

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
Государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»**

## **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 151001 – Технология  
машиностроения*



**Орск 2011**

УДК 621  
ББК 34.4  
О 73

### **Рецензент**

*Абрамов К. Н., кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии машиностроения,  
металлообрабатывающих станков и комплексов  
ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»*

**О 73 Основы технологии машиностроения** : методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 151001 – Технология машиностроения / сост. Н. Б. Абрамова. – Орск : Издательство ОГТИ, 2011. – 52 с.

### **Составитель**

*Абрамова Н. Б., кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии машиностроения ОГТИ*

*В методических указаниях изложены цель лабораторных работ, общие указания, содержание и последовательность выполнения работ, требования к оформлению отчета, перечень необходимого оборудования, материалов и инструментов.*

*Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальности «Технология машиностроения» (151001) очной, заочной и ускоренной форм обучения.*

© Абрамова Н. Б., 2011  
© Издательство ОГТИ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	4
Лабораторная работа 1. Базирование и схемы установки заготовок при их обработке .....	5
Лабораторная работа 2. Обеспечение точности сборки методом неполной взаимозаменяемости .....	16
Лабораторная работа 3. Влияние подачи и скорости резания на качество обработанной поверхности при токарной обработке...	26
Лабораторная работа 4. Определение погрешности обработки вследствие деформации изделия под влиянием сил резания.....	33
Лабораторная работа 5. Определение жесткости токарного станка производственным методом .....	42
Лабораторная работа 6. Исследование зависимости размерного износа резца от пути резания.....	47

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

В настоящее время современные предприятия машиностроительного комплекса предъявляют все более высокие требования к уровню подготовки будущих специалистов. Высшее профессиональное образование способно решить поставленные перед ним задачи, непрерывно совершенствуя элементы учебного процесса, начиная от методики преподавания цикла специальных дисциплин, укрепления и технического развития материально-технической базы подготовки будущих инженерных кадров и заканчивая практической профессиональной подготовкой студентов. Лабораторные занятия являются одним из важнейших элементов учебного процесса, поскольку обеспечивают взаимосвязь теоретического материала с современным производством и помогают подготовить будущих специалистов к осуществлению профессиональной деятельности.

Основная цель лабораторных работ – изучение связей и закономерностей в процессе проектирования технологических процессов и изготовления деталей. Тематика лабораторных работ охватывает основные разделы дисциплины.

В методических указаниях изложены: цели лабораторных работ, общие указания, содержание и последовательность выполнения работ, требования к оформлению отчета, перечень необходимого оборудования, материалов и инструментов.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. БАЗИРОВАНИЕ И СХЕМЫ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ

**Цель работы:** Изучить основы базирования и схемы деталей при их изготовлении.

## *Общие теоретические сведения*

Задачи определения положения детали в машине и в процессе её контроля, заготовки при обработке на станке или их базирование занимают центральное место в процессе создания машины. От того, как они решены, во многом зависит качество деталей и машины в целом.

Аналогичные задачи приходится решать при базировании и закреплении режущего инструмента в шпинделе станка, борштанге, резцедержателем или другом виде приспособления. Те же задачи возникают при ремонте машин и их эксплуатации.

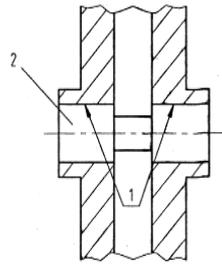
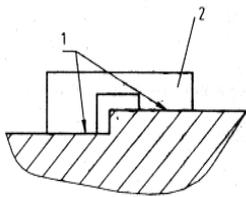
Для решения поставленных задач используют основы базирования.

Основные понятия по базированию, приведенные в ГОСТ 21495-76\* «Базирование и базы в машиностроении», приведены ниже.

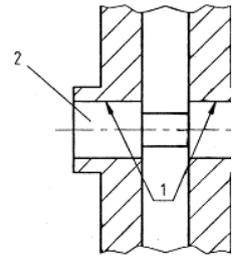
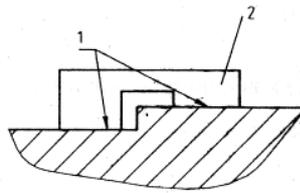
*Базирование* – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

*База* – поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

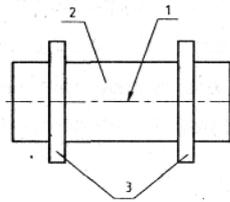
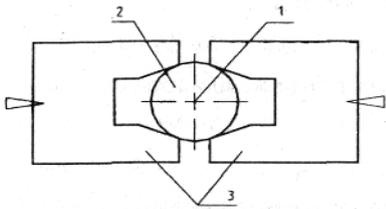
База – поверхность



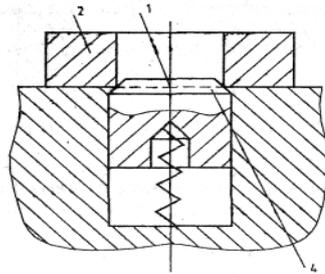
База – сочетание поверхностей



База – ось



База – точка



1 – база; 2 – заготовка

Рис. 1.1. Виды баз

*Действительная база* – база, фактически используемая в конструкции изготовления, эксплуатации или ремонте изделия.

*Комплект баз* – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия (рис. 1.2) .

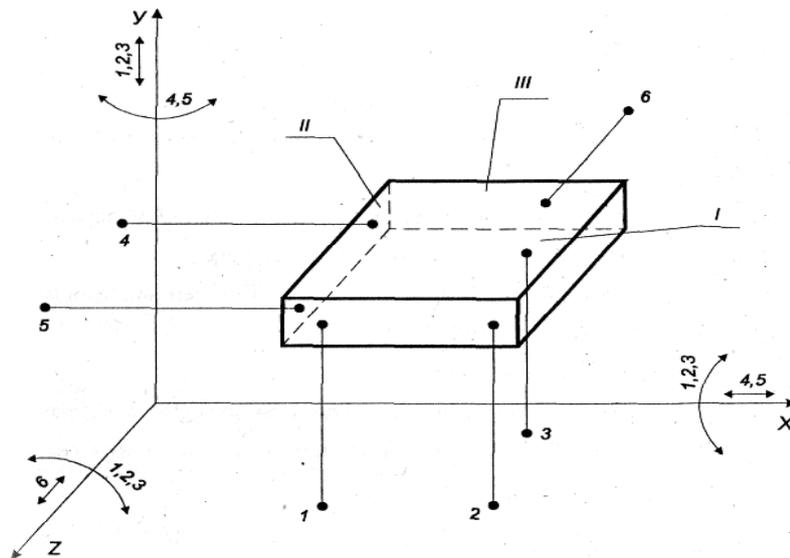
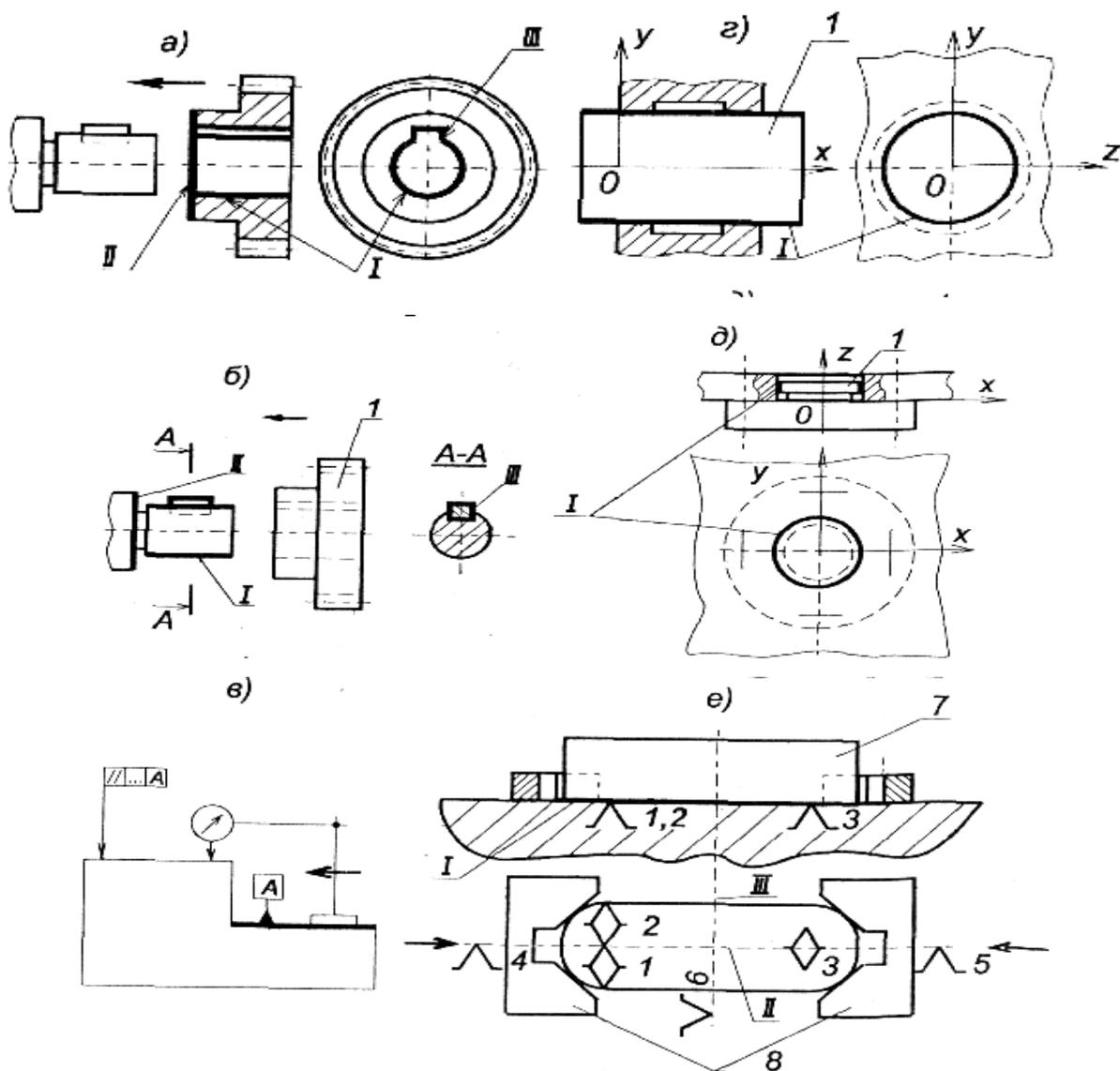


Рис. 1.2. Комплект баз

*Конструкторская база* – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

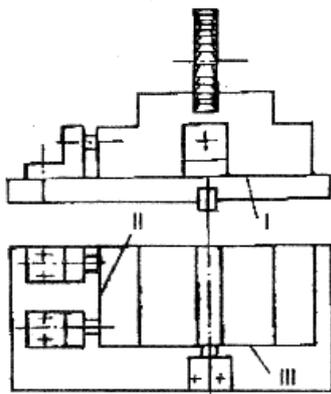
*Основная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии (рис. 1.3, а).

*Вспомогательная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия (рис. 1.3, б).



*Рис. 1.3. Виды баз: а – основные базы шестерни (I, II, III); б – вспомогательные (базы вала (I, II, III) с присоединяемой деталью (1); в – измерительная база (A); г – двойная направляющая база (I) детали (1); д – двойная опорная база (I) детали (1); е – установочная явная база (I) заготовки (7), направляющая скрытая база (II), опорная скрытая база (III), 1...6 – опорные точки, 8 – губки самоцентрирующих тисков*

*Технологическая база* – база (I, II, III), используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (рис. 1.4).



*Рис. 1.4. Технологические базы*

*Измерительная база* – база, служащая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения (рис. 1.3, в).

*Установочная база* – база, лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей (рис. 1.3, е).

*Направляющая база* – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (рис. 1.3, е).

*Опорная база* – база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (рис. 1.3, е).

*Двойная направляющая база* – база, лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис. 1.3, г).

*Двойная опорная база* – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей (рис. 1.3, д).

*Скрытая база* – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси, точки (рис. 1.3, е).

*Явная база* – база заготовки или изделия в виде реальной поверхности разметочной риски или точки пересечения рисок (рис. 1.3, а).

*Опорная точка* – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с избранной системой координат (рис. 1.3, е).

Примечания:

1. Для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в избранной системе координат на них необходимо наложить шесть двусторонних геометрических связей, для создания которых необходим комплект баз.

2. Если в соответствии со служебным назначением изделие должно иметь определенное число степеней свободы, то соответствующее число связей снимается.

*Схема базирования* – схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия.

Примечания:

1. Все опорные точки на схеме базирования обозначаются условными знаками и порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек.

2. При наложении в какой-либо проекции опорной точки на другую изображается одна точка и около нее проставляются номера совмещенных точек.

3. Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для представления о размещении опорных точек.

*Погрешность базирования* – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого. Однако необходимо особо подчеркнуть, что погрешность базирования имеет место только при работе на настроенных станках, то есть когда партия заготовок обрабатывается при неизменном (заранее установленном) относительном положении инструмента и заготовок.

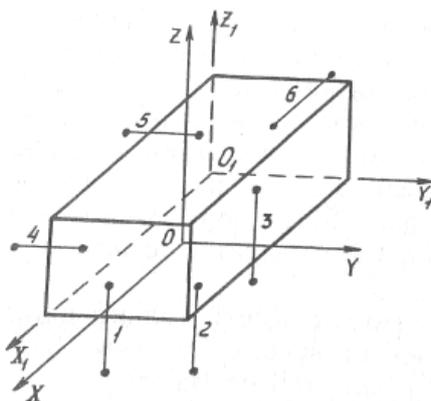
*Закрепление* – приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения их положения, достигнутого при базировании.

*Установка* – процесс базирования и закрепления заготовки или изделия.  
*Погрешность установки* – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого.

На основании изложенного рассмотрим:

*а) Базирование призматической детали*

Роль *установочной базы* выполняет нижняя поверхность (рис. 1.5), использованная для наложения трех связей, лишаящих деталь возможности перемещаться в направлении оси  $OZ$  и поворачиваться вокруг осей, параллельных  $OX$  и  $OY$ . *Направляющей* называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.



*Рис. 1.5. Наложение шести связей на призматическую деталь*

Для детали призматической формы – это боковая поверхность детали, наложение через которую двух связей на деталь лишило ее возможности перемещения в направлении оси  $OY$  и поворота вокруг оси, параллельной  $OZ$ .

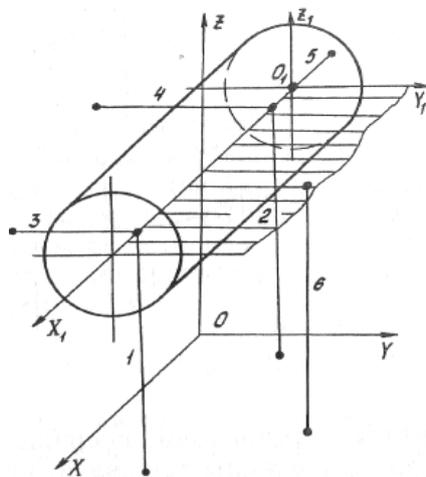
*Опорной* называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связи, лишаящей их одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

В данном случае в качестве опорной базы использована одна из торцовых поверхностей детали. Через эту поверхность у детали отнята возможность перемещения в направлении оси  $OX$ .

Комплект баз, в состав которого входит установочная, направляющая и опорная базы, представляет собой подвижную систему координат  $O_1X_1F_1Z_1$ , на которую наложены те же связи, что и на деталь: три связи – на координатную плоскость  $X_1O_1Y_1$ , две – на  $X_1O_1Z_1$  и одна – на  $Y_1O_1Z_1$ . Данный комплект баз является весьма распространенным и может считаться типовым.

*б) Базирование цилиндрической детали*

Наложение связей на деталь или заготовку с помощью цилиндрической (конической) поверхности чаще всего осуществляется через ось (рис. 1.6), относительно которой она образована вращением образующей прямой. Это может служить основанием для совмещения с этой осью оси  $O_1X_1$  подвижной системы  $O_1X_1Y_1Z_1$ . Рассматривая ось  $O_1X_1$  как пересечение координатных плоскостей  $X_1O_1Y_1$  и  $X_1O_1Z_1$ , две связи (1 и 2) из четырех, наложенных на ось, можно отнести к координатной плоскости  $X_1O_1Y_1$ , две (3 и 4) – к  $X_1O_1Z_1$ . Эти связи отбирают у детали возможность перемещаться вдоль и поворачиваться вокруг осей, параллельных  $OY$  и  $OZ$ . Перемещения детали вдоль оси  $O_1X_1$  может лишить связь 5, наложенная на торец детали и координатную плоскость  $Y_1O_1Z_1$ , совмещенную с ним. Угловое положение детали будет определено, если на координатную плоскость  $X_1O_1Y_1$  наложить дополнительно связь 6. Последние две связи реализуются при помощи двух опорных баз, одна из которых отбирает у детали возможность перемещения, другая – поворота.



*Рис. 1.6. Наложение шести связей на цилиндрическую деталь*

Комплект из двойной направляющей и двух опорных баз широко распространен и может считаться также типовым.

Часты случаи, когда двойную направляющую базу образует сочетание двух цилиндрических или конических поверхностей небольшой протяженности (рис. 1.7).

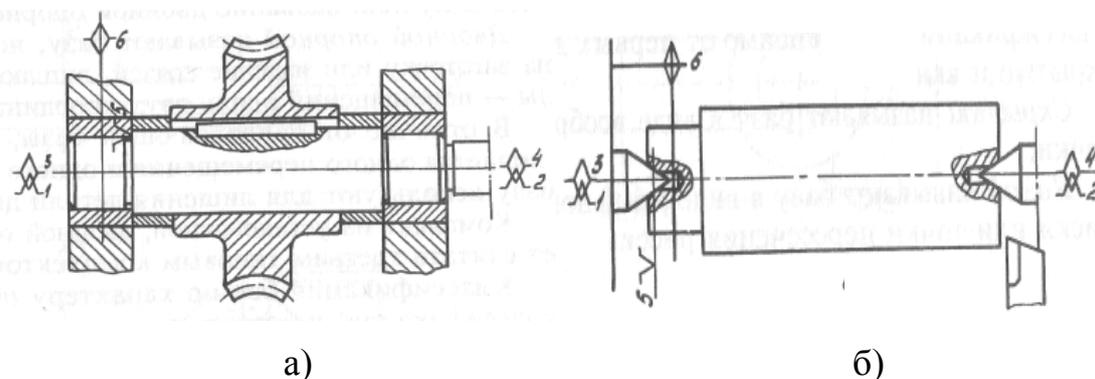


Рис. 1.7. Реализация двойной направляющей базы сочетанием двух поверхностей: а – опорными шейками вала; б – центровыми отверстиями в заготовке

Роль двойной направляющей могут выполнять две опорные шейки вала (рис. 1.7, а), по которым его базируют на подшипниках в корпусе, во втором – конические отверстия (рис. 1.7, б), с помощью которых заготовку вала устанавливают в центрах на токарном станке.

#### в) Базирование диска

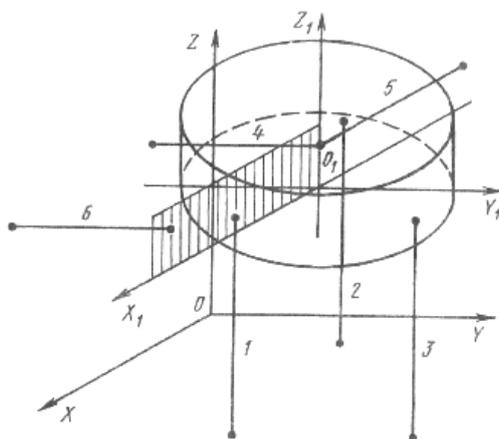
Положение детали типа диска будет более устойчивым, если установить его на торец и сделать торец установочной базой (рис. 1.8). Тогда с торцом окажется совмещенной координатная плоскость  $X_1O_1Y_1$  на которую будут наложены три связи, присущие установочной базе. Две связи (4 и 5), лишаящие диск возможности перемещения в направлении осей  $OX$  и  $OY$ , целесообразно в данном случае наложить на ось цилиндрической поверхности, совместив с нею координатную ось  $O_1Z_1$ . Две связи, наложенные на ось, следует рассматривать относящимися соответственно к координатным плоскостям  $Y_1O_1Z_1$  и  $K_1O_1Z_1$ . Для того чтобы лишить диск возможности поворота вокруг оси  $O_1Z_1$ , необходимо наложить связь 6 на координатную плоскость  $X_1O_1Z_1$ , создав тем самым опорную базу.

В данном случае ось цилиндрической поверхности детали была использована как база для лишения детали двух перемещений. Такая база получила название двойной опорной.

*Двойной опорной* называют базу, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей.

В отличие от направляющей базы, с помощью которой деталь лишается одного перемещения и одного поворота, двойную опорную базу используют для лишения детали двух перемещений.

Комплект из установочной, двойной опорной и опорной баз следует считать третьим типовым комплектом баз.



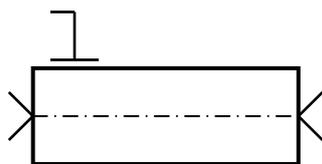
*Рис. 1.8. Наложение шести связей типа диска*

Материализация схемы базирования заключается в выборе типа опор, их количества и расположения относительно заготовки в соответствии со схемой базирования, разрабатываемой технологом. При разработке схемы установки используются условные обозначения по ГОСТ 3.1107-81 «Графическое обозначение опор, зажимов и установочных устройств».

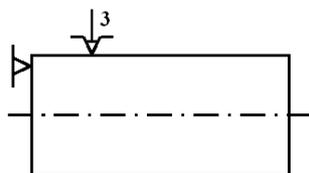
### **Задание**

1. Определить необходимое количество степеней свободы, которых лишается деталь при установке для следующих видов обработки:

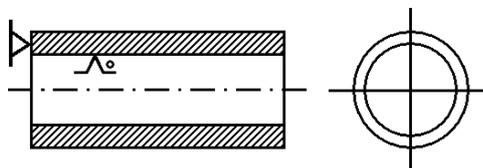
а) установка в жёстких центрах и поводковом патроне (обтачивание наружного диаметра)



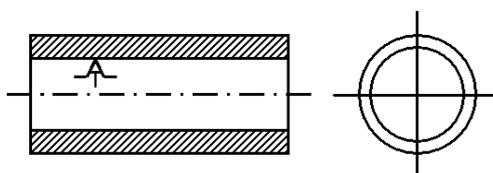
б) установка вала в  $3^X$  кулачковом патроне (обтачивание наружного диаметра)



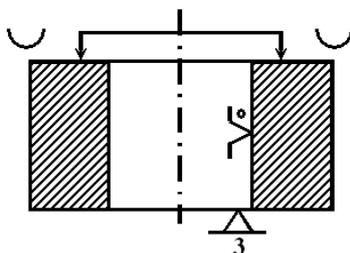
в) установка втулки на жёсткую оправку (обтачивание наружного диаметра)



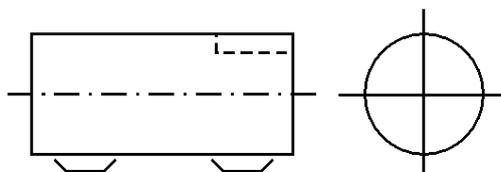
г) установка втулки на самоцентрирующую оправку (обтачивание наружного диаметра)



д) установка кольца на три жёсткие опоры с плоской поверхностью, жёсткую оправку, двойным, зажимом со сферическими поверхностями, энергия пневматическая (обтачивание наружного кольца)



е) установка в призмах (фрезерование шпоночного паза)



2. Установить корпусную деталь на станке (в приспособлении) для обработки её поверхностей, указанных преподавателем. Показать расположение точечных опор и направление силового замыкания.

### ***Последовательность выполнения работы***

Установить деталь в соответствующее приспособление; определить базовые поверхности (линии, точки) и количество степеней свободы, которых лишилась деталь при каждой из перечисленных установок; сделать эскиз установки; объяснить какому перемещению детали препятствует каждая точечная опора.

При обозначении поверхностей и точных опор следует пользоваться принятыми в машиностроении условными обозначениями.

### ***Содержание отчета***

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы базирования для каждого варианта.

### ***Контрольные вопросы***

1. Каким путем обеспечивается состояние покоя твердого тела относительно избранной системы координат?
2. Как характеризуется положение твердого тела относительно избранной системы прямоугольных координат?
3. Что такое база, комплект баз, опорная точка?
4. Что такое схема базирования?
5. Как классифицируются базы?
6. Назвать три типовые схемы базирования заготовки или изделия?
7. Как в реальной жизни осуществляется наложение связей на деталь машины или заготовку детали?

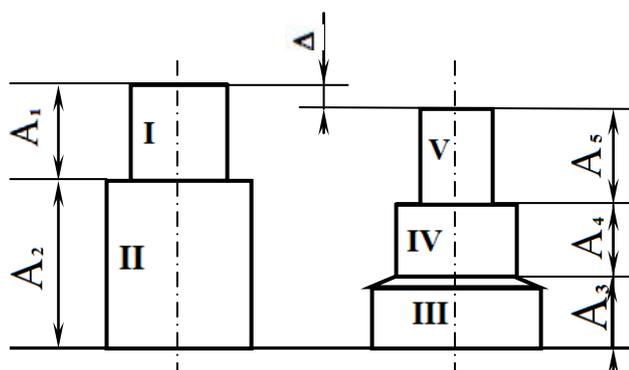
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ МЕТОДОМ НЕПОЛНОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

**Цель работы:** Освоение методики оценки точности технологической операции с помощью математической статистики.

### Задание

1. Из данного преподавателем допуска  $\delta_\Delta$  на несовпадение верхних плоскостей двух групп деталей (рис. 2.1) и из фактических допусков на изготовление каждого из размеров  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  определить расчетом возможный процент выхода величины  $\Delta$  за пределы заданного допуска  $\delta_\Delta$  (процент брака).

2. Определить фактический процент выхода величины  $\Delta$  за пределы  $\delta_\Delta$  и



сравнить с теоретическим.

*Рис. 2.1. Две группы деталей*

### **Общие теоретические сведения**

Точность и стабильность технологических процессов оценивается на стадии технологической подготовки и в процессе установившегося производства. Оценка производится для выявления факторов, оказывающих решающее влияние на величину погрешностей обработки, для определения фактических точных характеристик технологических операций. Результаты оценки используются при разработке мероприятий, обеспечивающих точность изготовления продукции.

Оценка точности должна проводиться по параметрам детали, оказывающим решающее влияние на функциональные показатели изделия. Обычно оценка состоит из следующих этапов: измерение контролируемых параметров деталей; заполнение протоколов измерений, статистическая обработка результатов измерений; анализ результатов статистической обработки.

Статистический метод оценки точности применяется в условиях производства большого количества деталей. Для его применения необходимо произвести выборку деталей из обрабатываемых на исследуемой операции. Количество деталей в выборке влияет на точность оценки и определяется по специальной методике. По результатам измерения деталей выборки строится опытная кривая определения, к которой по критерию согласия подбирается теоретический закон распределения.

Опытные кривые распределения строят следующим образом.

По оси абсцисс откладывают измеряемую величину, например, диаметр деталей – через определенные интервалы, а на оси ординат – их количество, попадающее в эти интервалы или частоты.

Частость – это отношение числа деталей одного размера к общему числу деталей выборки. Соединяя точки пересечения, получают ломаную линию, которая называется опытной кривой распределения или полигоном распределения деталей по размерам. Определяют поле рассеяния размеров деталей как приближенную меру их точности.

При обработке деталей в машиностроении их размеры распределяются наиболее часто по нормальному закону Гаусса. Этому же закону подчиняются распределения массы заготовок, твердости и других механических свойств, высоты микронеровностей, погрешности измерений и некоторых других величин.

Приближенной мерой точности технологического процесса является поле рассеянных характеристик качества, например, размеров деталей.

Поле рассеяния определяется по формуле:

$$\omega = A_{\max} - A_{\min},$$

где  $A_{\max}$ ,  $A_{\min}$  – наибольшая и наименьшая величина параметров, характеризующих качество.

Чем меньше поле рассеяния, тем точнее технологический процесс по кривым распределения. В зависимости от характера факторов, действующих в процессе обработки, распределение характеристик качества может подчиняться различным законам. В том числе если в ходе технологического процесса действует большое число случайных факторов с одинаковой интенсивностью влияния, независящих или слабо зависящих один от другого, то закон распределения является нормальным (закон Гаусса). Он наиболее характерен для большинства технологических процессов.

Для любого теоретического закона распределения имеются числовые характеристики: центр группирования (среднее арифметическое значение контролируемого параметра) и среднее квадратичное отклонение. Характеристики распределения определяются, исходя из результатов измерения параметров качества у партии деталей, полученной при неизменной настройке оборудования. Поле рассеяния партии разбивается на равные интервалы. Число интервалов выбирается из условия, что в каждый интервал попадает не более 15...20% деталей (обычно принимается 7...11 интервалов).

### ***Последовательность выполнения работы***

1. Определить средний допуск на размеры  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  при решении размерной цепи методом полной взаимозаменяемости, исходя из заданного допуска  $\delta_{\Delta}$ ,

$$\delta_{\Delta_{\text{сред}}} = \frac{\delta_{\Delta}}{n-1},$$

где  $\delta_{\Delta_{\text{сред}}}$  – средний допуск на размеры  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ ;

$\delta_{\Delta}$  – заданная величина допуска замыкающего звена размерной цепи;

$n-1$  – количество звеньев размерной цепи (без замыкающего звена).

2. Измерить детали, входящие в каждую из 5 групп, и занести результаты замеров в протокол № 1 (каждый студент вносит размеры замеров деталей своей группы).

Примечание: Если измерения производятся индикатором, то перед измерением следует установить вместо детали эталон соответствующего размера, подвести к эталону измерительный наконечник индикатора, обеспечить натяг в 1-2 оборота стрелки и установить шкалу индикатора на нулевом делении. После этого, сняв эталон, можно измерять детали.

Определив отклонения стрелки прибора от нулевого положения, можно найти абсолютный размер детали, который и записывается в протокол № 1.

3. Из протокола № 1 определить минимальный ( $A_{\min}$ ) и максимальный ( $A_{\max}$ ) размер детали. Определить поле рассеивания измеренного размера.

$$\omega_i = A_{\max} - A_{\min}.$$

Очевидно,  $\omega_i$  будет соответствовать измеренному (действительному) допуску изготовления данной детали.

Определить величину интервала  $\frac{\omega_i}{m}$ , где  $m$  – число интервалов (берется произвольно, не менее 5 и не более 8).

4. Заполнить протокол № 2. Границы интервалов определяются следующим образом. Например, из протокола № 1 минимальный размер детали  $A_{\min} = 3,2$  мм, а величина интервала равна 0,05, тогда границы первого интервала будут от 3,20 до 3,25 мм, границы второго интервала – от 3,25 до 3,30 мм и т. д.

После определения границ интервалов необходимо подсчитать, какое количество размеров деталей входит в пределы каждого интервала, и внести эти данные в протокол № 2.

5. Заполнить протоколы № 3, 4, 5, 6 для остальных деталей.

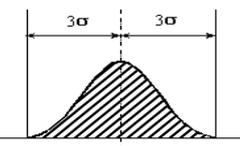
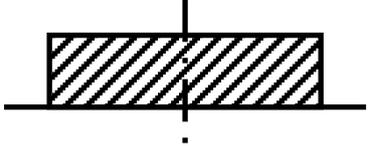
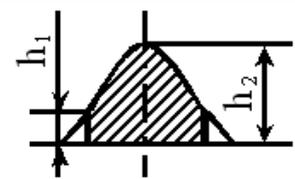
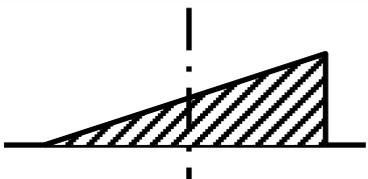
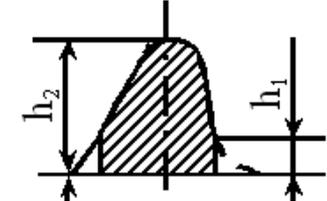
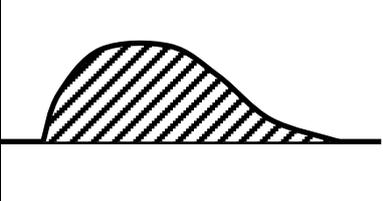
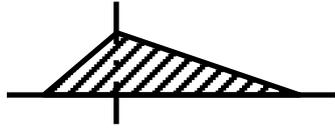
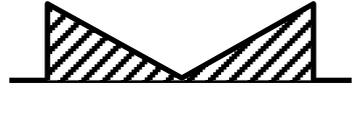
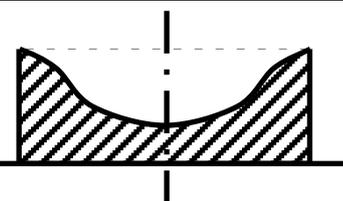
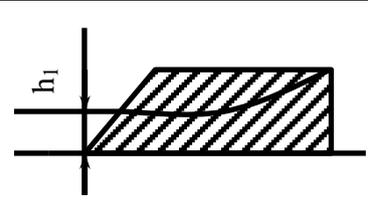
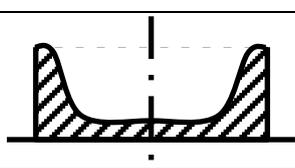
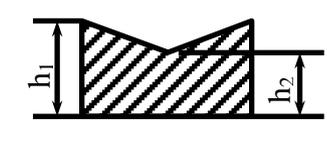
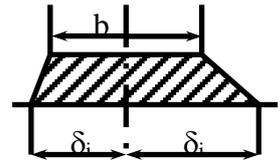
6. На миллиметровой бумаге построить практические кривые распределения размеров всех 5 деталей, используя данные протоколов № 2, 3, 4, 5, 6.

Все кривые строятся в одном масштабе, причем количество деталей в интервале откладываются по оси ординат (в середине интервала), а интервалы – по оси абсцисс.

7. Сравнивая практические кривые распределения с типовыми кривыми (табл. 1), определить коэффициент относительного рассеивания  $K_i$  и коэффициент

$\lambda_i = \frac{K_i^2}{9}$  для каждой кривой, предполагая, что закон распределения размеров замыкающего звена близок к закону нормального распределения.

**Значение коэффициентов относительного рассеивания  $K_i$  при различных законах распределения**

Эскиз кривой распределения	$\frac{h_1}{h_2}$	$K_i$	Эскиз кривой распределения	$\frac{h_1}{h_2}$	$K_i$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
		1,0			1,78
	0,07 0,17 0,26 0,44	1,21 1,26 1,44 1,55			1,44
	0,26 0,44 0,80 1,00	1,17 1,18 1,20 1,21			1,14
	1,32	1,22			2,22
		2,28		0 1/2 1/3	1,44 1,77 2,05
		2,12		n 2 3	1,58 1,68
	2 3	1,37 1,94		$b_i/\delta_i$ 1/2 1 3/2	1,26 1,37 1,52

Данные занести в протокол № 7.

8. Определить величину  $t$ , характеризующую процент риска, по формуле:

$$t = \frac{\delta_{\Delta}}{\sqrt{\sum_1^{n-1} \lambda_i \omega_i^2}},$$

где  $\delta_{\Delta}$  – заданный допуск на замыкающее звено;

$\lambda_i$  – коэффициент, характеризующий кривую распределения размеров  $i$ -той детали;

$\omega_i$  – после рассеивания размеров  $i$ -той детали;

$n$  – количество звеньев размерной цепи.

9. По графику  $P = f(t)$  (рис. 2.2) определить процент риска (брака)  $P$ .

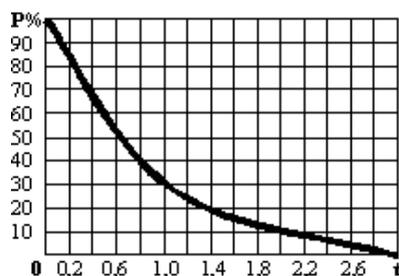


Рис. 2.2

10. Измерить суммарную высоту детали 1 и 2, поставленных одна на другую, а затем деталей 3, 4 и 5, поставленных таким же образом. Данные занести в протокол № 8. Определить значение замыкающего звена как разности между высотами 2-х групп деталей.

11. Построить кривую распределения замыкающего звена по данным протокола № 9 (на последней сетке в том же масштабе, что и остальные кривые).

12. Определить фактический процент брака  $P_{\text{факт}}$ .

Для этого следует провести вертикальную линию от середины поля рассеивания замыкающего звена и отложить от нее в стороны симметрично заданное поле допуска  $\delta_{\Delta}$  (рис. 2.3).

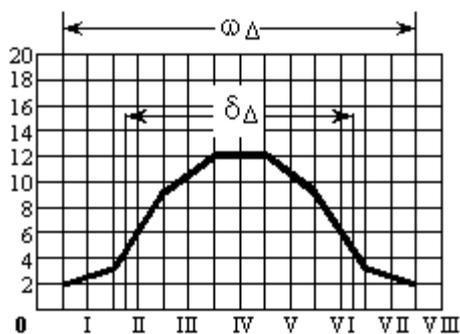


Рис. 2.3

Фактический процент брака  $P_{\text{факт}}$  получим как частное от деления количества случаев выхода за пределы допуска на общее число случаев:

$$P_{\text{факт}} = \frac{n_1 + n_2}{50} \cdot 100 \% .$$

В приведенном случае за пределы  $\delta_{\Delta}$  выходят интервалы 1, 2, 7 и 8 то есть

$$n_1 = 1 + 3 = 4 \text{ случая}$$

$$n_2 = 1 + 3 = 4 \text{ случая}$$

13. Определить максимальную возможную ошибку размера замыкающего звена при фактических полях рассеивания размеров  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  по формуле:

$$\omega_{\Delta \text{max}} = \sum \omega_i .$$

Объяснить, почему фактическое поле рассеивания замыкающего звена получилось меньшим.

14. Сделать выводы из работы.

### Протокол № 1

№	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	№	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	№	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	№	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
1						14						27						40					
2						15						28						41					
3						16						29						42					
4						17						30						43					
5						18						31						44					
6						19						32						45					
7						20						33						46					
8						21						34						47					
9						22						35						48					
10						23						36						49					
11						24						37						50					
12						25						38						51					
13						26						39						52					

1. Из протокола № 1 минимальный размер  $A_{\min} =$
2. Из протокола № 1 максимальный размер  $A_{\max} =$
3. Поле рассеивания  $= A_{\max} - A_{\min}$
4. Величина интервала  $= \frac{\text{поле рассеивания}}{\text{число интервалов}}$

**Протокол № 2 детали № 1**

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов								
Количество размеров деталей в интервале (частота)								

**Протокол № 3 детали № 2**

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов								
Количество размеров деталей в интервале (частота)								

**Протокол № 4 детали № 3**

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов								
Количество размеров деталей в интервале (частота)								

**Протокол № 5 детали № 4**

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов								
Количество размеров деталей в интервале (частота)								

**Протокол № 6 детали № 5**

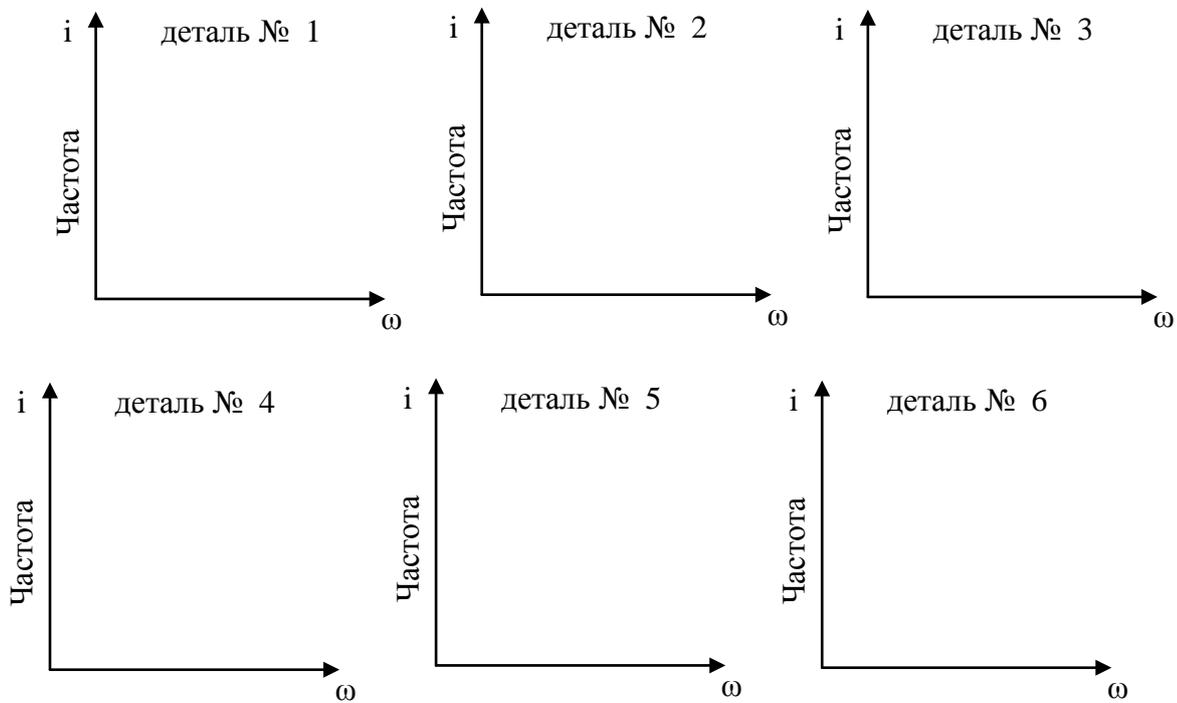
№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов								
Количество размеров деталей в интервале (частота)								

### Протокол № 7

№ детали	Поле рассеивания	Коэффициент относительного рассеивания $K_i$	Коэффициент кривой распределения $\lambda_i$	Характеристика закона распределения, которой соответствует выбранный коэффициент $\lambda_i \cdot \omega^2$
Деталь № 1				
Деталь № 2				
Деталь № 3				
Деталь № 4				
Деталь № 5				

#### 5. Определение процента риска

Графики рассеивания размеров детали



Коэффициент относительного рассеивания и коэффициент распределения:

$$\lambda_i = \frac{K_i^2}{9}, \quad t = \frac{\delta \Delta}{\sqrt{\sum_1^{n-1} \lambda_i \omega_i^2}}.$$

### Протокол № 8

№ п/п	Зам. звено	№ интерв.	№ п/п	Зам. звено	№ интерв.	№ п/п	Зам. звено	№ интерв.	№ п/п	Зам. звено	№ интерв.	№ п/п	Зам. звено	№ интерв.
1			11			21			31			41		
2			12			22			32			42		
3			13			23			33			43		
4			14			24			34			44		
5			15			25			35			45		
6			16			26			36			46		
7			17			27			37			47		
8			18			28			38			48		
9			19			29			39			49		
10			20			30			40			50		

6. Из протокола № 8 минимальный размер  $A_{\min} =$

7. Из протокола № 8 максимальный размер  $A_{\max} =$

8. Поле рассеивания  $= A_{\max} - A_{\min}$

9. Величина интервала  $= \frac{\text{поле рассеивания}}{\text{число интервалов}}$

### Протокол № 9

№ интервала	1	2	3	4	5	6	7	8
Границы интервалов								
Количество размеров замыкающих звеньев в интервале (частота)								

10. Фактический процент выхода размеров замыкающего звена за пределы поля допуска.

11. Возможная ошибка размера замыкающего звена при 100% взаимозаменяемости будет...

12. Выводы.

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.

2. Эскиз деталей.

3. Результаты замеров деталей.

4. Определение характеристик рассеивания и ординат для построения кривой нормального распределения.

5. Определение процента брака.
6. Выводы по выполненной работе.

### ***Состав лабораторной установки***

1. Партия деталей (гладких валиков), полученная при неизменной настройке оборудования.
2. Рычажный микрометр с пределом измерения 0...25 и 25...50 и ценой деления 0,002.
3. Набор концевых мер длины.

### ***Контрольные вопросы***

1. В каких случаях и с какой целью производится оценка точности технологического процесса (операции)?
2. Как оценить точность технологических операций?
3. Как определить величину поля рассеивания?
4. Как определить фактический процент брака?
5. Какие законы используются для оценки точности размеров и формы деталей?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. ВЛИЯНИЕ ПОДАЧИ И СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

***Цель работы:*** Экспериментальное исследование изменения шероховатости обработанной поверхности в зависимости от изменения подачи и скорости резания.

### ***Общие теоретические сведения***

На поверхностях деталей после обработки режущим инструментом на металлорежущих станках всегда остаются неровности. Совокупность микронеровностей, образующихся на поверхности детали, называют шероховатостью поверхности. Шероховатость поверхности оказывает непосредственное влия-

ние на качество неподвижных и подвижных соединений в машинах. Например, детали с грубой поверхностью не обеспечивают в неподвижных соединениях требуемой точности и качества сборки, а в подвижных соединениях быстро изнашиваются и не выдерживают первоначальных зазоров.

На поверхности, обработанной токарным резцом, образуются микронеровности в виде винтовых выступов и винтовых канавок (рис. 3.1, а, б). Микронеровности, расположенные в направлении подачи  $S$ , образуют поперечную шероховатость, а микронеровности, расположенные в направлении скорости резания  $V$ , – продольную шероховатость.

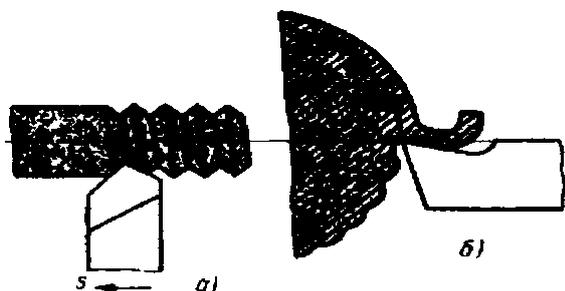


Рис. 3.1. Образование поперечной (а) и продольной (б) шероховатости поверхности при токарной обработке

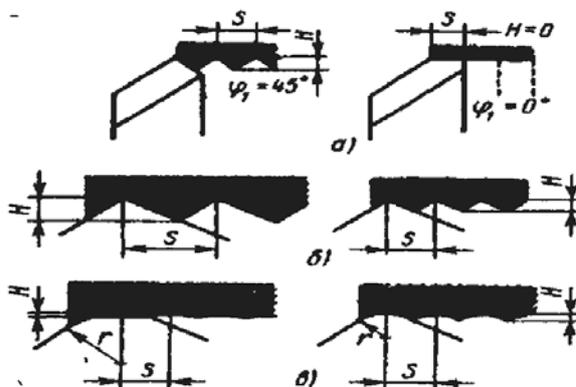


Рис. 3.2. Высота микронеровностей при точении: а – с вспомогательным углом  $\varphi_1$  в плане; б – с подачей  $S$ , в – с радиусом  $r$  скругления режущей кромки резца

Высота  $H$  и характер микронеровностей зависят от обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии режущих кромок инструмента и др. Микронеровности на поверхности деталей в большинстве случаев являются следами режущих кромок инструмента, расположение которых зависит от подачи (рис.3.2). Изменяя геометрические параметры режущего инструмента и режимы резания, можно существенно менять характеристики шероховатости поверхности при обработке одинаковых по физико-механическим свойствам материалов.

Шероховатость обработанной поверхности повышается (до  $Ra = 6,3 \div 12,5$  мкм), когда обработку ведут на скоростях резания, способствующих наросту образованию. При обработке на высоких скоростях резания (150-300 м/мин) шероховатость обработанной поверхности снижается (до  $Ra = 1,6 \div 0,8$  мкм). По мере увеличения скорости резания глубина наклепа возрастает.

При высоких скоростях резания (200-600 м/мин) возникает явление разупрочнения, которое уменьшает глубину наклепа. При обработке легированных и высокопрочных сталей, имеющих низкие пластичные свойства, остаточные напряжения сжатия образуются при скоростях резания около 400-600 м/мин. При обработке конструкционных сталей марок 20 и 45 остаточные напряжения сжатия возникают при скоростях резания 500- 800 м/мин.

С увеличением скорости резания и уменьшением шероховатости до оптимальной износостойкость и коррозионная стойкость увеличиваются. Усталостная прочность повышается с увеличением степени и глубины наклепа, а также с повышением остаточных напряжений сжатия.

При увеличении подачи шероховатость обработанной поверхности повышается, глубина наклепа возрастает. Увеличение подачи способствует также увеличению остаточных напряжений и уменьшению износостойкости и коррозионной стойкости, усталостная прочность в этом случае повышается.

Применение инструментов с отрицательными передними углами  $\gamma$  от  $-15$  до  $-45^\circ$  способствует образованию в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия и повышению усталостной прочности. Увеличение зоны соприкосновения инструмента с обработанной поверхностью детали приводит к повышению трения, увеличению шероховатости обработанной поверхности (до  $Ra \approx 6,3$  мкм).

При увеличении заднего угла  $\alpha$  в пределах  $3 \div 15^\circ$  глубина наклепа уменьшается. На износостойкость материала задний угол не оказывает существенного влияния, при углах в пределах от  $3$  до  $15^\circ$  усталостная прочность может незначительно снижаться.

При увеличении главного угла  $\phi$  в плане от  $30$  до  $60^\circ$  шероховатость обработанной поверхности возрастает, при черновой обработке – значительно, а при отделочной – до  $Ra = 1,6 \div 3,2$  мкм. Уменьшение главного угла  $\phi$  в плане от  $90$  до  $45^\circ$  вызывает уменьшение глубины наклепа и снижение усталостной прочности. При увеличении вспомогательного угла  $\phi_1$  в плане шероховатость поверхности увеличивается, при черновой обработке – до  $Ra \approx 16$  мкм, а при от-

делочной – до  $Ra \approx 1,6 \div 3,2$  мкм. При неблагоприятном угле  $\lambda$  наклона режущей кромки могут возникнуть царапины обработанной поверхности сходящей стружкой. Увеличение радиуса  $r$  закругления резца в пределах от 0,5 до 4 мм снижает шероховатость обработанной поверхности; износостойкость повышается в пределах оптимальной шероховатости, усталостная прочность увеличивается.

Шероховатость обработанной поверхности возрастает (до  $Ra = 6,3 \div 12,5$  мкм) по мере затупления инструмента. Применение тщательно доведенного инструмента способствует уменьшению глубины наклепа. Износостойкость и усталостная прочность изменяются до установленных оптимальных значений шероховатости и наклепа. Увеличение радиуса  $r$  закругления режущей кромки способствует увеличению глубины наклепа и остаточных напряжений. С увеличением глубины наклепа и остаточных напряжений усталостная прочность повышается.

Явление слипаемости материала заготовки с передней поверхностью инструмента приводит к увеличению высоты микронеровностей и, наоборот, при использовании твердосплавных и керамических резцов шероховатость снижается.

С повышением твердости обрабатываемого материала уменьшается объем металла, подвергаемого пластической деформации, а усталостная прочность повышается. При обработке малоуглеродистой стали мелкозернистой структуры на малых скоростях образуется менее шероховатая поверхность. При обработке на высоких скоростях шероховатость поверхности снижается.

В производственных условиях шероховатость обработанных поверхностей оценивают методом сравнения с образцом. Для этого обработанную деталь аттестуют по качеству поверхности в лабораторных условиях, а затем она служит эталоном при контроле качества обработки аналогичных деталей.

На шероховатость поверхности влияет жесткость технологической системы. Различная жесткость в сечениях заготовки, обусловленная условиями ее закрепления, вызывает появление неодинаковой шероховатости обработанной поверхности. При консольном закреплении вала (рис. 3 а) шероховатость по-

верхности повышается на свободном конце вала; при обработке вала в центрах с вращающимся задним центром (рис. 3.3, б) шероховатость поверхности повышается у заднего центра при длине вала  $L$  до  $15d$ , а при большой длине вала повышается от заднего центра к середине его длины и затем уменьшается по мере приближения к переднему центру. Неординарность шероховатости поверхности, определяемая отношением  $Ra_{max} / Ra_{min}$ , может достигать 2-3.

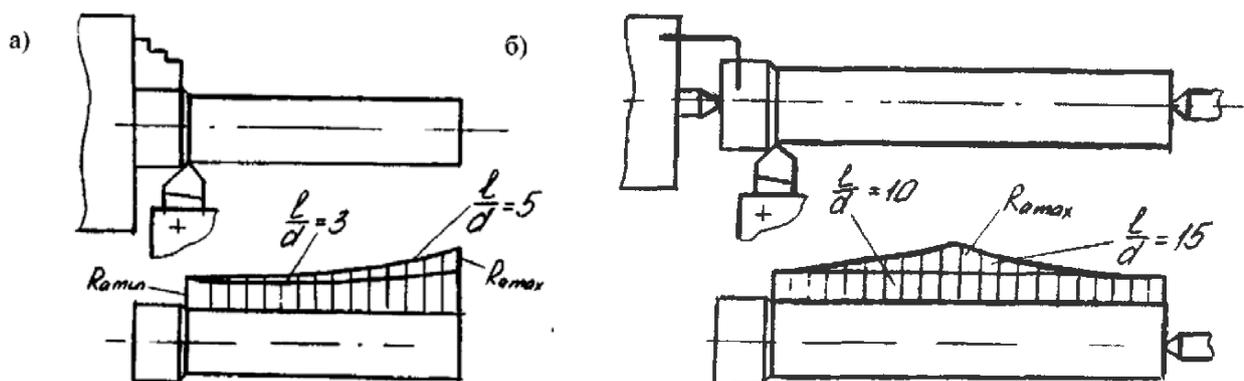


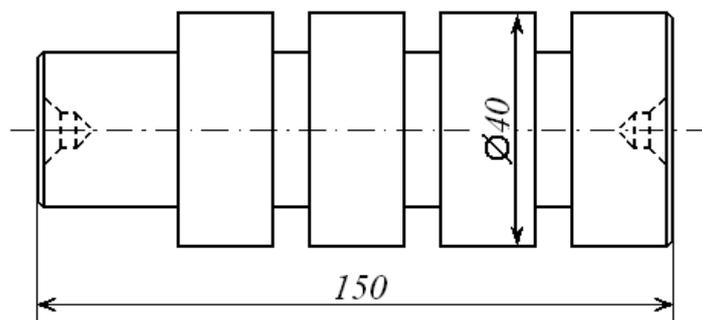
Рис. 3.3. Влияние способа установки заготовки при обработке на шероховатость поверхности

Вибрации элементов технологической системы периодически изменяют положение режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности, создавая на ней выступы и впадины. В зависимости от частоты и амплитуды колебаний изменяются форма и размеры неровностей.

Зная влияние технологических факторов на шероховатость поверхности, можно назначить условия обработки, обеспечивающие достижение заданной шероховатости поверхности.

### ***Последовательность выполнения работы***

1. Установить в центрах станка заготовку из углеродистой стали  $\sigma_b = 500$  МПа, диаметром 40 мм, длиной 150 мм, разделенную канавками на 5 равных по длине частей, из которых одна часть служит для установки в 3-х кулачковом патроне, а остальные обрабатываются (рис. 3.4).



*Рис. 3.4. Заготовка*

2. Установить в резцедержателе суппорта резец с пластинкой Т15Кб.
3. Установить необходимый режим резания  $t = 1,5$  мм и  $V = 120$  м/мин. Подача изменяется по ступеням следующим образом  $S = 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8$  мм/об ( $V$  и  $S$  берутся ближайšie к указанным из числа имеющихся на станке).
4. Проточить первый участок валика (до выхода резца в канавку).
5. Установить следующую подачу и проточить второй участок валика.
6. Повторить п. 5 для всех указанных подач. Качество обработанной поверхности для каждой величины подачи измеряется профилометром П42, П43 завода «Калибр» или сравнивается с образцами шероховатости. Результаты измерения записываются в виде отдельной таблицы и представляются графически.
7. Определение влияния на качество обработанной поверхности скорости резания  $V$  производится на этом же образце при глубине резания 1,5 мм, подаче 0,3 мм/об. Скорость изменяется  $V = 50; 100; 150; 200$  м /мин. Порядок проведения исследований остается тот же, что и при изменении подачи. Соответствующий каждому значению скорости резания параметр шероховатости поверхности записывается в виде таблицы и графика.

### ***Содержание отчета***

1. Наименование и цель работы.
2. Наименование станка, модель.
3. Тип резца.
4. Марка обрабатываемого материала и эскиз заготовки.
5. Данные об измерительных приборах.

6. Результаты опытов представить в виде таблицы.

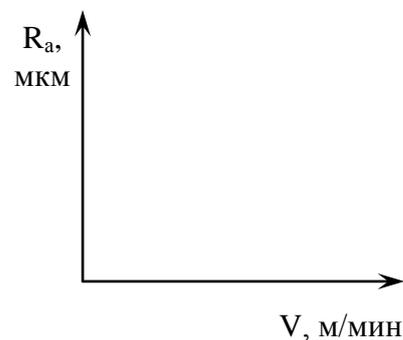
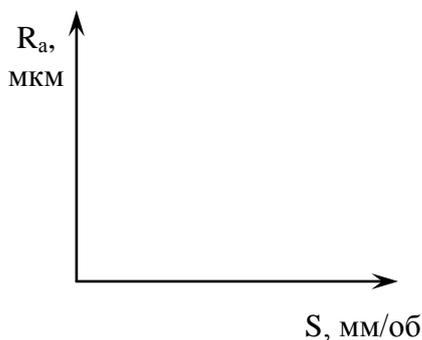
7. Графики зависимости шероховатости обработанной поверхности от скорости резания и подачи.

8. Сделать выводы по работе. В выводах следует отметить, изменение какого из элементов режима резания ( $V$ ,  $S$ ) оказывает наибольшее влияние на шероховатость поверхности и как выбрать режим обработки, обеспечивающий наибольшую производительность с наименьшим ущербом для качества обрабатываемой поверхности.

Таблица 1

№	Диаметр заготовки $D$ , мм	Геометрические параметры резца			Глубина резания $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Число оборотов $n$ , мин <sup>-1</sup>	Скорость резания $V$ , м/мин	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм
		$\gamma$	$\alpha$	$\phi$					
<b>Влияние подачи</b>									
1.									
2.									
3.									
4.									
<b>Влияние скорости</b>									
1.									
2.									
3.									
4.									

Графики зависимостей



Выводы:

**Оборудование, материалы, инструмент**

1. Токарно-винторезный станок 16К20.

2. Резец проходной. Материал режущей части резца – Р6М5 или Т15К6.
3. Заготовка – цилиндрический валик, разделенный на отдельные участки кольцевыми канавками из стали 45.
4. Образцы шероховатости.
5. Штангенциркуль ШЦШ-250 ц. д. 0,1.

### ***Контрольные вопросы***

1. Как формируется шероховатость поверхности при токарной обработке?
2. Какие элементы режима резания оказывают влияние на шероховатость и как?
3. Какие геометрические параметры резца влияют на шероховатость поверхности?
4. Как зависит шероховатость поверхности от жесткости технологической системы СПИД?
5. Каково положительное влияние СОЖ на качество обработанной поверхности?
6. Как назначить условия обработки, обеспечивающие достижение заданной шероховатости поверхности?

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕФОРМАЦИИ ИЗДЕЛИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ СИЛ РЕЗАНИЯ**

***Цель работы:*** Изучить влияние сил резания на точность обработки изделия. Определить погрешность формы при чистовом точении нежесткого вала, закрепленного в патроне и поддерживаемого центром задней бабки.

### ***Общие теоретические сведения***

*Погрешностью* обработки называется отклонение действительных размеров и формы обработанной детали от заданных.

Основными причинами возникновения погрешностей обработки являются следующие:

- упругие деформации системы станок – приспособление – заготовка – инструмент;
- низкая точность станка;
- неточность настройки инструмента или погрешности в его изготовлении;
- неточность кинематической настройки цепей станка;
- температурные деформации узлов станка, заготовки и режущего инструмента;
- погрешности показаний измерительных средств;
- износ режущего инструмента;
- неточность приспособления;
- большие отклонения от заданной формы поверхностей у исходной заготовки;
- неверно выбранное базирование;
- нежесткое закрепление заготовки или режущего инструмента.

Погрешности, возникающие по различным причинам, в конечном счете определяют точность обработки.

Если после обработки заготовки на токарном станке полученная деталь имеет погрешности формы и размеров, то необходимо проанализировать возможные причины их возникновения. Следует помнить, что *погрешность размера устранить проще, чем погрешность формы*. Приведем пример обработки вала в центрах на токарном станке.

Под действием радиальной составляющей силы резания  $P_y$  заготовка отжимается. Наибольший отжим, а следовательно, и наибольшее отклонение от заданного размера будут посередине. В результате форма детали получается бочкообразной (рис. 4.1). Уменьшить погрешность формы можно, применив люнет, увеличив главный угол в плане у резца.

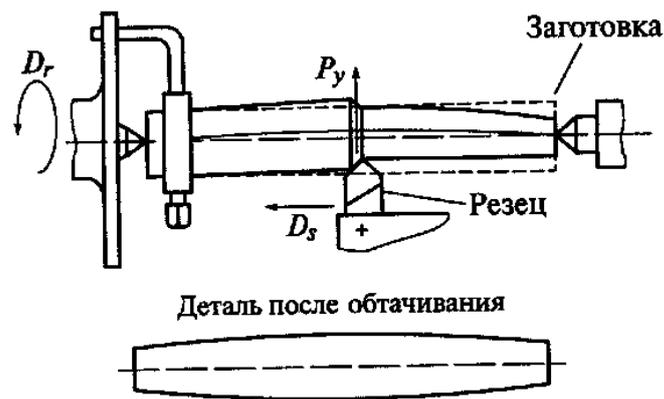


Рис. 4.1. Отжим под действием радиальной составляющей силы резания  $P_y$

У токарного станка жесткость передней и задней бабок различна. Задняя бабка имеет значительно меньшую жесткость, чем передняя, поэтому отжатие заготовки около задней бабки может быть больше, чем отжатие сечений заготовки возле передней бабки. Таким образом, у детали вместо цилиндрической поверхности получается обратная конусность. Опытные рабочие, сделав один проход, открепляют и переставляют вал, после чего отклонение от цилиндрической формы становится меньше, однако точной формы цилиндра получить уже нельзя.

Искажение формы может происходить и при растачивании отверстий у тонкостенных деталей – втулок, колец. При закреплении тонкостенных заготовок возникают упругие деформации. После окончания токарной обработки и открепления детали упругие деформации восстанавливаются и отверстие теряет форму окружности.

Комплексным показателем отклонения формы цилиндрических деталей является отклонение от цилиндричности. Однако ввиду отсутствия приборов, контролирующих этот параметр, на практике используют такие показатели, как отклонение от круглости и отклонение профиля продольного сечения цилиндрической поверхности.

Основными видами отклонений от круглости являются овальность (рис. 4.2, а) и огранка (рис. 4.2, б).

Различают следующие виды отклонений профиля в продольном сечении: конусообразность (рис. 4.2, в); бочкообразность (рис. 4.2, г); седлообразность (рис. 4.2, д); отклонение от прямолинейности оси цилиндра в пространстве (рис. 4.2, е).

Дефекты расположения и формы торцевой поверхности следующие: неплоскостность (выпуклость и вогнутость, рис. 4.2, ж), перпендикулярность торца к оси цилиндра (рис. 4.2, з).

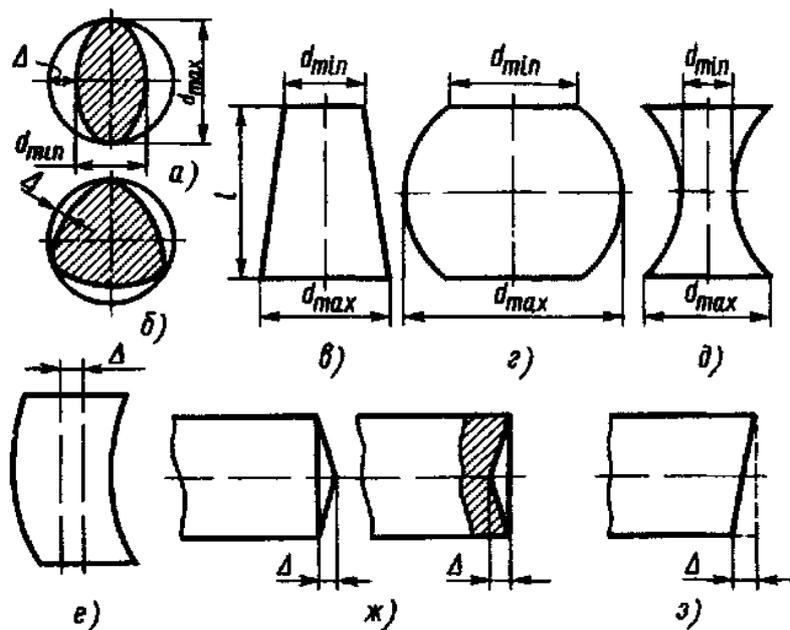


Рис. 4.2. Основные виды дефектов наружных цилиндрических и торцевых поверхностей: а – овальность; б – огранка; в – конусность; г – бочкообразность; д – седлообразность; е – отклонение от прямолинейности оси в пространстве; ж – выпуклость и вогнутость; з – неперпендикулярность торца к оси цилиндрической поверхности

Все виды дефектов цилиндрических и торцевых поверхностей обусловлены наличием случайных и систематических погрешностей динамической системы станка, на котором обрабатывают детали.

Можно рассмотреть еще один пример, когда овальность опорных шеек шпинделя приводит к овальности обработанной детали в поперечном сечении. Исправить эту погрешность формы можно, обработав эту деталь на более точном станке сначала получистовым проходом, а затем чистовым. Однако получить круглое поперечное сечение почти невозможно, так как каждый раз при

обработке глубина резания при обточке сечения будет различной, и там, где она больше, возникают большие силы резания, а следовательно, будут возникать и большие отжатия. Предыстория состояния поверхности будет повторяться.

Вот почему желательно получать исходную заготовку для обработки на станках с равномерным припуском и формой, приближенной к форме будущей детали.

При точении нежесткого вала, закрепленного в патроне и поджатого центром задней бабки, под влиянием составляющей  $P_z$  силы резания, вал будет прогибаться в вертикальном направлении на величину  $f_1$ . При этом ось вала переместится из положения “O” в “O<sub>1</sub>” (рис. 4.3). Под влиянием составляющей  $P_y$  силы резания вал будет прогибаться в горизонтальном направлении на величину  $f_2$ .

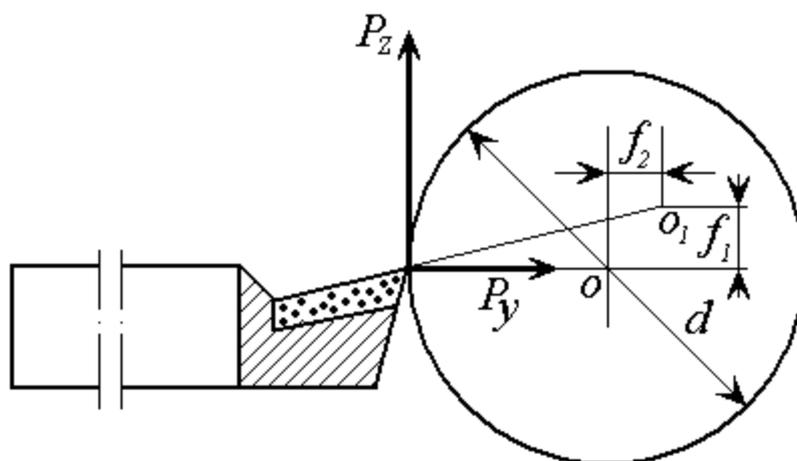


Рис. 4.3. Схема перемещения оси вала под действием сил резания

Величины прогиба  $f_1$  в вертикальной и  $f_2$  в горизонтальной плоскости определяются по формулам:

$$f_1 = \frac{P_z \cdot l^3}{140 \cdot E \cdot I} \quad \text{и} \quad f_2 = \frac{P_y \cdot l^3}{140 \cdot E \cdot I} = \frac{K_y \cdot P_z \cdot l^3}{140 \cdot E \cdot I},$$

где  $P_z$  и  $P_y$  – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;

$K_y$  – коэффициент, характеризующий отношение  $P_y/P_z$ ;

$l$  – длина вала, мм;

$E$  – модуль упругости, МПа,  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа;

$I$  – момент инерции сечения,  $\text{мм}^4$ ,  $I = 0,05 \cdot d^4$ ;

$d$  – диаметр вала после точения, без учета прогибов, мм.

Тангенциальная составляющая силы резания:

$$P_z = C_{pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot s^{Y_{pz}} \cdot V^{Z_{pz}} \cdot K_{pz}.$$

При обработке заготовки из стали 45 проходным резцом, оснащенным пластинкой твердого сплава Т15К6, с углом в плане  $\phi = 45^\circ$  и радиусом закругления вершины резца  $r = 1$  мм принимаются следующие значения коэффициентов и показателей степеней  $C_{pz} = 300$ ,  $X_{pz} = 1$ ,  $Y_{pz} = 0,75$ ,  $Z_{pz} = -0,15$ ,  $K_{pz} = 1$ ,  $K_y = 0,5$ .

Радиус вала после точения без учета прогибов должен быть равен:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{d_0 - 2t}{2},$$

где  $d_0$  – диаметр вала до точения, мм;

$t$  – глубина резания, мм.

По мере перемещения резца вдоль оси обрабатываемого вала под действием сил резания величины прогибов будет изменяться, увеличиваясь от заднего центра к середине вала, а затем уменьшаясь к переднему центру, вследствие чего и будет изменяться диаметр вала.

Максимальную величину диаметра вала в среднем сечении с учетом прогибов можно определить:

$$d_{\max} = 2\sqrt{(r + f_2)^2 + f_1^2}.$$

Действительное и расчетное отклонения профиля продольного сечения  $\Delta\phi$  вала определяется по формулам:

$$\Delta\phi_d = \frac{d_d - d_{\text{ср}}}{2} \quad \Delta\phi_{\text{расч}} = \frac{d_{\max} - d}{2},$$

где  $d_d$  – измеренный диаметр в среднем сечении после точения.

$$d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{пб}} + d_{\text{зб}}}{2},$$

где  $d_{\text{пб}}$  – измеренный диаметр вала после точения у передней бабки;

$d_{\text{зб}}$  – измеренный диаметр вала после точения у задней бабки.

### *Последовательность выполнения работы*

1. Ознакомьтесь со всеми разделами руководства.
2. Ознакомьтесь с графами журнала отчета и порядком ее заполнения.
3. Установите и закрепите резец в резцедержателе, вылет резца 30 ... 40 мм.
4. Установите на станке режимы резания:  $n = 500$  об/мин,  $S = 0,1$  мм/об.
5. Включите вращение шпинделя станка и настройте по нониусу станок на глубину резания  $t = 0,5$  мм.
6. Включите продольную подачу и проточите вал на длину  $l = 500$  мм.
7. Измерьте диаметры вала в трех сечениях (у передней, задней бабок и среднем сечении) в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Средне-арифметическое значение в каждом сечении по двум измерениям диаметров примите за действительные размеры.
8. Занесите данные в таблицы 1, 2, 3, 4.

Таблица 1

Диаметр вала до точения $d_o$ , мм	Диаметр вала после точения $d$ , мм	Резец с твердосплавной пластинкой T15K6				Режимы резания			
		$\gamma$	$\phi$	$\lambda$	$r$	$t$	$s$	$n$	$V$

Измерить диаметры у передней бабки и записать в таблицу 2.

Таблица 2

Диаметры у передней бабки в двух взаимно перпендикулярных направлениях		Средний диаметр у передней бабки $d_{н.ср} = \frac{d_{н1} + d_{н2}}{2}$
$d_{н1}$	$d_{н2}$	

Измерить диаметры в среднем сечении и записать в таблицу 3.

Таблица 3

Диаметры в среднем сечении в двух взаимно перпендикулярных направлениях		Средний диаметр в среднем сечении $d_{с.ср} = \frac{d_{с1} + d_{с2}}{2}$
$d_{с1}$	$d_{с2}$	

Измерить диаметры у задней бабки и записать в таблицу 4.

Таблица 4

Диаметры у задней бабки в двух взаимно перпендикулярных направлениях		Средний диаметр у задней бабки $d_{з.ср} = \frac{d_{з1} + d_{з2}}{2}$
$d_{з1}$	$d_{з2}$	

По этим данным рассчитать действительное отклонение профиля продольного сечения с  $\Delta\phi$  по формуле:

$$\Delta\phi_d = \frac{d_d - d_{ср}}{2},$$

где  $d_d$  – диаметр вала, измеренный в среднем сечении после точения.

$$d_{ср} = \frac{d_{нб} + d_{зб}}{2}.$$

9. Вычертите эскиз заготовки до и после обработки. Полученные погрешности после обработки изобразите на эскизе в утрированном (увеличенном) виде.

10. Обработайте результаты экспериментальных исследований и сравните их с расчетными данными:

- Определите аналитически величину тангенциальной составляющей силы резания.
- Рассчитайте прогибы вала в вертикальной  $f_1$  и горизонтальной  $f_2$  плоскостях.
- Определите расчетом максимальный диаметр и отклонение профиля продольного сечения вала после точения.
- Определите действительное отклонение профиля продольного сечения вала после точения.
- Сравните расчетное отклонение профиля продольного сечения с действительным после обработки и определите в процентах разность между расчетным и действительным отклонениями профиля вала по формуле:

$$\frac{\Delta\Phi_d - \Delta\Phi_{расч}}{\Delta\Phi_d} \cdot 100\%.$$

11. Сделайте вывод по работе.

В выводах отразите, какая погрешность формы образуется при чистовом точении нежесткого вала.

## ***Содержание отчета***

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Наименование станка, модель.
3. Режущий инструмент.
4. Эскиз вала (заготовки) до и после обработки.
5. Данные о средствах измерения (наименование, цена деления).
6. Режимы резания.
7. Таблица результатов экспериментов.
8. Обработанные результаты эксперимента и сравнения их с расчетными данными.
9. Результаты замеров деталей.
10. Выводы по выполненной лабораторной работе.

## ***Оборудование, материалы, инструмент***

1. Токарно-винторезный станок 16К20.
2. Заготовка – гладкий цилиндрический вал из стали 45 диаметром 20...40 мм, зацентрованный с одного конца.
3. Режущий инструмент – резец проходной. Сечение державки 20×25. Материал режущей части – Т15К6.
4. Микрометр (МК) 25-40 мм, ц.д. 0,01 мм.

## ***Контрольные вопросы***

1. Какие валы считаются нежесткими?
2. Почему действительный размер диаметра после точения нежестких валов не будет удовлетворять равенству  $d_d > d_o - 2t$ ?
3. Какие погрешности образуются при точении на токарном станке нежесткого вала под влиянием усилий резания?
4. Каковы способы уменьшения образуемых погрешностей при обработке нежестких валов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** Изучение производственного метода определения жесткости токарного станка.

### *Общие теоретические сведения*

Определение жесткости токарного станка производственным методом основано на обработке заготовки с неравномерным припуском. Неравномерный припуск при обработке может быть получен за счет эксцентричного расположения заготовки, ее конусности или ступенчатости.

Величина упругого перемещения, возникающая на замыкающем звене размерной цепи системы СПИД, представляет собой алгебраическую сумму упругих перемещений, порождаемых станком  $Y_{cm}$ , обрабатываемой деталью  $Y_d$  и собственными деформациями режущего инструмента  $Y_p$ , то есть

$$Y_c = Y_{cm} + Y_d + Y_p.$$

Так как жесткость резца в радиальном направлении несоизмеримо велика по сравнению с жесткостью станка и обрабатываемой детали, то его деформацию можно не учитывать при расчетах. Если для проведения испытания использовать заготовку, жесткость которой также значительно превышает жесткость станка, то упругие перемещения заготовки тоже можно исключить из расчета. В этом случае величина упругого перемещения системы СПИД будет равна упругим перемещениям станка, то есть

$$Y_c = Y_{cm}.$$

Жесткость станка  $j_{cm}$  следует измерять отношением приращения  $\Delta P_y$  составляющей  $P_y$  силы резания к приращению перемещения  $\Delta Y$ , измеряемого в направлении ее действия:

$$j_{ст} = \frac{\Delta P_y}{\Delta Y}.$$

Радиальная составляющая  $P_y$  силы резания может быть выражена через главную (тангенциальную) составляющую  $P_z$  силы резания:

$$P_y = K_y \cdot P_z,$$

где  $K_y$  – коэффициент, характеризующий отношение  $\frac{P_y}{P_z}$ .

Сила  $P_z$  определяется по формуле

$$P = C_{p_z} \cdot t^{X_{p_z}} \cdot S^{Y_{p_z}} \cdot K_p,$$

где  $C_{p_z}$  – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала, материала режущей части инструмента и вида обработки;

$t$  – глубина резания, мм;

$S$  – подача, мм/об;

$K_p$  – обобщенный поправочный коэффициент;

$X_{p_z}, Y_{p_z}, Z_{p_z}$  – показатели степени при глубине, подаче и скорости резания.

Тогда

$$P_y = K_y C_{p_z} \cdot t^{X_{p_z}} \cdot S^{Y_{p_z}} \cdot V^{Z_{p_z}} K_p.$$

Изменение глубины резания от  $t_1$  до  $t_2$  при обработке ступенчатой заготовки вызывает соответственно изменение отжатий узлов станка от  $Y_1$  до  $Y_2$  (рис. 5.1).

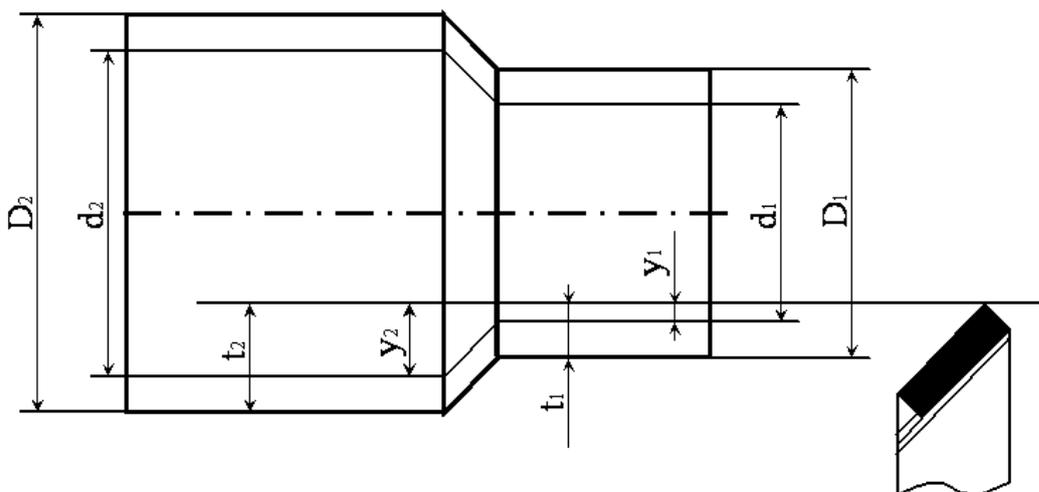


Рис. 5.1. Схема упругих перемещений, вызванных переменной глубиной резания

После подстановки и некоторых преобразований формула жесткости станка принимает вид:

$$j_{cm} = 0,5 \cdot 3000 \cdot S^{0,75} \cdot V^{-0,11} \cdot \left( \frac{t_2 - t_1}{Y_2 - Y_1} \right).$$

При обработке заготовки из стали 45 проходным резцом, оснащенным пластинкой твердого сплава T15K6, с углами  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  и радиусом закругления  $r = 1$  мм, значения коэффициентов и показателей степеней будут равны:  $C_{Pz} = 3000$ ;  $K_y = 0,5$ ;  $Y_{Pz} = 0,75$ ;  $X_{Pz} = 1$ ;  $Z_{Pz} = -0,11$  и  $K_P = 1$ .

Тогда

$$\gamma_{cm} = 0,5 \cdot 3000 \cdot S^{0,75} \cdot V^{-0,11} \cdot \left( \frac{t_2 - t_1}{Y_2 - Y_1} \right),$$

где  $t_2 - t_1 = \Delta_3$  – погрешность заготовки, мм;

$Y_2 - Y_1 = \Delta Y$  – погрешность обработанной детали, мм.

Отношение  $\frac{\Delta_3}{\Delta Y}$  является “уточнением”  $\varepsilon$ , которое можно найти по формуле:

$$\frac{D_2 - D_1}{d_2 - d_1},$$

Учитывая, что  $\varepsilon = \frac{\Delta_3}{\Delta Y}$ , окончательно получим:

$$j_{cm} = 1500 \cdot S^{0,75} \cdot V^{-0,11} \cdot \varepsilon.$$

Таким образом, для определения жесткости токарного станка производственным методом, при обработке ступенчатой заготовки, практически необходимо измерять погрешности заготовки до и после обработки.

### ***Последовательность выполнения работы***

*Порядок подготовки к работе:*

1. Ознакомьтесь со всеми разделами руководства. Непосредственно ознакомьтесь с устройством, принципом действия, режимами работы, органами

управления установки и ее составных частей, необходимых для выполнения работы.

2. Ознакомьтесь с графами журнала отчета по работе и порядком их заполнения.

3. Измерьте диаметры  $D_1$  и  $D_2$  на всех дисках заготовки.

*Порядок непосредственного выполнения работы:*

1. Установить и закрепить резец в резцедержателе. Вылет резца 30...40 мм.

2. Установите на станке режимы резания: скорость резания  $V = 50...60$  м/мин; подача  $S = 0,3...0,35$  мм/об.

3. Включите вращение шпинделя и настройте станок по нониусу на глубину резания  $t_0 = 0,5$  мм на ступени  $D_1$  диска, расположенного у задней бабки.

4. Включите продольную подачу и проточите диск.

5. Повторите действия, указанные в пунктах 2 и 3, для остальных дисков.

6. Измерьте диаметры  $d_1$  и  $d_2$  на трех дисках заготовки.

*Порядок окончания работы:*

1. Вычертите эскизы ступенчатой заготовки до и после обработки. Полученные погрешности после обработки изобразите на эскизе в утрированном (увеличенном) виде.

2. Рассчитайте жесткость станка в трех положениях суппорта: у задней и передней бабок и в середине.

3. Представьте преподавателю черновые записи по результатам выполнения работы.

4. Сделайте выводы по выполненной работе. В выводах по работе отразите, при каком положении суппорта жесткость станка наибольшая.

5. Приведите в исходное состояние лабораторную установку.

### ***Содержание отчета***

1. Наименование и цель работы.

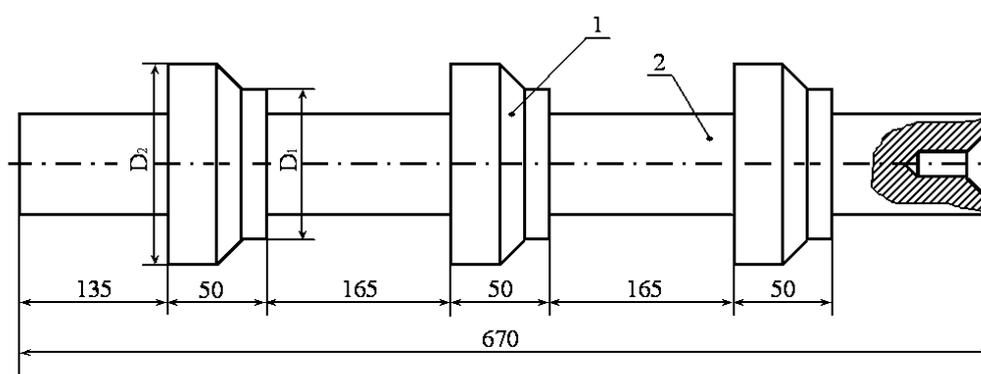
2. Наименование и модель станка.

3. Тип резца.

4. Эскизы заготовок до и после обработки. Марка материала.
5. Данные о средствах измерения (наименование, цена деления).
6. Режимы резания.
7. Таблица результатов экспериментов.
8. Расчеты жесткости станка в трех положениях суппорта.
9. Выводы по выполненной работе.

### ***Оборудование, материалы, режущий и измерительный инструмент***

1. Токарно-винторезный станок, оснащенный трехкулачковым патроном и задним вращающимся центром.
2. Резец 2100-0031 Т15К6 ГОСТ 18878-1993 г.
3. Заготовка в виде вала с тремя установленными и приваренными к нему дисками (рис. 5.2).
4. Средства измерения: микрометры гладкие с пределами измерения 75...100; 100...125; 125...150; 150...175; 175...200 мм предназначены для измерения диаметров дисков заготовки до и после их обработки.



*Рис. 5.2. Заготовка для определения жесткости токарного станка:  
1 – вал; 2 – обрабатываемый диск*

Общие сведения о конструкции и режимах работы установки:

1. Станок должен обеспечить следующий режим работы:  $V = 50...60$  м/мин;  $t = 0,5...5,5$  мм;  $S = 0,3...0,35$  мм/об.
2. Резец токарный проходной, прямой, правый, исполнение 1, сечение  $H \times B = 25 \times 20$  мм, оснащенный пластинкой твердого сплава Т15К6, с углами  $\varphi =$

$45^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  и радиусом закругления  $r = 1$  мм с пластиной из твердого сплава марки Т15К6.

3. Диски заготовки выполнены из углеродистой конструкционной стали 45, шириной 30...50 мм. Диаметры  $D_2$  дисков должны быть больше диаметров  $D_2$  на 6...10 мм.

4. Диски расположены по длине вала строго определенным образом: два предельно приближенными к концам вала, третий – посередине вала. Соответственно, диски служат для определения жесткости станка при положении суппорта у передней и задней бабок и в середине заготовки.

### ***Контрольные вопросы***

1. В чем сущность производственного метода определения жесткости станков?
2. От чего зависит величина упругих перемещений системы СПИД?
3. По каким соображениям в данной работе жесткость системы принимается равной жесткости станка?
4. Что такое жесткость, податливость?
5. Почему образовались ступеньки на дисках вала после обработки при одной настройке резца?
6. Какими основными путями можно увеличить жесткость системы СПИД?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА РЕЗЦА ОТ ПУТИ РЕЗАНИЯ**

***Цель работы:*** Ознакомление с видами износа и с определением размерного износа резца. Определение влияния изменения пути резания на размерный износ резца.

## Общие теоретические сведения

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с методом измерения износа. В технологии машиностроения изучается размерный износ инструмента, который непосредственно влияет на точность механической обработки и приводит к погрешностям формы и размеров обрабатываемой заготовки.

При этом износ измеряется по вершине инструмента в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности в сечении I-I (рис. 6.1). Стойкость инструмента, соответствующая определенной величине размерного износа, называется размерной стойкостью.

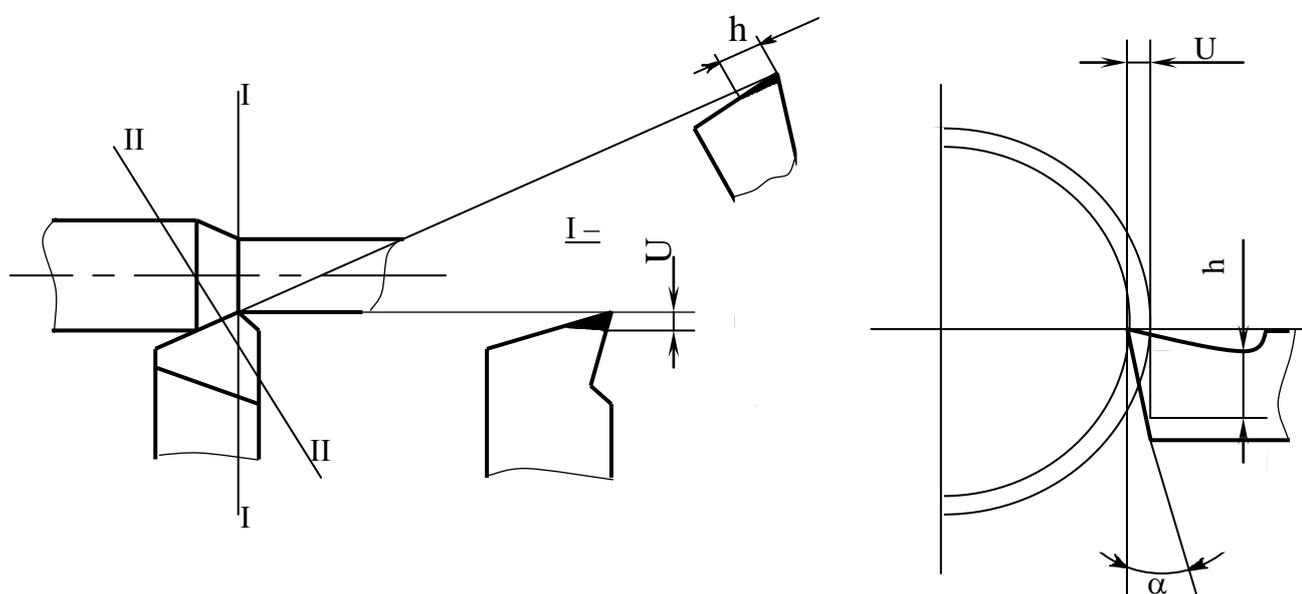


Рис. 6.1. Размерный износ режущего инструмента

В настоящее время существует несколько методов измерения износа инструмента. Наиболее точным являются прямые методы измерения, из которых одним из самых простых является метод измерения уменьшения размера от вершины режущего лезвия инструмента до определенной базовой поверхности или точки на инструменте, например, на оправке резца. Такое измерение можно проводить либо с помощью микроскопов, либо используя точные контактные приборы и специальные приспособления (рис. 6.2). Для исключения влияния температурных деформаций резца необходимо выдерживать постоянную температуру резца при его измерениях.

Интенсивность износа определяется величиной относительного износа  $U_0$ .

Относительным износом называется размерный износ режущего инструмента на 1000 м пути резания в зоне нормального износа.

$$U_0 = \frac{1000 \cdot U_2}{L_{\text{нор}}}, \text{ мкм/км}, \quad (6.1)$$

где  $U_2$  – величина размерного износа на участке нормального износа, мкм;

$L_{\text{нор}}$  – путь резания на участке нормального износа, км.

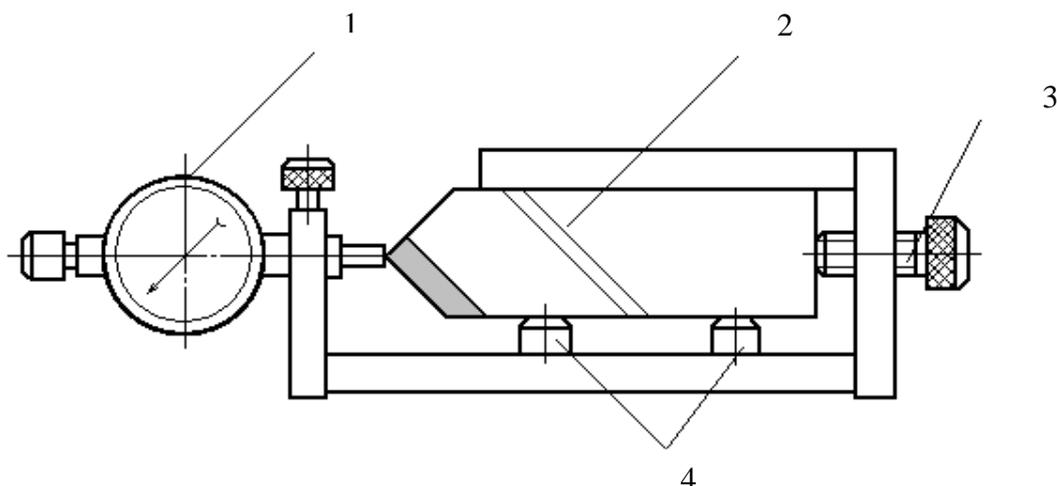


Рис. 6.2. Приспособление для измерения размерного износа реза:  
1 – индикатор; 2 – резец; 3 – упорный винт; 4 – упоры

Величина относительного износа зависит от метода обработки, материалов заготовки и режущего инструмента, режимов резания и параметров режущего инструмента (табл. 6.1).

Таблица 6.1

**Значения относительного износа резцов при чистовом точении  
и растачивании**

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Скорость резания, м/мин	Относительный износ, мкм/км
Сталь 3	P6M5	60	30
Сталь 20	P6M5	60	35
	T30K4	150	4,0
Сталь 45	T15K6	150	8,0
	P6M5	60	40
	T15K6	120	12,0
Сталь легированная	T15K6	480	20,0
	T30K4	135	8,5
			3,5

Величина износа режущего инструмента определяется по формуле:

$$U_2 = \frac{U_0 \cdot L_{\text{нор}}}{1000}, \text{ мкм} \quad (6.2)$$

где  $U_2$  – размерный износ режущего инструмента, мкм;

$L_{\text{нор}}$  – путь резания в зоне нормального износа, м.

Применительно к точению (расточиванию) путь резания определяется соотношением

$$L_{\text{нор}} = \frac{\pi \cdot d}{1000} \cdot \frac{l}{S}, \text{ м} \quad (6.3)$$

где  $d$  – диаметр обрабатываемой заготовки, мм;

$l$  – длина обрабатываемой заготовки (длина обработки), мм;

$S$  – подача, мм/об.

Экспериментально размерный износ можно определить, если последовательно следить за измерением расстояния от вершины резца до выбранной измерительной базы. При этом для исключения влияния температурных деформаций резца необходимо выдерживать постоянство температуры при его измерениях. Для этого перед каждым измерением резец выдерживают в ванне с водой постоянной температуры.

### ***Последовательность выполнения работы***

1. Установить и закрепить заготовку на токарном станке.
2. Опустить резец в ванну с водой и охлаждать его в течение 3 мин.
3. Установить резец в приспособление так, чтобы базовые плоскости державки резца плотно прилегали к установленным поверхностям приспособления (рис. 6.2).
4. Закрепить на кронштейне приспособления микронный индикатор. Измерительная поверхность плоского наконечника индикатора должна касаться вершины резца (натяг индикатора 0,1 мм). При таком положении резца индикатор поставить на нуль и снять резец.
5. Установить и закрепить резец в резцедержателе так, чтобы его продольная ось была перпендикулярна оси станка.
6. Настроить станок на заданный режим резания.

7. Пустить станок. Через 1 мин после начала работы отвести резец от заготовки и выключить станок. Снять резец со станка, охладить в ванне, установить в приспособление и измерить величину размерного износа как разность двух показаний индикатора. Перед установкой и снятием резца измерительный наконечник индикатора должен быть отведен от вершины резца.
8. Повторить указанные в п. 7 приемы для всех заданных в таблицу 6.2 интервалов времени. Результаты занести в таблицу 6.2.
9. Подсчитать путь резания по формуле (6.3) для всех точек.
10. Нанести точки с координатами и построить кривую износа резца.
11. Определить относительный износ по формуле (6.1).
12. Составить отчет.

### *Содержание отчета*

1. Сведения о токарном станке (модель, пределы чисел оборотов шпинделя, пределы подач, класс точности).
2. Марка обрабатываемого материала.
3. Марка материала инструмента.
4. Режимы резания ( $V$ ;  $S$ ;  $t$ ).
5. Данные об измерительных приборах (наименование прибора, индикатор, цена деления).
6. Приспособление для измерения размерного износа.
7. Результаты опытов (табл. 6.2).
8. Построить экспериментальную кривую размерного износа, выделяя на ней характерные участки.
9. Определить относительный (удельный) износ  $U_0$  и размерный износ  $U_2$ .
10. Дать количественную оценку погрешностей обработки, обусловленной размерным износом (в процентах к величине поля допуска ближайшего качества точности).
11. Выводы (с анализом факторов, влияющих на точность эксперимента).
12. Титульный лист работы оформить согласно приложению.

**Результаты эксперимента**

Параметры обработки	Время работы резца от начала опыта $T$ , мин				
	1	2	5	7	10
Длина резания от начала опыта, мм					
Путь резания $L$ от начала опыта, мм					
Размерный износ резца, мкм					

**Оборудование, материалы, режущий и измерительный инструмент**

1. Токарно-винторезный станок модели 16К20 (1К62).
2. Обрабатываемый материал – образец из конструкционной стали (см. табл. 6.1) длиной  $l = 500-800$  мм и  $D > 50$  мм.
3. Резцы проходные с режущей частью из Р6М5 или Т15К6 и геометрией:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  и радиусом закругления  $r = 0,3 \div 0,5$  мм.
4. Индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое размерный износ?
2. Как изменится размерный износ от пути резания?
3. В какие периоды резания износ наиболее интенсивен? На каком участке износ пропорционален пути резания?
4. Какие факторы вызывают размерный износ?
5. Каковы основные пути уменьшения погрешностей, вызванных размерным износом?

**Редактор**  
***И. В. Юматова***

**Ведущий инженер**  
***Г. А. Чумак***

Подписано в печать 15.11.2010 г.  
Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 3,2.  
Тираж 50 экз. Заказ 38/588.

**Издательство Орского гуманитарно-технологического института  
(филиала) Государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»**

**462403, г. Орск Оренбургской обл., пр. Мира, 15 А**