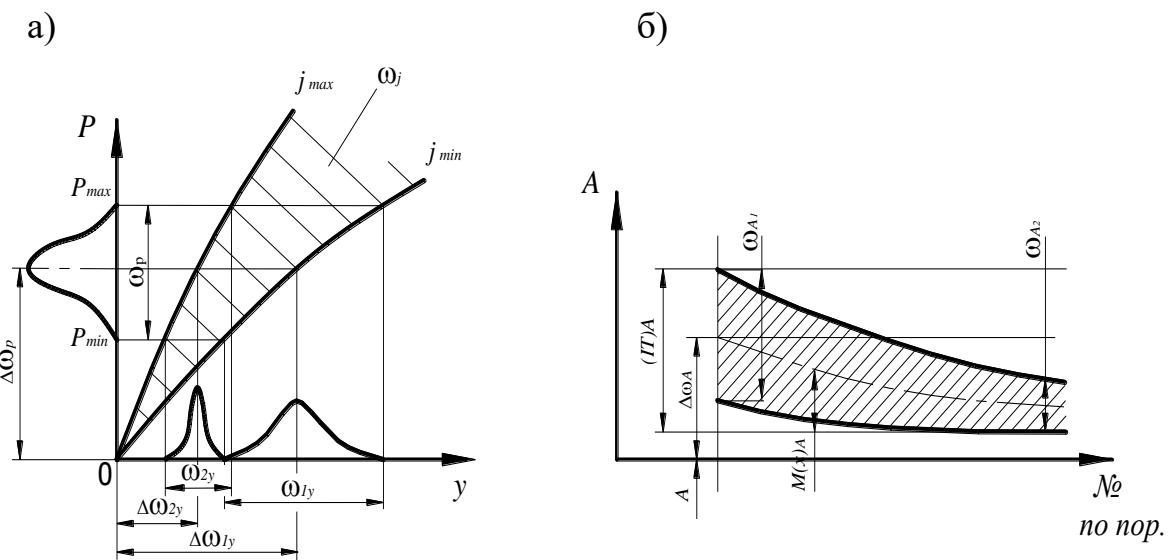


Рисунок 6.4 – Зависимость значения и положения поля рассеяния упругих перемещений от жесткости технологической системы

Неравномерный припуск, снимаемый с поверхности заготовки, неоднородные свойства материала в различных частях заготовки,

неодинаковая жесткость технологической системы при обработке заготовки в разных ее сечениях приводят к отклонениям формы обработанной поверхности детали. Например, удаление неравномерного припуска с поверхности заготовки (рисунок 6.5) будет сопровождаться изменением силы резания. Ее изменениям будут соответствовать изменения упругих перемещений в технологической системе. Вследствие этого возникнут отклонения формы обработанной поверхности в продольном сечении детали  $d_2 > d_1$ , в определенной мере повторяющие форму поверхности заготовки. Произойдет так называемое копирование формы поверхности заготовки с ее уточнением.

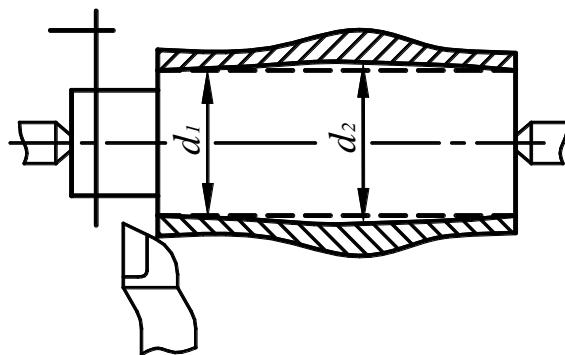


Рисунок 6.5 – “Копирование” формы заготовки в продольном сечении

По тем же причинам копирование формы поверхности заготовки наблюдается и в ее поперечном сечении. Если поверхность заготовки будет иметь отклонение от круглости, например эллипсность (рисунок 6.6), то поверхность детали, полученная в результате обработки, будет иметь отклонение того же вида, но меньшего значения.

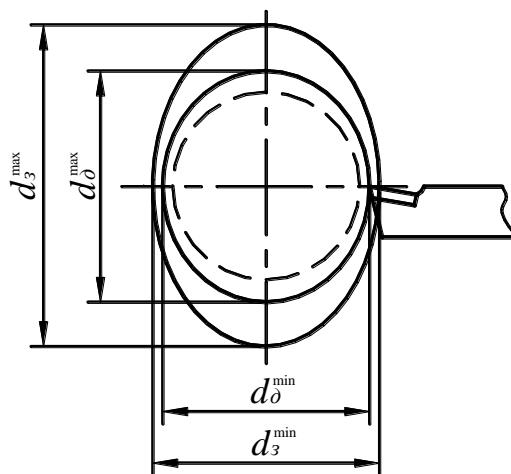


Рисунок 6.6 – “Копирование” формы заготовки в поперечном сечении

Отношение одноименных погрешностей заготовки  $\Delta_3$  и обрабатываемой детали  $\Delta_\partial$  называется *уточнением*:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_3}{\Delta_\partial} = \frac{d_3^{\max} - d_3^{\min}}{d_\partial^{\max} - d_\partial^{\min}}. \quad (9)$$

Величина обратная уточнению называется *коэффициентом уменьшения погрешности*

$$K = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{\Delta_d}{\Delta_s}.(10)$$

При обработке заготовки вала (рисунок 6.7, а), установленной в центрах (передний центр рифленый) токарного станка, причинами отклонений формы поверхности вала в продольном сечении будет являться переменная жесткость технологической системы по мере перемещения инструмента от задней к передней бабке станка.

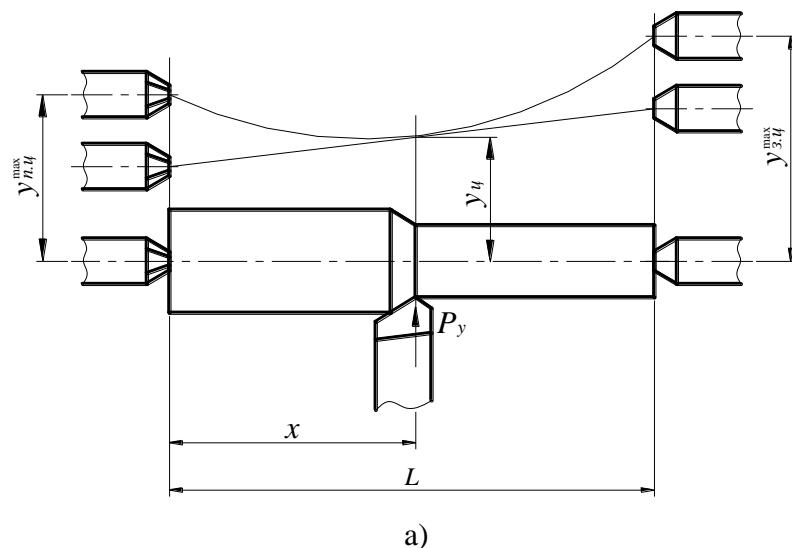
В сечении заготовки, отстоящем от переднего центра на расстоянии  $x$ , упругое перемещение в технологической системе под воздействием силы  $P_y$  складывается из перемещений  $y_u$  центров станка, самой заготовки из-за ее деформации  $y_3$ , суппорта  $y_c$  и резца  $y_p$ :

$$y = y_u + y_3 + y_c + y_p.$$

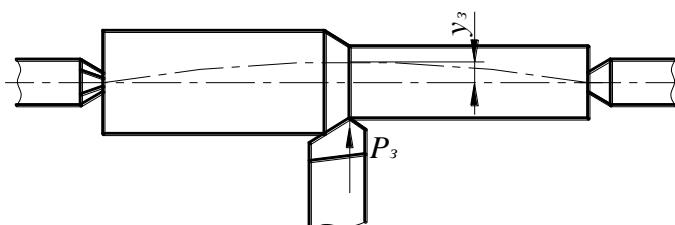
По аналогии с перемещением жесткой балки на двух упругих опорах будем иметь

$$y_u = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{P_y}{j_{n,u}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{P_y}{j_{3,u}}, \quad (11)$$

где  $j_{n,u}$  – жесткость передней бабки, измеренная на переднем центре;  $j_{3,u}$  – жесткость задней бабки, измеренная на заднем центре.



а)



б)

Рисунок 6.7 – Образование упругих перемещений в технологической системе при обработки жесткого вала

С изменением координаты  $x$  упругое перемещение центров станка будет непостоянным. Наибольшие перемещения задний и передний центры будут иметь соответственно в моменты врезания резца в заготовку и завершения процесса резания. Поэтому по мере перемещения резца от задней бабки к передней податливость центров будет изменяться, и заготовка будет поворачиваться, огибая параболическую кривую. Это приведет к погрешности формы поверхности детали.

На погрешность формы, созданную податливостью центров, наложится погрешность формы из-за нежесткости самой заготовки и ее прогиба под действием силы  $P_y$  (рисунок 6.7, б). Прогиб вала в месте приложения силы  $P_y$

$$y_3 = \frac{P_y \cdot x^2 \cdot (L-x)^2}{3EJL}, \quad (12)$$

где  $E$  – модуль упругости материала заготовки;  $J$  – момент инерции сечения заготовки.

Таким образом, из-за податливости центров передней и задней бабок станка и нежесткости самой заготовки погрешность формы обрабатываемой поверхности вала является неизбежным явлением. Ее можно уменьшать, повышая жесткость технологической системы, но от нее нельзя избавиться, так как ни станок, ни заготовку нельзя сделать абсолютно жесткими.

На всей длине вала отклонения  $y_u$  и  $y_z$  будут дополняться упругими перемещениями суппорта и деформациями резца. Таким образом, упругое перемещение в технологической системе на расстоянии  $x$  от передней бабки

$$y = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{P_y}{j_{n,u}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \cdot \frac{P_y}{j_{z,u}} + \frac{P_y \cdot x^2 (L-x)^2}{3EJL} + \frac{P_y}{j_c} + \frac{P_y}{j_p}, \quad (13)$$

где  $j_c$  – жесткость суппорта,  $j_p$  – жесткость резца.

Силу  $P_y$  определяют расчетным путем исходя из условий обработки. Для этого используют эмпирическую формулу

$$P_y = C_{P_y} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot (HB)^n, \quad (14)$$

где  $C_{P_y}$  – коэффициент, характеризующий условия обработки;  $t$  – глубина резания;  $S$  – подача;  $V$  – скорость резания;  $HB$  – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю;  $x, y, z, n$  – показатели степеней, выбираемые в соответствии с конкретными условиями резания.

Следовательно, жесткость технологической системы существенно влияет на точность изготавляемых деталей. Вместе с тем от жесткости технологической системы зависит производительность процесса обработки. Стремясь удержать рассеяние упругих перемещений в допустимых пределах, приходится ограничивать колебания силы резания. Это может быть связано

со снижением режимов обработки и увеличением числа рабочих ходов, т.е. с большими затратами времени на обработку.

## **Повышение жесткости технологической системы**

Повышение жесткости технологической системы является одним из средств увеличения точности и производительности обработки. Существуют следующие основные пути увеличения жесткости технологических систем.

1. Повышение собственной жесткости конструкции станков, приспособлений и режущего инструмента за счет сокращения числа звеньев в конструкторских размерных цепях, большей жесткости самих деталей и применения устройств, обеспечивающих предварительный натяг наиболее ответственных элементов технологической системы. Натяг может быть создан пружинными, гидравлическими и другими видами механизмов, подвешенными грузами, зажимными устройствами, фиксирующими положение перемещаемого узла.

2. Обеспечение максимально достижимой жесткости станков, приспособлений и инструментов в процессе их изготовления. Особое внимание нужно уделять контактной жесткости поверхностей стыков деталей и качеству сборки элементов технологической системы. Жесткость стыков деталей характеризуется сближением контактирующих поверхностей деталей под воздействием внешней нагрузки. С уменьшением значений параметров шероховатости и волнистости поверхностей жесткость стыков возрастает.

Жесткость станков и приспособлений во многом зависит от качества регулировки подшипников, клиньев, прижимных планок и т.п., проводимой в процессе их сборки. Для обеспечения жесткости при закреплении деталей в машинах необходимо создавать определенные предварительные натяги. В неподвижных соединениях натяг, обеспечивающий давление не ниже 1,5 МПа, а в подвижных соединениях — от 0,1 до 0,2 МПа.

3. Сокращение числа составляющих звеньев в размерных цепях технологических систем. Такого сокращения можно достичь, применяя приспособления, исключающие или уменьшающие влияние податливости станка на точность изготавляемой детали. Например, отверстие в корпусной детали можно расточить на расточном станке при жесткой связи инструментальной оправки со шпинделем станка (рисунок 6.8, а). Но то же отверстие можно получить, используя оправку, направляемую втулками приспособления и связанную со шпинделем станка с помощью двойного шарнира Гука (рисунок 6.8, б). В первом случае расстояние  $A_{\Delta}$  между осью отверстия и установочной базой заготовки будет получаться с помощью размерной цепи  $A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6$ . Во втором случае технологическая размерная цепь будет короче:  $A_{\Delta} = A_1 - A_2$ , а следовательно, будет меньшим и суммарное упругое перемещение в технологической системе.

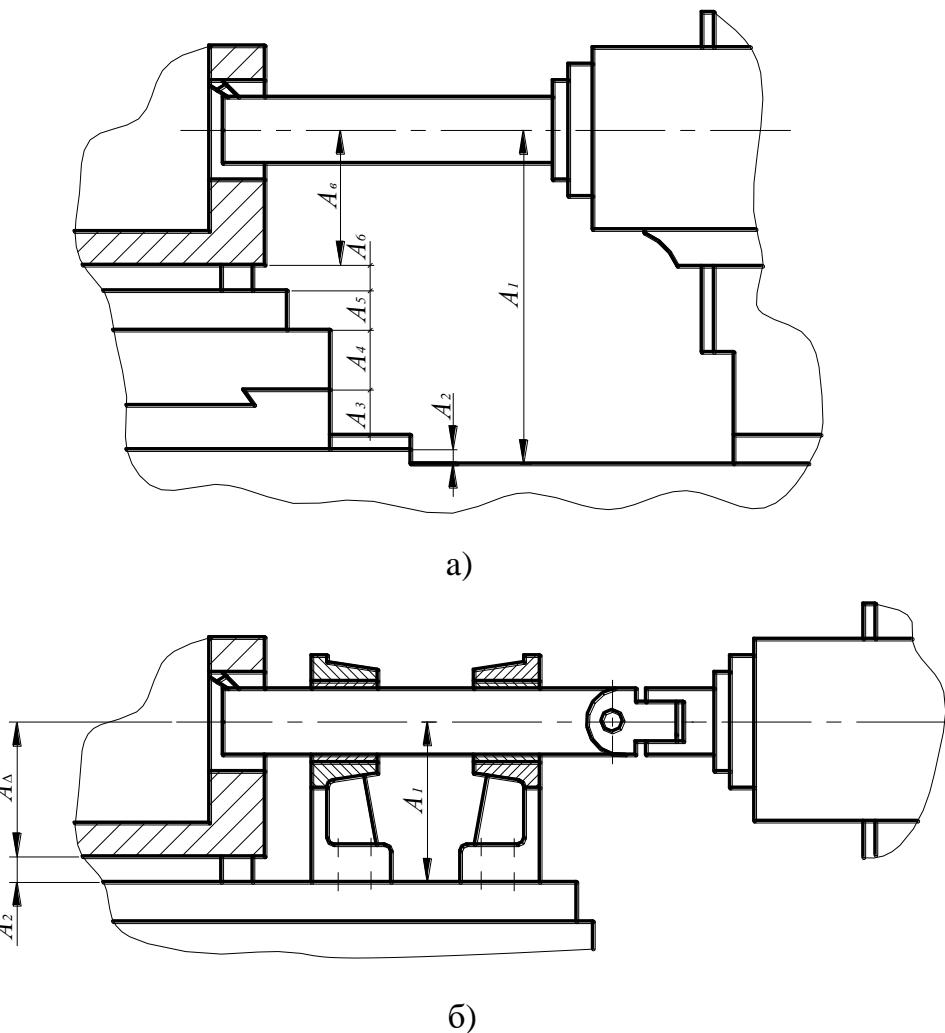


Рисунок 6.8 – Повышение жесткости технологической системы путем уменьшения числа составляющих звеньев в ее размерной цепи

4. Повышение жесткости заготовки путем применения дополнительных опор, в частности, люнетов.

5. Правильные условия и режимы эксплуатации технологической системы. К числу таковых относятся предварительный прогрев технологической системы на холостом ходу, непрерывная и равномерная подача смазочного материала нужной консистенции к трущимся деталям, постоянство усилий закрепления заготовки, механизмов и узлов системы и др.

6. Систематический надзор за оборудованием и восстановление его первоначальной жесткости регулированием зазоров в подвижных соединениях, шабрением трущихся и износившихся поверхностей периодический ремонт.

### **Методы определения жесткости технологической системы**

Для нахождения величины упругих перемещений в технологической системе необходимо знать значения жесткости ее элементов. Многообразие факторов, влияющих на жесткость технологической системы, не позволяют

установить ее расчетным путем, поэтому жесткость определяют эмпирическими методами.

Жесткость станка или отдельного узла может быть определена путем нагружения статическими силами, аналогичными тем силам, которые будут действовать в процессе работы. Создаваемые нагрузки увеличиваются от нуля до максимума, измеряют перемещение узлов станка и строят зависимость упругих перемещений от силы. Схема определения жесткости узла шпинделя станка показана на рисунок 6.9, а.

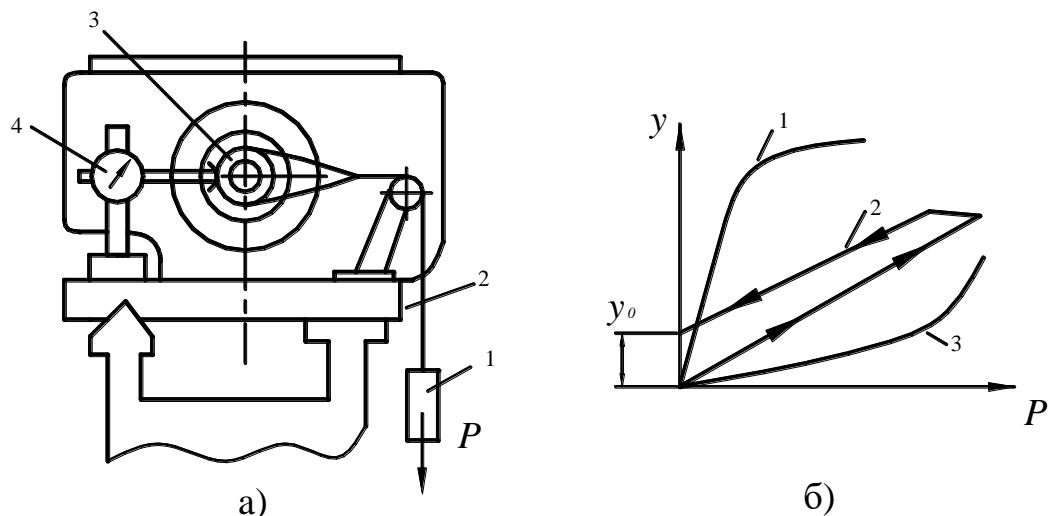


Рисунок 6.9 – Статическое нагружение шпинделя станка (а) и графики упругих перемещений (б)

Величина нагружающей силы изменяется с помощью ступенчатого увеличения груза 1, повешенного на тросе 2. С помощью индикатора 4 измеряют перемещение конца шпинделя 3 относительно станины станка. Графики упругих перемещений от действия сил могут иметь различный вид (рисунок 6.9, б). Зависимость 1 имеет место в случаях, когда в системе содержится слабо закрепленный элемент. После его сравнительно большого перемещения под действием малой силы зазоры выбираются, и возникает контактирование рабочих поверхностей всей нагруженной цепи элементов. Часто встречается в практике линейная зависимость 2. О жесткости можно судить по углу наклона прямой к оси абсцисс. После нагружения элементов и затем их разгрузке (показано стрелками), технологическая система не возвращается в исходное положение, а создается некоторое остаточное перемещение  $y_0$ . Петля гистерезиса характеризует работу, затраченную на деформирование элементов системы. В расчетах чаще всего ориентируются на зависимость 2, как наиболее типичную. График 3 показывает, что жесткость системы до определенных значений  $P$  была достаточно высокой, а затем в системе стал проявляться элемент с относительно низкой жесткостью. Следует отметить, что при разгрузке узла все зависимости будут характеризоваться петлей гистерезиса по типу графика 2.

Наиболее часто нагружающую силу создают различными динамометрическими устройствами. Схема определения жесткости

элементов технологической системы показана на рисунок 6.10. С целью упрощения нагружочного устройства и учитывая, что в большинстве случаев радиальная составляющая силы резания  $P_y$  оказывает наибольшее влияние на приращение размера детали, направление нагружающей силы принято вдоль оси  $y$ .

В корпусе 5 нагружающего устройства, установленного на верхних салазках 4 токарного станка, консольно закреплена упругая балка 6 с наконечником 7. Перемещение нагружочного устройства вдоль оси  $y$  осуществляется рукояткой 1 поперечного перемещения салазок 2. Деформации тарированной упругой балки 6, пропорциональные нагружающей силе измеряется индикатором 3, также закрепленном в корпусе 5. Горизонтальные перемещения элементов технологической системы вдоль оси  $y$  измеряются индикатором 11, установленном в стойке 12, которая закреплена на суппорте 10. Заготовка 13 устанавливается в центрах или в трехкулачковом патроне 9. При установке заготовки в центрах неподвижный центр передней бабки 8 устанавливается в трехкулачковом патроне 9, а задний центр 14 располагается в пиноли 15 задней бабки 19. Для перемещения задней бабки 19 по направляющим 20 необходимо отпустить рукоятку крепления 17, а перемещение пиноли 15 с задним центром 14 осуществляется маховиком 18 при отпущенном рукоятке 16. Перемещение суппорта 10 вдоль направляющих 20 осуществляется вручную при отпущенном гайке 23. При перемещении суппорта 10 необходимо прижимать планку 21 к боковой поверхности направляющих 20. Рукояткой 22 совмещается положение наконечника 7 с линией измерения индикатора 11.

Описанное устройство лишь приближенно имитирует нагрузки, действующие на заготовку в процессе резания, так как оно не создает вертикальной и осевой составляющих силы резания и крутящего момента.

Статическая жесткость станков обычно в 1,2 – 1,4 раза выше, чем работающих станков, поэтому более достоверные данные о жесткости дает производственный метод. Производственный метод основан на обработке заготовки с переменным припуском и некоторых расчетах. Для испытания, например, токарного станка, берут достаточно жесткую заготовку, имеющую два пояса диаметрами  $D_1$  и  $D_2$ , (рисунок 6.11, а). Пояски обрабатываются за один рабочий ход (рисунок 6.11, б) при неизменных условиях (подаче, скорости и т. д.). Уступ  $\Delta_o = d_1 - d_2$ , образовавшийся вследствие разных глубин резания и отжатий в технологической системе, будет меньше  $\Delta_s = D_1 - D_2$ .

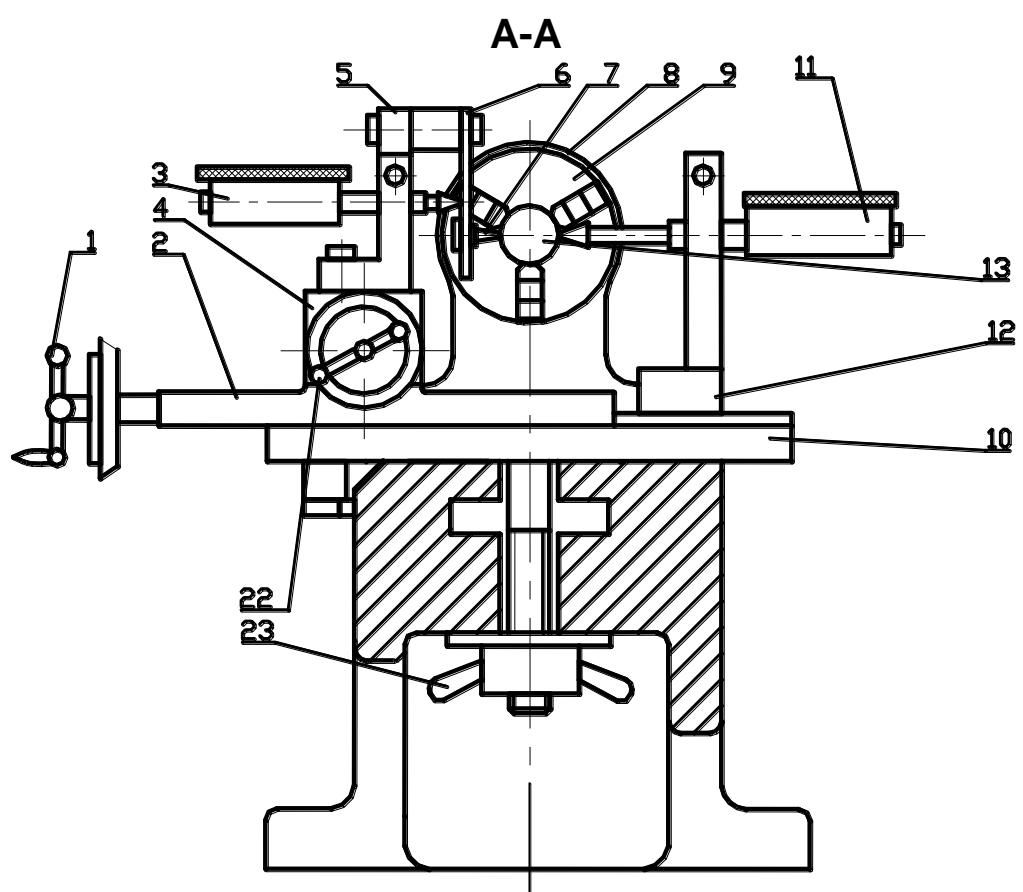
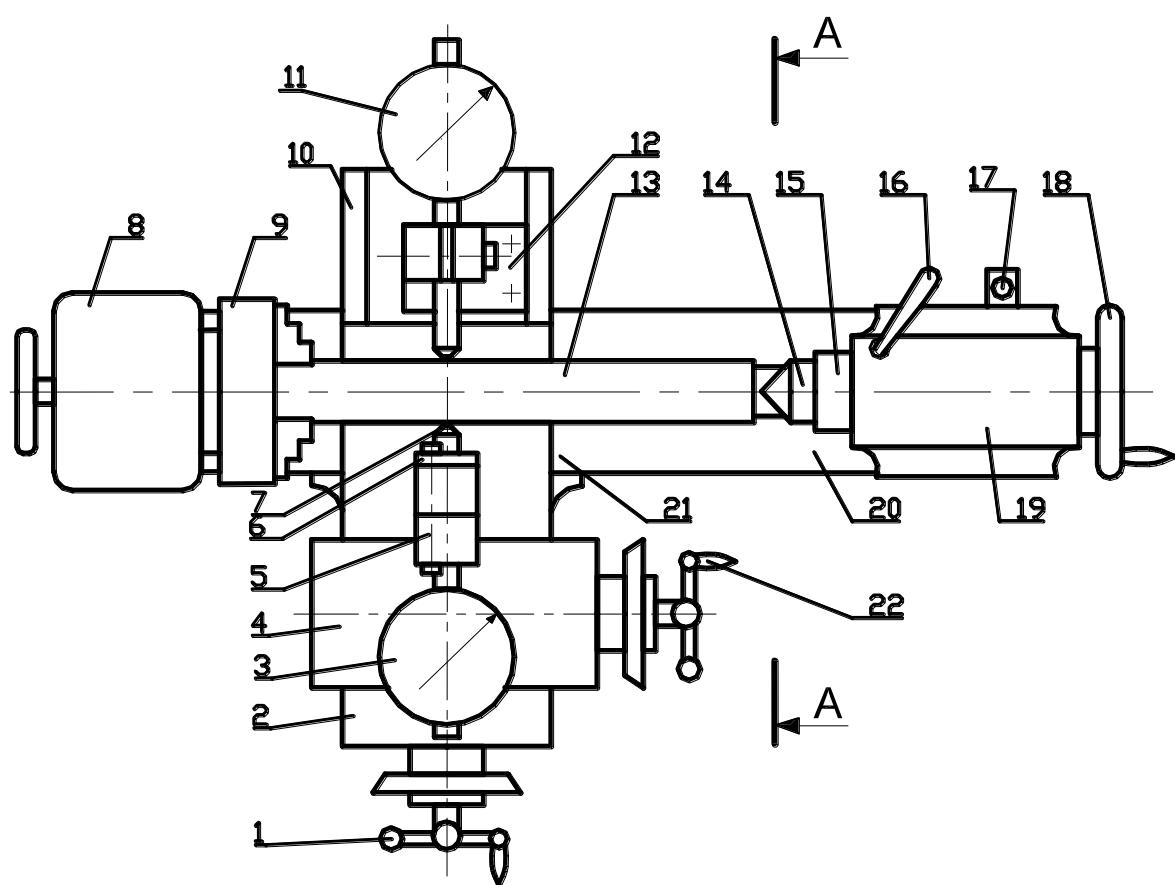


Рисунок 6.10 – Схема определения жесткости технологической системы

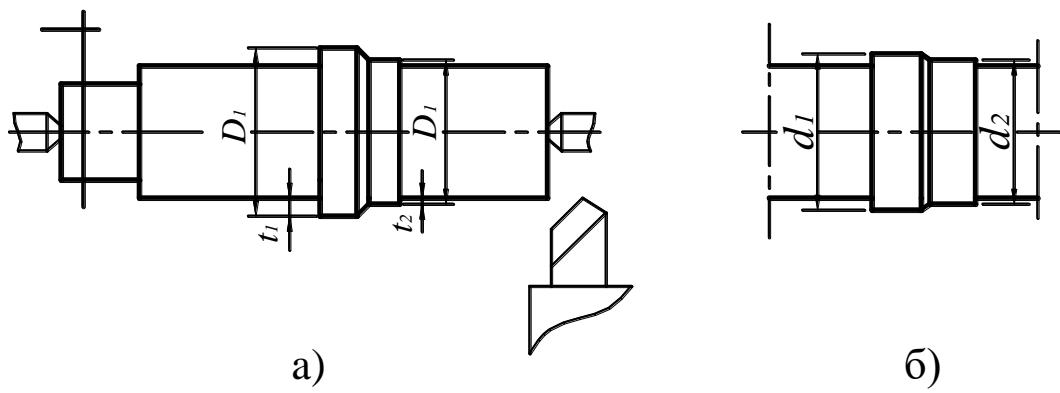


Рисунок 6.11 – Производственный метод определения жесткости станка

Отношение  $\varepsilon = \Delta_3 / \Delta_0$ , называемое уточнением, показывает во сколько раз в результате обработки уменьшилась погрешность заготовки. Уточнение характеризует жесткость технологической системы

$$j = \lambda \cdot C_{P_z} \cdot S^{0,75} \cdot \varepsilon,$$

где  $\lambda = P_y / P_z$ ;  $C_{P_z}$  - постоянный коэффициент, учитывающей условия обработки;  $S$  – подача, мм/об.

Метод пригоден для определения жесткости не только токарных, но и станков других типов. Например, жесткость фрезерного станка определяется после торцевого фрезерования ступенчатой заготовки за один рабочий ход.

### Порядок выполнения работы

- Пользуясь торцевым ключом установить вал (рисунок 6.12) в трехкулачковом патроне консольно. Длина зажимаемого кулачками участка вала 20 – 25 мм.

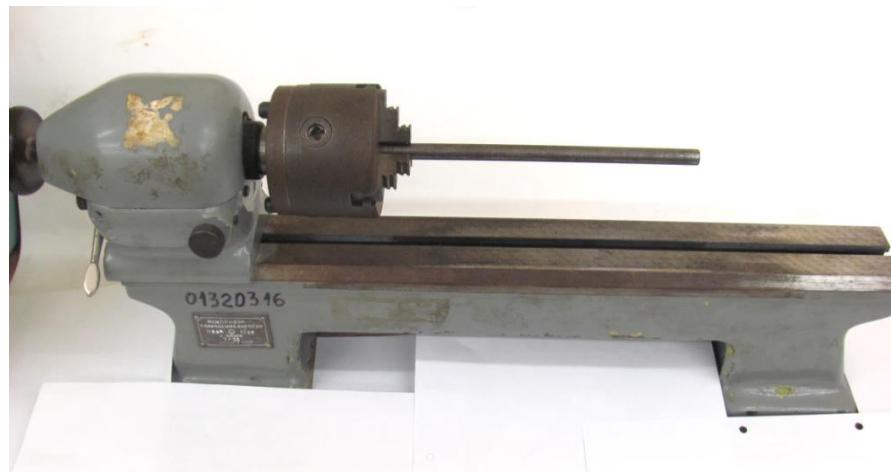


Рисунок 6.12 – Закрепление вала в трехкулачковом патроне

- Отпустив гайку 23 установить суппорт 10 в положение, при котором наконечник 7 находится на расстоянии 40 – 50 мм от торца кулачка(рисунок 6.10). Зафиксировать суппорт 10 гайкой 23, при этом планка 21 должна быть прижата к боковой поверхности направляющих 20. В начальном положении

наконечник 7 не должен касаться вала и быть на одной линии с осью индикатора 11. При их несовпадении рукояткой 22 изменить положение наконечника вдоль оси вала в нужном направлении.

3. Линейкой измерить расстояние от наконечника 7 до торца кулакка. Для удобства отсчетов по индикаторам 3 и 11 их начальные показания установить на нуль.

4. Вращением рукоятки 1 по часовой стрелке переместить нагружающее устройства к оси вала 13, до момента, когда показания индикатора 3 будут равны 0,30 мм, что соответствует значению нормальной составляющей силы резания  $P_y = 30$  Н.

5. По индикатору 11 определить величину упругого перемещения вала 13 в данном сечении.

6. Вращением рукоятки 1 против часовой стрелки отвести наконечник 7 нагружающего устройства на расстояние 2...3 мм от вала 13.

7. Отпустив гайку 23 установить суппорт 10 в следующее положение (упругие перемещения вала определить еще в двух сечениях: посередине и вблизи его конца).

8. Рассчитать величину упругих перемещений вала в трех сечениях пользуясь формулой

$$y = \frac{P_y \cdot x_i^3}{3EJ},$$

где  $x_i$  – расстояние от наконечника нагружающего устройства до торца кулакка.

9. Построить профили продольного сечения консольно закрепленного вала используя экспериментальные и теоретические данные. Определить вид отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности и его величину  $\Delta$  по формуле

$$\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} = \frac{(d_H + 2y_{\max}) - (d_H + 2y_{\min})}{2} = y_{\max} - y_{\min},$$

где  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  – максимальный и минимальный диаметры вала соответственно;  $d_H$  – настроенный размер;  $y_{\max}$  и  $y_{\min}$  - максимальное и минимальное упругие перемещения вала.

10. Закрепить в трехкулачковый патрон 9 передний центр 24 (рисунок 6.13, а).

11. Переместиться суппорт 10 к передней бабке 8 и закрепить его в положении, при котором расстояние от наконечника 7 до торца кулакка составляет 5 – 10 мм.

12. Переместить нагружающее устройство к оси центра до момента, когда показания индикатора 3 станут, равны 0,9 мм, что соответствует значению нормальной составляющей силы резания  $P_y = 80$  Н. По индикатору 11 определить величину смещения передней бабки 8 у переднего центра.

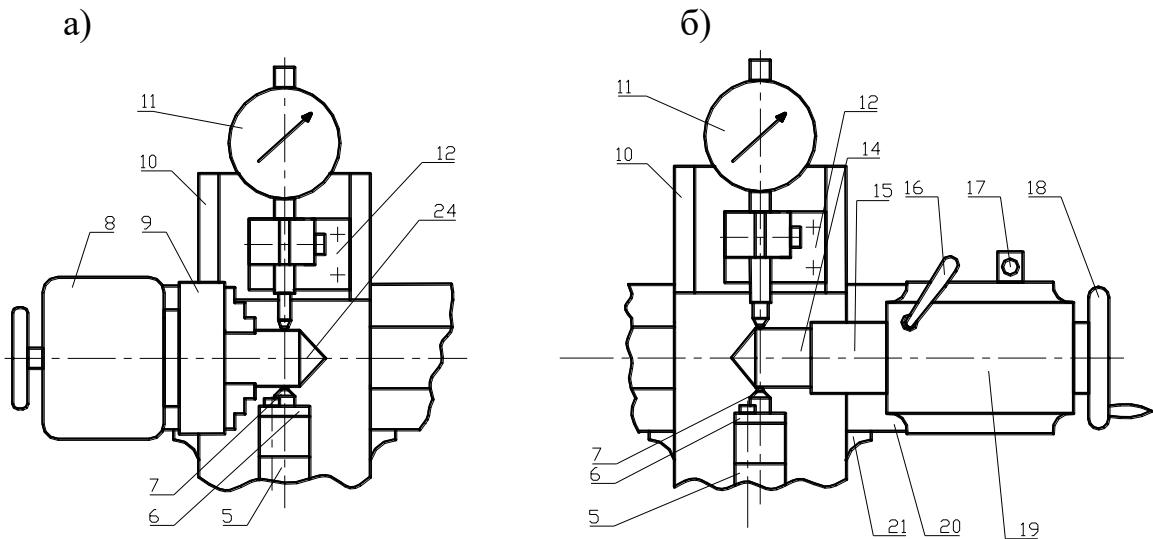


Рисунок 6.13 – Схемы измерения величины упругого перемещения передней (а) и задней (б) бабок.

13. Рассчитать жесткость передней бабки, измеренную на переднем центре

$$j_{n.u} = \frac{P_y}{y_{n.u}}.$$

14. Переместить суппорт 10 к задней бабке 19 и аналогичным образом определить величину смещения задней бабки 19 у заднего центра 14 (рисунок 6.13, б).

15. Рассчитать жесткость задней бабки, измеренную на заднем центре

$$j_{z.u} = \frac{P_y}{y_{z.u}}.$$

16. Установить вал в трехкулаковом патроне с поддерживающим задним центром (рисунок 6.14) и измерить его упругие перемещения при  $P_y = 80$  Н в трех сечениях: на расстоянии 45 – 50 мм от торца кулачка, посередине и на расстоянии 170 -180 мм от торца кулачка.

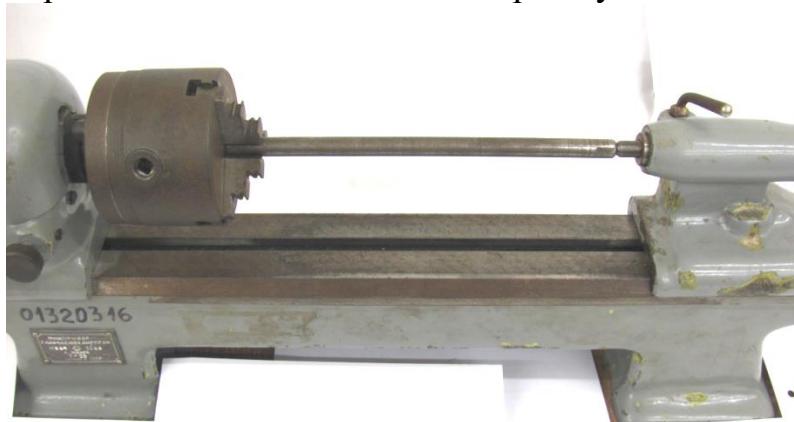


Рисунок 6.14 – закрепление вала в трехкулаковом патроне с поддерживающим задним центром

17. Установить вал в центрах (рисунок 6.15) и измерить его упругие перемещения при  $P_y = 80$  Н в трех сечениях: на расстоянии 10 – 15 мм от левого торца, посередине и на расстоянии 10 -15 мм от правого торца.

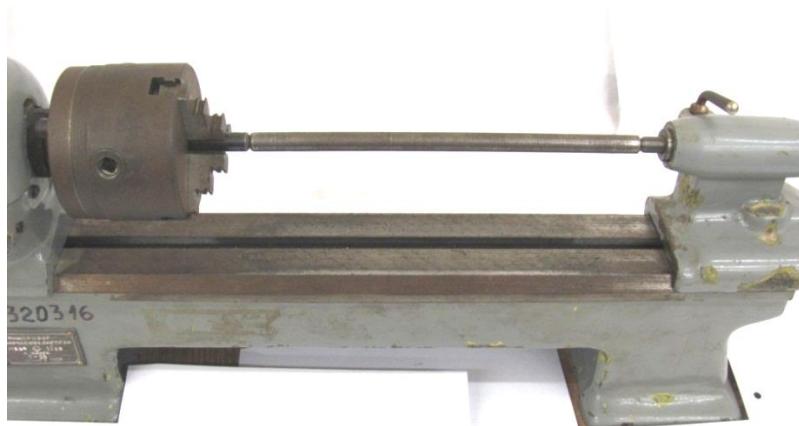


Рисунок 6.15 – Закрепление вала в центрах

18. Рассчитать величину упругих перемещений вала в трех сечениях с учетом упругих перемещений центров станка пользуясь формулой (13). Деформации суппорта и резца не влияют на погрешности профиля продольного сечения и при расчете их не учитывать.

19. Построить профили продольного сечения вала закрепленного в центрах используя экспериментальные и теоретические данные. Определить вид отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности и его величину.

### **Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть
  - 4.1 Результаты измерений упругих перемещений вала в 3-х установках
  - 4.2 Результаты вычислений упругих перемещений вала при закреплении в трехкулачковом патроне ( $y_1, y_2, y_3$ )
  - 4.3 Эпюры упругих отжатий вала (составить теоретическую и практическую) при закреплении в трехкулачковом патроне
  - 4.4 Результаты построения профилей продольного сечения для каждого из трех установок
5. Вывод

### **Контрольные вопросы**

1. Каким образом неравномерный припуск и различие твердости материала заготовок влияет на точность и производительность обработки?

2. Жесткость и податливость технологической системы.
3. Объясните причины копирования формы поверхности заготовки на обработанную деталь.
4. Что такое уточнение и что оно показывает?
5. Из каких величин складывается упругое перемещение в технологической системе под воздействием силы резания?
6. Как определяется приведенный диаметр ступенчатых валов?
7. Каковы пути повышения жесткости технологической системы?
8. Назовите методы определения жесткости технологической системы и дайте им характеристику.

### **Литература**

1. Колесов И.М. Основа технологии машиностроения: Учебник для машиностроит. специальных вузов. – М.: Высшая шк., 1999. – 591с.: ил. – С. 331 – 349.
2. Технология машиностроения: В 2т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов/В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под редакцией А.М. Дальского. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 564с.: ил. – С. 117 – 127.

## **Лабораторная работа № 7**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА**

#### **Цель работы**

1. Изучить влияние погрешностей геометрической точности станков на точность обрабатываемых деталей.
2. Изучить стандартные схемы определения геометрической точности токарного станка.
3. Провести экспериментальное определение геометрической точности токарно-винторезного станка.

#### **Оборудование и принадлежности к работе**

1. Токарно-винторезный станок мод. 1И611П



Рисунок 7.1 – Фотография токарно-винторезного станка мод. 1И611П

2. Передний и задний центр станка
3. Цилиндрическая оправка с центровыми отверстиями( $\phi=38\text{мм}; l=400\text{мм}$ )



Рисунок 7.2 – Фотография цилиндрической оправки

#### 4. Индикаторная головка МИГ-1 с ценой деления 1 мкм



Рисунок 7.3 – Фотография индикаторной головки МИГ–1

#### 5. Магнитная стойка



Рисунок 7.4 – Фотография магнитной стойки

### Теоретическая часть

Погрешности станков регламентируются нормами ГОСТа, определяющими допуски и методы проверки их геометрической точности в ненагруженном состоянии. По геометрической точности все станки разделяются на пять групп. Если погрешности станков нормальной точности принять за 100% и трудоемкость их изготовления также за 100%, то для других точностных групп станков соотношения в этих показателях выглядят следующим образом

Точность станков	Погрешность	Трудоемкость
Нормальной точности - Н	100	100
Повышенной точности - П	60	140
Высокой точности - В	40	200
Особо высокой точности - А	25	280
Особо точные - С	16	450

Следует подчеркнуть, что погрешности геометрической точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки в виде **систематических погрешностей**. При этом их величина поддается предварительному анализу и расчету.

Погрешности станка приводят к образованию различных погрешностей формы обрабатываемых деталей.

**Непрямолинейность образующих** деталей типа тел вращения возникает вследствие непрямолинейности направляющих станка из-за погрешностей их изготовления и износа. Причинами непрямолинейности образующих могут быть податливость центров, приводящая к седлообразности детали.

**Некруглость** деталей является результатом биения шпиндельных подшипников, некруглости шеек шпинделей на подшипниках скольжения. Биение шпинделей токарных и круглошлифовальных станков, вызываемое овальностью подшипников и опорных шеек шпинделей, приводит к погрешности формы деталей в поперечном сечении.

Торцовое биение шпинделя неизбежно приводит к биению торцевых поверхностей деталей - тел вращения.

**Конусообразность** деталей возникает вследствие отклонения от параллельности оси шпинделя направляющим (обработка ведется в патроне), смещении оси пиноли задней бабки, разной жесткости переднего и заднего центров и др.

При непараллельности оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости цилиндрическая поверхность обрабатываемой заготовки, закрепленной в патроне станка, приобретает коническую форму. При этом изменение радиуса  $r$  заготовки равно линейному отклонению  $a$  оси от параллельности по отношению к направляющим на длине заготовки, т. е.  $r_{max} = r + a$ .

Биение передних центров токарных и круглошлифовальных станков при правильном положении оси шпинделя вызывает перекос оси обрабатываемой поверхности при сохранении правильной окружности в поперечном сечении заготовки. Причинами биения переднего центра в этом случае могут быть: биение оси конического отверстия шпинделя; биение оси переднего центра по отношению к оси его хвостовика; неточность посадки переднего центра в коническом отверстии шпинделя.

При биении переднего центра на величину  $E$ , как показано на рисунке 7.5, центральная линия в процессе обработки описывает конус с вершиной у заднего центра. Основание этого конуса равно биению переднего центра, а осью конуса является ось вращения шпинделя станка. В процессе обтачивания в поперечном сечении заготовки (сечение А-А) получается правильная окружность заданного радиуса, так как вращение заготовки происходит вокруг правильно расположенной и постоянной оси вращения ОО шпинделя. Однако след центральной линии, соединяющей центральные отверстия заготовки, оказывается смещенным от центра сечения на расстояние  $E$ .

Поэтому после обработки заготовка приобретает форму цилиндра, ось которого наклонена по отношению к линии центральных отверстий на угол  $\alpha$ . При этом  $\sin \alpha = E/L$ , где  $E$  - эксцентриситет переднего центра;  $L$  - длина заготовки.

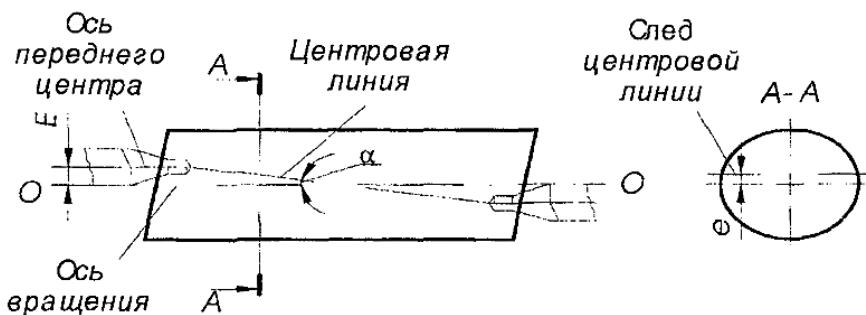


Рисунок 7.5 – Влияние биения переднего центра на точность обработки при обтачивании за один установ

**Отклонения от концентричности тел вращения** является результатом биения вращающегося центра, шпинделя и др.

**Отклонение от параллельности** возникает из-за непрямолинейности направляющих станка, отклонений от параллельности (в горизонтальных станках) или от перпендикулярности (в вертикальных станках) оси шпинделя поверхности стола и его направляющим и др.

В частном случае при обтачивании заготовки за две установки (с переворачиванием для перестановки поводкового хомутика) обработанная заготовка получается двусной с наибольшим углом пересечения осей равным  $2\alpha$  (рисунок 7.6).

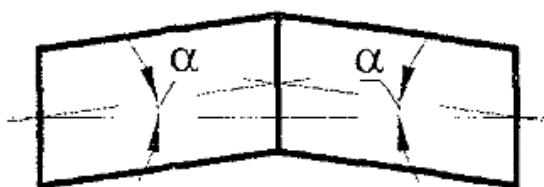


Рисунок 7.6 – Влияние биения переднего центра на точность обработки при обтачивании заготовки с двух уставов

При непараллельности оси шпинделя относительно направляющих в вертикальной плоскости обрабатываемая поверхность приобретает форму гиперболоида вращения, наибольший радиус которого  $r_{max} = V r^2 + \varepsilon^2$ , где  $\varepsilon$  - линейное отклонение оси шпинделя от параллельности по отношению к направляющим в вертикальной плоскости на длине  $L$  обрабатываемой заготовки.

Биение оси конуса отверстия шпинделя вертикально-сверлильного станка по отношению к оси вращения шпинделя вызывает увеличение диаметра просверливаемого отверстия в связи с его “разбивкой”.

Неперпендикулярность оси шпинделя вертикально-фрезерного станка относительно плоскости его стола в поперечном направлении вызывает непараллельность обработанной плоскости по отношению к установочной, численно равную линейному отклонению от перпендикулярности на ширине заготовки. При неперпендикулярности оси шпинделя этого станка по отношению к плоскости его стола в продольном направлении возникает

вогнутость обработанной поверхности, величина которой зависит от угла наклона шпинделя, диаметра фрезы и ширины обрабатываемой поверхности.

Износ станков обуславливает увеличение систематических погрешностей обрабатываемых заготовок. В первую очередь, это связано с тем обстоятельством, что износ рабочих поверхностей станка происходит неравномерно, в результате чего изменяется взаимное расположение отдельных его узлов, вызывающее возникновение дополнительных погрешностей обрабатываемых заготовок. При этом одной из основных причин потери точности станков является износ их направляющих. К примеру, неравномерный износ передней и задней направляющих вызывает наклон суппорта и смещение резца в горизонтальной плоскости, что непосредственно увеличивает радиус обрабатываемой поверхности. Неравномерность изнашивания направляющих по их длине приводит к появлению систематической погрешности формы обрабатываемых заготовок.

### **Условия проведения испытаний станков на точность**

Точность станка определяется показателями, характеризующими его геометрическую точность, точностью обработанных образцов-изделий, и дополнительными показателями. К показателям геометрической точности станка относятся точность баз для установки заготовки и инструмента; точность траекторий движений и взаимосвязанных относительных линейных и угловых перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент; точность координатных перемещений этих органов и др. К показателям, определяющим точность обработки образцов-изделий, относятся точность геометрических форм и расположения их обработанных поверхностей, постоянство размеров партии образцов-изделий и др. Дополнительными показателями оценивают точность станка при воздействии теплоты, колебаниях его на холостом ходу и др.

Перед испытанием на точность станок выставляют по уровню. Допускаемые отклонения установки станков классов Н и П составляют 0,04 мм/м, классов В, А и С 0,02 мм/м. Колебания температуры рабочего пространства при проверке станков классов В, А и С не должны превышать 2 °C.

При статических проверках используются универсальные и специальные контрольно-измерительные приборы и комплекты инструментов (индикаторы, уровни, щупы, контрольные линейки, концевые меры длины), а также контрольные оправки (консольные и центровые), различные кронштейны, стопки, эталонные ходовые винты и т.д.

Размеры контрольных частей оправок принимаются в соответствии с ГОСТом. Например, при длине контрольной части 150 мм наружный диаметр оправки равен 25 мм, а центровой — 25 или 40 мм. Параметр шероховатости их контрольной части не должен превышать Ra 0,32.

Многие проверки выполняются с использованием индикаторов. Стойка с индикатором устанавливается и закрепляется на одной из деталей, а его

измерительный наконечник (штифт) касается другой детали станка или контрольной оправки. После этого вращают или перемещают одну из деталей, а отклонение стрелки индикатора показывает величину погрешности их взаимного расположения или перемещения.

Средства измерений проходят предварительную аттестацию. При испытании станков класса Н и П погрешность измерения не должна превышать 20 % допускаемого отклонения измеряемого параметра.

В процессе испытания отдельные узлы станка перемещаются вручную или от механического привода со скоростями, установленными технической документацией. При проверке станка на точность обработки (проверка в работе) режимы резания, инструменты и образцы-изделия подбирают применительно к его типоразмеру. Образцы-изделия изготавливают из стали средней твердости или чугуна. Их форма и размеры предусмотрены соответствующими ГОСТами.

### **Описание стандартных методик проверок точности токарно-винторезного станка**

При выполнении работы производится несколько стандартных проверок на точность токарно-винторезного станка:

**1. Проверки прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рисунок 7.7).**

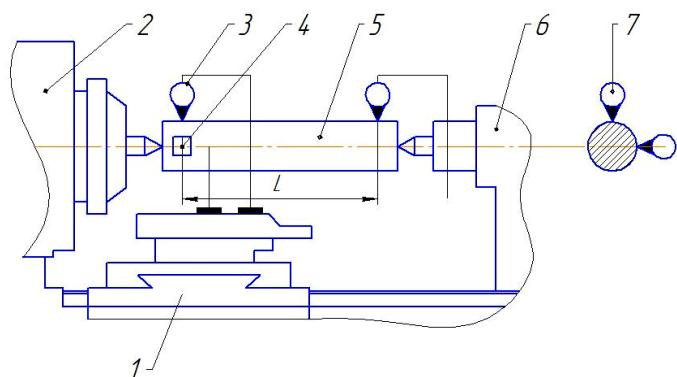


Рисунок 7.7 – Схема проведения прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскости

Для станков с длиной хода суппорта до 1600 мм эти проверки выполняют с использованием оправки и индикатора.

Цилиндрическую оправку 5 устанавливают в центрах передней 2 и задней 6 бабок, резцодержатель подводят как можно ближе к линии центров станка.

Прямолинейность продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости проверяют с помощью индикатора 4, который устанавливают на суппорте 1 таким образом, чтобы его измерительный наконечник касался боковой образующей оправки и был направлен

перпендикулярно к ее поверхности. При этом показания индикатора на концах образующей оправки должны совпадать.

В процессе проверки суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода  $L$ . Отклонение от прямолинейности перемещения определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора. Допускаются отклонения: 0,016мм при  $500 < L < 800$  мм; 0,02 мм при  $800 < L < 1250$  мм.

Прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости: проверяют аналогичным образом с помощью индикатора 3. Допускаются отклонения: 0,025 мм при  $500 < L < 800$  мм; 0,03 мм при  $800 < L < 1250$  мм.

## 2. Проверка одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли задней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости (рисунок 7.8).

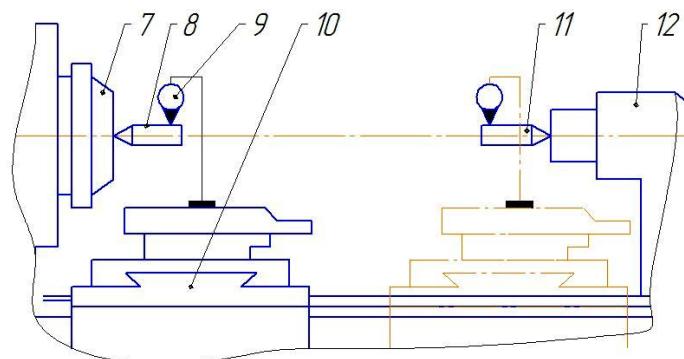


Рисунок 7.8 – Схема проверки одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли задней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости

Проверка заключается в измерении при помощи индикатора отклонений положений верхних образующих двух одинаковых по диаметру цилиндрических консольных оправок 8 и 11, вставленных в отверстия шпинделя 7 передней бабки и пиноли задней бабки 12. При этом пиноль полностью вдвигают и закрепляют, а корпус задней бабки устанавливают таким образом, чтобы расстояние между торцами пиноли и шпинделя было не меньше диаметра обрабатываемого изделия  $D$ . После этого заднюю бабку также закрепляют.

Стойку индикатора 9 устанавливают и закрепляют в резцедержателе суппорта 10 так, чтобы измерительный наконечник касался контрольной цилиндрической поверхности одной из оправок на расстоянии от торца шпинделя или пиноли, равном двум диаметрам оправки. Направление его оси должно быть нормальным к поверхности оправки.

Максимальное показание индикатора каждый раз определяют при поперечном возвратно-поступательном перемещении верхних салазок суппорта. Сначала на оправке 8 делают отсчет, затем шпиндель поворачивают на  $180^\circ$  и выполняют второй отсчет. Результат равен среднему

арифметическому двух отсчетов. После этого, не нарушая положения индикатора, перемещают суппорт в сторону оправки 11 и производят проверку одновысотности с оправкой 8.

Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора на двух оправках. Допускается отклонение 0,03 мм при наибольшем диаметре обрабатываемого изделия  $D < 400$  мм.

### **3. Проверка параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта в вертикальной плоскости (рисунок 7.9).**

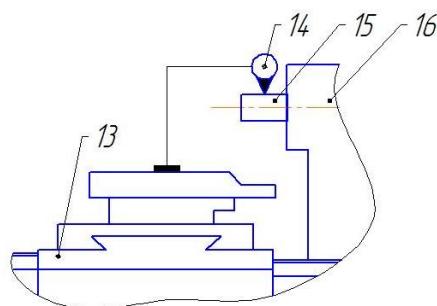


Рисунок 7.9 – Схема проверки параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта в вертикальной плоскости

В одно из крайних положений (правое или левое) смещают суппорт 13 и заднюю бабку 16. При этом пиноль 15 вдвигают в ее корпус на 0,8 хода и зажимают. Стойку индикатора 14 закрепляют в резцодержателе суппорта так, чтобы измерительный наконечник индикатора располагался нормально к поверхности пиноли.

Измерения производят не реже, чем через 0,3 хода задней бабки. Взаимное расположение ее и суппорта на направляющих должно оставаться постоянным. Суппорт и заднюю бабку перемещают одновременно или последовательно на всю длину хода  $L$ .

Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора при первоначальном и последующем положениях суппорта и задней бабки. Допускаемое отклонение 0,03 мм при  $L < 500$  мм.

### **4. Проверка радиального бienia центрирующей поверхности шпинделя под патрон (рисунок 7.10).**

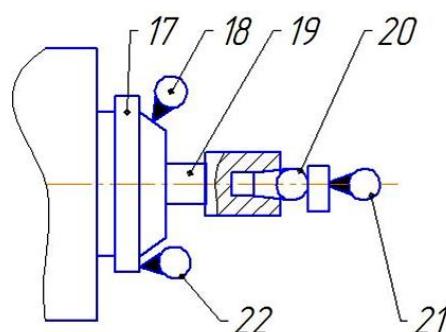


Рисунок 7.10 – Схема проверки радиального бienia центрирующей поверхности шпинделя под патрон

Стойку индикатора 18 устанавливают на неподвижной части станка. Его измерительный наконечник должен быть направлен нормально к образующей центрирующей поверхности.

Шпиндель 17 приводят во вращение в рабочем направлении. Биение центрирующей поверхности определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора за время не менее двух оборотов шпинделя. Допускаемые отклонения: 0,008 мм при  $D < 250$  мм; 0,01 мм при  $250 < D < 800$  мм

### **5. Проверка торцового биения опорного буртика шпинделя (рисунок 7.10).**

Ее выполняют с помощью индикатора 22, касающегося опорного буртика у его периферии. Измерения производят в диаметрально противоположных точках двух взаимно перпендикулярных плоскостей. При  $D < 400$  мм допускаемое отклонение равно 0,016 мм.

### **6. Проверка осевого биения шпинделя (рисунок 7.10).**

Индикатор 21 с плоским измерительным наконечником подводят до касания с шариком 20, помещенным в центровое отверстие контрольной оправки 19, которая установлена в конусное отверстие шпинделя 17. При  $D < 400$  мм допускаемое отклонение составляет 0,008 мм.

### **7. Проверка радиального биения конического отверстия шпинделя у торца и на длине L (рисунок 7.11).**

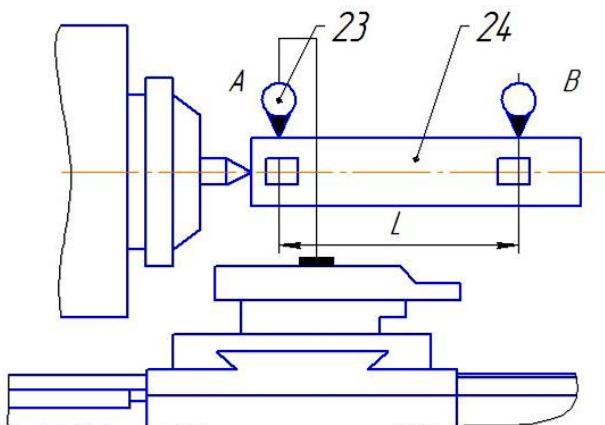


Рисунок 7.11 – Схема проверки радиального биения конического отверстия шпинделя у торца и на длине L

Контрольную оправку 24 вставляют в отверстие шпинделя. Стойку с индикатором 23 устанавливают на неподвижной части станка или закрепляют в резцодержателе суппорта. При проверке радиального биения конического отверстия шпинделя у торца индикатор устанавливают в положение A. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора за время двух оборотов шпинделя в рабочем направлении. При  $D < 400$  мм допускаемое отклонение 0,01 мм.

При проверке радиального бieniaя на расстоянии  $L$  индикатор устанавливают в положение  $B$ . При  $D < 400$  мм и  $L = 200$  мм допускаемое отклонение 0,016 мм.

### 8. Проверка параллельности оси вращения шпинделя продольному перемещению суппорта в вертикальной плоскости (рисунок 7.11).

Индикатор 23 закрепляют так же, как и для предыдущей проверки. Суппорт перемещают в продольном направлении на длину хода  $L$ . Контрольные измерения выполняют по двум диаметрально противоположным образующим измерительной поверхности оправки, для чего шпиндель поворачивают на  $180^\circ$ .

По результатам не менее чем двух измерений отклонение определяют как среднее арифметическое. При этом каждый результат измерения вдоль одной образующей подсчитывают как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора при перемещении суппорта из положения  $A$  в положении  $B$ . Допускаемое отклонение: 0,012 мм при  $D < 250$  мм и  $L = 150$  мм; 0,016 мм при  $250 < D < 400$  мм и  $L = 200$  мм.

Аналогично выполняется проверка параллельности оси вращения шпинделя продольному перемещению суппорта в горизонтальной плоскости.

### Порядок выполнения работы

#### *Проверка прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскостях*

1. Установить цилиндрическую оправку 1 в центрах передней 2 и задней 3 бабок (рисунок 7.12).

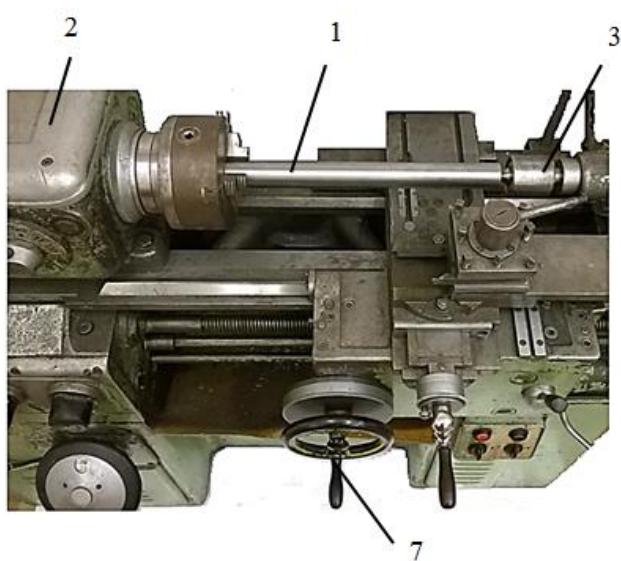


Рисунок 7.12 – Фотография цилиндрической оправки, установленной в центрах

2. Установить магнитную стойку 4 с индикатором 5 на суппорте 6 станка (рисунок 7.13,а). Для ее закрепления на его поверхности перевести

переключатель стойки из положения «откл» в положение «вкл» (рисунок 7.13,в). При этом необходимо чтобы измерительный наконечник касался боковой образующей оправки и был направлен перпендикулярно к ее поверхности (рисунок 7.13,б)

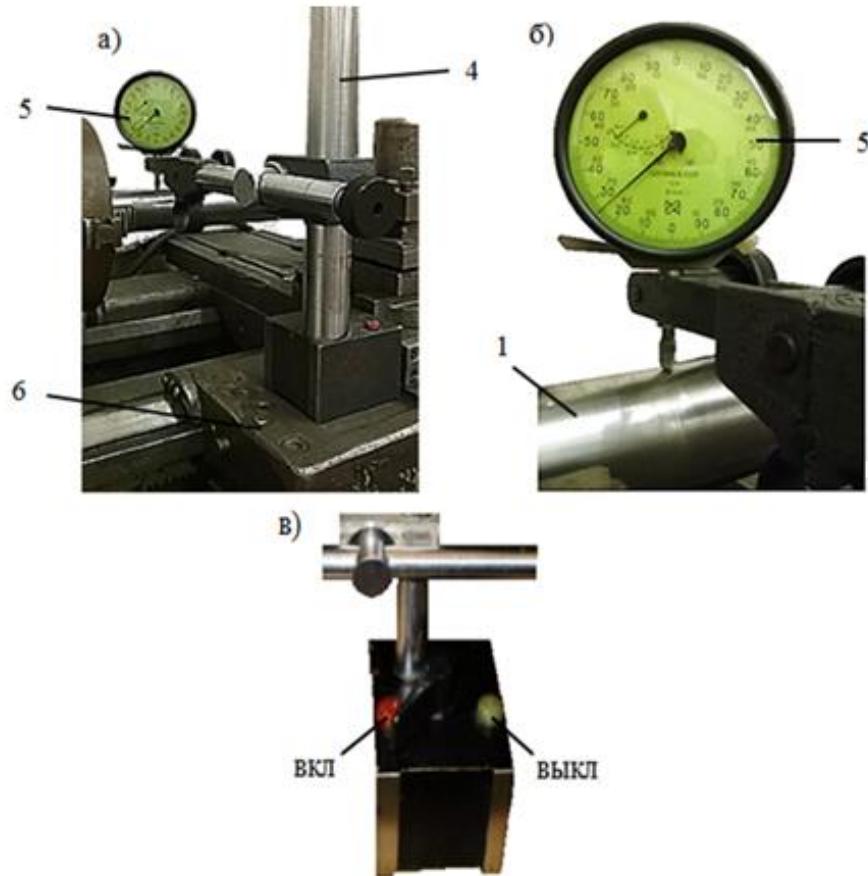


Рисунок 7.13 – Фотография магнитной стойки, установленной на суппорте станка (а); фотография положения измерительного наконечника направленного перпендикулярно к поверхности оправки (б); фотография положения переключателя, для закрепления магнитной стойки на суппорте станка

3. Плавно вращая маховик 7, переместить суппорт в продольном направлении на всю длину оправки (рисунок 7.14)



Рисунок 7.14 – Фотография магнитной стойки в конечном положении

4. Определить отклонение от прямолинейности перемещения, которое равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора.

#### ***Проверка параллельности перемещения задней бабки в вертикальной плоскости***

1. Закрепить стойку 4 с индикатором 5 на суппорте станка 6 так, чтобы измерительный наконечник индикатора располагался нормально к поверхности пиноли 8 (рисунок 7.15)

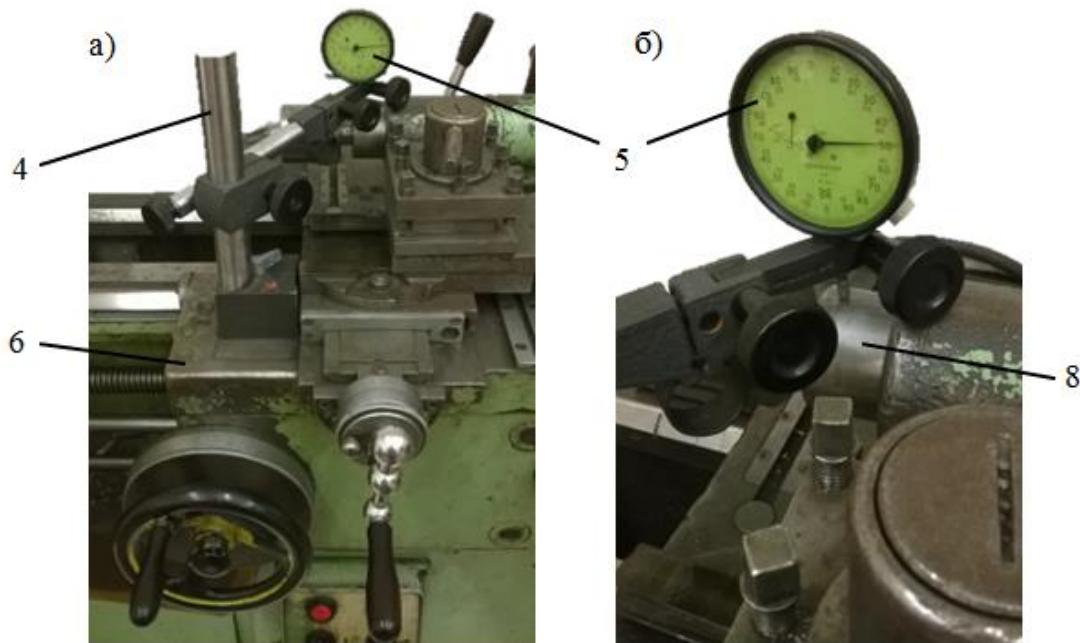


Рисунок 7.15 – Фотография магнитной стойки, установленной на суппорте станка (а); фотография положения измерительного наконечника направленного перпендикулярно к поверхности пиноли (б)

2. Плавно вращая маховик задней бабки, снять показания индикатора на всей длине хода пиноли (рисунок 7.16)

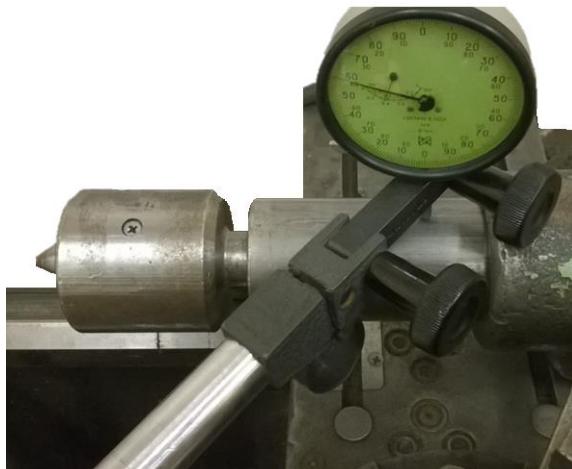


Рисунок 7.16 – Фотография измерения параллельности пиноли задней бабки в конечном положении

3. Определить отклонение от параллельности как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора при первоначальном и последующем положениях.

### *Проверка радиального биения центрирующей поверхности шпинделя под патрон*

1. Установить и закрепить цилиндрическую оправку 1 в трехкулачковый патрон 9 с поддерживающим задним центром 10 (рисунок 7.17)

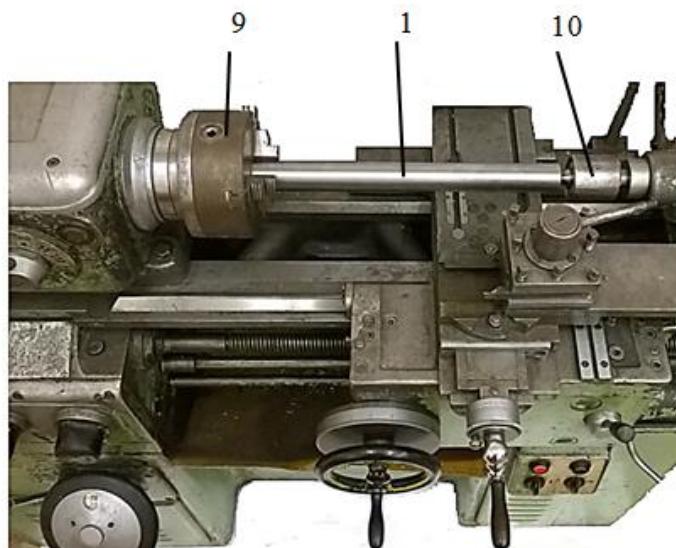


Рисунок 7.17 – Фотография цилиндрической оправки, установленной в трехкулачковый патрон с поддерживающим задним центром

2. Закрепить стойку 4 с индикатором 5 на суппорте станка 6 (рисунок 7.18, а) так, чтобы измерительный наконечник индикатора был направлен нормально к образующей поверхности цилиндрической оправки (рисунок 7.18, б)

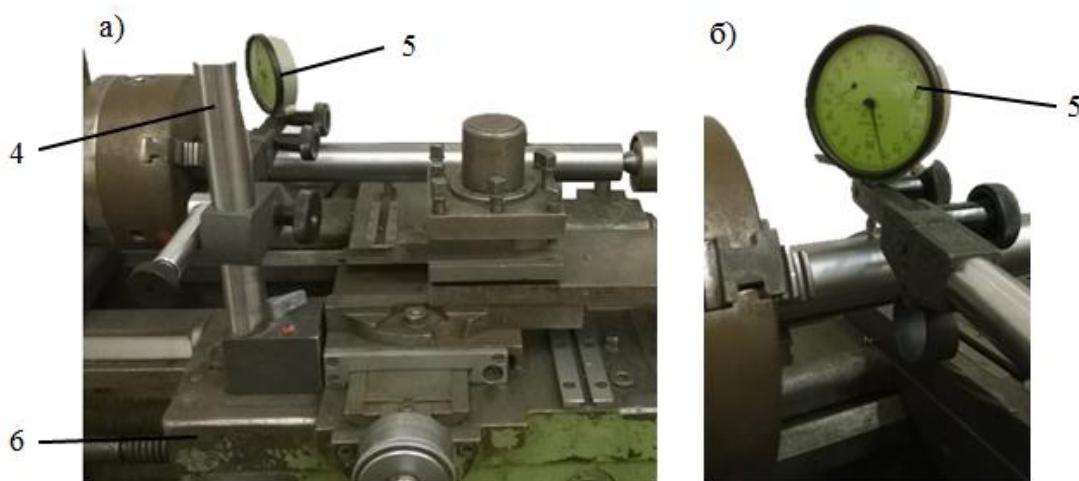


Рисунок 7.18 – Фотография магнитной стойки, установленной на суппорте станка (а); фотография положения измерительного наконечника направленного перпендикулярно к поверхности оправки (б)

3. Привести патрон, с установленной в нем цилиндрической оправкой, во вращение в рабочем направлении вручную.

4. Определить биение центрирующей поверхности как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора за время не менее двух оборотов шпинделья

5. Результаты измерений занести в таблицу 7.1

Таблица 7.1

Результаты проверки токарного станка на точность

Наименование и схема проверки	Фактическое отклонение	Допуск параметров точности

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть
4. Практическая часть
  - 4.1 Схемы проверок на точность токарно-винторезного станка
  - 4.2 Результаты проверки станка на точность, занесенные в таблицу 7.1
- 5 Вывод

### Контрольные вопросы

1. На сколько групп разделяются станки по геометрической точности? Перечислите эти группы.
2. Какого вида погрешности возникают на обрабатываемой заготовке в силу погрешностей геометрической точности станков?
3. Условия, при которых производится испытание станков на точность.
4. Схемы и содержание различных проверок станка на геометрическую точность.

### Литература

1. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков.— М.: Машиностроение, 1986. — 336 с.
2. Бушуев В.В. Металлорежущие станки: В 2 т. Том 1 Учебник. М.: Машиностроение, 2011.—608с.
3. ГОСТ 8—82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность.

## Лабораторная работа № 8

# ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ. ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

### Цель работы

1. Овладеть методикой определения технических норм времени при механической обработке деталей.
2. Измерить и рассчитать составляющие штучного времени и определить штучное время рассматриваемой операции.

### Инструменты и принадлежности к работе

1. Токарно-винторезный станок 1И611П
2. Комплект обработанных на различных переходах заготовок
3. Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1
4. Линейка металлическая

### Теоретическая часть

Себестоимость и трудоемкость выполнения технологических операций являются критериями эффективности разработанного технологического процесса. Трудоемкость выполнения операций определяют расчетом на основе технических норм.

**Нормой времени** называют время, требуемое для выполнения работы (операции) в определенных организационно-технических условиях исходя из рационального использования оборудования и рабочего места с учётом передового опыта. Норма времени выражается в минутах или часах и устанавливается для каждой технологической операции.

Величина, обратная норме времени, называется технической **нормой выработки**. Она выражает число изделий (деталей), выпускаемых в единицу времени.

Нормы устанавливают тремя методами:

1. определением затрат рабочего времени путём наблюдения;
2. по нормативам;
3. с помощью типовых норм.

**По первому** методу норму времени устанавливают на основе изучения затрат времени непосредственно на рабочих местах в производственных условиях. Его используют для обобщения передового опыта и для разработки нормативов. **По второму** методу выполняют расчёт длительности операции, используя нормативы длительности выполнения отдельных элементов операции. **По третьему** методу нормирование выполняется приближенно с использованием типовых норм. Первые два метода применяют в серийном и массовом производстве, третий - в единичном и мелкосерийном.

**В массовом производстве определяется норма штучного времени:**

$$T_{um} = T_o + T_e + T_{ob} + T_{omd}, \text{ мин.} \quad (8.1)$$

Сумму основного  $T_o$  и вспомогательного  $T_e$  времени называют **оперативным временем**  $T_{on}$ . В  $T_{on}$  включают лишь ту часть вспомогательного времени, которая не перекрывается основным.

**Основное время** затрачивается на непосредственное изменение размеров, формы, физико-механических свойств и внешнего вида обрабатываемой заготовки или на соединение деталей при сборочных работах.

**Вспомогательное время** затрачивается на выполнение вспомогательных работ, т.е. на установку ( $T_{ycm}$ ) и снятие ( $T_{снят}$ ) заготовки или собираемого узла, на остановку ( $T_{ocm}$ ) и пуск ( $T_{пуск}$ ) станка или подъемного механизма, на переключение режимов обработки при выполнении операции, на измерение ( $T_{изм}$ ) или контроль качества сборки узла и др.

**Время обслуживания рабочего места**  $T_{ob}$  включает время технического  $T_{mex}$  и время организационного обслуживания  $T_{opr}$ , т.е.

$$T_{ob} = T_{mex} + T_{opr}. \quad (8.2)$$

**Время технического обслуживания** затрачивается на смену затупившегося инструмента, подналадку оборудования, заправку и регулировку инструмента. В расчётах его берут в процентах (до 6%) от оперативного или основного времени или рассчитывают по нормативам [2] в зависимости от вида выполняемых работ.

**Время организационного обслуживания** учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку станка и другие аналогичные действия в течение смены. Его определяют в процентах от оперативного времени (до 8%) или рассчитывают по нормативам [2].

**Время на личные потребности**  $T_{omd}$  затрачивается рабочим на отдых и личные надобности. Это время определяют по нормативам в процентном отношении к оперативному времени (около 4%).

**В практических расчётах** штучное время вычисляют по упрощенной формуле:

$$T_{um} = T_{on} \left( 1 + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{100} \right), \quad (8.3)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты, определяющие процентную долю соответственно времени технического обслуживания, организационного обслуживания и времени на личные потребности от оперативного времени. Значения  $\alpha, \beta, \gamma$  берут по нормативам [2] в зависимости от условий выполняемой операции.

**При использовании автоматического оборудования**

$$T_{um} = T_{on} \left( 1 + \frac{\alpha}{1000} \right). \quad (8.4)$$

**В серийном производстве** рассчитывают норму штучно-калькуляционного времени:

$$T_{u.-\kappa} = \frac{T_{n,3}}{n} + T_{um}, \text{ мин,} \quad (8.5)$$

где  $T_{n,3}$  - подготовительно-заключительное время, затрачиваемое рабочим на подготовительную и заключительную работу, связанную с обработкой или сборкой партии деталей. Такая работа включает в себя: получение задания; ознакомление с работой, наладку оборудования; сдачу выполненной работы; снятие приспособлений и инструментов; приведение в порядок оборудования и т.д. Время  $T_{n,3}$  не зависит от размера партии;

$n$  – число изделий в партии.

На основе норм времени определяют расценки выполняемых операций, рассчитывают количество оборудования для выполнения программы, осуществляют планирование производственного процесса.

Определение квалификации работ производят по тарифно-квалификационному справочнику, который включает в себя перечень характеристик работ и требований, предъявляемых к рабочим определенного тарифного разряда в зависимости от сложности и точности работ, условий труда и необходимых для выполнения этих работ знаний и практических навыков. В машиностроении принята шестиразрядная система тарификации работ.

### Последовательность определения норм времени

– на основании рассчитанных режимов резания вычисляется основное (машинное) время  $T_o$  (см. таблицу 8.1 и рисунок 8.1);

Таблица 8.1  
Сводная таблица по режимам резания

Наименование операции, номер перехода	$t$ , мм	$L_{p.x.}$ , мм	$S_0$ , мм/об	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$v$ , м/мин	$S_m$ , мм/мин	$T_o$ , мин
1	2	3	4	5	6	7	8
005 Токарная Переход 1	2	19	0,08	320	36	25,6	
Переход 2	1,5	52	0,32	1200	136	380	

Примечание:  
 $t$  - глубина резания;  $L_{p.x.}$  - длина рабочего хода инструмента;  
 $S_0$  - подача на оборот;  $n$  - частота вращения шпинделя;  
 $v$  - скорость резания

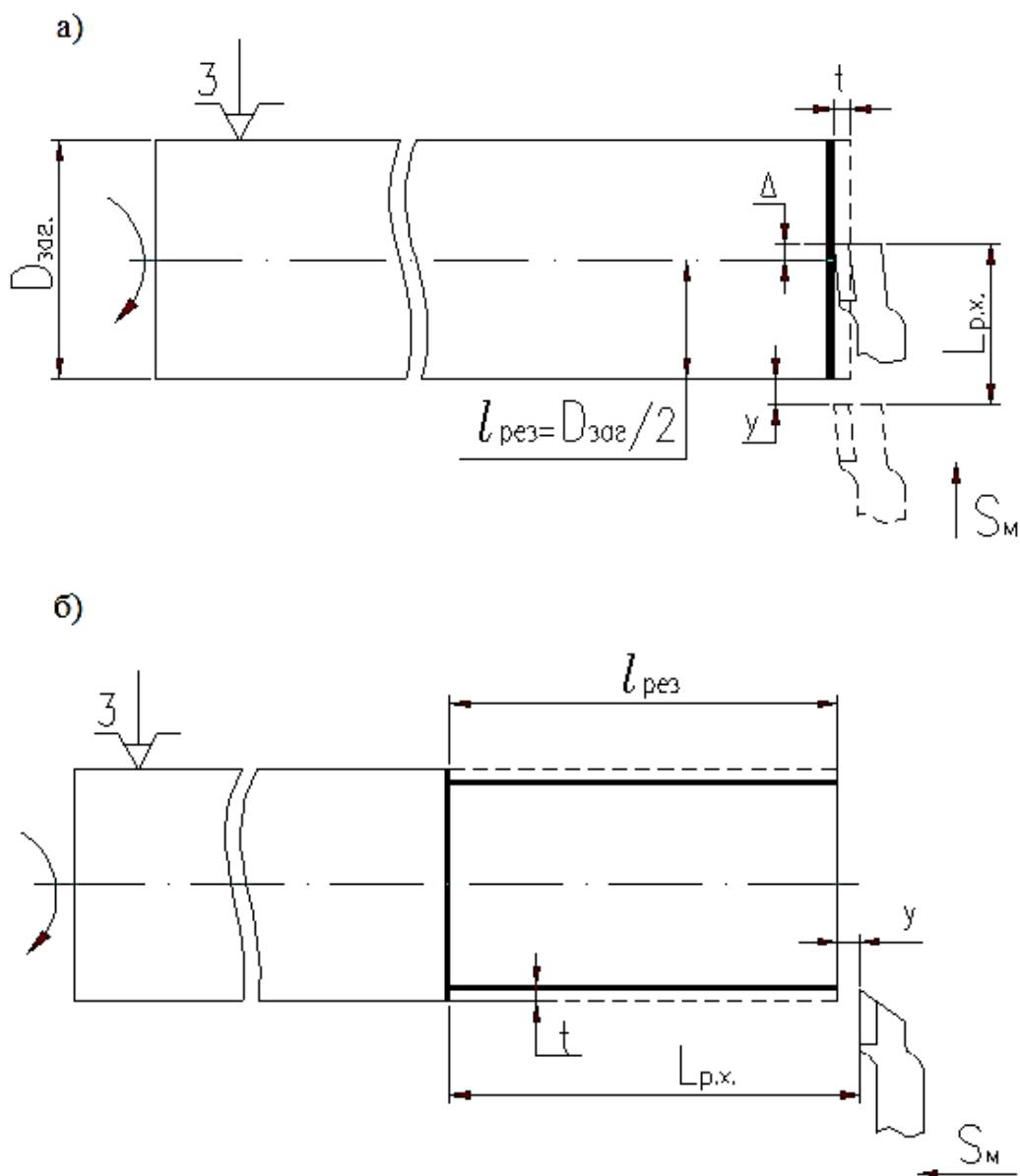


Рисунок 8.1 – Схемы определения расчетной длины обработки:  
 а – при подрезке торца; б – при обтачивании

При обработке на станке (см. рисунок 8.1):

$$T_o = L_{p.x.} / S_m , \quad (8.6)$$

где  $L_{p.x.}$  – расчетная длина обработки (длина хода инструмента в направлении подачи), мм;

$S_m$  – минутная подача инструмента, мм/мин.

При ручном подводе инструмента:

$$L_{p.x.} = l_{рез.} + y + \Delta , \quad (8.7)$$

где  $l_{рез.}$  – длина обработки (резания), мм;

$y$  – величина врезания инструмента, мм [2, стр. 204, приложение 1 ( $y=2$  мм)];

$\Delta$  – величина схода (перебега) инструмента, мм [2, стр. 204, приложение 1 ( $\Delta = 2$  мм)];

– по содержанию каждого перехода устанавливается необходимый комплекс приемов вспомогательной работы и вспомогательное время  $T_e$  с учетом возможных совмещений переходов и перекрытий элементов штучного времени [2, стр. 32, карта 2];

– по нормативам [2] рассчитывается время обслуживания рабочего места (составляет 4,5 % от оперативного времени)

$$T_{об} = T_{оп} * 0,045 = (T_o + T_b) * 0,045; \quad (8.8)$$

– рассчитывается время на отдых и личные надобности (составляет 4 % от оперативного времени)

$$T_{отд} = T_{оп} * 0,04; \quad (8.9)$$

– при серийном производстве определяется подготовительно-заключительное время на партию  $T_{п-з}$ , и одну деталь  $T_{п-з}/n$ , а затем суммируются отдельные составляющие нормы времени.

### Порядок выполнения работы

Для представленного технологического процесса осуществить техническое нормирование.

#### Операция 005 Токарно-винторезная

Переход 1

Подрезать торец, выдерживая размер 1 (рисунок 8.2)

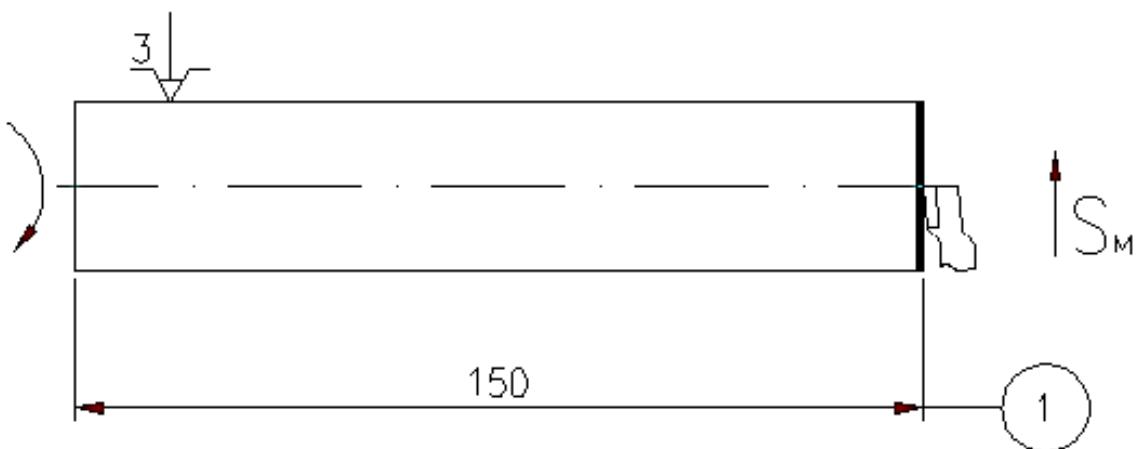


Рисунок 8.2 – Операционный эскиз к переходу 1

## Переход 2

Точить поверхность, выдерживая размеры 1,2 (рисунок 8.3)

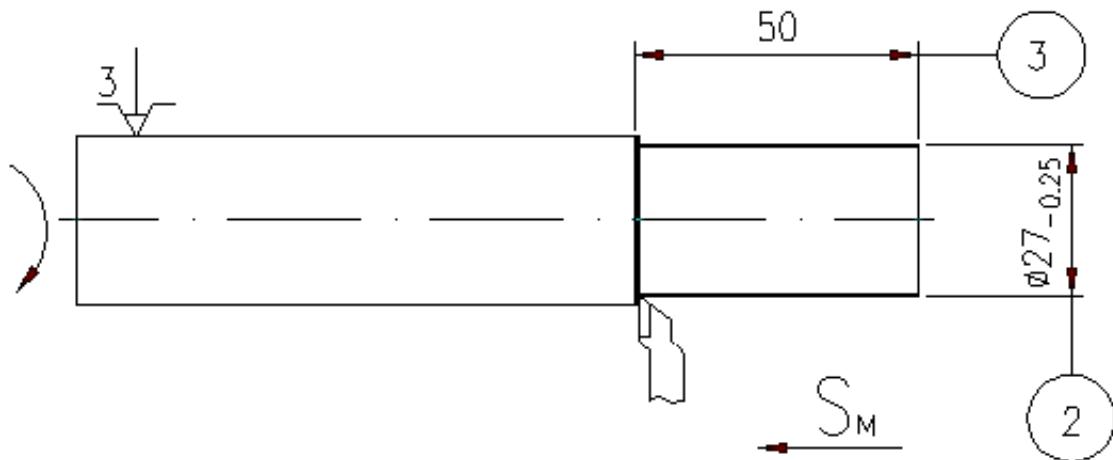


Рисунок 8.3 – Операционный эскиз к переходу 2

1. Вычислить основное время  $T_o$  для токарной операции (переходы 1 и 2) используя формулы (8.6),(8.7). Для определения  $T_o$  на операцию надо сложить основные времена, вычисленные для каждого перехода.

2. Провести хронометраж составляющих вспомогательного времени

$$T_{всп} = T_{уст} + T_{снят} + T_{пуск} + T_{ост} + T_{изм},$$

где  $T_{уст}$ ,  $T_{снят}$  - времена на установку и снятие заготовки,

$T_{пуск}$ ,  $T_{ост}$  - времена на пуск и остановку станка,

$T_{изм}$  - время на измерение и контроль.

2.1. Для измерения  $T_{уст}$ :

2.1.1. Включить секундомер.

2.1.2. Взять заготовку, установить ее в трехкулачковый патрон (рисунок 8.4)

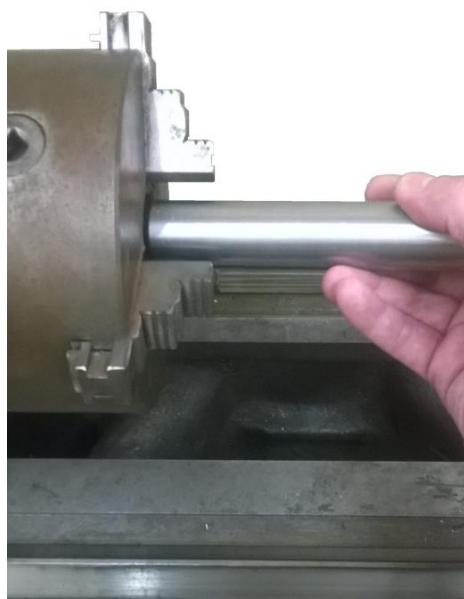


Рисунок 8.4 – Фотография заготовки установленной в трехкулачковый патрон

2.1.3. Установить ключ в зажимное отверстие патрона (рисунок 8.5)

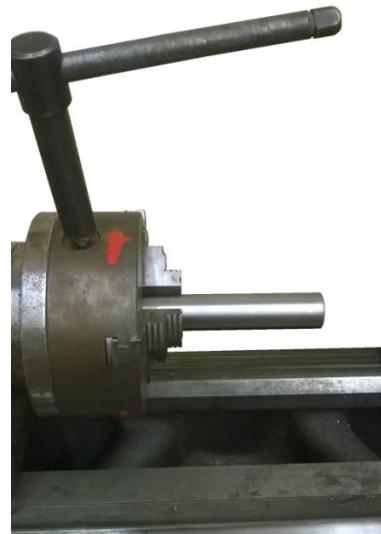


Рисунок 8.5 – Фотография ключа, установленного в отверстие патрона

2.1.4. Вращая ключ зажать заготовку в патроне (рисунок 8.6).

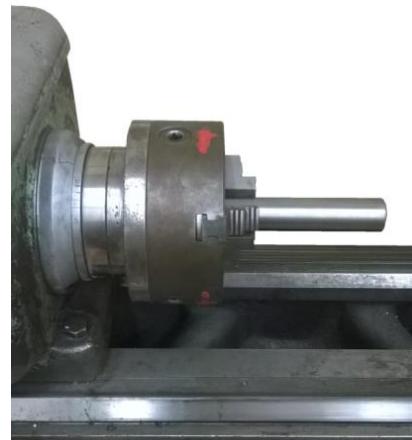


Рисунок 8.6 – Фотография заготовки, зажатой в трехкулаковом патроне

Продолжительность выполняемых действий замерять с использованием секундомера и результаты вносить в таблицу 8.2.

2.2. Для измерения  $T_{пуск}$ :

2.2.1. Включить секундомер.

2.2.2. Нажать кнопку 1 станка (рисунок 8.7).



Рисунок 8.7 – Фотография пульта управления

2.3. Для измерения  $T_{ост}$ :

2.3.1. Включить секундомер.

2.3.2. Нажать кнопку 2 станка (рисунок 8.7).

2.4. Для измерения  $T_{изм}$ :

2.4.1. Включить секундомер.

2.4.2. В учебных целях взять линейку и штангенциркуль, и измерить полученные размер 2 (рисунок 8.8,а) и размер 3 (рисунок 8.8,б) на переходе 2 (рисунок 8.3)

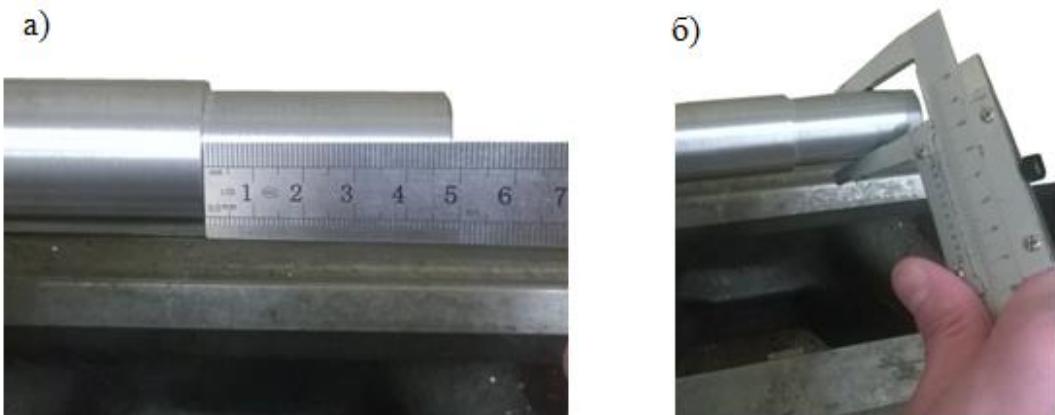


Рисунок 8.8 – Фотография измерения: а – размера 2; б – размера 3

3. Определить время обслуживания рабочего места  $T_{об}$ , которое составляет 4% [2, стр. 70, карта 19] от оперативного времени.

4. Определить время на личные потребности  $T_{отд}$ , которое составляет 4% [2, стр. 70, карта 19] от оперативного времени.

5. Вычислить штучное время  $T_{шт}$  по формуле (8.1).

6. Результаты внести в таблицу 8.2

Таблица 8.2  
Результаты измерений и вычислений

Номер перехода	$T_o$	$T_{всп}$			$T_{об}$	$T_{отд}$	$T_{шт}$
		$T_{yc} + T_{снят}$	$T_{пуск} + T_{ост}$	$T_{из}$			
П1				–			
П2							

### Содержание отчёта

1. Наименование и цель работы
2. Инструменты и принадлежности к работе
3. Теоретическая часть.
4. Практическая часть.
  - 4.1 Чертеж детали.
  - 4.2 Операционные эскизы.
  - 4.3 Результаты измерений.
5. Вывод

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое норма времени и норма выработки?
2. Что такое штучное время и из чего оно состоит?
3. Что такое штучно-калькуляционное время и из чего оно состоит?
4. В какой последовательности определяются нормы времени?

## **Литература**

1. 1. Маталин, А.А. Технология машиностроения. / А.А. Маталин – СПб., М., Краснодар: Лань, 2010. – 512 с.
2. Общемашиностроительные нормы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 418 с.