

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Кемерово 2009

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет»

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ:

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кемерово 2009

УДК 621.7

Коллектив авторов:

Блюменштейн Валерий Юрьевич, Гергал Ирина Николаевна, Клецов Александр Алексеевич, Кузнецов Сергей Александрович, Кречетов Андрей Александрович, Останин Олег Александрович

Рецензенты:

Кафедра технологии машиностроения Московского государственного технического университета «МАМИ»

Доктор технических наук, профессор Московского государственного технического университета «МАМИ» М. В. Вартаков

Технология машиностроения: лабораторный практикум / В. Ю. Блюменштейн [и др.] ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2009. – 122 с. ISBN 978-5-89070-614-0

Приведены лабораторные занятия по курсу «Технология машиностроения», на которых студенты самостоятельно проводят экспериментальные исследования, направленные на раскрытие теоретических положений. Лабораторные занятия помогут студентам правильно понять принцип органического единства теории и практики.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» при изучении дисциплин «Технология машиностроения», а также может быть полезно магистрантам и аспирантам машиностроительных специальностей.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета.

УДК 621.7

© Кузбасский государственный
технический университет, 2009

ISBN 978-5-89070-614-0

© Коллектив авторов, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные занятия, на которых студенты проводят экспериментальные исследования, направленные на раскрытие теоретических положений, являются одним из основных видов учебной работы. Цель лабораторных занятий помочь студентам правильно понять принцип органического единства теории и практики.

Задачами проводимых занятий являются:

– формирование у будущих специалистов практических навыков обращения с изучаемыми объектами, лабораторным оборудованием и другими средствами эксперимента, привитие им навыков экспериментальной деятельности;

– обучение студентов приемам экспериментального подтверждения и проверки теоретических положений;

– освоение студентами методов планирования и проведения экспериментов, обработки и анализа полученных данных, оформления их результатов;

– развитие интереса у студентов к экспериментальным исследованиям и привитие навыков самостоятельной творческой работы.

Порядок проведения каждой работы характеризуется общей последовательностью: индивидуальное собеседование или контрольная работа по данной теме с целью выяснения степени подготовленности студентов к лабораторной работе; краткое объяснение преподавателем цели и задач работы; инструктаж по технике безопасности в соответствии с особенностями данной работы; изучение студентами методики проведения работы и выполнение предварительных расчетов; выполнение студентами работы под руководством преподавателя и при участии лаборанта; математическая обработка полученных результатов; оформление отчета; защита лабораторной работы.

На первом занятии преподаватель проводит вводный инструктаж по технике безопасности с регистрацией его в специальном журнале и личной росписью студента. При выполнении отдельных работ преподаватель инструктирует студентов в соответствии с особенностями проведения данной работы.

Перед началом работы необходимо привести в порядок рабочую одежду и рабочее место, ознакомиться с устройством оборудования и приборов, проверить исправность их работы, обо всех замечаниях сообщить лаборанту.

Во время работы необходимо надежно закрепить обрабатываемую заготовку на станке, применять режимы обработки, указанные в задании; перед остановкой отвести режущий инструмент от детали; выключить станок; убрать рабочее место.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – овладение навыками определения погрешностей геометрической точности токарно-винторезного станка.

В связи с этим содержанием работы является:

- ознакомление с методами определения погрешностей геометрической точности токарно-винторезного станка;
- определение погрешностей геометрической точности станка;
- сопоставление измеренных погрешностей станка с допустимыми погрешностями на его измерение.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Точность станка в ненагруженном состоянии называется геометрической точностью станка. Геометрическая точность станка является определяющим фактором точности обрабатываемых деталей, складывается из точности геометрической формы посадочных поверхностей отдельных элементов станка и точности изготовления их самих, точности вращения шпинделей, прямолинейности или плоскостности направляющих поверхностей, точности взаимного положения и движения узлов и элементов станка [1.7.3].

Погрешности геометрической точности станка полностью или частично переносятся на обрабатываемую заготовку в виде систематических погрешностей. Величина этих погрешностей поддается предварительному анализу и расчету, а следовательно, расчету поддаются и связанные с ним погрешности обрабатываемых деталей [1.7.3]:

1) при параллельности оси шпинделя токарного станка направляющим движения суппорта в горизонтальной плоскости цилиндрическая поверхность обрабатываемой заготовки, закрепленной в патроне станка, превращается в коническую. При этом

изменение радиуса r заготовки равно линейному отклонению α оси параллельности по отношению к направляющим на длине L детали, т.е.

$$r_{\text{н.д}} = r + \alpha; \quad (1.1)$$

2) при непараллельности оси шпинделя относительно направляющих в вертикальной плоскости обрабатываемая поверхность приобретает форму гиперboloида вращения, наибольший радиус которого

$$r_{\text{н.д}} = \sqrt{r^2 + b^2}, \quad (1.2)$$

где b – линейное отклонение шпинделя от параллельности по отношению к направляющим в вертикальной плоскости на длине L детали;

3) биение шпинделя токарного станка, вызываемое овальностью подшипников и опорных шеек шпинделя, искажает форму обрабатываемой заготовки в поперечном сечении. Овальность шеек шпинделя в этом случае переносится на заготовку, так как при ее обработке шейка шпинделя все время прижимается к определенным участкам поверхностей подшипников [1.7.2];

4) биение передних центров токарных станков при правильном положении оси шпинделя вызывает перекося оси обрабатываемой поверхности при сохранении правильной окружности в поперечном сечении детали. Причинами биения 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;

5) при биении переднего центра центровая линия (рис. 1.1) 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.

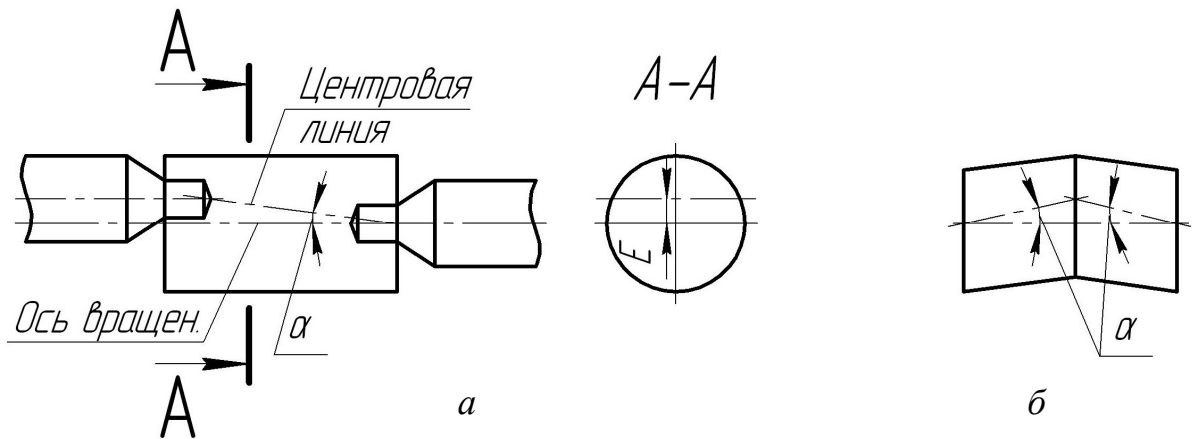


Рис. 1.1. Схема влияния биения переднего центра на точность обработки: *а* – погрешность при обточке за одну установку; *б* – погрешность при обточке за два участка

В результате обтачивания в поперечном сечении заготовки (сечение *A-A*) получается правильная округлость заданного радиуса, так как вращение заготовки происходит вокруг правильно расположенной и постоянной оси вращения шпинделя, но след центральной линии, соединяющей центровые отверстия детали, оказывается смещенным от центра сечения на расстояние *E*. После обработки заготовка приобретает форму цилиндра, ось которого наклонена по отношению к линии центровых отверстий на угол α . При этом

$$\sin \alpha = \frac{E}{L}, \quad (1.3)$$

где *E* – эксцентриситет переднего центра, мм;

L – длина заготовки, мм.

При обточке за две установки (с перевертыванием детали для перестановки поводкового хомутка) обработанная заготовка получается двуслойной с наибольшим углом пересечения осей, равным 2α (рис. 1.1, *б*):

б) отклонение от параллельности оси вращения шпинделя передней бабки по отношению к направляющим станины и вертикальной плоскости и отклонение от соосности осей шпинделя передней и задней бабок в вертикальной плоскости приводят к

изменению диаметра обрабатываемой детали (рис. 1.2) на величину ΔD

$$\Delta D = 2\Delta r = 2\left(\frac{h}{\sin \alpha} - R\right), \quad (1.4)$$

где h – погрешность одновысотности, мм;
 R – радиус обрабатываемой заготовки, мм;
 $\alpha = \arctg h/R$, рад.

Погрешности прямолинейности продольного перемещения суппорта вследствие силового замыкания суппорта через инструмент с обрабатываемой заготовкой непосредственно переносятся на обработанную деталь.

Методы проверки и нормы точности и жесткости токарных к токарно-винторезных станков определяются ГОСТ 18097–93.

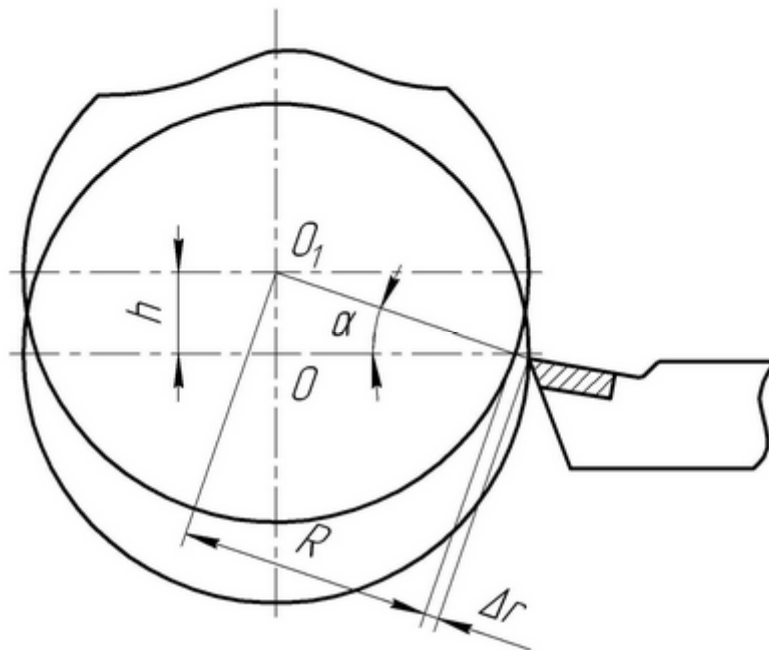


Рис. 1.2. Влияние отклонения от параллельности оси вращения шпинделя передней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости и отклонения от соосности осей шпинделя передней и задней бабок в вертикальной плоскости на точность диаметральных размеров обрабатываемой детали

1.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

В лабораторной работе используется:

- 1) токарно-винторезный станок модели 1К62;
- 2) индикатор часового типа многооборотный 1 МИГ, ГОСТ 9696–81, с ценой деления 1 мкм;
- 3) стойка магнитная для индикатора;
- 4) патрон трехкулачковый, ГОСТ 2675–80;
- 5) задний вращающийся центр типа А, ГОСТ 8742–75;
- 6) передний упорный центр, ГОСТ 13214–79;
- 7) контрольная оправка $\varnothing 50$ мм, $L = 500$ мм, материал – сталь 45, ГОСТ 1050–88.

1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.4.1. Проверка прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В центрах передней 4 (рис. 1.3) и задней 5 бабок устанавливает оправку 2 с цилиндрической измерительной поверхностью. На суппорте 1 для измерения в горизонтальной плоскости укрепляют индикатор 3 так, чтобы его измерительный наконечник касался боковой образующей оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей, а для измерения в вертикальной плоскости так, чтобы его измерительный наконечник касался верхней образующей оправки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

Создать предварительный натяг индикатора $0,05 \div 0,1$ мм.

1.4.1.1. Суппорт перемещают в продольном направлении на всю длину хода.

Занести в таблицу отчета максимальное и минимальное отклонения в каждой плоскости.

1.4.1.2. Определить погрешности, возникающие вследствие отклонений от прямолинейности, как разность показания индикатора.

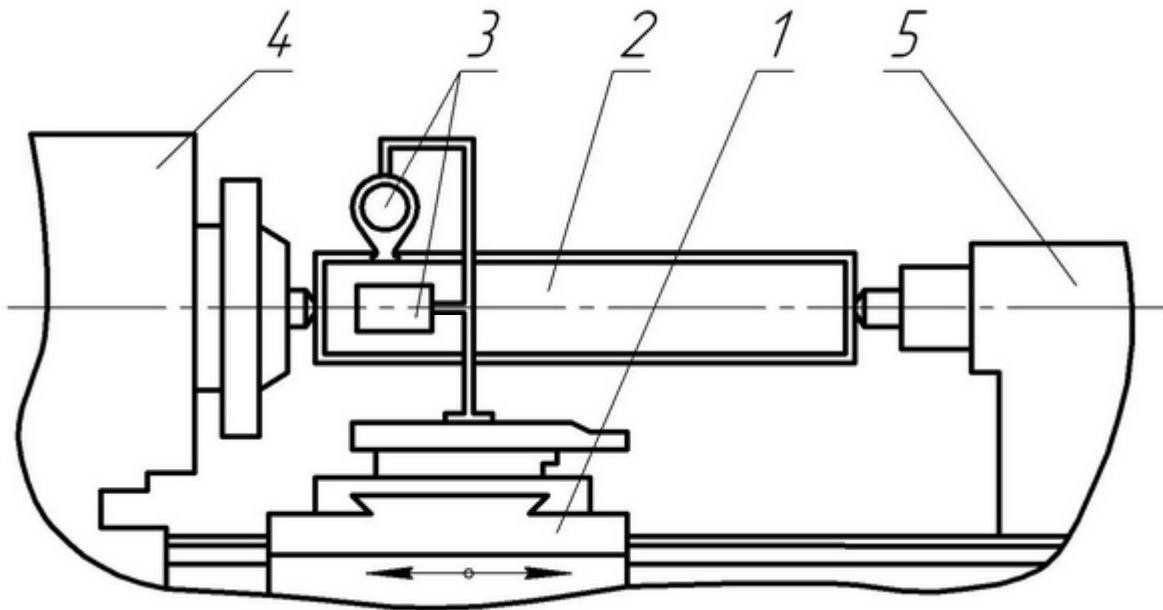


Рис. 1.3. Схема проверки прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскостях

$$\Delta_n^{\text{гор}} = \Delta_{\text{max}}^{\text{гор}} - \Delta_{\text{min}}^{\text{гор}} ; \quad (1.5)$$

$$\Delta_n^{\text{верт}} = \Delta_{\text{max}}^{\text{верт}} - \Delta_{\text{min}}^{\text{верт}} , \quad (1.6)$$

где $\Delta_n^{\text{гор}}$, $\Delta_n^{\text{верт}}$ – погрешности прямолинейности, возникающие в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно;

$\Delta_{\text{max}}^{\text{гор}}$, $\Delta_{\text{min}}^{\text{гор}}$ – максимальное и минимальное показания индикатора в горизонтальной плоскости соответственно;

$\Delta_{\text{max}}^{\text{верт}}$, $\Delta_{\text{min}}^{\text{верт}}$ – максимальное и минимальное показания индикатора в вертикальной плоскости соответственно.

1.4.1.3. Сравнить полученные погрешности прямолинейности с допустимыми, которые приведены в прил. 1.1.

1.4.2. Проверка одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости.

В центрах передней 1 (рис. 1.4) и задней 5 бабок устанавливают оправку 6 с цилиндрической измерительной поверхностью. На суппорте 4 устанавливают индикатор 3 так, чтобы его измери-

тельный наконечник касался измерительной поверхности и был направлен к оси оправки перпендикулярно верхней образующей.

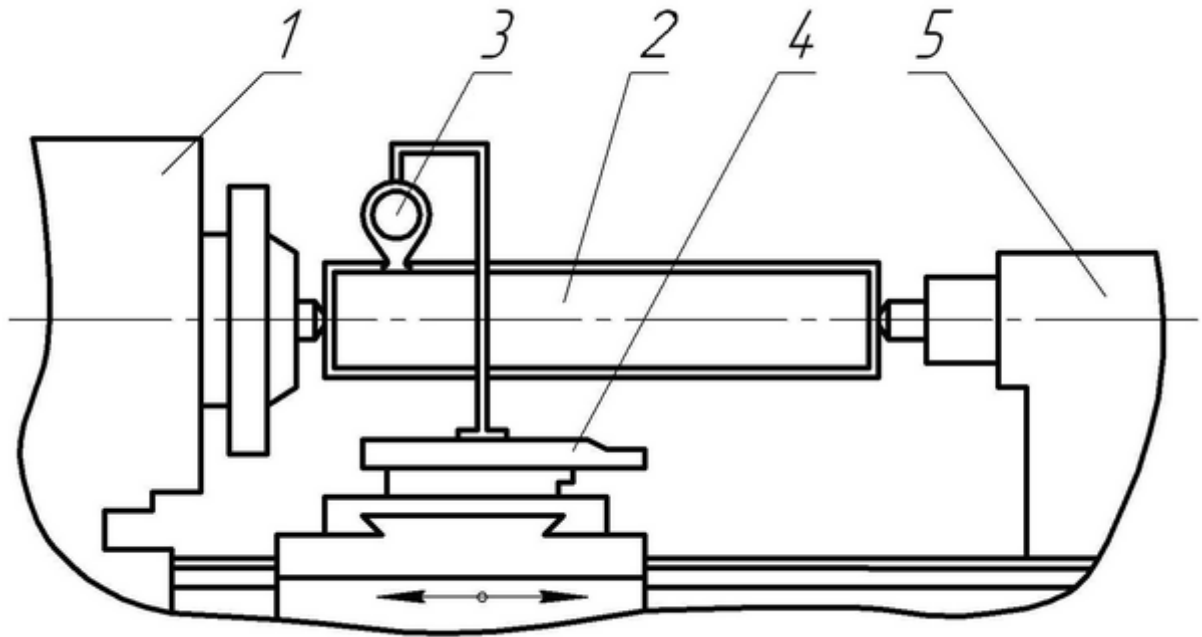


Рис. 1.4. Схема проверки одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли задней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости

1.4.2.1. Суппорт перемещают на длину оправки. После первого измерения шпиндель поворачивают на 180° и повторяют измерения.

1.4.2.2. Отклонения определяют как среднее арифметическое результатов двух указанных измерений, каждое из которых определяется алгебраической разностью показаний индикатора на концах оправки:

$$\Delta_0^{\text{верт}} = \frac{\left(\Delta_{1\text{шт}}^{\text{верт}} - \Delta_{1\text{пин}}^{\text{верт}} \right) + \left(\Delta_{2\text{шт}}^{\text{верт}} - \Delta_{2\text{пин}}^{\text{верт}} \right)}{2}, \quad (1.7)$$

где $\Delta_0^{\text{верт}}$ – отклонение от одновысотности в вертикальной плоскости;

$\Delta_{1шт}^{верт}$, $\Delta_{2шт}^{верт}$ – показания индикатора у шпинделя при первой и втором измерениях;

$D_{1пин}^{верт}$, $D_{2пин}^{верт}$ – показания индикатора у пиноли соответственно при первом и втором измерениях.

1.4.2.3. Данные занести в таблицу отчета, полученные отклонения сравнить с допустимыми из прил. 1.2.

1.4.3. Проверка параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта, проверяемого в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Суппорт 1 (рис. 1.5) и заднюю бабку 4 устанавливают в крайнее исходное положение на направляющих станины. Пиноль 3 вдвигают в заднюю бабку на 0,8 хода и зажимают. На суппорте укрепляют индикатор 2 так, чтобы его измерительная наконечник касался пиноли задней бабки и был направлен к ее оси перпендикулярно образующей.

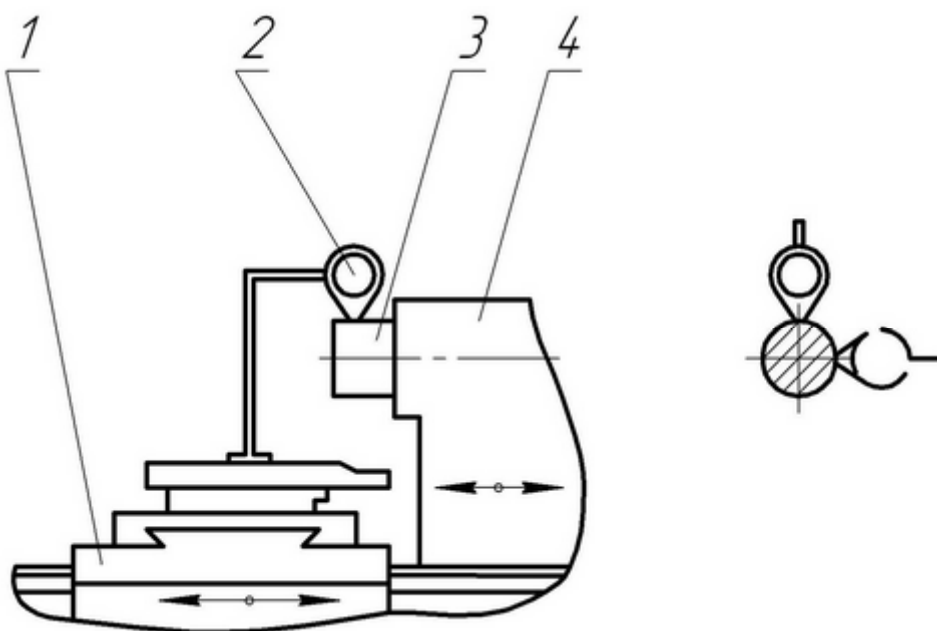


Рис. 1.5. Схема проверки параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях

1.4.3.1. Суппорт и заднюю бабку перемещают одновременно (при этом расстояние между суппортом и задней бабкой должно быть постоянно, для этого бабка жестко закрепляется с суппор-

том) на всю длину хода задней бабки с остановками для измерения не более чем через 0,3 длины хода.

1.4.3.2. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора при первоначальном и последующем положениях задней бабки и суппорта:

$$\Delta_{\text{шп}}^{\text{верт(гор)}} = \Delta_{\text{шпmax}}^{\text{верт(гор)}} - \Delta_{\text{шпmin}}^{\text{верт(гор)}} , \quad (1.8)$$

где $\Delta_{\text{шпmax}}^{\text{верт(гор)}}$ – максимальное показание индикатора в вертикальной (горизонтальной) плоскости;

$\Delta_{\text{шпmin}}^{\text{верт(гор)}}$ – минимальное показание индикатора в вертикальной (горизонтальной) плоскости.

1.4.3.3. Данные занести в таблицу отчета, полученное отклонение сравнить с допустимыми, определенными по таблице прил. 1.3.

1.4.4. Проверка краевого биения опорного буртика шпинделя передней бабки.

На неподвижной части станка укрепляют индикатор 1 (рис. 1.6) так, чтобы его измерительный наконечник касался опорного буртика шпинделя 2 на возможно большем расстоянии от центра и был перпендикулярен ему.

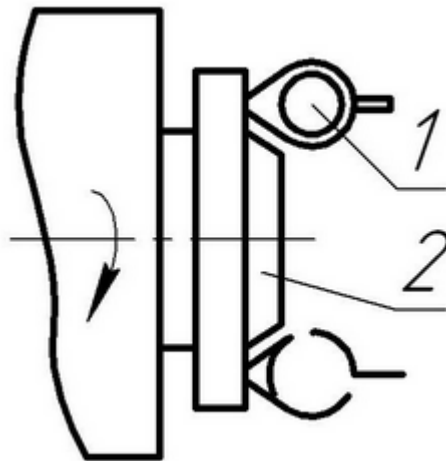


Рис. 1.6. Схема проверки торцевого биения опорного буртика шпинделя передней бабки

1.4.4.1. Шпиндель приводят во вращение (в рабочем направлении). Измерения производят в двух взаимно перпендику-

лярных плоскостях, в двух диаметрально противоположных точках поочередно.

При каждом измерении шпиндель должен сделать не менее двух оборотов.

1.4.4.2. Отклонения определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора в каждой плоскости:

$$\Delta_{\delta 1} = \Delta_{\max 1} - \Delta_{\min 1}; \quad (1.9)$$

$$\Delta_{\delta 2} = \Delta_{\max 2} - \Delta_{\min 2}, \quad (1.10)$$

где $\Delta_{\delta 1}$, $\Delta_{\delta 2}$ – биения в первой и второй плоскостях соответственно;

$\Delta_{\max 1}$, $\Delta_{\min 1}$ – показания индикатора максимальное и минимальное в первой плоскости измерения соответственно;

$\Delta_{\max 2}$, $\Delta_{\min 2}$ – показания индикатора максимальное и минимальное во второй плоскости измерения соответственно.

1.4.4.3. Результаты измерений и расчета занести в таблицу отчета, полученные погрешности сравнить с допустимыми, определенными по таблице прил. 1.4.

1.4.5. Проверка осевого биения ходового винта.

На неподвижной части станка укрепляют индикатор 2 так, чтобы его измерительный наконечник касался торца ходового винта 1 (рис. 1.7) у его центра (или поверхности шарика 3, вставленного в центровое отверстие ходового винта).

1.4.5.1. Ходовой винт приводят во вращение. Измерение проводят поочередно при обоих направлениях вращения ходового винта (при соответствующих направлениях осевой нагрузки, создаваемой рабочим давлением между винтом и гайкой при продольном перемещении суппорта).

При измерении ходовой винт должен сделать не менее 3-х оборотов.

1.4.5.2. Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность показаний индикатора:

$$\Delta_{\text{б.х.в}}^{\text{пр}} = \Delta_{\max}^{\text{пр}} - \Delta_{\min}^{\text{пр}}; \quad (1.11)$$

$$\Delta_{\text{б.х.в}}^{\text{об}} = \Delta_{\text{max}}^{\text{об}} - \Delta_{\text{min}}^{\text{об}}, \quad (1.12)$$

где $\Delta_{\text{б.х.в}}^{\text{пр}}$, $\Delta_{\text{б.х.в}}^{\text{об}}$ – биение ходового винта, измеренное соответственно при прямом и обратном вращении;

$\Delta_{\text{max}}^{\text{пр}}$, $\Delta_{\text{min}}^{\text{пр}}$ – соответственно максимальное и минимальное показания индикатора при прямом вращении ходового винта;

$\Delta_{\text{max}}^{\text{об}}$, $\Delta_{\text{min}}^{\text{об}}$ – соответственно максимальное и минимальное показания индикатора при обратном вращении винта.

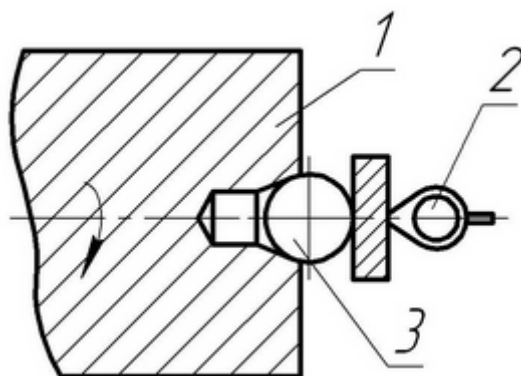


Рис. 1.7. Схема проверки осевого биения ходового винта

1.4.5.3. Результаты измерения и расчета занести в таблицу отчета, из погрешностей выбрать наибольшую и сравнить ее с допустимой, определенной по таблице прил. 1.5.

1.4.6. По формуле (1.4) рассчитать, к каким погрешностям обрабатываемого вала ($\varnothing 75h7$, $L = 800$ мм) приведут определенные вами на данном станке погрешности прямолинейности продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости и погрешности одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли задней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости.

Результатом расчета занести в таблицу отчета.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

При оформлении отчета необходимо руководствоваться правилами, установленными ГОСТ 2.105–95 «Общие требования к текстовым документам».

Результаты измерений и расчета заносятся в соответствующие графы таблицы отчета. Приводятся необходимые схемы из-

мерений, формулируется вывод по лабораторной работе, анализ полученных значений.

1.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется геометрической точностью станков?
2. Как влияют отклонения от геометрической точности станков на правильность геометрической формы и точность обрабатываемых деталей?
3. К каким погрешностям обрабатываемых деталей приводят такие отклонения от геометрической точности токарно-винторезного станка:
 - отклонение от параллельности оси шпинделя направлению движения суппорта;
 - биение шпинделя;
 - биение центров станка;
 - отклонение от одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки по отношению к направляющим станины;
 - отклонение от прямолинейности продольного перемещения суппорта;
 - осевое биение ходового винта;
 - торцовое биение опорного буртика шпинделя?
4. Чем регламентируются погрешности изготовления и сборки станков?
5. Как снизить влияние погрешностей геометрической точности станков на точность обрабатываемых деталей?

1.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.7.1. ГОСТ 18097–93. Станки токарные и токарно-винторезные, нормы точности и жесткости. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 33 с.

1.7.2. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с.

1.7.3. Технология машиностроения : в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.

Приложение 1.1

Допустимые отклонения от прямолинейности продольного перемещения суппорта в горизонтальной и вертикальной плоскости

Класс точности станка	Наибольшая длина перемещения, мм						
	До 125	Св. 126 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
	Допуск, мкм (в гор. пл-ти/ в верт. пл-ти)						
Н	6/10	3/12	10/16	12/20	16/25	20/30	25/40
П	4/6	5/8	6/10	8/12	10/16	12/20	16/25
В	3/4	3/5	4/6	5/8	6/10	8/12	10/16

Приложение 1.2

Допустимые отклонения от одновысотности оси вращения шпинделя передней бабки и оси отверстия пиноли задней бабки по отношению к направляющим станины в вертикальной плоскости

Класс точности станка	Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм		
	До 400	Св. 400 и 800	Св. 800 и 1600
	Допуск, мм		
Н	30	40	60
П	20	25	40
В	12	16	–

Приложение 1.3

Допустимые отклонения от параллельности перемещения задней бабки перемещению суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскостях

Класс точности станка	Длина перемещения, мм	
	До 500	Св. 500 до 20000
Н	30/20	40/25
П	20/12	25/16
В	18/2	16/10

Приложение 1.4

Допустимое торцевое биение опорного буртика шпинделя
передней бабки

Класс точности станка	Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм	
	До 400	Св. 400 до 800
	Допуск, мкм	
Н	16	20
П	10	12
В	7	7

Приложение 1.5

Допустимое торцевое биение ходового винта

Класс точности станка	Наименьший диаметр обрабатываемого изделия, мм		
	До 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 800
	Допуск, мм		
Н	6	8	10
П	4	5	7
В	2	3	5

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ, ВЫЗЫВАЕМЫХ УПРУГИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы:

- изучение влияния упругих отжатий в технологической системе под действием силы резания на точность обработки;
- изучение методов определения жесткости станка;
- экспериментальное определение жесткости токарно-винторезного станка и его составляющих узлов производственным методом;
- экспериментальное определение величины погрешностей механической обработки, вызываемых упругими отжатиями;
- расчет теоретических погрешностей обработки для конкретной детали по полученным данным.

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Погрешности механической обработки деталей на станках обуславливаются протеканием многих физических процессов во время работы. Одним из факторов, влияющих на точность обработки, является возникающая в процессе резания сила резания P , которая вызывает упругие деформации составляющих элементов технологической системы.

В результате замыкания размерной цепи технологической системы в процессе обработки упругие отжатия элементов системы вызывают отклонения настроечного размера, которые оцениваются как погрешность обработки.

Величина упругих смещений частей станка зависит от двух факторов: величины радиальной составляющей силы резания P и податливости системы.

Податливость – это способность системы деформироваться под действием внешних сил. На практике имеет важное значение другое свойство – жесткость. Жесткостью станка называется его

способность оказывать сопротивление силам, направленным на упругие перемещения элементов технологической системы. Количественной характеристикой жесткости является коэффициент жесткости:

$$j = \frac{P}{y}, \quad (2.1)$$

где y – величина упругих смещений, мм.

Вследствие различия конструкций, разного качества изготовления отдельных деталей, а также различия механических свойств материалов различные части станка и заготовка имеют разную жесткость. В общем случае для определения суммарной погрешности, возникающей вследствие упругих деформаций элементов технологической системы, используют расчетную схему, показанную на рис. 2.1.

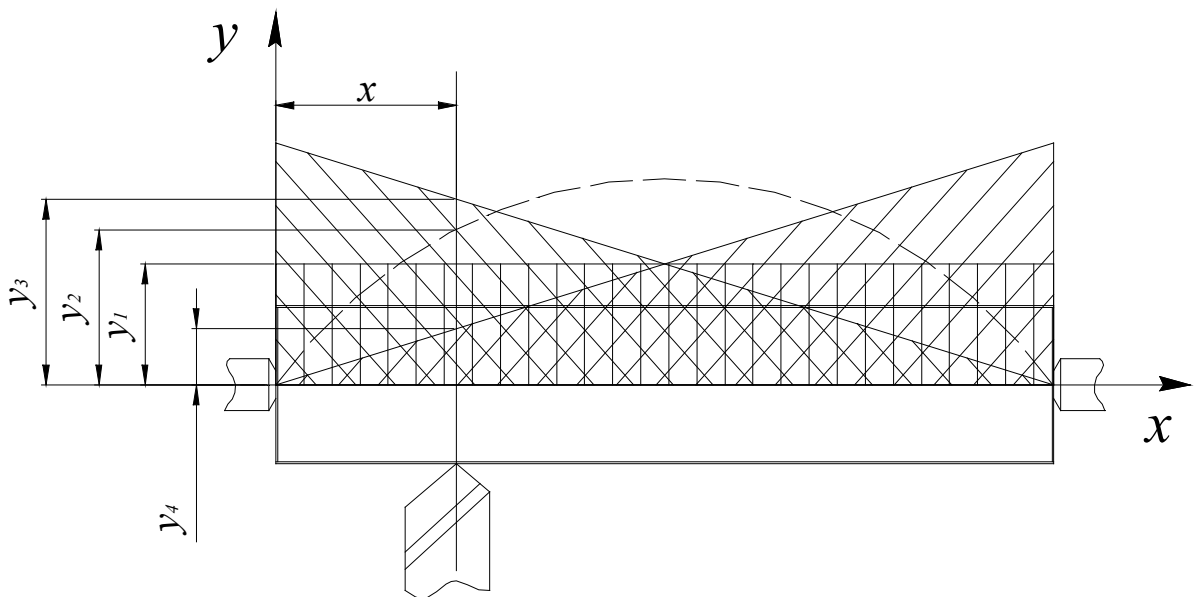


Рис. 2.1. Схема упругих отжятий технологической системы

В любом сечении x величина упругих отжятий определяется как сумма:

$$y_x = y_1 + y_2 + y_3 + y_4, \quad (2.2)$$

где y_1 , y_2 , y_3 , y_4 – отжатия суппорта, детали, передней и задней бабок соответственно.

Определение составляющих формулы (2.2) производится экспериментальным или расчетным методом. При расчете пользуются зависимостью (2.1), значение коэффициента жесткости для каждой части станка определяют экспериментально статическим или динамическим методом.

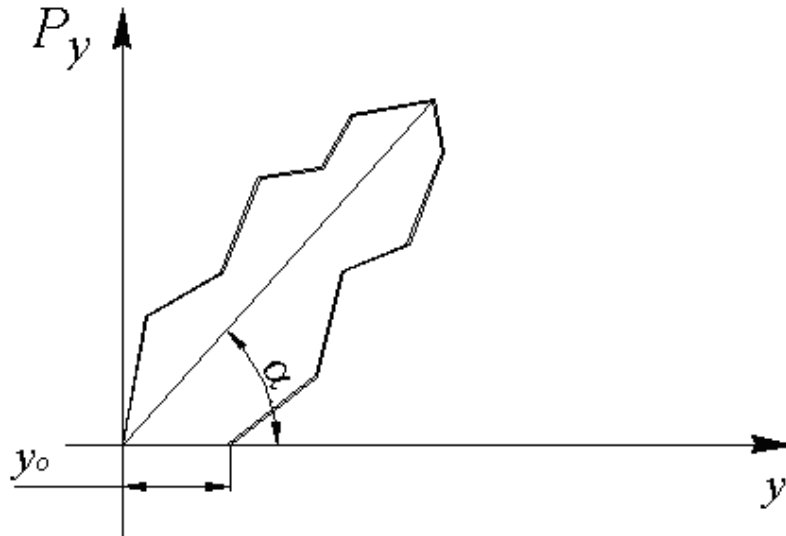


Рис. 2.2. Диаграмма «нагрузка – перемещение»

Статический метод основан на ступенчатом нагружении частей станка постоянной силой P и измерении соответствующих ей отжатым нагружаемых частей. На рис. 2.2 показана диаграмма нагружения одной из частей станка силой P . Величина y_0 характеризует остаточную деформацию в результате выбора зазоров и люфтов, а также некоторую величину пластических деформаций. Коэффициент жесткости $y = \operatorname{tg}(\alpha)$. Площадь под кривой характеризует работу нагружающей силы на упругих перемещениях.

Динамический (производственный) метод основан на сравнении остаточных погрешностей обработки заготовки с известными исходными погрешностями. При этом жесткость технологической системы определяется по формуле

$$j = \lambda C_{py} S^{0,75} \frac{\Delta_1}{\Delta_2}, \quad (2.3)$$

где $\lambda = \frac{P_y}{P_z}$ – коэффициент, зависящий от условий обработки;

C_{py} – коэффициент, учитывающий механические свойства материала;

S – подача, мм/об;

Δ_1 и Δ_2 – соответственно погрешности заготовки и детали, мм.

В качестве погрешностей могут выступать радиальное биение, конусность, погрешность диаметральных размеров валов, поэтому и способы определения жесткости различные.

В данной работе используется динамический метод определения жесткости по остаточному радиальному биению после точения эксцентрических колец.

2.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы необходимы:

- 1) токарно-копировальный станок модели 1Н722;
- 2) оправка для эксцентричных колец;
- 3) держатель для индикатора;
- 4) резец проходной с многогранной пластиной, ГОСТ 21151–85;
- 5) индикатор часового типа ИЧ-1 с ценой деления 0,01 мм;
- 6) индикатор часового типа 1 МИГ с ценой деления 0,001 мм;
- 7) заготовки колец, сталь 45, ГОСТ 1050–88.

2.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать оправку с эксцентричными кольцами (рис. 2.3) и установить на станок, закрепить в трехкулачковом патроне, поджать задним центром.

2. Установить индикатор с ценой деления 0,01 мм в держатель, закрепить держатель на суппорте станка.

3. Установить наконечник индикатора против первого кольца (от торца шпинделя) и, поворачивая оправку рукой на себя, найти минимальное показание индикатора.

4. Создав минимальный натяг индикатора в пределах 0,2...0,5 мм, установить стрелку индикатора на «0» шкалы.

5. Поворачивая оправку, произвести замеры биения кольца в 10 точках, отмеченных на оправке.

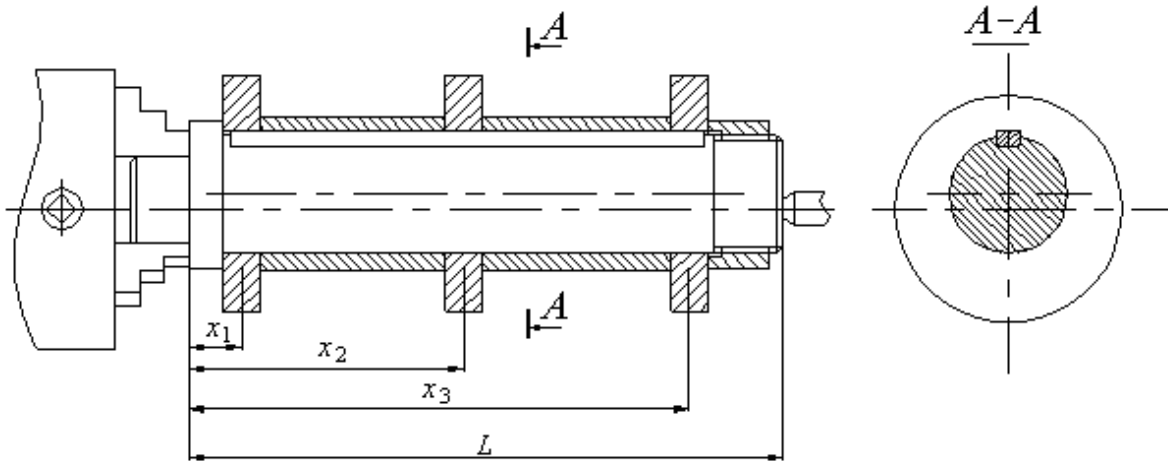


Рис. 2.3. Оправка специальная с эксцентричными кольцами

6. Повторить п. 3, 4, 5 для двух других колец и занести в журнал лабораторных работ данные о биении колец.

7. Снять индикатор с держателем и установить резец.

8. Проточить все три кольца за один проход на следующем режиме: $V = 40 \dots 65$ м/мин; $S = 0,2$ мм/об; $t = 7$ мм. Скорость резания определить из формулы

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (2.4)$$

где D – диаметр колец, мм;

n – частота вращения шпинделя.

9. Снять резец, установить державку с индикатором с ценой деления шкалы 0,001 мм.

10. Повторить п. 3, 4, 5, 6 для обточенных колец.

11. Определить жесткость токарно-винторезного станка для каждого из трех колец по формуле (2.3). Принять при этом $\lambda = 0,1$; $C_{py} = 1,23$; Δ_1 – максимальная разность показаний индикатора до проточки, мм; Δ_2 – максимальная разность показаний индикатора после проточки, мм,

По значениям J_1 , J_2 , J_3 определить расчетным путем значения жесткости суппорта $J_{суп}$, передней $J_{п.б}$ и задней $J_{з.б}$ бабки, решив систему уравнений (2.5):

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{J_1} &= \frac{1}{J_{\text{суп}}} + \frac{1 - \left(\frac{x_1}{L}\right)^2}{J_{\text{п.б}}} + \frac{\left(\frac{x_1}{L}\right)^2}{J_{3.б}}; \\
 \frac{1}{J_2} &= \frac{1}{J_{\text{суп}}} + \frac{1 - \left(\frac{x_2}{L}\right)^2}{J_{\text{п.б}}} + \frac{\left(\frac{x_2}{L}\right)^2}{J_{3.б}}; \\
 \frac{1}{J_3} &= \frac{1}{J_{\text{суп}}} + \frac{1 - \left(\frac{x_3}{L}\right)^2}{J_{\text{п.б}}} + \frac{\left(\frac{x_3}{L}\right)^2}{J_{3.б}}.
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Значения x_1, x_2, x_3, L определить по рис. 2.3.

12. Построить графики «нагрузка – перемещение» в осях: ось абсцисс – радиальное биение Δ_2 после обработки, ось ординат – радиальное биение Δ_1 до обработки. Число точек графика соответствует числу точек измерения в п. 5.

13. Сделать выводы по работе, оформить отчет.

2.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4 и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Результаты измерений оправки до и после обработки.
3. Расчет жесткости отдельных частей станка.
4. График «нагрузка – перемещение».
5. Выводы о влиянии упругих деформаций технологической системы на погрешность обработки деталей.

2.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется податливостью и жесткостью технологической системы?
2. Чем количественно характеризуется жесткость?

3. Из каких компонентов складывается суммарная погрешность, возникающая вследствие упругих деформаций элементов технологической системы?

4. Какие существуют методы определения жесткости станка?

2.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

2.7.1. ГОСТ 18097–93. Станки токарные и токарно-винторезные, нормы точности и жесткости. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 33 с.

2.7.2. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с.

2.7.3. Технология машиностроения : в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ, ВЫЗЫВАЕМЫХ РАЗМЕРНЫМ ИЗНОСОМ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

3.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы:

- изучение влияния размерного износа резца при наружном продольном точении на точность обработки деталей;
- определение величины износа и выявление закономерности размерного изнашивания резца в зависимости от продолжительности обработки и пути резания;
- определение величины относительного износа при заданных условиях обработки;
- расчет погрешностей токарной обработки длинного вала и партии коротких деталей цилиндрической формы.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В процессе резания режущие кромки резца подвергаются механическим и тепловым воздействиям. Значительные скорости трения скольжения задней поверхности режущей пластины по обрабатываемой поверхности, высокие температуры режущего клина и высокие давления на его передней и задней поверхностях вызывают интенсивный износ резца [3.7.1].

Изнашивание вызывается различными явлениями, происходящими при резании. Ряд гипотез объясняет этот процесс как абразивный, адгезионный, диффузионный, окислительный или усталостный вид изнашивания. При изнашивании реальных тел в конкретных условиях могут наблюдаться различные комбинации перечисленных выше видов изнашивания.

Самым слабым местом резца является его вершина, поскольку она изнашивается в первую очередь. Это приводит к изменению глубины резания, а следовательно, и настроечного размера.

На рис. 3.1 показано изменение настроечного размера D_0 под влиянием размерного износа U_p .

Различают три вида износа [3.7.1]: только по задней поверхности, только по передней поверхности, по обеим поверхностям одновременно. Износ только по задней поверхности наблюдается при малой толщине срезаемого слоя. Износ только по передней поверхности встречается редко и лишь у инструментов из быстрорежущей стали, работающих при высоких скоростях резания без СОЖ. Износ по обеим поверхностям наблюдается у инструментов, работающих с большими толщинами среза (более 0,2 мм), с охлаждением и средними скоростями резания.

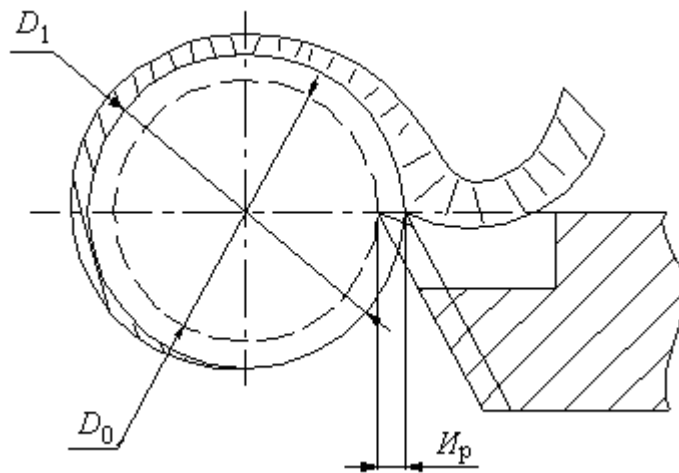


Рис. 3.1. Схема размерного изнашивания реза

Износ инструментов по задней поверхности является определяющим (особенно при чистовой обработке) и подчиняется общей закономерности изнашивания деталей машин (рис. 3.2).

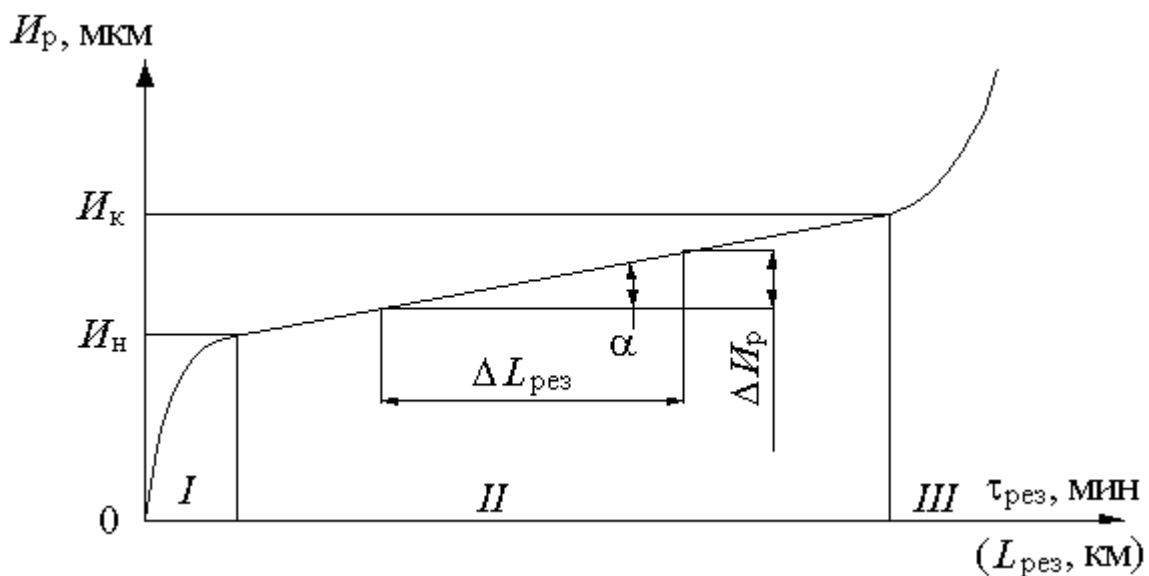


Рис. 3.2 Зависимость износа инструмента I_p от времени резания $\tau_{рез}$ (пути резания $L_{рез}$)

Изнашивание резца во времени протекает неравномерно [3.7.2]. В начальный период работы инструмента его износ происходит особенно интенсивно (участок *I* кривой износа см. на рис. 3.2). Это связано с тем, что трущиеся поверхности детали и резца имеют различную шероховатость, поэтому в период начального износа происходит приработка режущего лезвия инструмента, сопровождающаяся выкрашиванием отдельных неровностей.

После начального изнашивания резца процесс стабилизируется и протекает более равномерно (участок *II*).

Наконец, величина площадок износа достигает критической величины и интенсивность изнашивания возрастает (участок *III*). После этого эксплуатация резца прекращается во избежание его поломки.

Интенсивность износа (применительно к условиям нормального износа, протекающего в зоне *II*) определяется тангенсом угла наклона кривой в некоторой точке (момент времени) [3.7.3]:

$$\operatorname{tg} \alpha = I_0 = \frac{dI}{d\tau} . \quad (3.1)$$

Если аппроксимировать участок нормального износа прямой линией, то относительный износ равен:

$$I_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta I_p}{\Delta L_{\text{рез}}} . \quad (3.2)$$

Величина относительного износа зависит от условий обработки, материала режущей части инструмента и заготовки, режима резания, геометрии режущей части, жесткости технологической системы и других факторов и определяется экспериментально или рассчитывается по формуле

$$I_0 = C_{\text{и}} V^x S^y t^z K_{\text{и}} , \quad (3.3)$$

где V , S , t – параметры режима резания; $K_{и}$ – коэффициент, учитывающий условия обработки; $C_{и}$ – постоянная.

Зная величину I_0 и начальный износ $I_{н}$, можно определить величину износа I_p в любой момент времени, а также погрешность обработки:

$$\Delta I = D_1 - D_0 = 2I_p. \quad (3.4)$$

3.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы необходимы:

- 1) токарно-винторезный станок модели 1К62;
- 2) трехкулачковый самоцентрирующийся патрон, ГОСТ 2675–80;
- 3) задний вращающийся центр, ГОСТ 8742–75 ;
- 4) резец проходной с многогранной пластиной Т15К6, ГОСТ 21151–85;
- 5) оптическая установка для измерения износа резца с ценой деления 0,00084 мкм;
- 6) секундомер;
- 7) заготовка вала, сталь 45, ГОСТ 1050–88.

3.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. В присутствии учебного мастера подготовить оборудование к работе.

2. Установить заготовку на станок, поджать задним центром и надежно закрепить в трехкулачковом патроне (рис. 3.3).

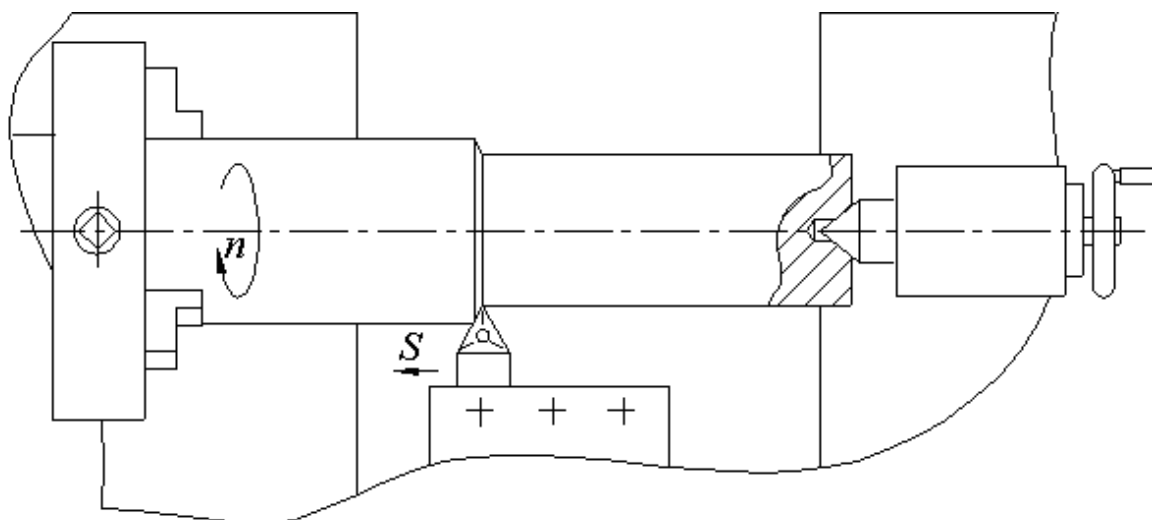


Рис. 3.3. Схема установки и обработки детали

3. Установить резец в устройство для измерения размерного износа так, чтобы в окуляре было четко видно режущую кромку и риску на пластинке резца, используемую в качестве базы при измерении (в качестве риски можно использовать любой хорошо видимый дефект на поверхности пластинки, или нанести ее алмазным надфилем) (рис. 3.4). С помощью микрометрического винта подвести перекрестье к риску и записать показания по шкале в окуляре и на винте. Затем подвести перекрестье к вершине резца и снова записать показания. Разница между двумя отсчетами составляет размер от базовой риски до вершинки резца. Одно деление по шкале микрометрического винта соответствует $0,847$ мкм, одно деление по шкале в окуляре равно 100 делениям по шкале винта.

4. Установить резец на станок, закрепив в резцедержателе. Настроить станок на следующий режим обработки: $V = 200 \dots 220$ м/мин; $S = 0,13 \dots 0,17$ мм/об; $t = 0,4 \dots 0,6$ мм.

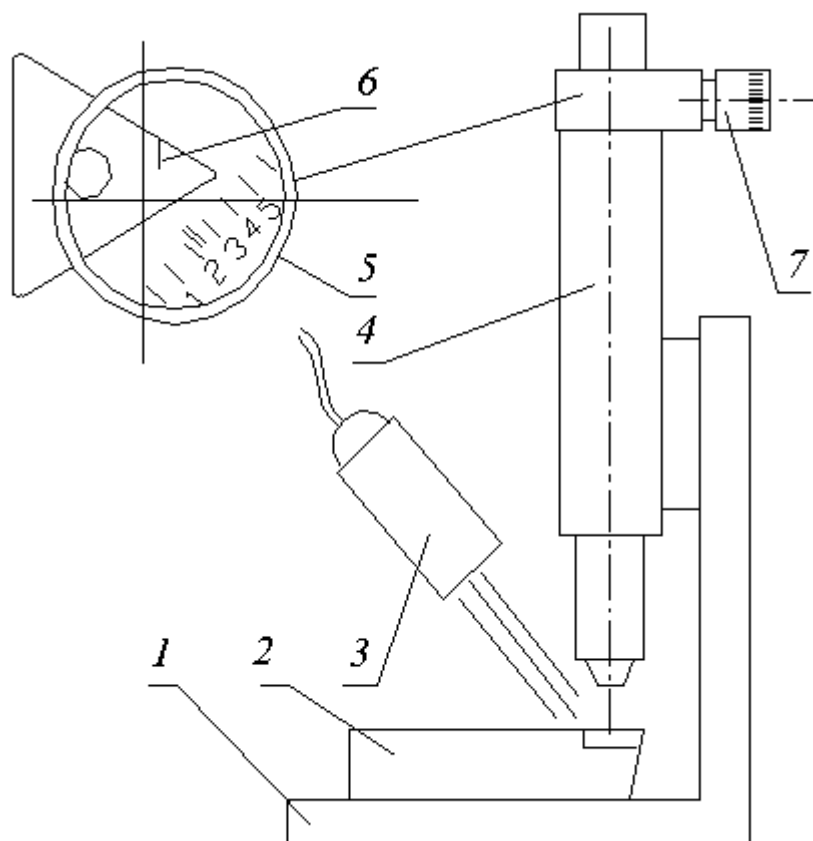


Рис. 3.4. Установка для измерения размерного износа резца:
 1 – штатив; 2 – резец; 3 – источник света; 4 – оптический микроскоп Линника; 5 – изображение в окуляре;
 6 – риска на пластинке резца; 7 – микрометрический винт

5. Произвести обтачивание заготовки (см. рис. 3.3) в течение двух минут, после чего резец снять и охладить 2...3 минуты в 2-процентном содовом растворе.

6. Установить резец в измерительное устройство и определить изменение начальной длины резца.

7. Повторить п. 4...6 5–7 раз. Результаты записать в протокол.

8. По результатам опытов построить график зависимости размерного износа I_p от пути резания $L_{рез}$. Путь резания определяется по формуле

$$L_{рез} = \frac{\pi D l}{1000 S} , \quad (3.5)$$

где D – диаметр заготовки, мм;

l – длина обрабатываемой части заготовки, мм;

S – подача резца, мм/об.

9. Для участка нормального износа определить относительный размерный износ по формуле

$$I_o = \frac{D I_p}{D L_{рез}} 1000, \quad (3.6)$$

где ΔI_p – размерный износ в период нормального изнашивания резца, мкм;

$\Delta L_{рез}$ – длина пути резания на этом участке, м.

10. Рассчитать погрешности обработки, вызываемые размерным износом режущего инструмента по формулам (3.7), (3.8) в следующих случаях:

а) обрабатывается длинный вал $D = 120$ мм, $L = 700$ мм;

б) обрабатывается партия валов ($n = 30$) с размерами $D = 65$ мм, $L = 150$ мм.

Погрешность формы:

$$\Delta \Phi = 2 I_p = \frac{2 I_o L_{рез}}{1000}. \quad (3.7)$$

Погрешность размера в партии из n деталей:

$$\Delta D = D_n - D_1 = \frac{2 I_o L_{рез} n}{1000}, \quad (3.8)$$

где $L_{рез}$ – длина пути резания при обработке одной детали, м;

D_n – последний получаемый диаметр в партии, мм;

D_1 – первый получаемый диаметр в партии, мм;

I_o – относительный износ резца, мкм/км.

11. Сделать выводы по работе, оформить отчет.

3.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4 и должен содержать:

1. Название и цель работы.

2. Результаты измерений износа резца и расчетов погрешности обработки.

3. Выводы о влиянии размерного износа на погрешность обработки деталей.

3.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие факторы вызывают износ резца?
2. Какое влияние оказывает на точность обработки размерный износ резца?
3. Каков характер изменения износа резца во времени?
4. Что называется относительным износом, его физический смысл?
5. Предложите мероприятия по уменьшению износа резца в условиях лабораторной работы.

3.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

3.7.1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.

3.7.2. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с.

3.7.3. Технология машиностроения : в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

4.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы:

- изучение характера протекания тепловых процессов при точении и их влияние на точность обработки;
- изучение влияния температурных деформаций резца при продольном точении на точность выполняемого размера;
- установление экспериментальных зависимостей изменения длины резца от времени при нагреве и охлаждении, а также от времени резания и перерывов;
- построение зависимостей изменения длины державки резца при нагреве и охлаждении в зависимости от длительности процесса обработки.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При обработке металлов резанием в зоне пластической деформации срезаемого слоя металла, а также в результате работы сил трения на передних и задних поверхностях режущего инструмента выделяется значительное количество теплоты. При точении это количество может быть подсчитано по формуле

$$Q = \frac{P_z V}{E}, \quad (4.1)$$

где P_z – составляющая силы резания, Н;

V – скорость резания, м/мин;

$E = 4189$ – механический эквивалент теплоты, Н·м/мин.

Тепловой баланс процесса резания выражается следующим уравнением:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (4.2)$$

где Q_1 – количество теплоты, уходящее со стружкой (50...80 %);

Q_2 – количество теплоты, уходящее в резец (10...40 %);
 Q_3 – количество теплоты, уходящее в деталь (3...9 %);
 Q_4 – количество теплоты, теряемое излучением из зоны резания (до 1 %).

Составляющие Q_2 и Q_3 вызывают удлинение резца и расширение детали, что приводит к возникновению погрешности обрабатываемой детали.

Температурные деформации резца являются систематическим фактором, изменяющимся во времени [4.7.1]. При непрерывном точении удлинение резца происходит неравномерно, и величина удлинения описывается во времени экспонентой (рис. 4.1).

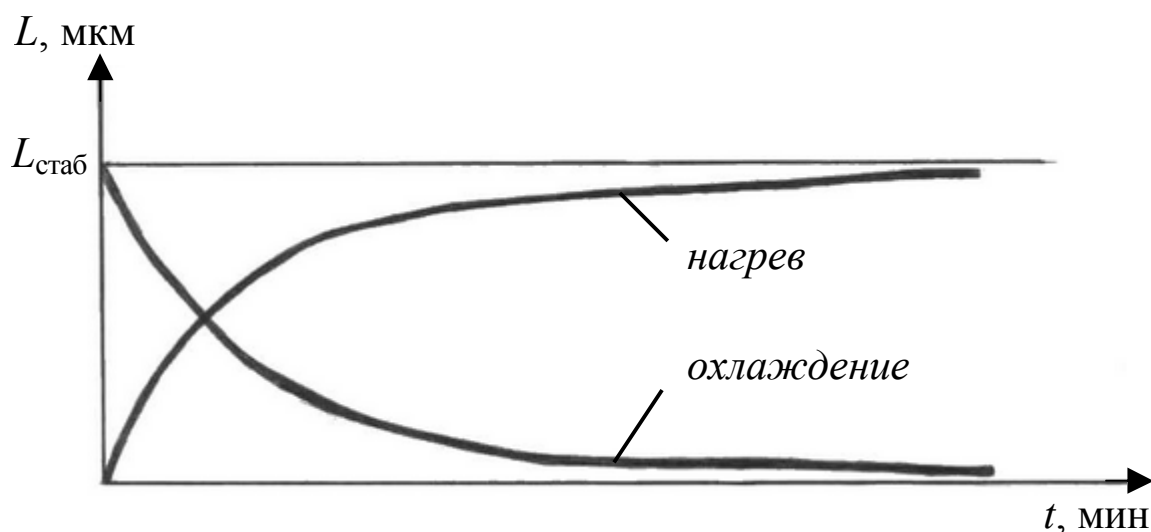


Рис. 4.1. Зависимость температурных деформаций резца от времени при нагреве и охлаждении

Через 10...30 минут наступает тепловое равновесие, и деформация резца под действием температуры прекращается. В этот момент удлинение резца достигает наибольшего значения при данном режиме обработки. Удлинение резца при точении в большинстве случаев может быть рассчитано по эмпирической формуле

$$L_{\text{стаб}} = 4 \frac{L}{BH} \sigma_B (tS)^{0,75} \sqrt{V}, \quad (4.3)$$

где L – вылет резца, мм;

V – скорость резания, м/мин;

BH – сечение державки резца, мм²;

σ_B – предел прочности обрабатываемого материала, кгс/мм²;

S – подача, мм/об;

t – глубина резания, мм.

Остановка процесса резания вызывает охлаждение резца и его укорачивание, которое происходит по обратному закону (кривая охлаждения на рис. 4.1).

Определение численного значения изменения длины резца производится по следующим зависимостям:

при нагревании:

$$L_H = L_{\text{стаб}} (1 - e^{-K_1 t}), \quad (4.4)$$

при охлаждении:

$$L_O = L_{\text{стаб}} e^{-K_2 t} \quad (4.5)$$

где K_1, K_2 – постоянные времени, зависящие от условий окружающей среды (теплопроводность элементов технологической системы, наличия и вида СОЖ и т. п.) и определяемые экспериментально;

t – длительность процесса нагрева или охлаждения.

В реальных условиях производства обработка деталей производится партиями. Это приводит к тому, что тепловое равновесие может не наступить из-за перерывов в работе при снятии обработанной детали и установки следующей заготовки.

Удлинение резца при этом можно установить графически, как показано на рис. 4.2, ломаной кривой, описываемой функцией:

$$L = \begin{cases} L_1 = L_{\text{стаб}} (1 - e^{-K_1 \Delta t_{1H}}); \\ L_{Hi} = L_{i-1} (2 - e^{-K_1 \Delta t_{iH}}); \\ L_{Oi} = L_{i-1} e^{-K_2 \Delta t_{iO}}; \\ i = 1, \dots, n, \end{cases} \quad (4.6)$$

где n – число деталей в партии;

i – номер детали в партии;

$L_{н1}$ – удлинение при обработке первой детали в партии;
 $L_{ни}$ – удлинение при обработке i -й детали в партии;
 L_{oi} – укорочение при i -м перерыве в обработке;
 $t_{иn}$ и t_{io} – продолжительность обработки и перерывов соответственно.

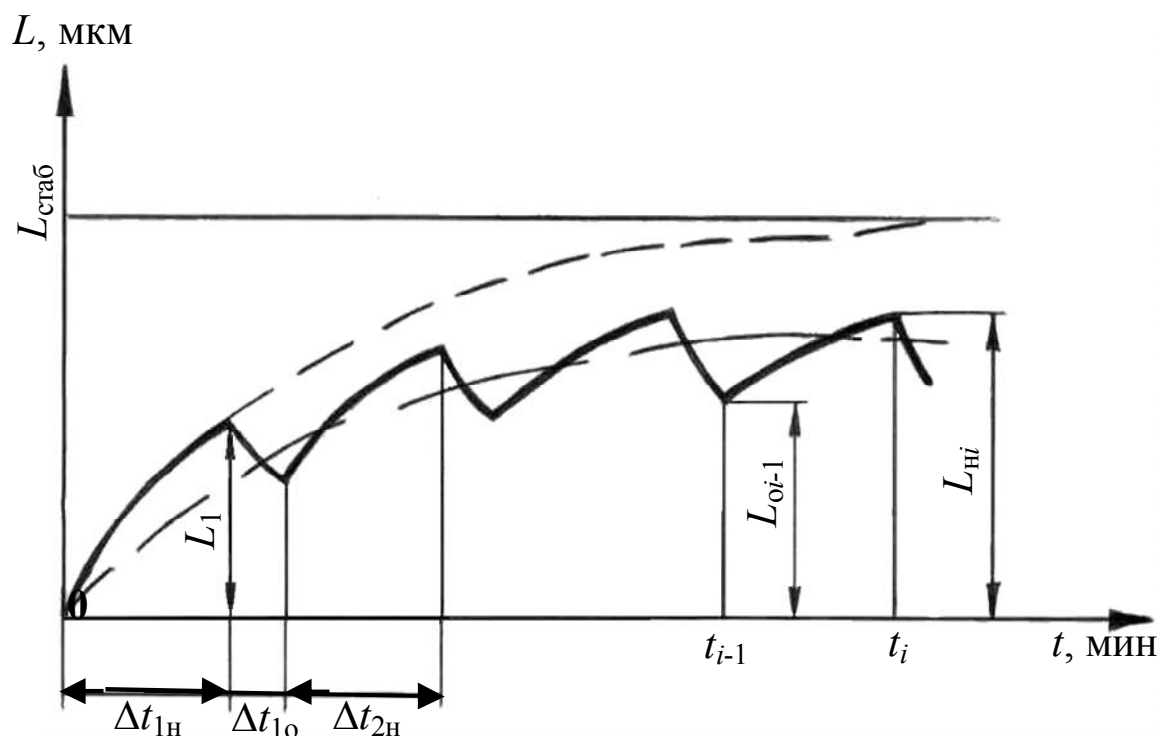


Рис. 4.2. График зависимости величины температурных деформаций резца от времени резания и перерывов

4.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения работы необходимы:

- 1) токарно-винторезный станок модели 1К62;
- 2) трехкулачковый самоцентрирующийся патрон;
- 3) задний вращающийся центр;
- 4) резец проходной с многогранной пластиной Т15К6, ГОСТ 21151–85;
- 5) приспособление специальное для измерения удлинения резца с ценой деления 0,001 мкм;
- 6) секундомер;
- 7) заготовка вала, сталь 45, $\sigma_B = 66 \text{ кг/мм}^2$ или сталь ШХ15, $\sigma_B = 79 \text{ кг/мм}^2$.

4.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При выполнении работы необходимо соблюдать следующий порядок: экспериментальное получение точек графиков нагрева и охлаждения при работе без перерывов на двух режимах обработки, определение $L_{\text{стаб}}$ расчетным путем для двух режимов обработки, построение графика удлинения резца при обработке партии деталей по рассчитанным данным.

Для этого выполняются следующие действия:

1. Установить заготовку на станок, поджать задним центром и надежно закрепить в трехкулачковом патроне. Установить приспособление и индикатор на каретку суппорта и закрепить. Установить на индикатор плоский измерительный наконечник. Установить резец в резцедержатель и закрепить с таким вылетом, чтобы в положении измерения вершинка резца касалась измерительного наконечника индикатора с небольшим натягом (рис. 4.3).

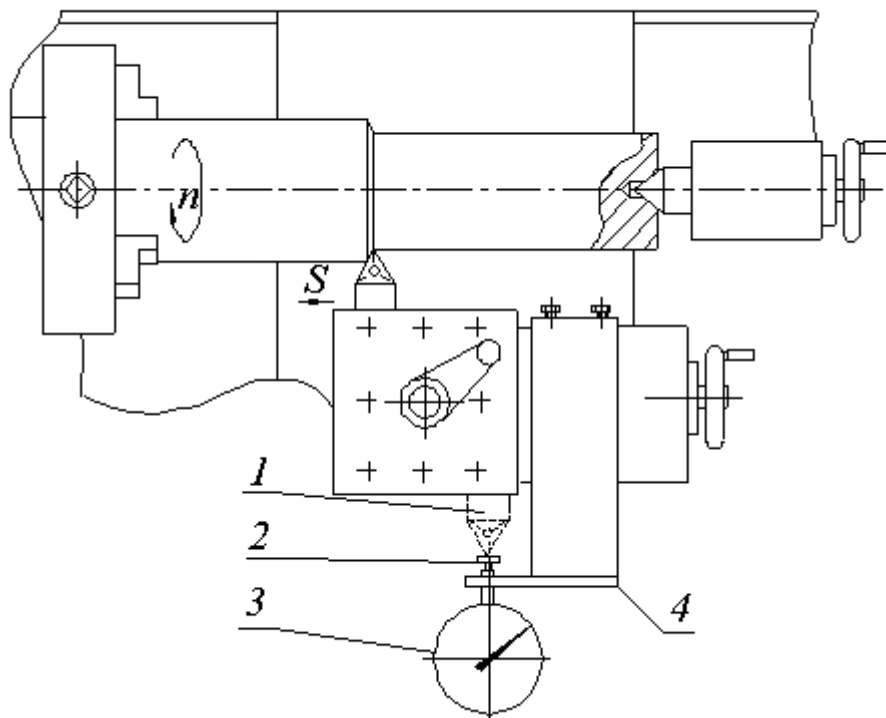


Рис. 4.3. Схема обработки и измерения:

1 – положение резца при замере; 2 – наконечник индикатора;
3 – индикатор; 4 – приспособление для крепления индикатора

2. Настроить станок на первый режим обработки:
 $V = 80 \dots 100$ м/мин, $S = 0,09 \dots 0,11$ мм/об, $t = 0,1$ мм.

3. Произвести обтачивание заготовки в течение одной минуты, после чего выключить станок, быстро отвести резец от детали, повернуть резцедержатель таким образом, чтобы вершина резца вошла в соприкосновение с измерительным наконечником индикатора. Записать начальное положение индикатора. После полного охлаждения резца записать новые показания индикатора. Разность показаний дает величину температурного удлинения резца через 1 минуту резания.

4. Повторить п. 3 несколько раз, увеличивая время непрерывной работы в соответствии с данными табл. 4.1. Занести в нее результаты замеров.

Таблица 4.1

$V =$		$S =$					$t =$					
м/мин		мм/об					мм					
Нагрев	№ опыта	1	2	3	4	5						
	Время резания, мин	0,5	1	2	4	8						
	Удлинение L_n , мкм											
Охлаждение	№ замера	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Время охлаждения, мин	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Укорочение L_o , мкм											

5. Для построения кривой охлаждения последний опыт проводят по следующей методике. После обтачивания заготовки с самым продолжительным временем и снятия начального значения показаний индикатора, как в п. 3, продолжают наблюдения за показаниями индикатора, периодически записывая их в соответствующую графу табл. 4.1. Период снятия показаний принять равным одной минуте.

6. Изменить условия эксперимента, настроив станок на следующий режим обработки: $V = 80 \dots 120$ м/мин, $S = 0,2 \dots 0,23$ мм/об, $t = 0,2$ мм. Повторить п. 3...5. Максимальное время точения принять равным 5 минутам.

7. По полученным экспериментальным данным строят графики удлинения и укорочения резца.

8. Рассчитать $L_{\text{стаб}}$ по формуле (4.3) и сравнить с полученными экспериментальными данными. Установить резец в измерительное устройство и определить изменение начальной длины резца.

9. Рассчитать коэффициенты K_1, K_2 в формулах (4.4) и (4.5) по следующим зависимостям:

$$K_1 = - \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{н}}} t_{i\text{н}} \ln\left(\frac{L_{\text{стаб}} - L_{i\text{н}}}{L_{\text{стаб}}}\right)}{\sum_{i=1}^{n_{\text{н}}} t_{i\text{н}}^2}; \quad (4.7)$$

$$K_2 = - \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{о}}} \ln(L_{i\text{о}}) - n_{\text{о}} \ln(L_{\text{стаб}})}{\sum_{i=1}^{n_{\text{о}}} t_{i\text{о}}}, \quad (4.8)$$

где $L_{\text{стаб}}$ – определенное по экспериментальным графикам значение максимального удлинения резца;

$n_{\text{н}}, n_{\text{о}}$ – число экспериментальных точек графиков;

$i = 1, 2, \dots, n$ – номер опыта;

$L_{i\text{н}}$ – удлинение резца в i -м опыте;

$L_{i\text{о}}$ – укорочение резца в i -м отсчете;

$t_{i\text{о}}$ – полное время охлаждения до i -го отсчета;

$t_{i\text{н}}$ – время резания в i -м опыте.

10. Пользуясь формулами (4.6) и рассчитанными коэффициентами K_1, K_2 , построить график (см. рис. 4.2) для партии деталей из 5 штук длиной 500 мм, диаметром 90 мм, обрабатываемых на тех режимах резания, которые были приняты в данной работе; время перерывов принять равным 0,5 мин.

11. Оформить отчет, сделать выводы по работе.

4.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4 и должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Результаты измерений температурных деформаций резца.
3. Графики экспериментальных кривых нагрева и охлаждения резца.
4. Расчеты теоретического значения максимального удлинения резца и коэффициентов.
5. График деформации резца при обработке партии деталей.
6. Выводы о влиянии температурных деформаций на погрешность обработки деталей.

4.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова природа температурных деформаций?
2. Какой физический смысл имеют величины $L_{ин}$ и $L_{ю}$? Дать объяснение по полученным графикам.
3. Что характеризуют коэффициенты K_1 , K_2 ?
4. Как изменяются L_0 и L_n при изменении режимов резания?
5. Предложите мероприятия по уменьшению влияния температурных деформаций.

4.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

4.7.1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.

4.7.2. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с.

4.7.3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

5.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – изучение основных методов статической настройки технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» на размер обработки и экспериментальное исследование погрешностей настройки.

Содержание работы включает в себя:

- определение экспериментальным путем составляющих погрешности настройки технологической системы на получаемый размер методом пробных проходов и промеров, по эталонам, по партии пробных заготовок;
- настройку технологической системы на получаемый размер перечисленными методами и обработку заготовок;
- сопоставление расчетной величины погрешности статической настройки технологической системы с экспериментальными данными.

5.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ

Настройкой (наладкой) технологической системы называется процесс первоначального установления требуемой точности положения и относительного движения исполнительных поверхностей инструмента и оборудования или приспособления с целью получения требуемой точности обрабатываемых деталей [5.6.1].

При настройке технологической системы методом регулирования рассматривается одна из двух задач:

- настройка для обработки одной детали, используемая в мелкосерийном и единичном производстве. При этом каждая деталь обрабатывается после новой настройки;
- настройка для обработки партии деталей, применяемая в серийном и массовом производстве, когда детали обрабатываются последовательно на предварительно настроенном станке.

В обоих случаях основным методом настройки является метод пробных проходов и промеров. При настройке для обработки партии деталей могут быть использованы методы настройки по эталону или по ранее обработанной детали. При этом размер, к получению которого необходимо стремиться при настройке технологической системы, называется рабочим настроечным размером A_p .

Метод настройки по эталону (или по ранее обработанной детали) заключается в том, что режущий инструмент устанавливается на рабочий настроечный размер на выключенном станке с помощью специально изготовленного эталона, представляющего собой прототип детали, обрабатываемой на данной операции. Иногда в качестве эталона используется ранее обработанная на данной операции деталь.

Недостаток этого метода заключается в том, что при такой настройке не учитывается величина упругих деформаций технологической системы – величина упругого отжатия режущих кромок инструмента под действием меняющихся сил резания (так называемый размер динамической настройки A_d технологической системы).

При настройке методом пробных проходов и промеров настройку технологической системы производят в несколько этапов. Обрабатывается небольшой участок поверхности заготовки, замеряется полученный размер, который сравнивается с рабочим настроечным размером. По результатам сравнения вносится поправка в настройку технологической системы и обрабатывается новый участок поверхности заготовки. Вновь производится сравнение полученного размера с рабочим настроечным и определяется новая поправка в настройку. Процесс повторяется, пока не будет получен рабочий настроечный размер.

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

При выполнении лабораторной работы используются:

- 1) токарно-винторезный станок мод. 1К62;
- 2) микрометр гладкий МК (0–25 мм);
- 3) микрометр рычажный МР (0–25 мм с ценой деления 0,002 мм);
- 4) резец 2103-0713, ГОСТ 20872–80;

- 5) эталон детали;
- 6) патрон 7100-0039, ГОСТ 2675–80;
- 7) заготовки – валы $\varnothing 28$ мм из стали 45, ГОСТ 1050–88, в количестве 20 шт.

5.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.4.1. Произвести настройку технологической системы для обработки одной детали (рис. 5.1) методом пробных проходов и промеров.

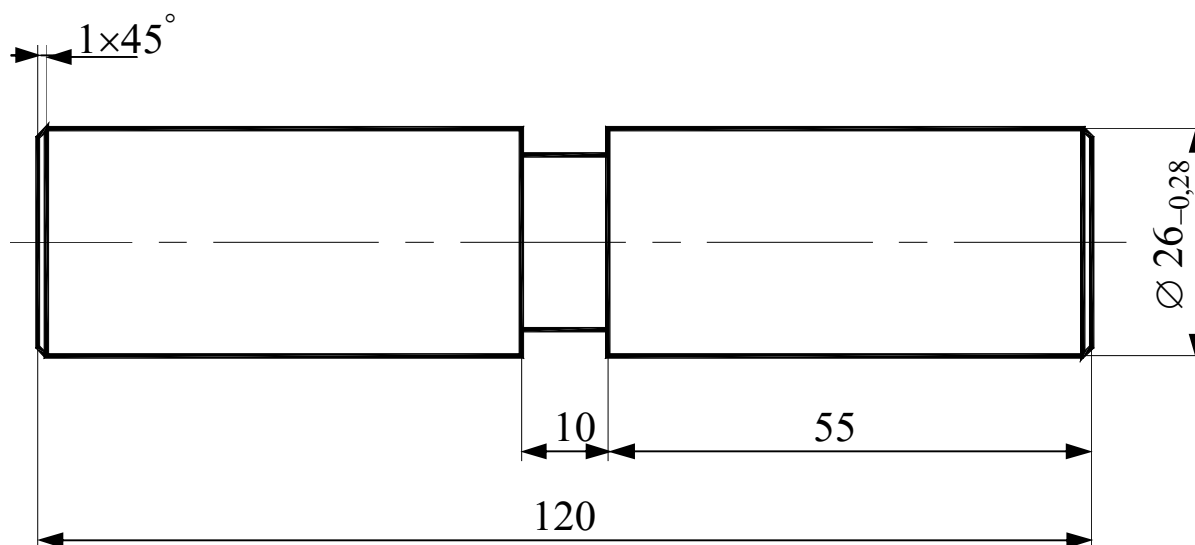


Рис. 5.1. Эскиз детали, получаемой на исследуемой операции

5.4.1.1. Определить рабочий настроечный размер:

$$A_p = A_{cp} = (A^{нб} - A^{нм})/2, \quad (5.1)$$

где $A^{нб}$ и $A^{нм}$ – предельные размеры вала по чертежу (рис. 5.1).

5.4.1.2. Установить в технологическую систему заготовку.

5.4.1.3. Настроить технологическую систему на рабочий настроечный размер A_p и режим обработки $V = 100 \dots 150$ м/мин, $S = 0,15 \dots 0,17$ мм/об.

5.4.1.4. Включить станок и сделать пробный рабочий ход длиной $5 \dots 7$ мм.

5.4.1.5. Не изменяя настройки станка, отвести резец, выключить станок и произвести измерение диаметра обработанной поверхности гладким микрометром.

5.4.1.6. Ввиду упругого отжатия режущей кромки инструмента размер детали после обработки $A_{\text{изм1}}$ получится больше первоначального рабочего настроечного размера A_p на величину размера динамической настройки технологической системы A_d .

5.4.1.7. Поправка к величине рабочего настроечного размера составляет:

$$\Delta A_1 = (A_{\text{изм1}} - A_p)/2 . \quad (5.2)$$

5.4.1.8. Настроить технологическую систему на размер статической настройки:

$$A_{p1} = (A_p - \Delta A_1)/2 . \quad (5.3)$$

5.4.1.9. Обработать следующий участок заготовки на тех же режимах. Измерить полученный размер и определить величину поправки ко второму рабочему настроечному размеру:

$$\Delta A_2 = (A_{\text{изм2}} - A_{p1})/2 . \quad (5.4)$$

5.4.1.10. Размер статической настройки для третьего этапа составит:

$$A_{p2} = (A_{p1} - \Delta A_2)/2 . \quad (5.5)$$

5.4.1.11. Процесс повторяется до получения рабочего настроечного размера, измеренного с доступной точностью.

5.4.1.12. На настроенном таким образом станке произвести обработку оставшейся части заготовки.

5.4.1.13. Замерить полученный после обработки действительный диаметр детали D рычажным микрометром и определить отклонение этого диаметра от рабочего настроечного размера A_{pi} , на который был настроен станок:

$$\Delta_{\text{H}}^{\text{Д}} = D - A_{\text{pi}}. \quad (5.6)$$

5.4.1.14. Определить погрешность настройки технологической системы по лимбу станка:

$$\Delta_{\text{H}} = 2,4 \sqrt{\Delta_{\text{изм}}^2 + \Delta_{\text{рег}}^2}, \quad (5.7)$$

где $\Delta_{\text{рег}}$ – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (прил. 5.1);

$\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность измерения наружных размеров (прил. 5.2).

5.4.2. Произвести настройку технологической системы по эталону.

5.4.2.1. Рассчитать предварительный диаметр эталона:

$$D_{\text{э}}' = \frac{D^{\text{нб}} - D^{\text{нм}}}{2}, \quad (5.8)$$

где $D^{\text{нб}}$ и $D^{\text{нм}}$ – предельные размеры вала по чертежу (рис. 5.1).

5.4.2.2. Установить и закрепить эталон, изготовленный по предварительному размеру $D_{\text{э}}'$, на станке.

5.4.2.3. Настроить станок на режим обработки, указанный в п. 5.4.1.3.

5.4.2.4. Подвести резец, установленный в резцедержателе к эталону, до касания его режущей кромки с поверхностью эталона.

5.4.2.5. Обработать на настроенном таким образом станке партию из десяти заготовок ($N = 10$).

5.4.2.6. Замерить диаметры обработанных деталей и по результатам измерения определить математическое ожидание размера:

$$M(X) = \frac{\sum_{n=1}^N D_n}{N} \quad (5.9)$$

и среднеквадратическое отклонение размеров.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [M(X) - D_n]^2}{N}}, \quad (5.10)$$

где D_n – диаметры обработанных деталей.

5.4.2.7. Определить рабочий настроечный размер технологической системы:

$$A_p = D^{\text{HM}} + 3\sigma. \quad (5.11)$$

5.4.2.8. Рассчитать величину поправки к предварительному диаметру эталона:

$$\Delta_{\text{попр}} = M(X) - A_p. \quad (5.12)$$

5.4.2.9. Определить окончательный диаметр эталона:

$$D_{\text{э}} = (D'_{\text{э}} - \Delta_{\text{попр}}) \pm 0,5T_{\text{э}}, \quad (5.13)$$

где $T_{\text{э}}$ – допуск на изготовление эталона. Принимается в пределах 10–15 % от допуска на диаметр готовой детали (см. рис. 5.1).

5.4.2.10. Произвести настройку технологической системы по эталону, имеющему окончательный диаметр $D_{\text{э}}$, повторив действия п. 5.4.2.2, 5.4.2.3, 5.4.2.4.

5.4.2.11. Обработать на настроенном таким образом станке одну деталь, замерить полученный диаметр D детали рычажным микрометром и определить отклонение этого диаметра от диаметра эталона $D_{\text{э}}$.

$$\Delta^{\text{э}} = D - D_{\text{э}}. \quad (5.14)$$

5.4.2.12. Определить погрешность настройки технологической системы по эталону:

$$\Delta_{\text{н}} = 1,2\sqrt{\Delta_{\text{эт}}^2 + \Delta_{\text{рег}}^2}, \quad (5.15)$$

где $\Delta_{\text{рег}}$ – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (прил. 5.1);

$\Delta_{\text{эт}}$ – погрешность изготовления эталона и установки его на станке. Принимается равной 0,02 – 0,04 мм.

5.4.3. Произвести настройку технологической системы методом пробных проходов и промеров для обработки партии деталей.

Обработка крупных партий заготовок на настроенных станках сопровождается достаточно интенсивным износом режущего инструмента, оказывающим заметное влияние на точность размеров деталей после обработки. В этом случае возникает задача рационального расположения возможного поля рассеивания размеров деталей, порождаемого совокупным действием случайных факторов, в поле допуска на размер, с целью использования части этого поля для компенсации размерного износа режущего инструмента.

На рис. 5.2 приведена схема определения рабочего настроенного размера при настройке технологической системы для обработки партии деталей типа валов (рассмотрен вариант обеспечения заданной точности охватываемых размеров – наружных диаметров шеек вала).

Схема настройки технологической системы построена таким образом, что часть общего поля T допуска на размер используется для компенсации погрешности настройки T_n , часть Δ_m предназначается для компенсации погрешности, вызванной действием случайных факторов, и часть b – для компенсации погрешности, вызываемой действием систематических факторов, например износом режущего инструмента.

Настройка технологической системы по рассматриваемой схеме выполняется в следующем порядке.

5.4.3.1. Определить наименьшее предельное значение группового среднего размера:

$$L_{\min}^{\text{гр.ср}} = L_{\min} + \frac{\Delta_m}{2} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \quad (5.16)$$

где L_{\min} – наименьший предельный размер детали после обработки;

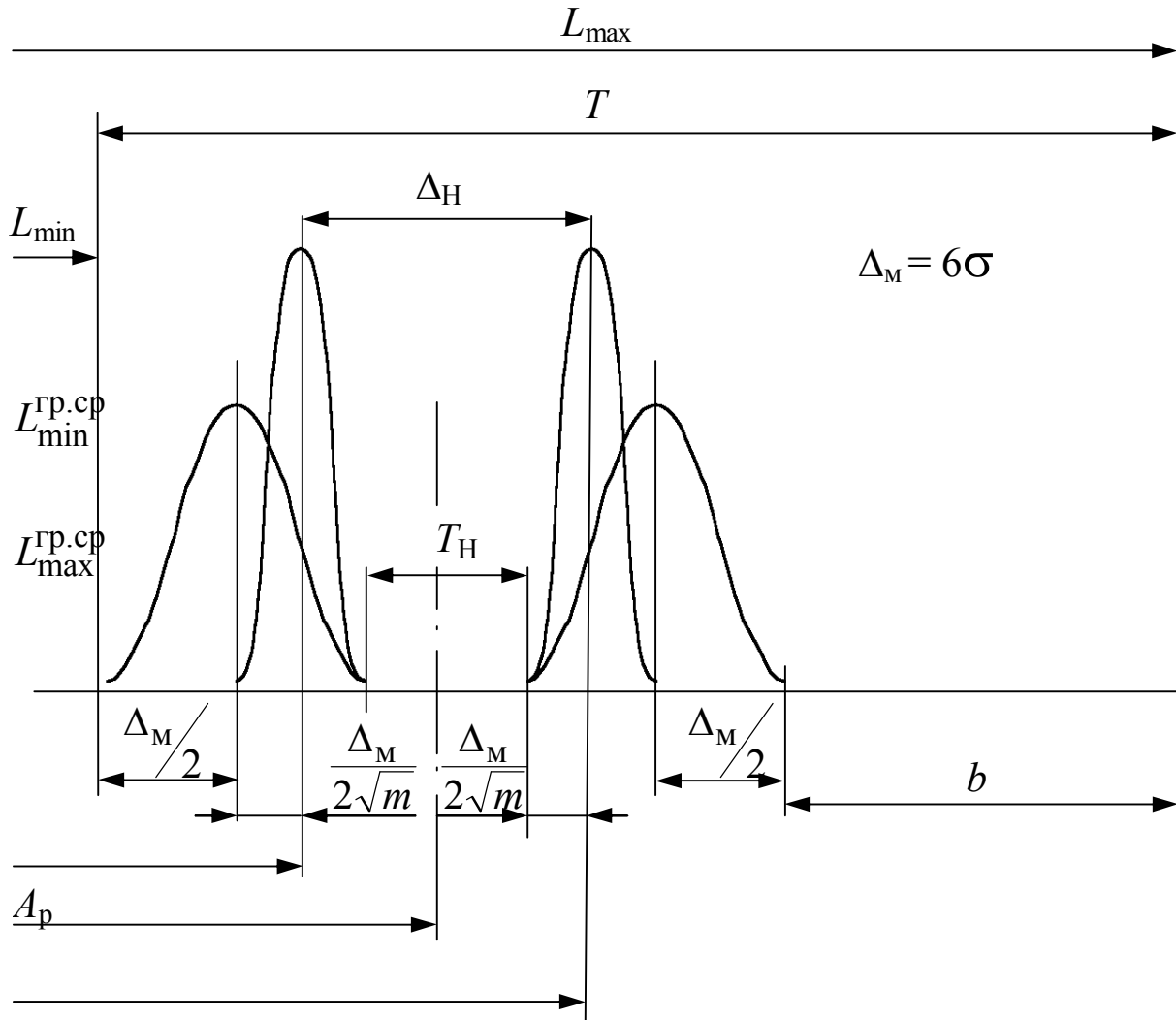


Рис. 5.2. Схема настройки технологической системы для обработки партии заготовок

Δ_M – мгновенное поле рассеивания размеров деталей в процессе обработки, определяемое по данным прил. 5.3;

m – число пробных заготовок, по которым будет производиться настройка технологической системы. В лабораторной работе $m = 5$.

5.4.3.2. Вычислить минимальную необходимую по условиям выполнения данной операции величину допуска на погрешность настройки:

$$T_H = 2,4 \sqrt{\Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2}, \quad (5.17)$$

где $\Delta_{\text{рег}}$ – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (прил. 5.1);

$\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность измерения наружных размеров (прил. 5.2).

5.4.3.3. Определить наибольшее предельное значение группового среднего размера:

$$L_{\text{max}}^{\text{гр.ср}} = L_{\text{min}}^{\text{гр.ср}} + T_{\text{н}} . \quad (5.18)$$

5.4.3.4. Определить величину рабочего настроечного размера:

$$A_{\text{р}} = \frac{L_{\text{max}}^{\text{гр.ср}} + L_{\text{min}}^{\text{гр.ср}}}{2} . \quad (5.19)$$

5.4.3.5. Определить часть допуска b , предназначенную для компенсации систематической переменной погрешности размера деталей, вызванной износом режущего инструмента:

$$b = T - \Delta_{\text{м}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}} \right) - T_{\text{н}} , \quad (5.20)$$

где T – допуск на размер детали (см. рис. 5.1).

5.4.3.6. Настроить технологическую систему на рабочий настроечный размер $A_{\text{р}}$ и режим обработки, указанный в п. 5.4.1.3, и обработать группу из пяти пробных деталей ($m = 5$).

5.4.3.7. Замерить получившиеся диаметры деталей рычажным микрометром и определить среднее арифметическое значение размеров:

$$L^{\text{гр.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{m} , \quad (5.21)$$

где L_i – диаметры обработанных пробных деталей.

Если полученное значение $L^{\text{гр.ср}}$ находится в интервале от $L_{\text{max}}^{\text{гр.ср}}$ до $L_{\text{min}}^{\text{гр.ср}}$, технологическая система настроена с достаточной точностью и можно начинать обработку партии заготовок.

5.4.3.8. Если условие, указанное в п. 5.4.3.7, не выполняется, следует определить поправку к рабочему настроечному размеру:

$$\Delta_{\text{попр}} = \frac{L^{\text{гр.ср}} - A_p}{2}, \quad (5.22)$$

и внести ее с получившимся знаком в рабочий настроечный размер технологической системы, как это делалось при настройке системы методом пробных проходов и промеров (п. 5.4.1.8).

5.4.3.9. Повторить действия, указанные в п. 5.4.3.6, 5.4.3.7, т. е. произвести поднастройку технологической системы методом пробных проходов и промеров. Проверить выполнение условия, изложенного в п. 5.4.3.7.

5.4.3.10. Определить теоретическую величину погрешности настройки технологической системы

$$\Delta_{\text{н}}^T = 2,4 \sqrt{\Delta_{\text{рег}}^2 + \Delta_{\text{изм}}^2 + \Delta_{\text{расч}}^2}, \quad (5.23)$$

где $\Delta_{\text{рег}}$ – погрешность регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении (прил. 5.1);

$\Delta_{\text{изм}}$ – погрешность измерения наружных размеров (прил. 5.2);

$\Delta_{\text{расч}}$ – погрешность метода расчета рабочего настроечного размера, определяемая из выражения

$$\Delta_{\text{расч}} = \frac{\Delta_{\text{м}}}{\sqrt{m}}. \quad (5.24)$$

5.4.3.11. Оценить точность технологической системы. Для этого в соответствии с требованиями ГОСТ 14467–83 рассчитать показатель уровня настройки по формуле

$$K_{\text{н}} = \frac{|L^{\text{гр.ср}} - A_p|}{T}, \quad (5.25)$$

где T – допуск на размер детали (см. рис. 5.1), и сравнить его с предельно допустимым значением показателя уровня настройки, определяемым из выражения

$$K_{\text{н.д}} = \frac{T - 6\sigma}{2T}. \quad (5.26)$$

Здесь σ – среднеквадратическое отклонение размеров в пробной партии деталей, определяемое по формулам (5.10) и (5.11).

При выполнении условия $K_n \leq K_{нд}$ настройка технологической системы может быть признана удовлетворительной.

5.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4. Оформление отчета производится в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95 «Общие требования к текстовым документам». Результаты измерений и расчетов оформляются в табличной форме. По результатам работы должны быть сделаны выводы о достоинствах и недостатках различных методов настройки технологических систем.

5.6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

5.6.1. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / А. А. Панов [и др.] ; под общ. ред. А. А. Панова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.

5.6.2. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с.

5.6.3. Технология машиностроения: в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.

5.6.4. Миттаг, Х.-Й. Статистические методы обеспечения качества / Х.-Й. Миттаг [и др.] : пер с нем. – М. : Машиностроение, 1995. – 616 с.

Приложение 5.1

Величины погрешностей регулирования (установки) резца на размер в поперечном направлении при настройке станков токарной группы

Метод установки и контроля положения резца	$\Delta_{\text{рег}}$, МКМ
По лимбу с ценой деления в мм:	
0,01	5–10
0,02	10–15
0,03	10–30
0,05	15–30
0,1–0,5	30–70
По эталону:	
– резец закрепляется винтами резцедержателя после касания его режущих кромок с поверхностью эталона;	100–130
– резец, закрепленный в резцедержателе, подводится к эталону винтом поперечной подачи станка;	20–30
– то же, но с контролем положения резца с помощью бумажного щупа;	10–20
– то же, но с контролем положения резца с помощью металлического щупа	7–10

Приложение 5.2

Предельные допустимые погрешности измерения наружных диаметров валов

Наименование измерительного средства	Интервалы размеров, мм						
	1–18	18–30	30–50	50–80	80–120	120–180	180–260
Предельные погрешности измерения, мкм							
Штангенциркули с отсчетом по нониусу с ценой деления:							
	0,1 мм		150	160	170	190	200
	0,05 мм		80	90	100		
Микрометры гладкие при настройке на ноль по установочной мере	5,5	6,5	7,5	9,5	13	17	22

**Значения мгновенного поля рассеивания размеров при обработке
заготовок на токарных и токарно-револьверных станках
и автоматах**

Размер, мм	Значения Δ_M , мкм							
	Токарные станки				Токарно-револьверные станки и автоматы			
	Жесткость технологической системы, кгс/мм			Сила ре- зания, кгс	Жесткость технологической системы, кгс/мм			Сила ре- зания, кгс
	400– 600	600– 1000	1000– 1500		600– 1000	1000– 1500	1500– 2000	
1–3	27	13	12	До 5	22	16	9	До 5
	28	14	13	5–10	24	17	10	5–12
	29	15	14	10–15	26	18	11	12–20
3–6	30	16	13	До 5	28	19	10	До 5
	31	17	14	5–10	30	20	11	5–12
	32	18	15	10–15	32	21	12	12–20
6–10	33	19	14	До 5	34	22	11	До 5
	34	20	15	5–10	36	23	12	5–12
	35	21	16	10–15	38	24	13	12–20
10–18	36	22	15	До 5	40	25	12	До 5
	37	23	16	5–10	42	26	13	5–12
	38	24	17	10–15	44	27	14	12–20
18–30	39	25	16	До 5	46	28	13	До 5
	40	26	17	5–10	48	29	14	5–12
	41	27	18	10–15	50	30	15	12–20
30–50	42	28	17	До 5	52	31	14	До 5
	43	29	18	5–10	54	32	15	5–12
	44	30	19	10–15	56	33	16	12–20
50–80	45	31	18	До 5	58	34	15	До 5
	46	32	19	5–10	60	35	16	5–12
	47	33	20	10–15	62	36	17	12–20
80–100	48	34	19	До 5	64	37	18	До 5
	49	35	20	5–10	66	38	19	5–12
	50	36	21	10–15	68	39	20	12–20

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ РЕЗЦА НА РАЗМЕР

6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – исследование погрешности установки (регулирования) резца на размер по лимбу, жесткому упору, эталону и щупу.

6.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При работе немерным инструментом точность размера зависит от установки инструмента. Для того, чтобы получить требуемый размер, необходимо обеспечить определенное положение режущей кромки инструмента относительно поверхности обрабатываемой детали. В результате установки инструмент будет координирован относительно детали с той или иной величиной погрешности.

Погрешность установки (регулирования) $\Delta_{\text{рег}}$ положения режущего инструмента является составной частью погрешности настройки станка и определяется точностью используемых при настройке регулировочных средств: лимбов, упоров, индикаторов, эталонов, миниметров и др.

Погрешность установки инструмента по лимбу зависит от точности изготовления звеньев кинематической цепи характера движения суппорта и каретки по направляющим и квалификации рабочего.

При повторных установках инструмента и при работе на настроенных станках вместо лимбов используют жесткие или индикаторные упоры. Установка по жесткому упору не дает высокой точности. Это обусловлено тем, что рабочий не может обеспечить постоянство силы, с которой перемещаемый суппорт прижимается к упору, а также тем, что жесткость самих упоров бывает недостаточно большой. Для точных работ используют индикаторные упоры.

Режущий инструмент устанавливают по эталону обычно при наладке токарных и фрезерных станков. Щупом проверяют рас-

стояние между эталоном и режущей кромкой подводимого к нему инструмента.

Точность установки по щупу зависит от квалификации рабочего от точности изготовления и степени износа эталона и щупа.

6.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ, МАТЕРИАЛЫ

В лабораторной работе используются:

- 1) токарно-винторезный станок мод. 1К62;
- 2) эталонная деталь;
- 3) набор щупов 02102, ГОСТ 882–83, набор № 2;
- 4) резец проходной, ГОСТ 21151–89;
- 5) индикатор часового типа МИГ, ГОСТ 9696–83 ($\text{цд} = 0,001 \text{ мм}$);
- 6) стойка для индикатора специальная;
- 7) передний упорный центр, ГОСТ 13214–83.

6.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.4.1. Определение погрешности установки резца на размер по лимбу производится по схеме рис. 6.1.

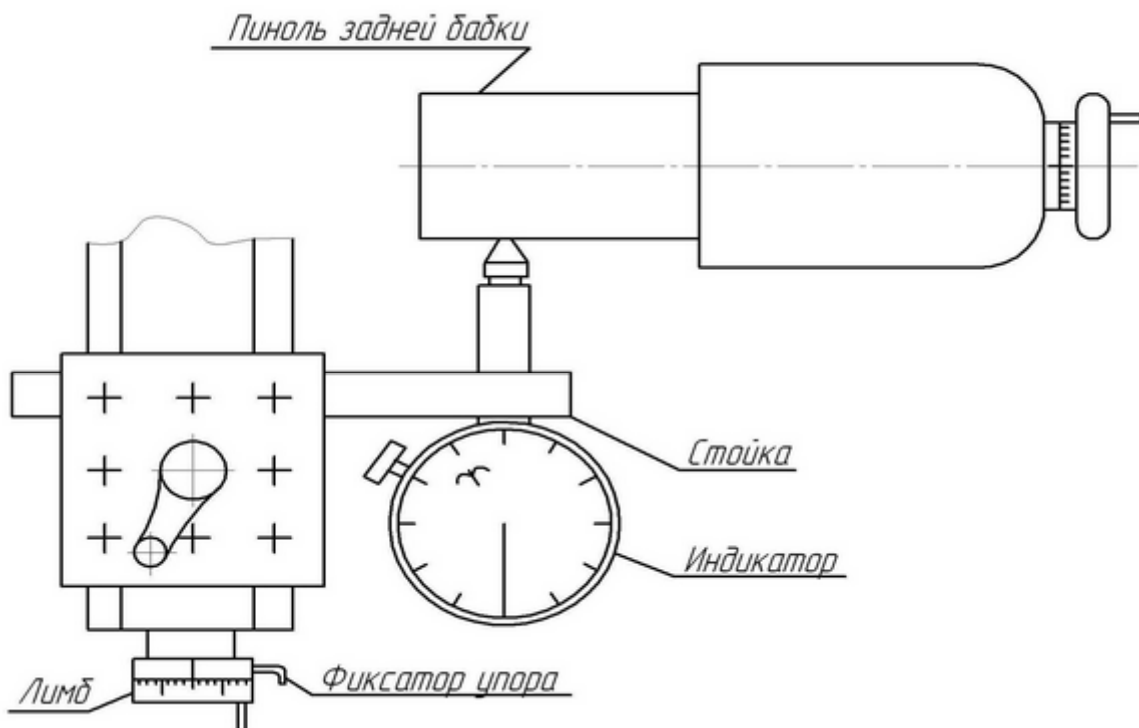


Рис. 6.1. Схема определения погрешности установки резца на размер по лимбу станка и жесткому упору

1. Установить и закрепить стойку с индикатором в резцедержатель, подвести измерительный наконечник индикатора в задвинутой пиноли задней бабки, создав предварительный натяг 0,1...0,2 мм.

2. Установить подвижную шкалу лимба поперечной подачи суппорта на «0», установить стрелку индикаторной головки на «0».

3. Отвести суппорт «на себя» и затем снова переместить его в исходное положение с помощью лимба, не следя при этом за показаниями индикатора. Окончательную доводку совпадения рисок можно производить легким постукиванием руки по рукоятке винта. Снять показания индикатора с учетом знака и записать его в таблицу отчета.

Повторить опыт 10 раз.

4. Рассчитать погрешность регулирования по формуле

$$\Delta_{\text{пер}} = \Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{min}}, \quad (6.1)$$

где Δ_{max} – максимальное показание индикатора, мкм;

Δ_{min} – минимальное показание индикатора, мкм.

6.4.2. Определение погрешности установки резца на размер по жесткому упору производится по схеме рис. 6.2.

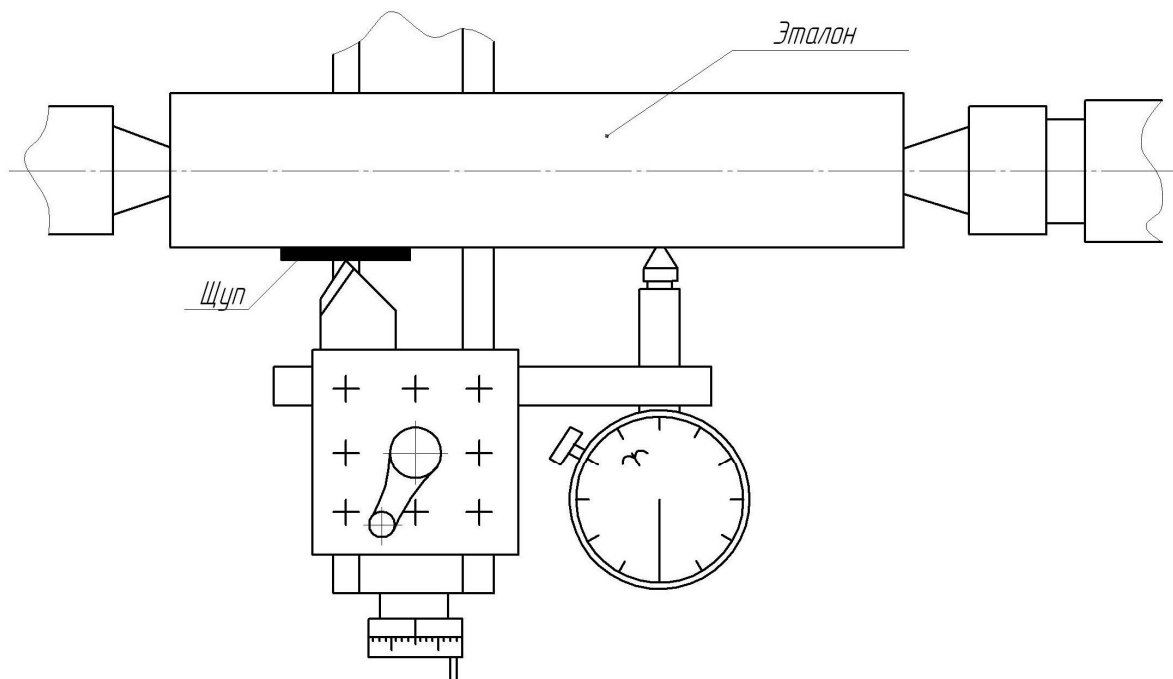


Рис. 6.2. Схема определения погрешности установки резца на размер по эталону

1. Установить и закрепить стойку с индикатором в резцедержатель, подвести измерительный наконечник индикатора к пиноли задней бабки, создав натяг 0,1...0,2 мм.

Закрепить упор с помощью фиксатора.

2. Установить стрелку индикатора на «0».

3. Повторить п. 3 и 4 предыдущего опыта, отведя и подведя суппорт до жесткого упора.

6.4.3. Определение погрешности установки резца на размер по эталону с применением щупов производится по схеме рис. 6.2.

1. Установить эталон на станок.

2. Установить и закрепить стойку с индикатором и резец в резцедержатель.

3. Подвести резец к эталону и протянуть металлический щуп между вершиной резца и эталоном. Щуп должен проходить с небольшим натягом. Создать предварительный натяг индикатора и установить стрелку на «0».

4. Выполнить п. 3 и 4 первого опыта 6.4.1, подводя резец к эталону и контролируя положение резца щупом.

5. Повторить весь опыт, используя вместо щупа полоску бумаги (фольги).

6.4.4. Сравнить полученные данные о погрешности установки каждого метода со справочными, значения которых приведены в прил. 6.1.

6.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4. При оформлении отчета руководствоваться правилами, указанными в ГОСТ 2.105–95 «Общие требования к текстовым документам».

Результаты измерений и расчета заносятся в соответствующие графы таблицы отчета, делаются выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое погрешность установки (регулирования) резца на размер?

2. Какие факторы вызывает погрешность установки?

3. Какие способы установки резца на размер вы знаете? В чем заключается каждый из них?

4. Каким образом можно повысить точность установки резца на размер?

6.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

6.7.1. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.

6.7.2. Технология машиностроения : в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.

Приложение 6.1

Значение погрешности регулирования (установки) резца
на размер в поперечном направлении

Метод регулирования положения резца	$\Delta_{\text{рег}}$, мкм
По лимбу e ценой деления в мм:	
0,01	5...10
0,02	10...15
0,03	10...30
0,05	15...30
0,1–0,5	30...70
По индикаторному упору с ценой деления прибора в мм:	
0,01	10...15
0,002	3...5
0,001	1...2
По жесткому упору	10...50 (может быть в пределах 10...130)
По эталону:	
– резец закрепляют винтами резцедержателя после касания его с эталоном;	100...130
– резец, закрепленный в резцедержателе, подводят к эталону винтом поперечной подачи;	20...30
– то же, но с контролем положения резца с помощью бумажного щупа;	10...20
– то же, но с контролем положения резца с помощью металлического щупа	7...10

Примечание: 1. Погрешность установки эталона не должна превышать 10...20 мкм.

2. Для диаметральных размеров учитывают удвоенную погрешность ($2\Delta_{\text{рег}}$).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

7.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – изучение методики и получение практических навыков исследования точности параметров операций механической обработки деталей машин с помощью нормального закона распределения.

7.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Изделия, изготовленные при одном и том же технологическом процессе, отличаются одно от другого по всем характеристикам качества. Это явление получило название рассеяние характеристик качества.

Первой характеристикой явления рассеяния служит величина меры рассеяния M_p :

$$M_p = X_{\max} - X_{\min}, \quad (7.1)$$

где X_{\max} – наибольшее значение характеристики в партии изделий;
 X_{\min} – наименьшее значение характеристики в партии изделий.

Второй характеристикой является практическая кривая рассеяния и определяющие ее параметры. Для построения кривой рассеяния на практике измеренные значения партии заготовок разбивают на интервалы (или разряды) f и определяют количество заготовок с размерами (или частотами) m_i в пределах каждого интервала. По оси абсцисс откладывают интервал размеров, а по оси ординат – соответствующие им частоты.

Наиболее часто кривая рассеяния подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса). Результирующая погрешность обработки в этом случае представляет собой сумму большого числа погрешностей технологической системы, которые не связаны между собой и среди которых отсутствует доминирующая погрешность.

Закон нормального распределения в большинстве случаев оказывается справедлив при механической обработке заготовок с точностью 8, 9, 10 квалитетов и грубее. При более точной обработке распределение размеров обычно подчиняется другим законам: закону Симпсона, Релея, закону равной вероятности.

Если при обработке заготовок на их точность воздействуют как случайные погрешности, так и систематические, то закон распределения представляет собой композицию нескольких законов.

Уравнение кривой нормального распределения имеет вид

$$y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2 / 2\sigma^2}, \quad (7.2)$$

где x – текущий действительный размер партии деталей;

\bar{x} – среднее арифметическое значение действительных размеров деталей данной партии, определенное по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^f x_i m_i; \quad (7.3)$$

σ – среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^f (x_i - \bar{x})^2 m_i}, \quad (7.4)$$

где f – количество интервалов, выбираемое в зависимости от объема партии измеренных деталей n ;

x_i – середина интервалов измеренных размеров;

m_i – частота (количество деталей данного интервала).

Графически уравнению нормального распределения соответствует симметричная колоколообразная кривая, представленная на рис. 7.1.

Кривая нормального распределения симметрична относительно оси ординат. При $x = \bar{x}$ кривая имеет максимум. На расстоянии $\pm 3\sigma$ от вершины ее ветви пересекаются с осью абсцисс. При этом поле рассеяния ω принимают равным 6σ , т. е.

$$\omega = 6\sigma. \quad (7.5)$$

При увеличении σ значение y_{\max} уменьшается, а поле рассеяния ω возрастает. В результате этого кривая становится более пологой и низкой, что свидетельствует о большем рассеянии размеров и, следовательно, о меньшей точности. Значит σ является мерой рассеяния или мерой точности. Влияние σ на форму кривой нормального распределения показано на рис. 7.2.

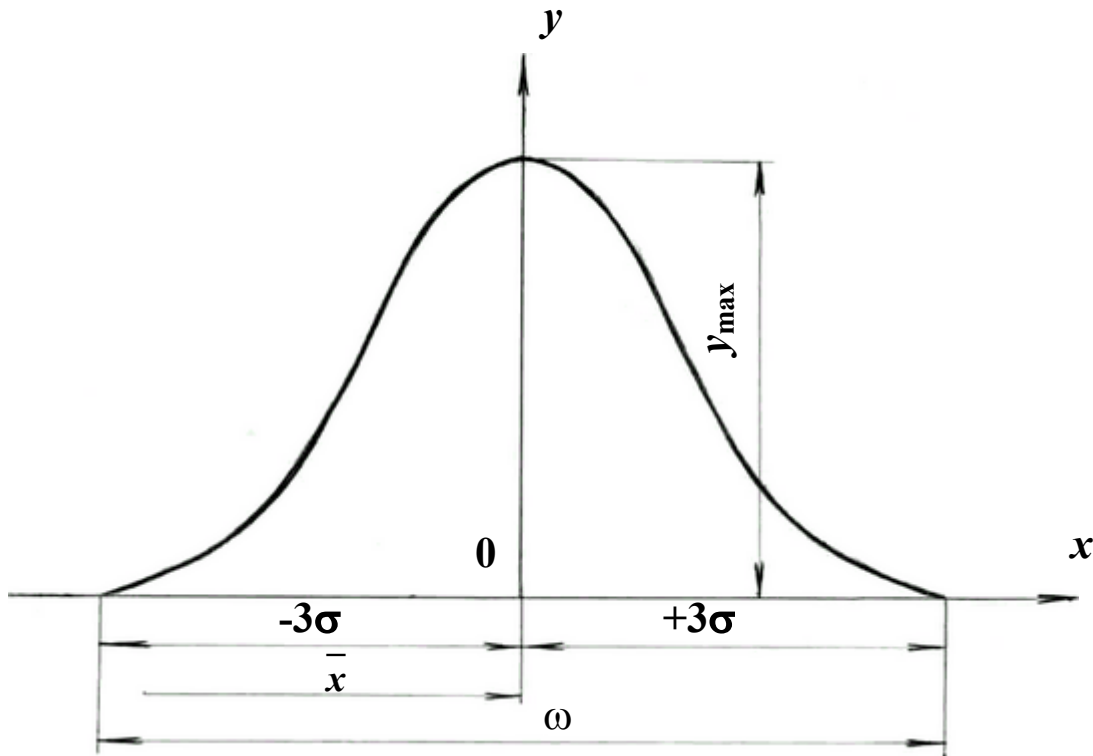


Рис. 7.1. Кривая нормального распределения

Для приближения оценки соответствия распределения размеров партии деталей нормальному закону производят сравнение близости практической (опытной) кривой распределения размеров с наложенной на нее теоретической кривой.

Однако необходимо иметь уверенность, что данное распределение подчиняется закону нормального распределения. Для проверки этой гипотезы пользуются рядом критериев, которые называются критериями согласия. Наибольшее применение имеют критерии А. Н. Колмогорова λ и критерий Пирсона χ^2 .

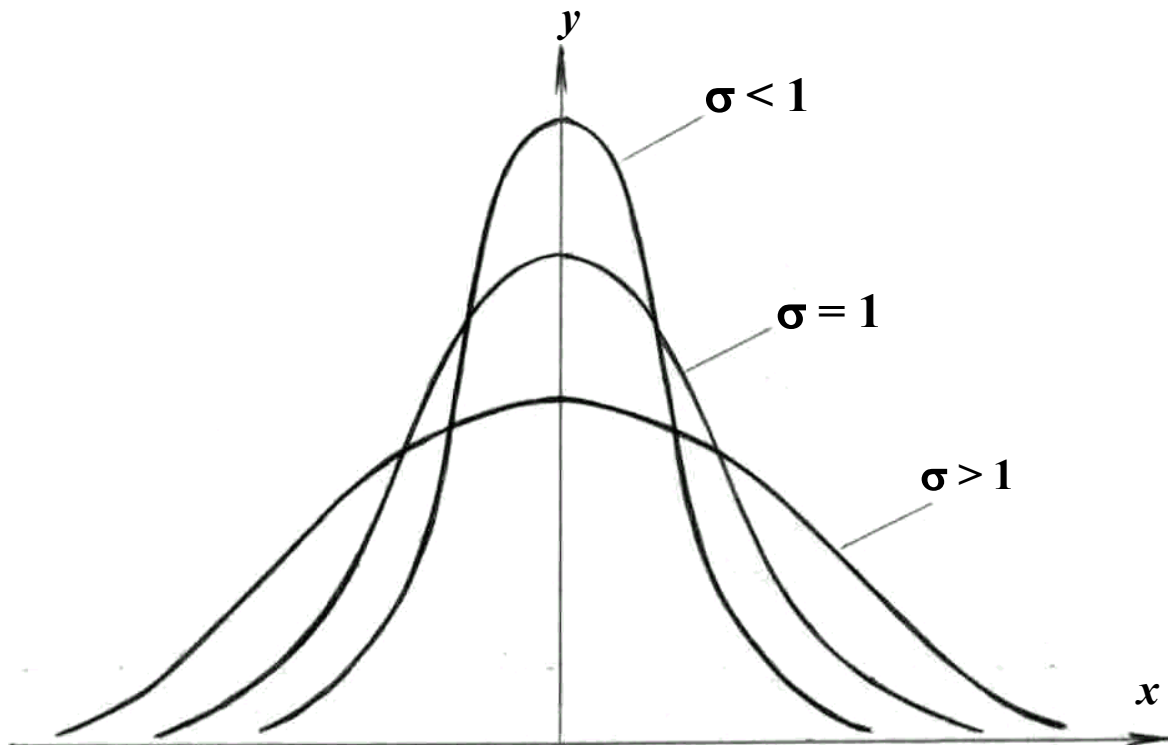


Рис. 7.2. Кривые нормального распределения при различных значениях σ

Статистический анализ точности операций механической обработки деталей в технологии машиностроения производят с помощью ряда показателей:

1. Коэффициента запаса точности на данной операции K_{ψ} .
2. Коэффициента точности настройки станка K_H .
3. Количества вероятного брака деталей q .
4. Технологического допуска $T_{\text{техн}}$.

7.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исходные данные выборки партии деталей содержатся в табл. 1 прил. 7.2.

Построить практическую кривую распределения (полигон распределения) действительных размеров партии деталей, руководствуясь схемой, приведенной на рис. 7.3.

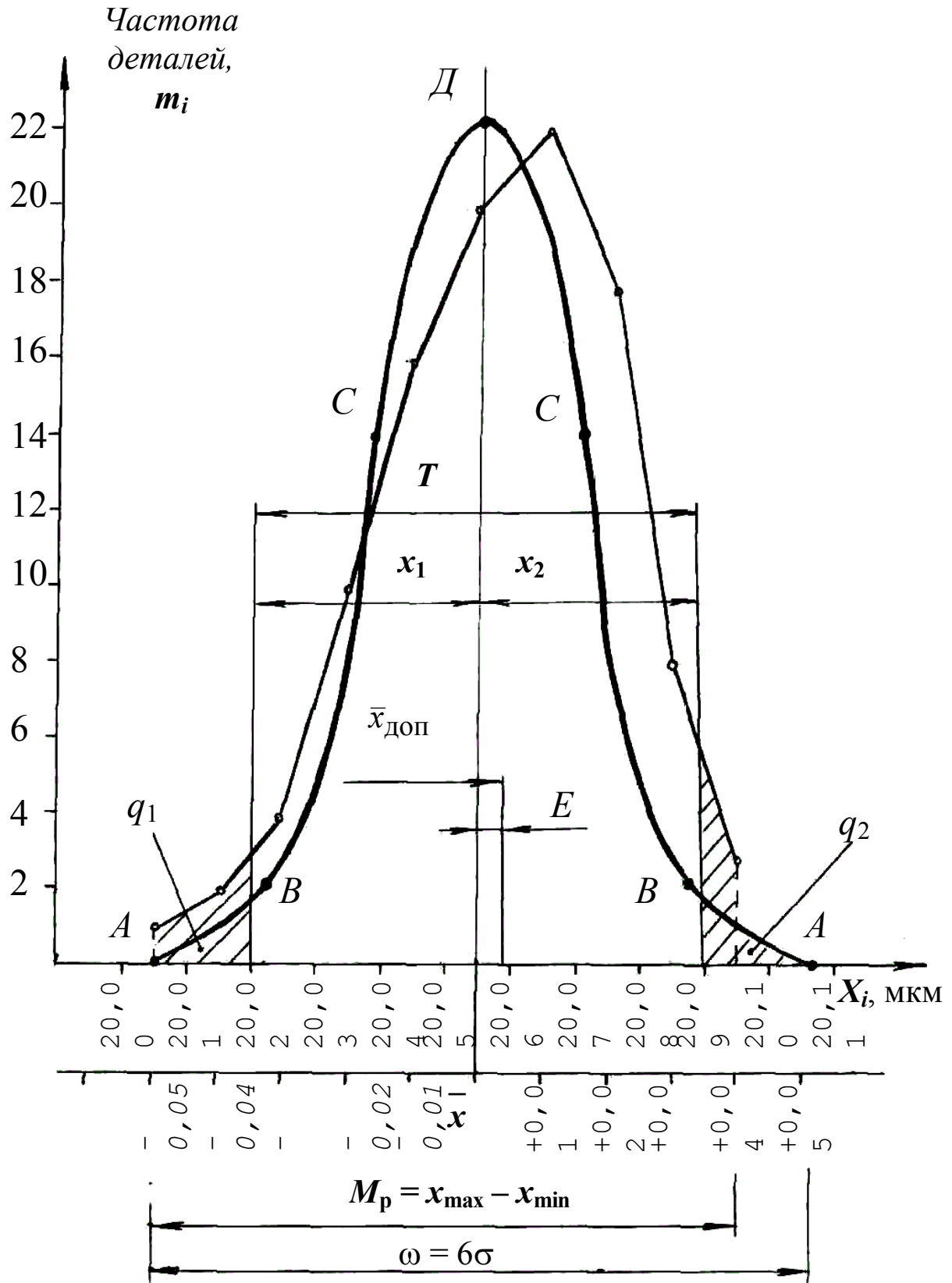


Рис. 7.3. Схема построения полигона и кривая нормального распределения

Построение полигона распределения производят следующим образом. Середины интервалов x_i откладывают по оси абсцисс, а соответствующие им частоты m_i – по оси ординат. Полученные таким образом точки соединяют ломаной линией.

Рассчитать статистические характеристики эмпирической кривой распределения:

1. Мету рассеяния M_p , формула (7.1).
2. Среднеарифметическое значение действительных размеров деталей \bar{x} , формула (7.3). Определяют как сумму данных 5 и 3-й граф вспомогательной табл. 1 прил. 7.1.
3. Среднеквадратическое отклонение измеренных размеров σ , формула (7.4). Определяют использованием сумм данных 8 и 3-й граф вспомогательной табл. 1 прил. 7.1.

Произвести оценку близости эмпирической и теоретической кривых распределения. Для этого необходимо построить теоретическую кривую по четырем характерным точкам, пользуясь табл. 7.1 и схемой рис. 7.3.

Таблица 7.1

Координаты характерных точек кривой нормального распределения

Характерные точки	Абсцисса	Ордината
Вершина кривой (Д)	$x = \bar{x}$	$y = 0,4 \frac{nc}{\sigma}$
Точка перегиба (С)	$x = \pm\sigma$	$y = 0,24 \frac{nc}{\sigma}$
Точка перегиба (В)	$x = \pm 2\sigma$	$y = 0,054 \frac{nc}{\sigma}$
Точка перегиба (А)	$x = \pm 3\sigma$	$y = 0$

Примечание: c – цена интервала эмпирической совокупности

Произвести оценку соответствия опытного распределения нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 . Для этого определяют теоретическую частоту каждого интервала выборки m' :

$$m' = \frac{nc}{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2 / 2\sigma^2}. \quad (7.6)$$

Обозначим

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2 / 2\sigma^2} = Z_t. \quad (7.7)$$

Тогда формула (7.6) будет иметь вид

$$m' = \frac{nc}{\sigma} Z_t. \quad (7.8)$$

Величина Z_t приведена в табл. 2 прил. 7.2. Расчетное значение критерия χ^2 вычисляются по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^f \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i}. \quad (7.9)$$

Расчет удобнее вести во вспомогательной табл. 2 прил. 7.1. Далее необходимо вычислить число степеней свободы k :

$$k = f - 3. \quad (7.10)$$

Для того чтобы принять или забраковать гипотезу при помощи критерия χ^2 , установлен уровень значимости его (или уровень вероятности) $P = 0,05$. Вероятности $P(\chi^2)$ для различных значениях χ^2 и k приведены в табл. 3 прил. 7.2. Если $P(\chi^2) > 0,05$, то гипотеза принимается.

Можно так же определить величину A :

$$A = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}}. \quad (7.11)$$

Если $A < 3$, то гипотеза о нормальности распределения измеренных размеров принимается и данный теоретический закон

для анализа точности данной операции механической обработки можно использовать.

Произвести оценку точности механической обработки по следующим характеристикам теоретического закона распределения:

Коэффициент запаса точности K_φ характеризует влияние случайных факторов на точность обработки размеров:

$$K_\varphi = \frac{T}{\omega}, \quad (7.12)$$

где T – допуск на обработку размера детали.

Если $K_\varphi > 1$, то обработка деталей возможна без брака (при условии правильной настройки станка).

При $K_\varphi \geq 1,2$ технологический процесс обеспечивает определенный резерв точности, процесс обработки считается надежным.

При $K_\varphi \leq 1$ брак является весьма вероятным, т.к. технологический процесс не обеспечивает требуемой точности.

Коэффициент точности настройки станка K_H оценивает положение середины поля рассеяния размеров заготовок относительно середины поля допуска. Он характеризует влияние систематических погрешностей обработки деталей и определяется следующим образом:

$$K_H = \frac{E}{T}, \quad (7.13)$$

где $E = \bar{x} - \bar{x}_{\text{доп}}$ – величина фактического смещения вершины кривой рассеяния от середины поля допуска $\bar{x}_{\text{доп}}$ (см. рис. 7.3).

Если коэффициент точности настройки удовлетворяет условию

$$K_H < \frac{T - \omega}{2T}, \quad (7.14)$$

то считается, что настройка станка обеспечивает получение годных деталей (при $K_\varphi > 1$). В случае невыполнения данного условия настройка станка вышла за допустимые пределы, что влечет за собой появление бракованных деталей.

Количество вероятного брака заготовок q характеризует возможный выход за границы поля допуска определенного количества деталей: при $K_{\phi} \leq 1$ или $K_H \geq (T - \omega / 2T)$. При этом количество деталей, которые могут выйти за пределы допуска, выражается графически заштрихованной площадью, показанной на рис. 7.3. Площадь, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, равна 1 и выражает собой 100 % деталей выборки (партии), а площадь заштрихованных участков представляет собой вероятное количество деталей, выходящих по своим размерам за пределы поля допуска T .

Площадь левого и правого заштрихованных участков q_1 и q_2 определяется путем вычисления интегралов по формулам

$$q_1 = 0,5 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{-x_1} e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma^2} dx; \quad (7.15)$$

$$q_2 = 0,5 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma^2} dx. \quad (7.16)$$

Эти интервалы обычно представляют в нормированном виде в форме известной функции Лапласа $\Phi(t)$. Поэтому на практике вероятности получения брака вычисляют следующим образом:

$$\begin{aligned} q_1 &= 0,5 - \Phi(t_1); \\ q_2 &= 0,5 - \Phi(t_2). \end{aligned} \quad (7.17)$$

Значения функции $\Phi(t)$ приводят в табл. 4 прил. 7.2. Величина t представляет собой коэффициент риска, определяемый по формулам

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{x_1}{\sigma}; \\ t_2 &= \frac{x_2}{\sigma}, \end{aligned} \quad (7.18)$$

где x_1 и x_2 – расстояние от среднеарифметического размера партии деталей \bar{x} до соответственно нижней и верхней границ поля допуска (см. рис. 7.3).

Технологический допуск $T_{\text{техн}}$ характеризует тот допуск, который фактически обеспечивается при существующем технологическом процессе. Он определяется следующим образом:

$$T_{\text{техн}} = \omega + E. \quad (7.19)$$

По результатам анализа сделать выводы о точности механической обработки деталей на исследуемой операции.

7.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под точностью механической обработки?
2. Для решения каких задач в технологии машиностроения используют методы математической статистики?
3. Какие теоретические законы распределения используют в технологии машиностроения при анализе точности технологических процессов?
4. Какие существуют виды погрешностей при обработке?
5. Почему распределение размеров деталей, обработанных на настроенных станках, наиболее часто подчиняется нормальному закону распределения?
6. Особенности теоретического закона нормального распределения.
7. Как влияют различные погрешности обработки размеров на характер кривой нормального распределения?
8. С помощью каких показателей осуществляют анализ точности операций механической обработки и что они характеризуют?
9. Как определить вероятное количество брака?
10. При каких условиях возможна обработка заготовок без брака?

7.5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

7.5.1. Технология машиностроения : в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с.

7.5.2. Технология машиностроения: в 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения : учеб. пособие для вузов / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – М. : Высш. шк., 2003. – 278 с.

7.5.3. Миттаг, Х.-Й. Статистические методы обеспечения качества / Х.-Й. Миттаг [и др.] : пер. с нем. – М. : Машиностроение, 1995. – 616 с.

Номера вариантов и размеры деталей

Интервалы размеров	Форма поверхности и ее размеры, мм									
	Вал $\varnothing 16_{-0,12}$					Отверстие $\varnothing 16^{+0,12}$				
	Количество деталей в размерных группах, шт.									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15,84–15,86	4	2	3	–	1	–	–	–	–	–
15,86–15,88	4	3	3	2	3	–	–	–	–	–
15,88–15,90	8	11	5	4	9	–	–	–	–	–
15,90–15,92	21	27	13	8	25	–	–	–	–	–
15,92–15,94	24	33	22	26	24	–	–	–	–	–
15,94–15,96	18	161	26	20	15	–	–	–	–	–
15,96–15,98	14	8	18	18	13	–	–	3	–	–
15,98–16,00	6	3	7	12	8	2	4	5	–	1
16,00–16,02	1	–	3	8	2	6	7	11	8	5
16,02–16,04	–	–	–	2	–	13	11	17	15	8
16,04–16,06	–	–	–	–	–	19	17	23	27	16
16,06–16,08	–	–	–	–	–	24	23	21	31	25
16,08–16,10	–	–	–	–	–	26	22	12	14	23
16,10–16,12	–	–	–	–	–	7	10	6	5	12
16,12–16,14	–	–	–	–	–	3	4	2	2	5
16,14–16,16	–	–	–	–	–	–	2	–	–	3

Таблица 4

$$\text{Значение } \Phi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,01	0,0040	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4678
0,02	0,0080	0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,90	0,4713
0,03	0,0120	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,04	0,0160	0,35	0,1368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,05	0,0199						
		0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,10	0,4821
0,06	0,0239	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,20	0,4861
0,07	0,0279	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,30	0,4893
0,08	0,0319	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,40	0,4918
0,09	0,0359	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,50	0,4938
0,10	0,0398						
		0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,60	0,4953
0,11	0,0438	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,70	0,4965
0,12	0,0478	0,43	0,1654	0,96	0,3315	2,80	0,4974
0,13	0,0517	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,90	0,4981
0,14	0,0557	0,45	0,1736	1,00	0,3413	3,00	0,49865
0,15	0,0596					—	—
		0,46	0,1772	1,05	0,3531		
0,16	0,0636	0,47	0,1608	1,10	0,3643	3,20	0,49931
0,17	0,0675	0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,40	0,49966
0,18	0,0714	0,49	0,1879	1,20	0,3849	3,60	0,499841
0,19	0,0753	0,50	0,1915	1,25	0,3944	3,80	0,499928
0,20	0,0793			—	—	4,00	0,499968
		0,52	0,1985				
0,21	0,0832	0,54	0,2054	1,30	0,4032	4,50	0,499997
0,22	0,0871	0,56	0,2123	1,35	0,4115	5,00	0,49999997
0,23	0,0910	0,58	0,2190	1,40	0,4192	—	—
0,24	0,0948	0,60	0,2257	1,45	0,4265	—	—
0,25	0,0987	—	—	1,50	0,4332	—	—
						—	—
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,65	0,4505	—	—
0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,70	0,4554	—	—
0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,75	0,4599	—	—

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ ПЛАНИРУЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

8.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – разработка математической модели, описывающей влияние режимов резания на шероховатость поверхности методом многофакторного планирования эксперимента.

В связи с этим в настоящей лабораторной работе ставятся следующие задачи:

- освоение методов измерения и контроля шероховатости;
- подробное изучение устройства и принципа действия портативного профилометра мод. «Talysurf-5M»;
- освоение основных принципов математического планирования эксперимента и применение их к определению связи шероховатости с режимами резания;
- обработка полученных результатов и их анализ.

8.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Шероховатость поверхности, наряду с упрочнением, остаточными напряжениями и микроструктурой, является характеристикой качества поверхностного слоя деталей машин, под которым понимают совокупность геометрических и физико-механических свойств поверхностного слоя, отличающихся от свойств основного металла.

Характеристики шероховатости в значительной мере определяют эксплуатационные свойства деталей машин, такие, как износостойкость, усталостная прочность, контактная жесткость и ряд других. Отсюда вытекает важность получения навыков по измерению шероховатости и освоение методов, позволяющих быстро и надежно определить влияние на нее составляющих режима обработки.

Исследование можно проводить двумя путями. Первый путь заключается в том, что изменяется (варьируется) одна из составляющих режима обработки (например, скорость V), а остальные

(подача S и глубина резания t) остаются неизменными. После проведения эксперимента строится график зависимости какого-либо параметра шероховатости от варьируемого элемента режима (фактора).

Такое однофакторное экспериментирование требует для детального анализа связи шероховатости с составляющими режима резания большого числа испытаний, которое резко возрастает с увеличением числа факторов. Поэтому в лабораторной работе целесообразно применить методику многофакторного планирования эксперимента, которая позволяет выбрать оптимальную стратегию, построить математические модели процесса, с их помощью провести анализ влияния на шероховатость режима резания.

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. При этом существенно следующее [8.7.1, 8.7.2]:

- 1) стремление к минимизации числа опытов;
- 2) одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс по специальным правилам – алгоритмам;
- 3) использование математического аппарата, формализующего многие действия экспериментатора;
- 4) выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

При решении задач необходимо ознакомиться с такими основными понятиями, как объект исследования, функция отклика, фактор, интервал варьирования, и основными требованиями, предъявляемыми к ним.

При планировании эксперимента используется понятие математической модели объекта исследования, под которой понимают уравнение, связывающее параметр оптимизации (функцию отклика) с факторами. Это уравнение в общем виде может быть записано так:

$$y = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (8.1)$$

где символ $\varphi(\dots)$ заменяет слова «функция от». Такая функция именуется функцией отклика. В качестве функции отклика при

проведении работы выбран параметр шероховатости Ra – среднее арифметическое отклонение профиля по ГОСТ 2789–73.

Фактором называется изменяемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение. Применительно к данной работе факторами являются скорость резания V , подача S и глубина резания t . Каждый фактор может принимать в опыте одно из нескольких значений, которые называются уровнями. Выбранные в работе факторы отвечают следующим требованиям:

1) управляемости, т.е. их можно поддерживать постоянными в течение всего опыта;

2) операциональности, т.е. известна последовательность действий (операций), с помощью которых устанавливаются его конкретные значения;

3) точности, которая достаточно высока;

4) однозначности, т.е. они не являются функциями других факторов.

Проведению эксперимента предшествует выбор модели. В данном эксперименте выбран алгебраический полином первой степени – линейная модель. Предполагается, что данная модель достаточно проста и адекватна реальному процессу, т.е. способна предсказывать результаты эксперимента в некоторой области с требуемой точностью.

При выборе области эксперимента должны учитываться границы областей определения факторов, которые в данном случае зависят от технологических возможностей станка, режущего инструмента и обрабатываемого материала. Далее для каждого фактора необходимо выбрать нулевой уровень, т.е. исходную точку для построения плана эксперимента. Для каждого фактора выбирается два уровня, на которых они будут варьироваться в эксперименте: верхний и нижний, соответствующие, как правило, большему и меньшему значениям фактора.

Интервалом варьирования факторов называется некоторое число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню дает верхний, в вычитание – нижний уровень фактора. Для упрощения записи уровни фактора обозначают: верхний – $+I(+)$, нижний – $-I(-)$. Для факторов с непрерывной об-

ластью определения это всегда можно сделать с помощью преобразования:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (8.2)$$

где x_i – кодированные значения фактора;
 X_i – натуральные значения фактора;
 X_{i0} – натуральные значения основного уровня;
 ΔX_i – интервал варьирования;
 i – номер фактора.

8.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ, МАТЕРИАЛЫ

В лабораторной работе используются:

- 1) токарно-винторезный станок мод. 1К62;
- 2) резец проходной с многогранной твердосплавной пластиной, Т15К6, ГОСТ 21151–75;
- 3) оправка для установки колец;
- 4) кольца, сталь 45, ГОСТ 1050–88, 8 шт.;
- 5) тахометр электронный ТЭ30-5Р;
- 6) профилограф-профилометр мод. «Talysurf-5М».

Шероховатость поверхности измеряют контактным методом при помощи щуповых приборов (профилометров и профилографов) и бесконтактным – оптическими приборами (микроинтерферометрами, двойными микроскопами и др.).

В России промышленностью выпускаются профилографы-профилометры моделей 201; 202; 252; 280; 171311, а также профилометры моделей 253, 283, 296, 170622, которые позволяют измерять параметр шероховатости до Ra 0,02...0,04.

Наибольшее распространение для бесконтактных измерений шероховатости получили оптические приборы: светового сечения, теневой проекции и интерференции света.

В интерференционных средствах измерения шероховатости поверхности используется интерференция двух или большего числа когерентных пучков лучей (вышедших из одной точки источника света, имеющих одинаковое направление колебаний, одинаковые частоты и постоянную разность фаз). К ним относят микроинтерферометры двухлучевые (МИИ-4, МИИ-5, МИИ-15), одно-

объективный (МИИ-9), иммерсионно-репликовый (МИИ-10), предназначенные для измерения профильным методом неровностей поверхности высотой от 0,03 до 1,0 мкм деталей, обладающих достаточной отражательной способностью.

Профилограф-профилометр «Talysurf-5M» (Англия) представляет собой измерительную систему модульной конструкции, предназначенную для измерения параметров шероховатости поверхности. Большая часть данных измерения получается в результате выполнения одного перемещения датчика над поверхностью; значения параметров затем выбираются по желанию из запоминающих устройств. С помощью системы могут быть получены графики шероховатости, волнистости или несглаженного профиля.

Система включает: стойку с приводом 1, подающее устройство 2, датчик (стандартный) 3, процессор 4 и самописец 5, являющийся интегральной частью процессора (рис. 8.1).

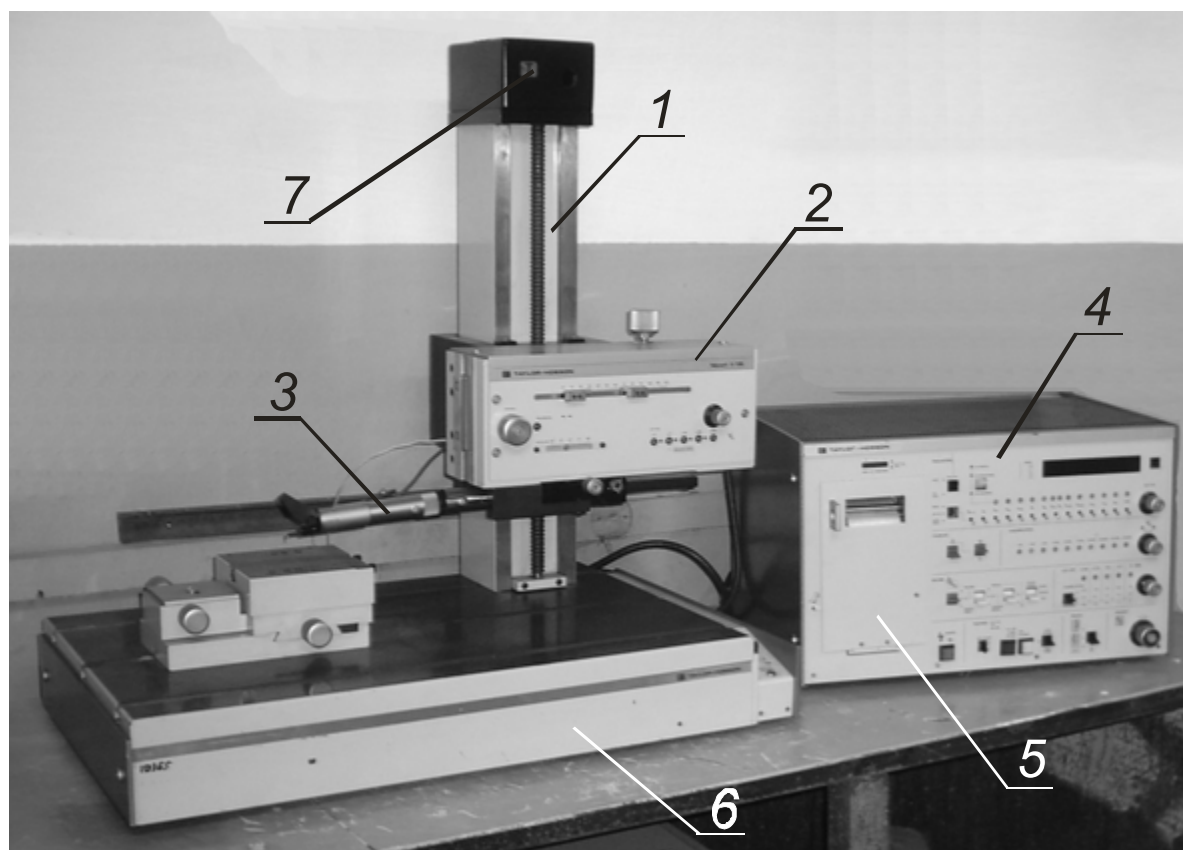


Рис. 8.1. Общий вид профилографа-профилометра «Talysurf-5M»

Технические характеристики процессора:

- базовые длины: 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8 мм;
- вертикальное увеличение V_v : $\times 100$, $\times 200$, $\times 500$, $\times 1000$, $\times 2000$, $\times 5000$, $\times 10000$, $\times 20000$, $\times 50000$, $\times 100000$;
- горизонтальное увеличение V_h для профилограмм, построенных по данным из ЗУ: $\times 2$, $\times 5$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 50$, $\times 100$, $\times 200$;
- горизонтальное увеличение V_h для непосредственного построения профилограммы: в соответствии с выбором на подающем устройстве;
- номограмма: запись на электрочувствительной бумаге;
- ширина зоны записи: 50 мм;
- скорость: 300 мм/мин.

Порядок работы на приборе описан в методических указаниях [8.7.3].

8.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Число факторов принято равным $n = 3$, а число уровней – 2. Поэтому общее число опытов равно $N = 2^3 = 8$). Условия эксперимента записывают в виде таблицы, называемой матрицей планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значениям факторов.

В лабораторной работе приняты условия проведения опытов, указанные в табл. 8.1.

В табл. 8.2 приведена матрица планирования эксперимента 2^3 . Основные принципы построения матрицы планирования достаточно хорошо изложены в литературе [8.7.1, 8.7.2], кроме того, изучаются в рамках курса «Методология научных исследований», поэтому здесь они опущены.

Как уже отмечалось, в качестве вектора выхода (функции отклика) принята величина Ra . Реализация матрицы планирования позволяет вычислить коэффициент уравнения регрессии (b_0, b_1, b_2, \dots):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3. \quad (8.3)$$

Таблица 8.1

Условия проведения опытов

Факторы	Скорость V , м/мин	Подача S , мин/об.	Глубина резания t , мм
Код	X_1	X_2	X_3
Основной уровень	150	0,1	1
Интервалы варьирования	50	0,03	0,5
Верхний уровень	200	0,13	1,5
Нижний уровень	100	0,07	0,5

Таблица 8.2

Матрица планирования эксперимента 2^3

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	X_1 X_2 X_3	Вектор выхода y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	Y_1
2	+	+	-	-	-	-	+	+	Y_2
3	+	-	+	-	-	+	-	+	Y_3
4	+	+	+	-	+	-	-	-	Y_4
5	+	-	-	+	+	-	-	+	Y_5
6	+	+	-	+	-	+	-	-	Y_6
7	+	-	+	+	-	-	+	-	Y_7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	Y_8

Величина коэффициента уравнения говорит о силе, а знак – о характере влияния данного фактора или взаимодействия факторов на функцию отклика.

Работа выполняется в следующем порядке:

1. Кольца устанавливаются на оправку (рис. 8.2). Оправка закрепляется в патроне и поджимается задним центром; проводится установка резца.

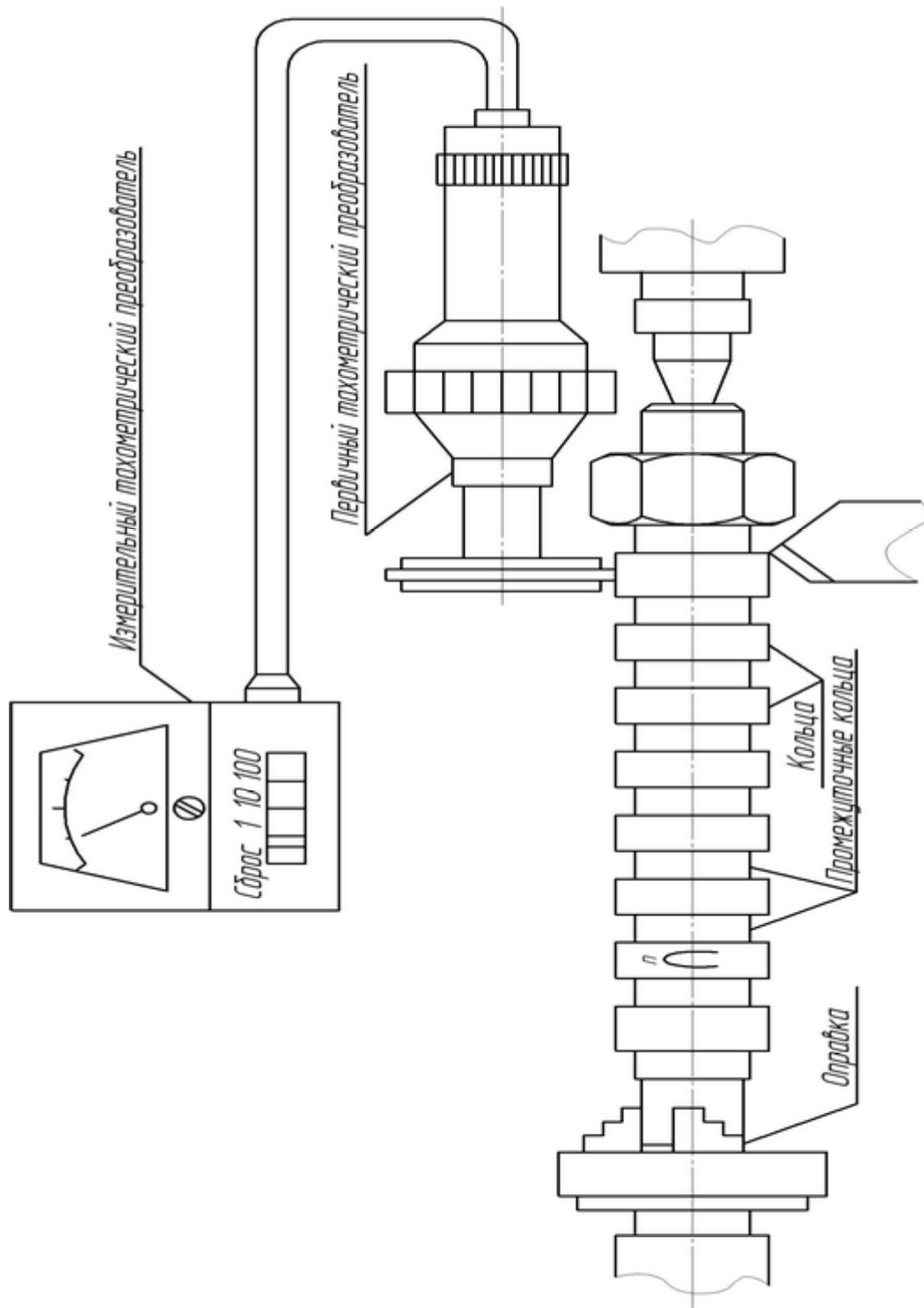


Рис. 8.2. Схема обработки и измерения числа оборотов

2. Выбирается порядок проведения опытов. С целью исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями, все опыты проводятся в случайной последовательности (рандомизированно во времени). Для данного случая порядок проведения опытов, выбранный по таблице случайных чисел, следующий: 2, 3, 7, 8, 1, 4, 5, 6.

3. По табл. 8.2 устанавливается режим, соответствующий 2-му опыту матрицы планирования; т.е. фактор $x_1(V)$ находится на верхнем, а $x_2(S)$ и $x_3(t)$ – на нижнем уровне. Согласно табл. 8.1 натуральные значения факторов следующие: $V = 200$ м/мин, $S = 0,07$ мм/об и $t = 0,5$ мм. Число оборотов рассчитывается по известной зависимости

$$n = \frac{1000V}{\pi d} \quad (8.3)$$

и устанавливается на станке по ближайшему значению. Затем проводится регулирование чисел оборотов и измерение их тахометром (рис. 8.2) до получения нужного (расчетного) значения.

4. Обрабатывается кольцо по выбранному режиму. Далее устанавливается режим, соответствующий 3-му опыту матрицы планирования, обрабатывается 2-е кольцо и т.д. до 8-го кольца включительно.

5. Каждый опыт повторяется дважды, т.е. повторность опытов равна 2.

6. Кольца снимают с оправки, маркируют и устанавливают последовательно на призму прибора «Talysurf-5M». Проводится измерение шероховатости, данные заносятся в протокол отчета (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Результаты измерений шероховатости поверхности

№ опыта	Шероховатость, Ra , мкм		
	Опыт № 1	Опыт № 2	Среднее значение
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

7. Проводится вычисление средних арифметических значений по каждой строке:

$$\bar{y}_p = \frac{\sum_{K=1}^{\gamma} y_K}{\gamma}, \quad (8.4)$$

где K – номер параллели в опыте; p – номер опыта; γ – повторность опытов; y – значение выхода.

8. Проводится вычисление средних квадратов по каждой строке:

$$\bar{y}_p^2 = \frac{\sum_{K=1}^{\gamma} y_K^2}{\gamma}. \quad (8.5)$$

9. Проводится вычисление построечных дисперсий

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{K=1}^{\gamma} (y_K - \bar{y}_p)^2}{\gamma}. \quad (8.6)$$

10. Проводится сравнение построечных дисперсий и выделение из них максимальной.

11. Проводится вычисление эмпирического значения критерия Кохрена

$$C_3 = \frac{\sigma_{p\max}^2}{\sum_{p=1}^n \sigma_p^2}. \quad (8.7)$$

12. Проводится сравнение эмпирического и табличного критериев (таблица прил. 8.1, N – число опытов) Кохрена. Если $C_3 < C_{\text{табл}}$, то опыты равнозначны. При невыполнении этого условия необходимо либо увеличить повторность опытов γ , либо увеличить точность измерений.

13. Проводится вычисление дисперсии воспроизводимости

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{p=1}^n \sigma_p^2}{N}. \quad (8.8)$$

14. Проводится вычисление коэффициентов уравнения регрессии b_1, b_2, b_3, b_4 :

$$b_i = \frac{\sum_{p=1}^N y_p x_{pi}}{N}, \quad (8.9)$$

где i – номер фактора.

15. Проводится вычисление коэффициентов при парных взаимодействиях b_{ij} (b_{12}, b_{13}, b_{23}):

$$b_{ij} = \frac{\sum_{p=1}^N \bar{y}_p x_{pi} x_{pj}}{N}. \quad (8.10)$$

16. Проводится вычисление линейных коэффициентов:

$$\sigma_{bi}^2 = \frac{\sigma_y^2}{N}. \quad (8.11)$$

17. Проводится вычисление дисперсии коэффициентов при парных взаимодействиях:

$$\sigma_{bij}^2 = \frac{\sigma_y^2}{N}. \quad (8.12)$$

18. Проводится вычисление эмпирических критериев Стьюдента:

$$t_{\text{э}i} = \frac{b_i}{\sqrt{\sigma_{bi}^2}}. \quad (8.13)$$

19. Проводится сравнение эмпирического и табличного значения критериев Стьюдента. Если $t_{\text{э}} < t_{\text{табл}}$, то данный коэффициент незначим. Значения $t_{\text{табл}}$ для определенных уровней значимости и степеней свободы $f = N(\gamma - 1)$ приведены в таблице прил. 8.2.

20. Проводится вычисление квадрата среднего значения выхода:

$$B_0 = b_0^2. \quad (8.14)$$

21. Проводится вычисление числа степеней свободы дисперсий адекватности:

$$f_1 = N - K', \quad (8.15)$$

где K' – число значимых коэффициентов, включая b_0 .

22. Проводится вычисление дисперсий адекватности:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{1}{N-K'} \left[\sum y_p^2 - Nb_0 - \sum b_{ij}^2 - N(\sum b_i)^2 \right]. \quad (8.16)$$

23. Проводится вычисление эмпирического значения критерия Фишера:

$$F_э = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_y^2}. \quad (8.17)$$

24. Проводится сравнение эмпирического и табличного значения критериев Фишера. Если $F_э > F_{табл}$, то полученная модель адекватно отображает функцию выхода. В противном случае необходимо перейти к использованию полинома более высокого порядка или ввести дополнительные переменные.

Значения $F_{табл}$ для уровня значимости $\alpha = 0,2$ приведены в таблице прил. 8.3.

25. В протокол отчета записывается вид полученной математической модели, оформляется отчет по работе, записываются выводы по результатам эксперимента.

8.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Исходные и полученные данные заносятся в соответствующие графы таблицы отчета. Производятся необходимые расчеты, анализ полученного уравнения регрессии, формулируются и записываются выводы по лабораторной работе.

При оформлении отчета необходимо придерживаться правил, указанных в ГОСТ 2.105–95 «Общие требования к текстовым документам». О проведении лабораторной работы свидетельствуют подписи студента, лаборанта и преподавателя, ведущего занятия, в соответствующих строках основной надписи.

8.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что подразумевают под качеством поверхностного слоя и какова роль шероховатости при оценке эксплуатационных свойств деталей машин?

2. В чем отличие многофакторного планирования эксперимента от традиционного однофакторного экспериментирования?

3. В чем заключается принцип работы профилографа-профилометра мод. «Talysurf-5M»?
4. Каков смысл полученного уравнения регрессии?
5. С какой целью проводится проверка по критериям Стьюдента и Фишера?
6. Какой из исследуемых технологических факторов оказывает наибольшее влияние на шероховатость поверхности?
7. Какие параметры шероховатости нормированы ГОСТ 2789–73?

8.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

8.7.1. Суслов, А. Г. Технология машиностроения : учеб. для студентов машиностр. специальностей вузов. – М. : Машиностроение, 2004. – 400 с.

8.7.2. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.

8.7.3. Измерение шероховатости на профилографе-профилометре «TALYSURF-5M». Методические указания лабораторной работе / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов, О. А. Останин. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2006. – 35 с.

8.7.4. ГОСТ 25142–82. Шероховатость поверхности. Термины и определения.

8.7.5. Миттаг, Х.-Й. Статистические методы обеспечения качества / Х.-Й. Миттаг [и др.] : пер. с нем. – М. : Машиностроение, 1995. – 616 с.

8.7.6. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1971. – 283 с.

8.7.7. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул : учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 239 с.

Приложение 8.1

Значение критериев Кохрена ($C_{\text{табл}}$)

$f_2 = N$	$f_1 = \gamma - 1$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Уровень значимости $\alpha = 0,05$								
1	0,999	0,970	0,939	0,906	0,877	0,863	0,833	0,816
2	0,937	0,871	0,793	0,700	0,707	0,677	0,608	0,633
3	0,907	0,765	0,684	0,629	0,690	0,580	0,537	0,510
4	0,841	0,681	0,680	0,544	0,507	0,478	0,406	0,439
5	0,731	0,615	0,532	0,480	0,440	0,413	0,397	0,382
6	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,351	0,333
7	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,338	0,319	0,304
8	0,639	0,478	0,403	0,365	0,329	0,307	0,290	0,277
9	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,200

Приложение 8.2

Значение критериев Стьюдента ($t_{\text{табл}}$)

Число степеней свободы $f = N(\gamma - 1)$	Уровни значимости α				
	0,16	0,08	0,02	0,01	0,001
1	3,314	12,706	31,821	63,567	636,800
2	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	2,363	3,182	4,641	5,841	12,922
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	1,948	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,690	2,365	2,998	3,499	5,408
8	1,360	2,306	2,896	3,363	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,781	3,169	4,387

Приложение 8.3

Значение критерия Фишера ($F_{\text{табл}}$)
для уровня значимости $\alpha = 0,03$

$f_2 = N(y - 1)$	$f_1 = N - K'$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	181,45	199,50	216,71	224,53	230,18	233,99	236,77	238,88
2	18,513	19,22	19,161	19,217	19,296	19,330	19,353	19,371
3	10,128	9,652	9,277	9,117	9,013	8,941	8,387	8,845
4	7,709	8,914	6,591	6,338	6,266	6,163	6,094	6,011
5	6,608	5,786	5,411	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818
6	5,937	5,143	4,757	4,534	4,387	4,254	4,237	4,147
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,636	3,581	3,601	3,433
9	5,117	4,257	3,863	3,633	3,432	3,374	3,293	3,230
10	5,960	4,1403	3,703	3,487	3,328	3,217	3,136	3,072
11	4,800	3,923	3,587	3,307	3,204	3,095	3,012	2,948
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,819
13	4,667	3,606	3,411	3,179	3,020	2,915	2,832	2,767
14	4,600	3,739	3,344	3,121	2,958	2,843	2,764	2,699
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,791	2,707	2,611
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

СБОРКА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ПО МЕТОДУ ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

9.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомление с одним из методов достижения заданной точности замыкающего звена – методом групповой взаимозаменяемости и получение практических навыков сборки шарикового радиального подшипника № 6305.

Задачи лабораторной работы:

- ознакомление с методом групповой взаимозаменяемости и принципами построения номограммы подборки радиальных шариковых подшипников при рассортировке колец на группы при сборке подшипников;

- ознакомление с принципами контроля колец и тел качения при рассортировке на группы;

- контроль геометрических размеров наружных и внутренних колец и тел качения и селекция деталей по группам;

- обеспечение собираемости по результатам расчетов и измерений;

- сборка подшипника и ознакомление с методикой контроля радиального зазора.

Лабораторная работа рассчитана на 4 часа:

- 1 час – ознакомление с теоретической частью и методиками измерения основных размеров колец и тел качения;

- 3 часа – выполнение измерений, обеспечение собираемости и сборка подшипников.

9.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции машины, в технологических процессах изготовления ее деталей и сборки, при измерении [9.8.1]. Эти связи возникают в соответствии с условием и принятым решением конструкторской, технологической задачи или задачи измерения.

Чертежом подшипника регламентирована конструкторская размерная цепь – размерная цепь, определяющая величину радиального зазора. При изготовлении шариковых радиальных под-

шипников возникает технологическая задача – в процессе механической обработки деталей и сборки обеспечить получение заданной конструктором величины этого радиального зазора.

Одним из важных факторов, влияющих на долговечность радиальных подшипников, является радиальный зазор в них, который определяется как средняя величина нескольких измерений суммарного смещения в плоскости, перпендикулярной к оси подшипника. Такое смещение может претерпевать одно из колец подшипника (другое кольцо подшипника неподвижное) при его вращении в различных угловых направлениях как относительно вращаемого, так и неподвижного кольца и при различных угловых положениях комплекта тел качения относительно колец подшипника. Оптимальные значения радиального зазора для определенных условий эксплуатации подшипника позволяют обеспечить рациональное распределение нагрузки между телами качения, необходимое смещение вала и корпуса в радиальном направлении, а также улучшить и повысить стабильность виброакустических характеристик, снизить потери на трение.

Различают три вида радиальных зазоров: начальный, посадочный и рабочий. Начальный зазор определяют и назначают в процессе конструирования подшипника исходя из его эксплуатационных характеристик. Посадочный зазор всегда меньше начального в связи с деформациями колец в радиальном направлении после установки подшипника на рабочее место. При работе подшипникового узла и установившемся температурном режиме образуется рабочий зазор, который может быть больше или меньше посадочного в зависимости от схемы установки подшипников, воспринимаемой нагрузки и перепада температур вала и корпуса.

В качестве метода достижения заданной точности замыкающего звена (радиального зазора) используется метод групповой взаимозаменяемости (селективной сборки), при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы.

Особенностью метода является то, что детали соединяются на сборке без пригонки и регулировки. Расчетное значение до-

пусков размеров составляющих звеньев (желобов колец) увеличивается в несколько раз до экономически целесообразных производственных допусков. После изготовления детали (кольца и тела качения) рассортировываются по значениям действительных размеров на ряд групп в пределах расчетного допуска. При сборке соединяют детали соответствующих (одинаковых) групп для получения размера замыкающего звена в заданных пределах.

К числу преимуществ метода следует отнести возможность достижения высокой точности замыкающего звена при экономически целесообразных производственных допусках размеров составляющих звеньев.

Недостатки метода: увеличение незавершенного производства; дополнительные затраты на проверку и сортировку деталей; некоторое усложнение сборки и хранения деталей до сборки.

При селективной сборке расчет размерной цепи выполняют обычно методом максимума-минимума, для которого характерны

$$T_{A_{\Delta}} = \sum_1^{m-1} T_{A_i}, \quad (9.1)$$

где $T_{A_{\Delta}}$ и T_{A_i} – допуски на замыкающее и составляющие звенья размерной цепи; i – число составляющих звеньев; m – общее число звеньев размерной цепи.

Число групп $n_{гр}$, на которые рассортировываются детали, обработанные с экономически приемлемыми допусками, определяется при заданном допуске $T_{A_{\Delta}}$ исходного звена по формуле (с округлением до целого числа)

$$n_{гр} = \frac{\sum_1^{m-1} T_{A_i}}{T_{A_{\Delta}}}. \quad (9.2)$$

Обычно $n_{гр}$ принимают в пределах от 2 до 5 и лишь в отдельных случаях (производство подшипников) $n_{гр} > 10-15$.

Допуск составляющего размера (групповой допуск) в пределах группы равен

$$(T_{A_i})_{\text{гр}} = \frac{T_{A_i}}{n_{\text{гр}}}, \quad (9.3)$$

и, как следует из (9.2) и (9.3),

$$\sum_1^{m-1} (T_{A_i})_{\text{гр}} = T_{A_{\Delta}}. \quad (9.4)$$

При решении размерной цепи методом групповой взаимозаменяемости рекомендуется соблюдать равенство сумм допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев.

На рис. 9.1 приведены эскиз и схема четырехзвенной размерной цепи радиального однорядного подшипника качения.

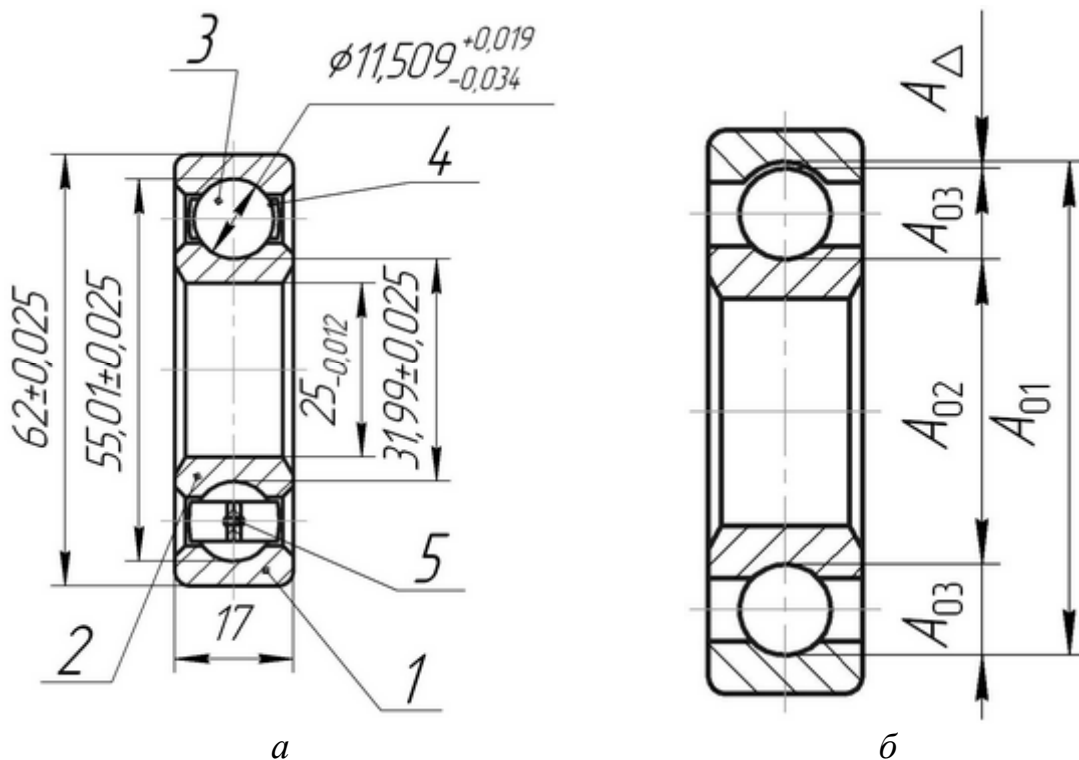


Рис. 9.1. Эскиз (а) и схема (б) размерной цепи радиального подшипника качения № 6305: 1 и 2 – наружное и внутреннее кольцо соответственно; 3 – тело качения (шарик); 4 – полусепараторы; 5 – заклепка

Таким образом, задача заключается в сортировке (селекции) на группы при заданных допусках составляющих звеньев подшипника № 6305:

$$A_{01} = 55,009 \pm 0,025 \text{ мм}; A_{02} = 31,991 \pm 0,025 \text{ мм};$$

$$A_{03} = 11,509_{-0,034}^{+0,019} \text{ мм}.$$

Величина замыкающего звена (радиального зазора) составляет: $A_{\Delta} = 0_{+0,010}^{+0,024}$, т.е. $A_{\Delta \max} = 0,024$ мм, $A_{\Delta \min} = 0,010$ мм.

9.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛЫ

9.3.1. В лабораторной работе применяются:

- 1) 50 штук наружных колец, 50 штук внутренних колец и 400 штук шариков диаметром подшипника № 6305;
- 2) прибор для измерения диаметров дорожки качения наружных и внутренних колец мод. УД-1В (2 шт.);
- 3) прибор для измерения диаметра шариков мод. 262-2М;
- 4) измерительные микрокаторные головки типа 1ИГП с ценой деления 0,001 мм (3 шт.);
- 5) ложный сепаратор подшипника;
- 6) прибор для измерения радиального зазора шарикового радиального подшипника мод. Р123;
- 7) линейка для разбивки веера наружных и внутренних колец подшипников.

9.3.2. Прибор для измерения диаметра дорожки качения наружного и внутреннего кольца мод. УД-1В

На приборе реализован относительный метод измерений.

Прибор смонтирован в чугунном корпусе 1, на котором укреплена предметная плита 2 с пазами для упоров (рис. 9.2). Из трех упоров, служащих для измерения, два упора 3 неподвижные (переставные по размеру кольца), а третий 4 подвижный и укреплен на ползуне 5. Последний подвешен на пружинном параллелограмме и передает перемещение подвижного упора стержню измерительной головки 6. Предварительный натяг пружин ползуна и ограничение его перемещения осуществляется винтами, расположенными в задней части прибора.

Измерительная головка 7 закрепляется в корпусе прибора винтом 8. Установка стрелки измерительной головки на нуль шкалы производится винтом 9, который стопорится винтом 10.

Тонкая регулировка производится микровинтом *11*. Контактными наконечниками измерительных упоров *3* и *4* являются диски *12*.

Для регулировки положения дисков на упорах по высоте служат сменные втулки *13*. Упорами *3* и *4* производится контроль как внутреннего, так и наружного диаметра колец.

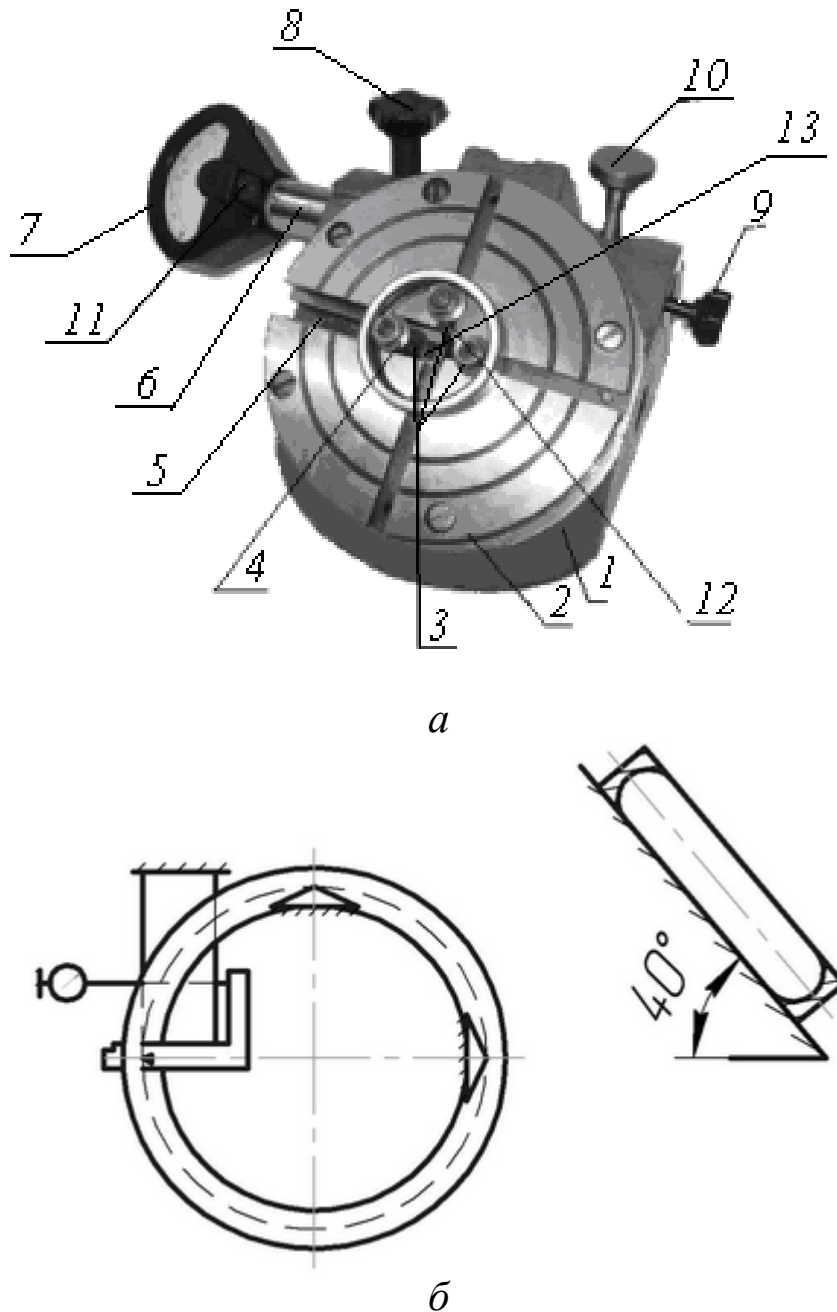


Рис. 9.2. Фото прибора УД-1В (*а*) и схема измерений (*б*) диаметра желоба наружного кольца подшипника

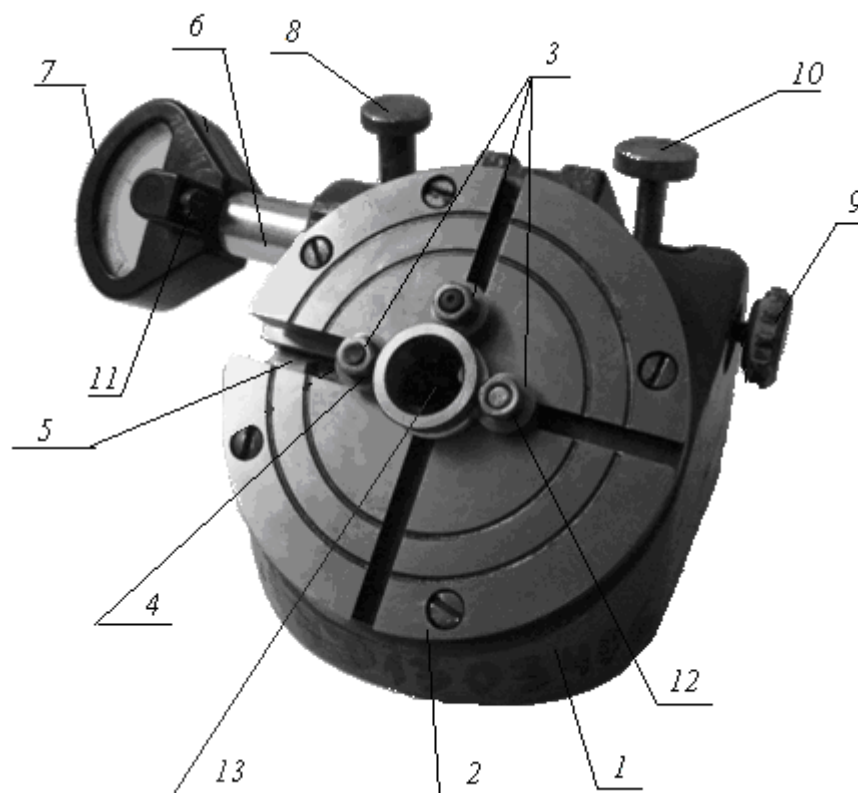


Рис. 9.3. Фото прибора УД-1В для измерения диаметра желоба внутреннего кольца подшипника

Контроль диаметров дорожки качения внутренних колец производится также на приборе мод. УД-1В (рис. 9.3). Отличие заключается в настройке двух неподвижных 3 и одного подвижного 4 упоров.

9.3.3. Прибор для измерения диаметра шариков мод. 262-2М

Прибор предназначен для измерения овальности и огранки шариков методом непосредственной оценки (рис. 9.4).

Прибор состоит из чугунного корпуса 1, шарнирно закрепленного на основании 2. В корпусе установлены три перемещающиеся пиноли – боковая 3, нижняя 4 и задняя 5, – служащие для установки шарика на измерительной позиции. Пиноли оснащены наконечниками, на которых базируется измеряемый шарик 6. Гайкой 7 пиноль перемещается в осевом направлении и фиксируется винтом 8. Оси пинолей взаимно перпендикулярны и пересекаются в одной точке.

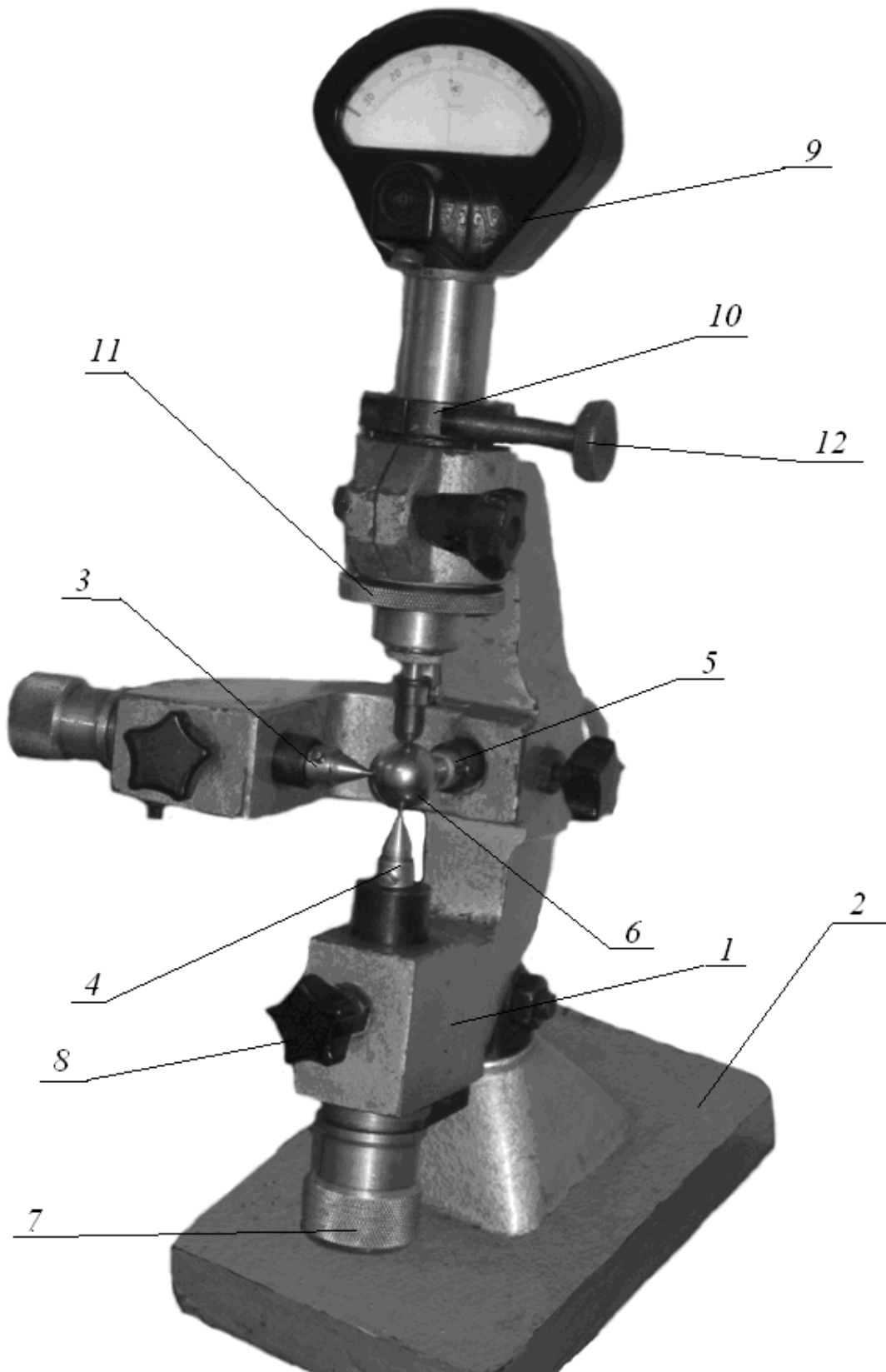


Рис. 9.4. Фото прибора 262-2М

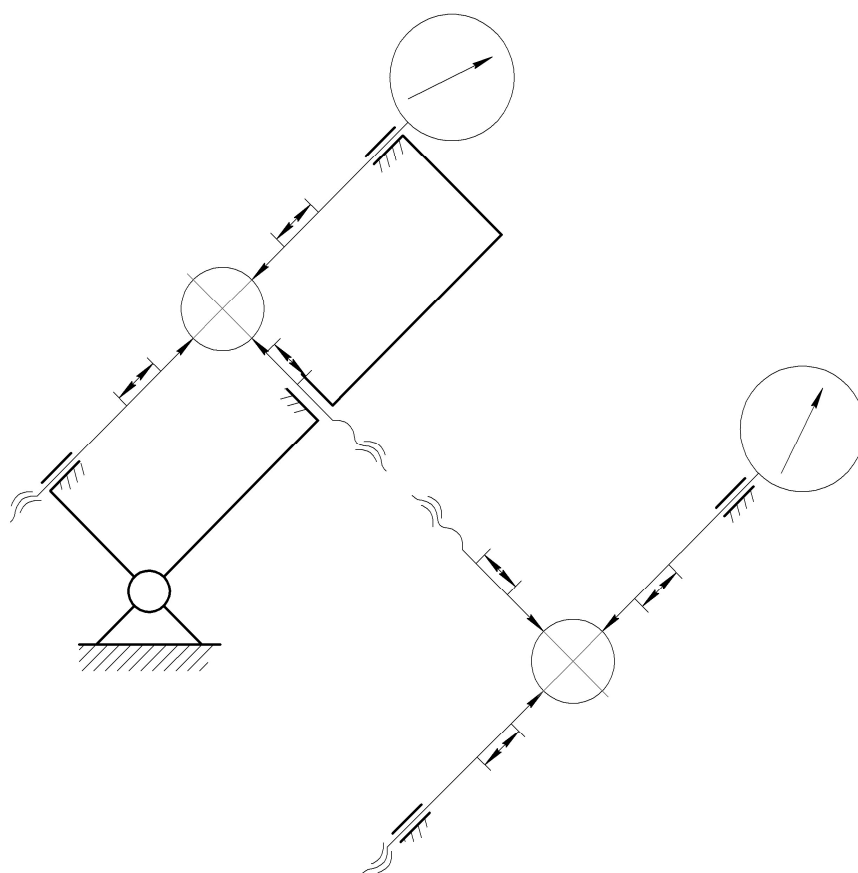


Рис. 9.5. Схема измерений диаметра шарика подшипника

В верхней части корпуса расположен узел микроподдачи, служащий для тонкой настройки измерительной головки 9. Головка вставляется в подпружиненную втулку узла и зажимается винтом 10, находящимся на втулке. Втулка с измерительной головкой перемещается гайкой 11 и зажимается в кронштейне зажимной гайкой 12.

9.3.4. Прибор для измерения радиального зазора шарикового радиального подшипника мод. Р123

Радиальный внутренний зазор измеряют в соответствии с нормативным документом, утвержденным в установленном порядке, или на приборах по схемам, приведенным на рис. 9.6 (метод А) или рис. 9.7 (метод Б, реализован в приборе Р123) [9.8.6].

Метод А применим ко всем радиальным подшипникам (рис. 9.6).

Закрепить внутреннее кольцо собранного подшипника на поверочной плите с прокладкой, вставленной между внутренним кольцом и поверочной плитой. Установить наконечник измерителя на наружной поверхности наружного кольца в плоскости се-

решины дорожки качения. Удерживать наружное кольцо в контакте с опорой подшипника в направлении *A*, стараясь не поднимать противоположную сторону.

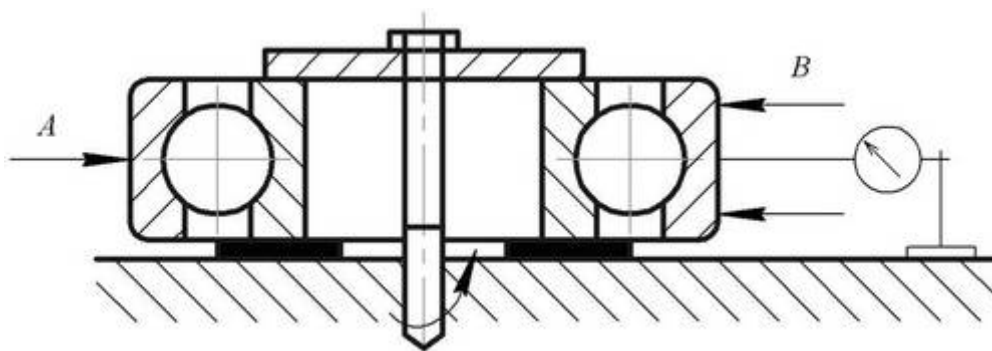


Рис. 9.6. Схема контроля радиального зазора подшипника по методу А

Неоднократно перемещать наружное кольцо в данной точке вверх и вниз по оси и производить колебание по окружности (с целью перемещения шариков в нижнюю часть дорожки качения) до тех пор, пока прибор не даст постоянное максимальное показание.

Скомпенсировать возможную некруглость наружного и внутреннего колец путем повторения одной и той же процедуры несколько раз в различных угловых положениях. Разность между минимальным и максимальным измеренными показаниями есть измеренный радиальный внутренний зазор. Среднее значение нескольких измерений есть радиальный внутренний зазор Gr подшипника.

Метод Б применим к желобным шариковым подшипникам, радиальным цилиндрическим и сферическим роликовым подшипникам (рис. 9.7). Поместить собранный подшипник на плотно подогнанную жесткую оправку. Установить индикатор *A* по наружной поверхности наружного кольца в плоскости середины дорожки качения. Установить индикатор *B* на поверхности отверстия внутреннего кольца в плоскости середины дорожки качения. Привести во вращение внутреннее кольцо и сместить наружное кольцо в радиальном направлении под измерительной нагрузкой, приблизительно составляющей 0,5 % базовой динамической грузоподъемности C_T , рассчитанной в соответствии с ГОСТ 18855–83.

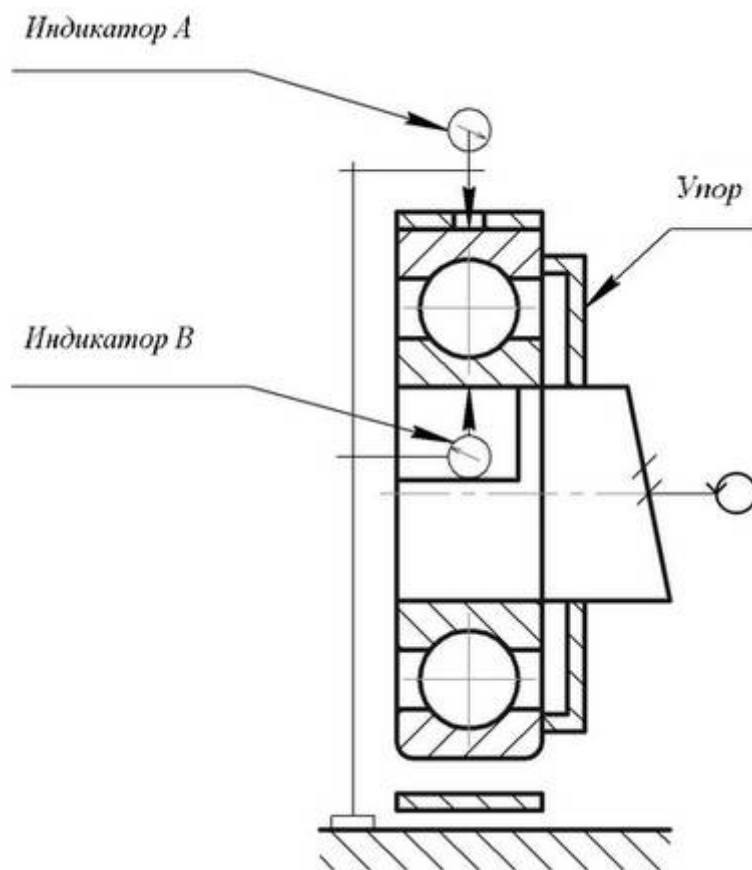


Рис. 9.7. Схема контроля радиального зазора подшипника по методу Б

Записать средние показания индикаторов *A* и *B*. Изменить направление радиальной нагрузки и записать средние показания индикаторов *A* и *B*. Записать разности ΔA и ΔB между двумя сериями показаний. Повторить измерения дважды после каждого поворота кольца на 120° (всего три измерения). Радиальный внутренний зазор подшипника Gr есть среднее из трех измерений.

На чугунной станине прибора Р123 смонтированы узел крепления и механизм нагружения проверяемых подшипников (рис. 9.8). Проверяемый подшипник устанавливают на сменную оправку прибора и притягивают торцом внутреннего кольца к заплечику оправки посредством затяжного болта и разрезной шайбы. Наружное кольцо подшипника перемещают поочередно вверх и вниз при помощи грузов через рычаги и специальные чувствительные упоры. Управляют нагружением при помощи рукоятки, соединенной с кулачковым валиком, действующим на грузы через рычаги. Радиальный зазор определяют по отклонению стрелки измерительной головки, передающий рычаг которой во время

измерения постоянно касается поверхности наружного диаметра подшипника.

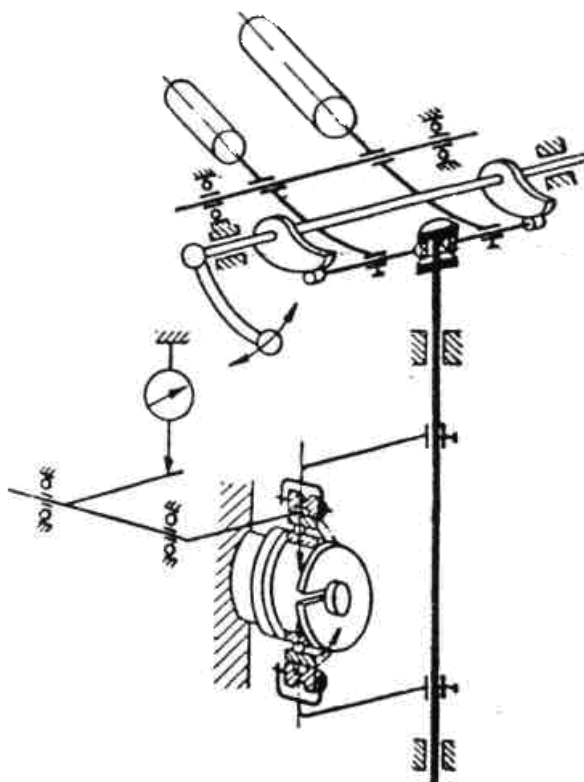


Рис. 9.8. Схема измерений радиального зазора подшипника прибором Р123

9.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа выполняется в соответствии с маршрутно-операционной картой шариковых радиальных подшипников (прил. 9.1). Наружные и внутренние кольца и тела качения (шарики) обработаны по действующему технологическому процессу в условиях ОАО «ППЗ-14» (г. Прокопьевск), выполнена антикоррозионная обработка колец. Ниже приведены только основные операции контроля и сборки (исключая предварительную сортировку, установку заклепок, окончательную сборку, промывку и другие).

1. Ознакомиться с методом групповой взаимозаменяемости и принципами построения номограммы подборки радиальных шариковых подшипников при рассортировке колец на группы при сборке подшипников.

2. Выполнить окончательную сортировку (селекцию) наружных колец по диаметру желоба на приборе УД-1В. Для измерения прибор настраивается по эталонному кольцу или кольцу из партии, аттестованному по контролируемым размерам, отмеченным сектором в направлении ползуна. В соответствии с размерами кольца подбирается набор сменных деталей и устанавливаются упоры 3 в пазу плиты 2 и упор 4 ползуна 5 (см. рис. 9.2). Затем по установленному эталонному кольцу упоры закрепляются в требуемом положении, дается натяг пружинам ползуна и регулируется величина его перемещения. На приборе закрепляется измерительная головка 7, стрелка ее устанавливается на «нуль» шкалы винтом 9, который стопорится винтом 10. После окончания наладки приступают к измерениям, для чего эталонное кольцо заменяют контролируемым. При измерении кольцо вращают рукой. Отклонение стрелки измерительной головки покажет величину отклонения диаметра дорожки качения кольца. Сортировка производится на группы размеров желобов A_{01} через 0,002 мм. Результаты измерений заносятся в протокол.

3. Выполнить окончательную сортировку (селекцию) внутренних колец по диаметру желоба на приборе УД-1В. Для измерения прибор настраивается по эталонному кольцу или кольцу из партии, аттестованному по контролируемым размерам, отмеченным сектором в направлении ползуна. В соответствии с размерами кольца подбирается набор сменных деталей и устанавливаются упоры 3 в пазу плиты 2 и упор 4 ползуна 5 (см. рис. 9.3). Затем по установленному эталонному кольцу упоры закрепляются в требуемом положении, дается натяг пружинам ползуна и регулируется величина его перемещения. На приборе закрепляется измерительная головка 7, стрелка ее устанавливается на «нуль» шкалы винтом 9, который стопорится винтом 10. После окончания наладки приступают к измерениям, для чего эталонное кольцо заменяют контролируемым. При измерении кольцо вращают рукой. Отклонение стрелки измерительной головки покажет величину отклонения диаметра дорожки качения кольца. Сортировка производится на группы размеров желобов A_{02} через 0,002 мм. Результаты измерений заносятся в протокол.

4. Выполнить укладку рассортированных колец по размерам в кассеты в порядке последовательности сортированных групп и в соответствии с линейкой для разбивки веера наружных и внутренних колец подшипника.

5. Выполнить окончательную сортировку (селекцию) шариков на приборе 262-2М. Для измерения овальности шариков измерительная головка 9 и пиноли 3, 4 и 5 (см. рис. 9.4) оснащаются наконечниками. Установив на наконечники шарик, регулируют вылет пинолей так, чтобы центр шарика находился на оси измерения. Такому положению соответствует максимальное отклонение стрелки измерительной головки. После настройки прибора положение измерительной головки и пинолей должно быть зафиксировано. После наладки приступают к измерению шариков, установку которых на измерительную позицию производят плавно, без ударов. При измерении шарик вращают вручную вокруг его оси. Величина овальности определяется как разность наибольшего и наименьшего диаметров, измеренных в различных сечениях. Сортировка производится на группы размеров A_{03} через 0,001 мм. Результаты измерений заносятся в протокол.

6. Выполнить комплектовку наружных и внутренних колец с шариками без последнего. Для этого определить середину веера наружных и внутренних колец; исходя из этого по номограмме (прил. 9.2) подобрать партию шариков (7 шт.) с соответствующим диаметром. Установить наружное кольцо на поверхность стола, установить внутреннее кольцо в наружное, после чего кольца сомкнуть. Взять шесть подобранных шариков, установить их между кольцами, сомкнуть внутреннее кольцо с наружным и при помощи иглы распределить шарики равномерно по окружности. Установить ложный сепаратор.

7. Контроль радиального зазора и легкости вращения на приборе Р123. Для этого скомплектованный подшипник устанавливается на прибор и микрокаторной головкой с ценой деления 0,001 мм производится измерение радиального зазора.

8. Выполнить окончательную сборку, для чего извлечь ложный сепаратор и вставить в подшипник последний 7-й шарик. Для этого иглой разогнать шарики на одну половину окружности

дорожек качения (рис. 9.9). Последний шарик вставить внутрь желоба наружного кольца.

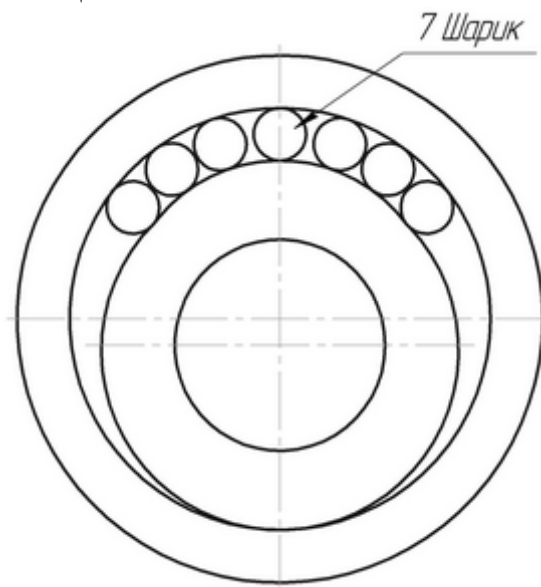


Рис. 9.9. Схема установки 7-го шарика

9. Далее выполняются операции 050-090 типового технологического процесса сборки шариковых радиальных подшипников (см. прил. 9.1).

9.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

При выполнении лабораторной работы следует придерживаться следующих правил.

1. Предварительно ознакомиться с устройством и принципом действия измерительных приборов.

2. Перед измерениями следует тщательно протирать измеряемые кольца и шарики.

3. Следует правильно устанавливать микрокаторную головку, не повреждая измерительный наконечник и индикатор.

4. Во избежание выхода из строя индикатора следует правильно произвести его настройку на «нуль», создав предварительный натяг.

5. Следует правильно без ударов устанавливать испытуемую деталь. При этом нагрузка при измерении не должна превышать допустимую.

6. После окончания эксперимента привести рабочее место в исходное состояние.

9.6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: цель и задачи работы, теоретические положения (кратко), перечень применяемых средств технологического оснащения.

Приводятся исходные параметры подшипника, результаты экспериментов заносятся в соответствующие графы табл. 9.1.

Приводятся схемы измерений. Оценивается собираемость подшипников в соответствии с группами колец и тел качения.

Формулируются и записываются выводы по лабораторной работе.

При оформлении отчета следует придерживаться правил, регламентированных ГОСТ 2.105–95 «Общие требования к текстовым документам».

Таблица 9.1

Результаты контроля колец и тел качения

Номер или размерная группа	Диаметры дорожек качения колец (отклонения от номинала)		Номер или размерная группа тел качения	Диаметры тел качения (отклонения от номинала)
	наружных	внутренних		

9.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение метода групповой взаимозаменяемости.
2. Достоинства, недостатки и область применения метода групповой взаимозаменяемости.
3. Сущность расчетов размерной цепи подшипника по методу максимума-минимума.
4. Какова роль радиального зазора в обеспечении эксплуатационных свойств подшипника?
5. Приведите последовательность контроля, селекции и сборки подшипника.

9.8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

9.8.1. РД 50-635-87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 44 с.

9.8.2. Солонин, И. С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И. С. Солонин, С. И. Солонин. – М. : Машиностроение, 1980. – 110 с.

9.8.3. Новиков, М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – 5-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 592 с.

9.8.4. Допуски и посадки. Справочник : в 2-х ч. / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – Ч. 2. – 448 с.

9.8.5. Зябрева, Н. Н. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Пособие к решению задач / Н. Н. Зябрева, Е. И. Перельман, М. Я. Шегал. – М. : Высш. шк., 1977. – 208 с.

9.8.6. ГОСТ 520–2002. Подшипники качения. Общие технические условия.

Типовой технологический процесс сборки
шариковых радиальных подшипников

005. Сортировать предварительно наружные кольца по диаметру желоба на группы через 0,01 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,01 мм.

010. Сортировать предварительно внутренние кольца по диаметру желоба на группы через 0,01 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,01 мм.

015. Сортировать окончательно наружные кольца по диаметру желоба на группы через 0,002 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,002 мм.

020. Сортировать окончательно внутренние кольца по диаметру желоба на группы через 0,002 мм. Прибор УД-1В, цена деления микрокаторной головки 0,002 мм.

025. Контроль сортировальных групп.

030. Подобрать шарики в соответствии с номограммой.

035. Комплектовать наружные и внутренние кольца с шариками (без последнего). Игла для разгонки шариков.

040. Разогнать шарики в подшипнике, наложить ложный сепаратор, измерить радиальный зазор. Прибор Р123, цена деления микрокаторной головки 0,001 мм; ложный сепаратор.

045. Вставить последний шарик. Приспособление для вставки шарика.

050. Вставить заклепки в полусепаратор. Полуавтомат для вставки заклепок.

055. Распределить шарики в подшипнике, наложить полусепаратор. Приспособление для разгонки шариков.

060. Наложить второй полусепаратор с заклепками.

065. Склепать подшипник. Пресс, специальный штамп.

070. Проверить качество клепки, легкость вращения. Эталонный подшипник.

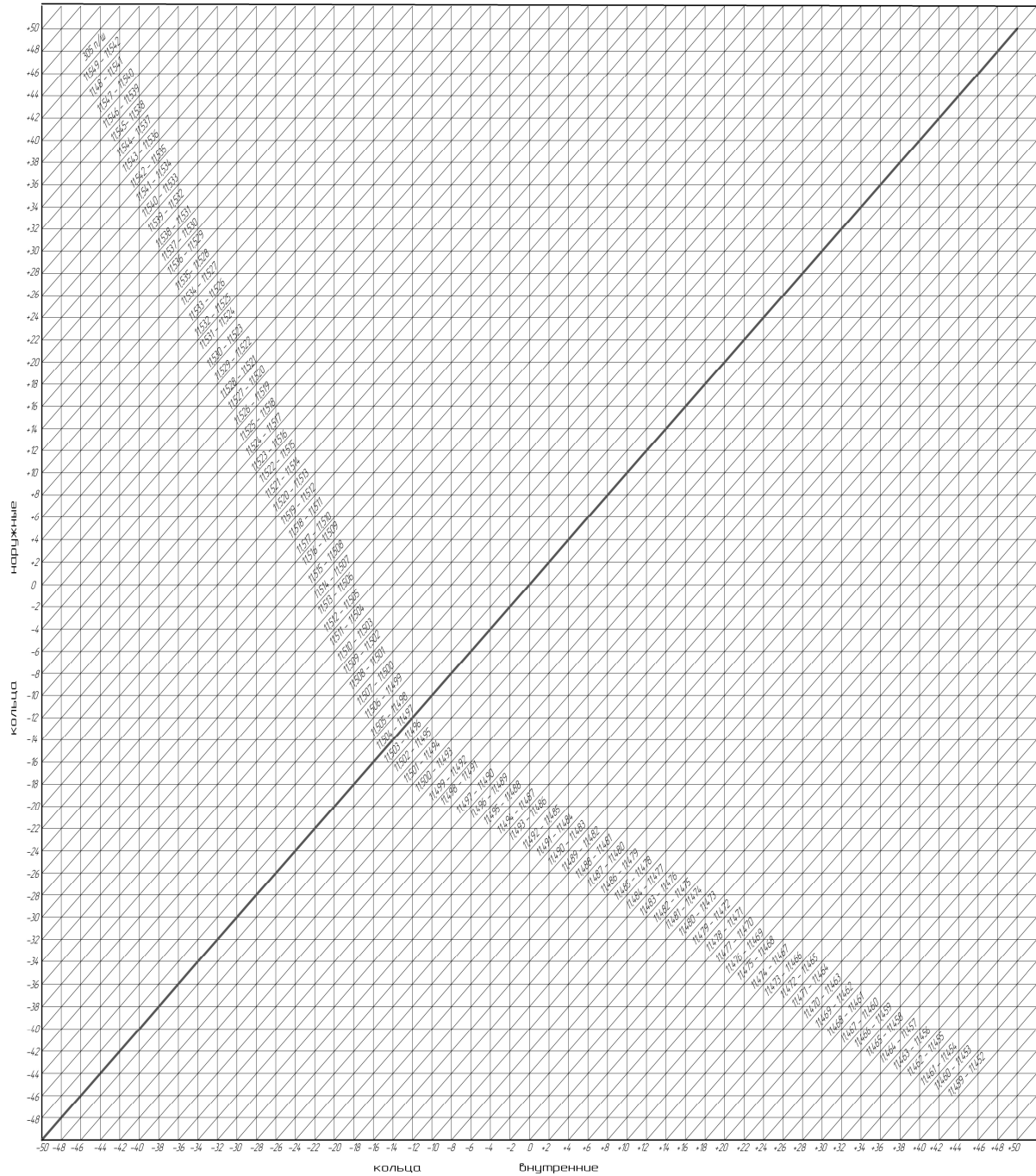
075. Промыть собранный подшипник. Моечная машина.

080. Контроль уровня вибрации собранных подшипников. Прибор для контроля уровня вибрации ЛЦВ-2.

085. Консервация подшипников.

090. Упаковка подшипников.

Номограмма подборки радиального шарикового подшипника № 6305 при рассортировке колец на группы через 0,002 мм с радиальным зазором 0,01–0,024 мм



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ УСТРОЙСТВА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКА 16К20Ф3

10.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – изучение устройства числового программно-го управления (УЧПУ) токарно-винторезного станка 16К20Ф3.

10.2. ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

PLC (*Programmable Logic Control*) – программный интерфейс, предназначенный для реализации логики взаимодействия между УЧПУ и станком 16К20. PLC имеет свой язык, на котором составляются *программы логики управляемого оборудования* (ПЛ), представляющие собой часть программного обеспечения, используемую для конкретизации управляемого от УЧПУ оборудования. Язык PLC для разработки и испытания ПЛ реализован в программе CNC.RTB.

Язык PLC, используя простые логические выражения, позволяет составлять ПЛ, которые предназначены для управления аппаратной частью логики оборудования, учитывая при этом его специфические требования.

Интерфейс PLC обеспечивает взаимодействие базового ПО УЧПУ с управляемым оборудованием через ПЛ, используя при этом конкретные алгоритмы (протоколы связи).

Управление оборудованием системы обеспечивает *управляющая программа* (УП), которая составляется программистом-технологом. ПЛ составляется по тем же правилам, что и УП, поэтому так же, как и УП, она может быть введена с клавиатуры или загружена с имеющегося у пользователя периферийного устройства.

Настройка УЧПУ на конкретное оборудование системы происходит в результате характеристики системы. Характеризация заключается в создании записи файлов, содержащих параметры и характеристики программных и аппаратных модулей, которые полностью определяют конфигурацию УЧПУ конкретного пользователя. Эти файлы содержат информацию, необходимую для функ-

ционирования ПрО, управляющего работой оборудования. Завершающим этапом подготовки УЧПУ к работе является создание ПЛ, которая представляет собой программу управления вспомогательными механизмами конкретного оборудования. Составление ПЛ требует знания базового программного интерфейса PLC и его языка. Язык PLC является частью базового ПрО УЧПУ. Базовый интерфейс PLC является программным интерфейсом и обеспечивает выполнение протокола связи базового ПрО УЧПУ с ПЛ, причем ПЛ является персональной для каждого объекта управления.

Назначение программного интерфейса PLC:

- 1) инициализация сигналов включения/выключения управляемого оборудования;
- 2) выполнение протоколов обмена;
- 3) обработка сигналов протокола, который определяет выполнение различных режимов работы УЧПУ;
- 4) обеспечение работы устройств безопасности управляемого оборудования;
- 5) выполнение вспомогательных функций.

Архитектура программного обеспечения (ПрО) представлена на рис. 10.1.

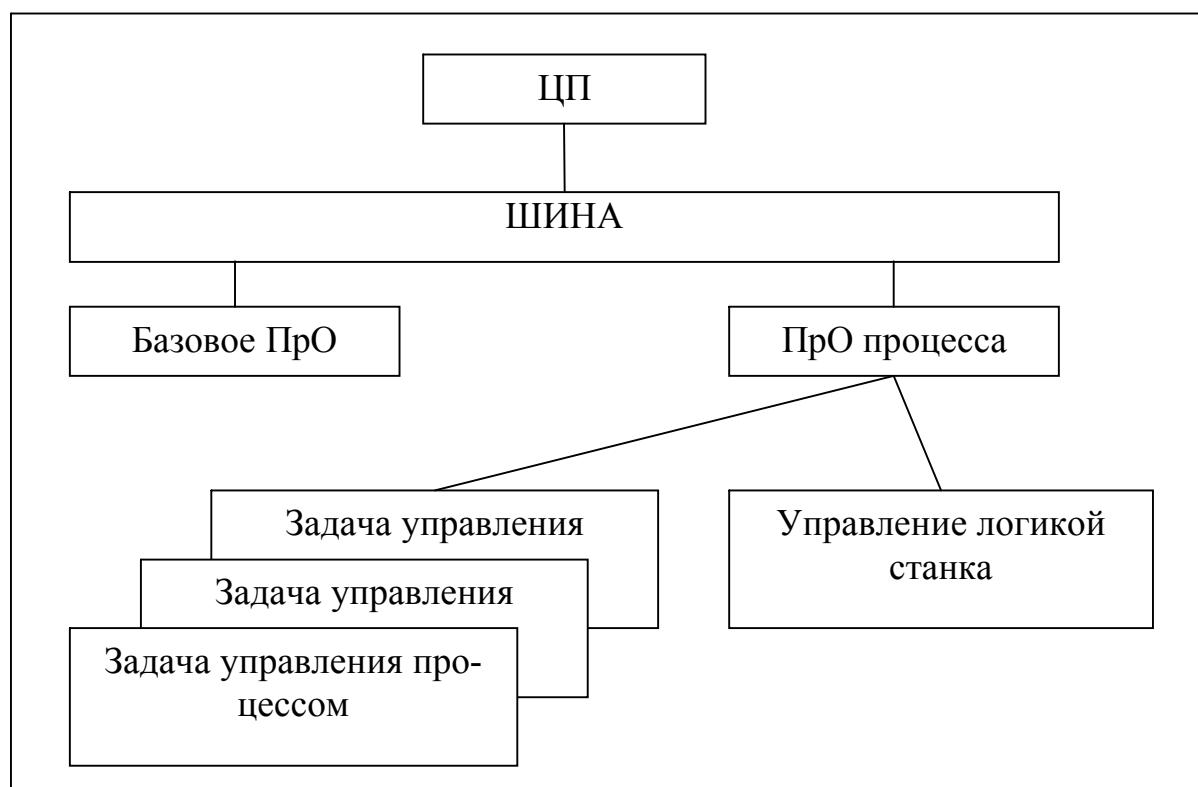


Рис. 10.1. Архитектура ПрО управления процессом

Линии связи между ПрО и PLC представлены на рис. 10.2.

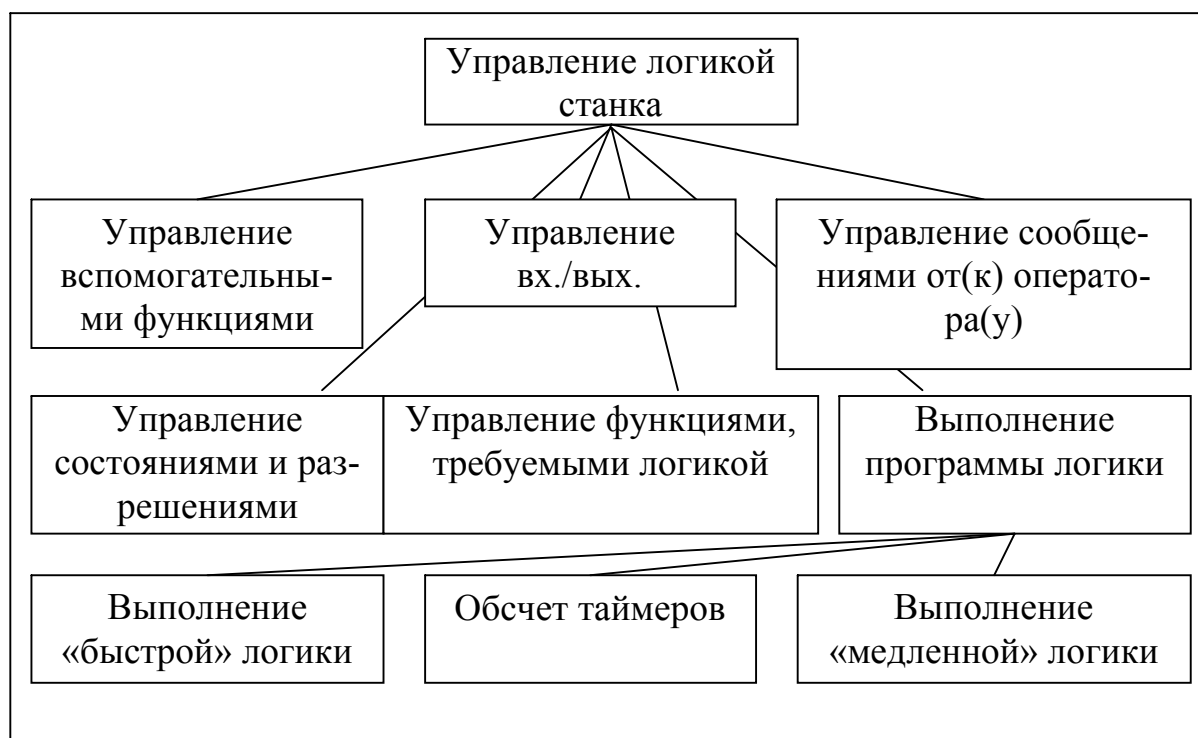


Рис. 10.2. Линии связи между модулями управления логикой

10.3. СТРУКТУРА УЧПУ

УЧПУ является программно-управляемым устройством, имеет аппаратную и программную части. Структурная схема УЧПУ представлена на рис. 10.3. Структура УЧПУ включает **блок управления (БУ)**, **пульт оператора (ПО)** и **блок питания (БП)**. Связь УЧПУ с объектом управления и дополнительными устройствами ввода/вывода осуществляется через внешние разъемы.

10.3.1. Блок управления

БУ управляет работой УЧПУ и внешнего подключаемого оборудования. БУ УЧПУ состоит из модуля CPU с модулем ECDA I/O. Ядром БУ является плата CPU. Взаимодействие модулей БУ обеспечивают сигналы внешней локальной шины процессора ISA BUS 16.

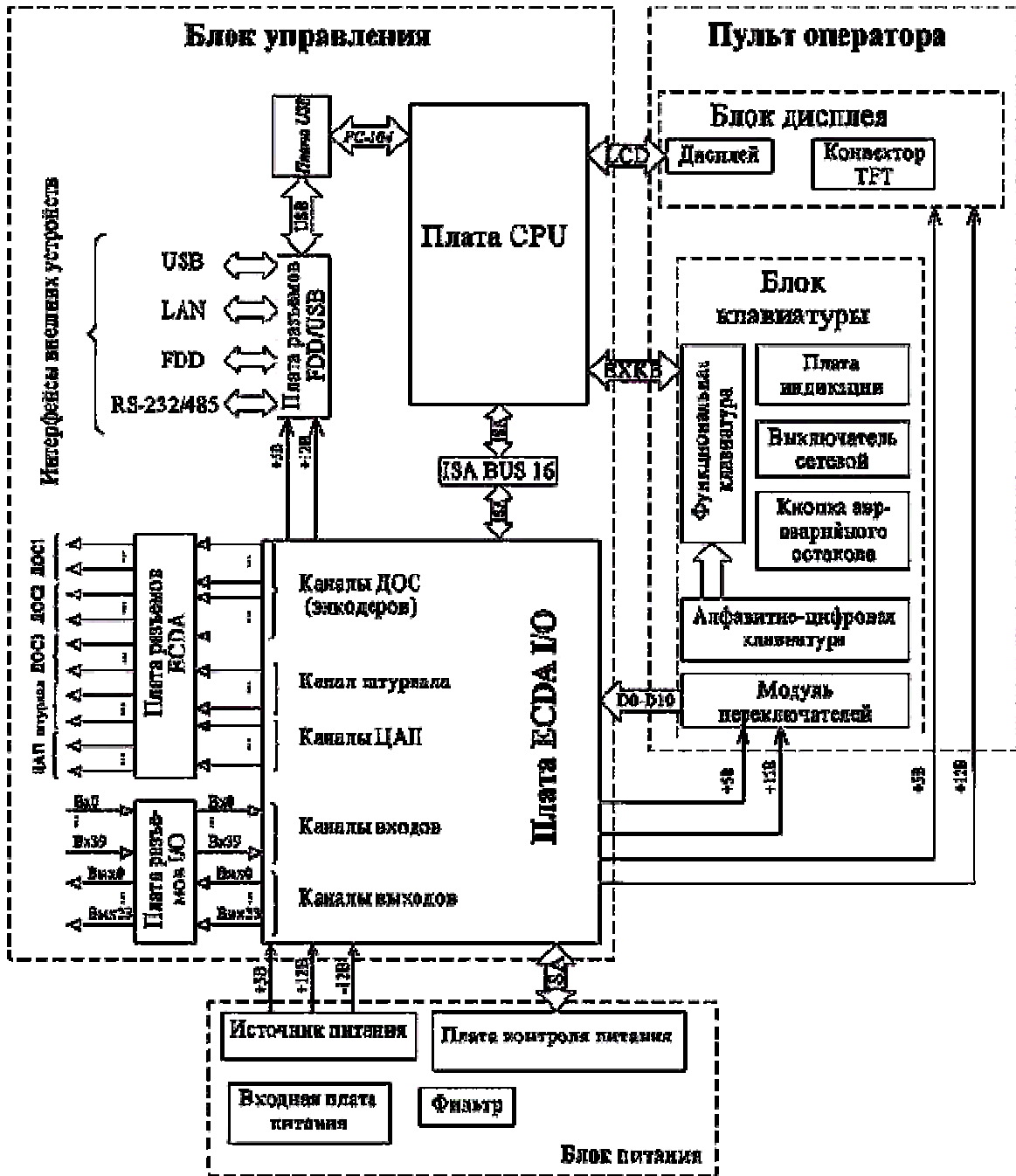


Рис. 10.3. Структурная схема УЧПУ

Через каналы модуля ECDA I/O осуществляется управление периферийным оборудованием:

- следящим электроприводом подач и главного движения с обратной связью (управление по ходу аналоговым напряжением ± 10 В);
- преобразователями перемещений фотоэлектрического типа (энкодерами) в качестве *датчика обратной связи* (ДОС) (напряжение питания плюс 5В, выходной сигнал – прямоугольные импульсы).

По каналам входа/выхода модуль ECDA I/O обеспечивает двунаправленную связь (опрос/управляющее воздействие) между УЧПУ и электрооборудованием управляемого объекта. Обмен информацией происходит под управлением ПрО.

Управление дополнительными устройствами ввода/вывода производится платой CPU через интерфейсы внешних устройств: RS-232/485, FDD, LAN, USB.

Взаимодействие модуля CPU с модулем ECDA I/O осуществляется через шину ISA BUS 16.

В модуле CPU установлена встраиваемая процессорная плата CPU NC201-21 типа PCA-6751/PI-6488VN.

В качестве ЗУ NC201-23 в плате CPU может использоваться память типа Flash Disk (DOM) или CompactFlash. Flash Disk обеспечивает 100-процентную совместимость с HDD (шина IDE) и MS-DOS. Время хранения информации во Flash Disk практически не ограничено. DOM устанавливаются в разъем «HDD». CompactFlash может быть установлен только в плате CPU PCA-6751. Он имеет свой разъем на обратной стороне платы. Объем ЗУ может быть 32/64 МБ.

ОЗУ NC201-24 устанавливаются в разъем «SIMM» / «SO-DIMM». Объем ОЗУ может быть 16/32/64/128 МБ.

В УЧПУ используется BIOS фирмы AWARD.

Базовое ПрО устанавливается на Flash Disk/CompactFlash. Работа ПрО находится под контролем схемы «WATCH DOG». Ошибка, выявленная этой системой, инициируется светодиодом «ER», красного цвета на ПО, при этом происходит снятие сигнала готовности УЧПУ.

Связь платы CPU с модулем клавиатуры ПО осуществляется через интерфейс ЕХКВ, а с дисплеем – через интерфейс LCD. Видеоадаптер имеет встроенную видеопамять SDRAM, объемом 1МБ, с возможностью увеличения объема до 2МБ.

Плата CPU имеет внешние разъемы «232/485», «FDD» и «LAN» на панели разъемов УЧПУ. Внешние разъемы установлены на плате разъемов FDD NC201-26. Также на этой плате, кроме указанных разъемов, расположены элементы защиты сигналов интерфейса FDD и внешний разъем канала USB. На разъем LAN выведены сигналы интерфейса Ethernet.

10.3.2. Пульт оператора (ПО)

ПО обеспечивает выполнение всех функций управления и контроля в системе «**ОПЕРАТОР – УЧПУ – ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ**». Структура ПО включает в себя блок дисплея и блок клавиатуры.

Сигналы управления от CPU поступают на дисплей по внутреннему кабелю через интерфейс LCD. Связь блока клавиатуры с платой CPU осуществляется сигналами интерфейса клавиатуры ЕХКВ. Сигналы модуля переключателей D0-D10 поступают в CPU через плату ЕСДА I/O и шину ISA BUS 16.

В качестве элементов управления ПО используются клавиши, кнопки и переключатели, а в качестве элементов контроля – дисплей и светодиоды. Эти элементы позволяют оператору управлять работой системы, вести с ней активный диалог, получать необходимую информацию о ходе управления объектом.

БП обеспечивает УЧПУ необходимым набором питающих напряжений. Питание от БП поступает на плату ЕСДА I/O, а из нее через разъемы подается на составные части УЧПУ.

ПО (рис.10.4) представляет собой лицевую панель УЧПУ. На ПО установлены дисплей, индикаторы, клавиатура, сетевой выключатель и секция станочной консоли, которая имеет элементы управления оборудованием (станком).

Функциональными блоками ПО являются:

- дисплей TFT 10,4”, 640×480, цветной, жидкокристаллический с плоским экраном;
- модуль алфавитно-цифровой клавиатуры (36 алфавитно-цифровых кнопок, 29 специальных кнопок);
- модуль функциональной клавиатуры (10 функциональных кнопок, 5 специальных кнопок);
- консоль: сетевой выключатель УЧПУ (замок с ключом), светодиоды (**АС** – индикатор подачи сетевого питания; **ДС** – индикатор исправности вторичного питания; **ЕР** – индикатор ошибки в работе УЧПУ), кнопка «**ПУСК**» (обрабатывается базовым ПрО), кнопка «**СТОП**» (обрабатывается базовым ПрО), кнопка «**Аварийный останов**» (кнопка-грибок красного цвета), корректор подачи «**F**», корректор скорости вращения шпинделя «**S**», переключатель режимов работы «**MDI, AUTO, STEP... RESET**».



Рис. 10.4. Пульт оператора (ПО)

Управление дисплеем и клавиатурой осуществляется из платы CPU. Сигналы управления поступают на дисплей NC201-32 от CPU по внутреннему кабелю через интерфейс LCD. Модуль клавиатуры соединен с платой CPU внутренним кабелем через интерфейс клавиатуры ЕХКВ.

Нажатие кнопки «**Аварийный останов**» NC201-47 снимает только управляющее напряжение со станка.

10.3.3. Блок питания

БП устанавливается в отдельный металлический отсек, который крепится на внутреннюю сторону лицевой панели винтами. Металлические стенки отсека выполняют функцию защитного экрана.

БП обеспечивает УЧПУ набором питающих напряжений: +5 В, +12 В, -12 В.

Напряжение из БП по кабелю поступает в БУ на плату NC201-25, откуда через разъемы по кабелям распределяется по всем составным частям УЧПУ. В плату CPU питание поступает

через плату шины NC110 ISA BUS, которая является частью модуля ECDA I/O. Для питания вентилятора подается напряжение +12 В. Для модуля дисплея используется напряжение +5 В, +12 В; для модуля клавиатуры – +5 В, +12 В.


Кроме этого, напряжение используется для питания внешнего оборудования. Напряжение +5 В, +12 В поступает на разъем «FDD» платы NC201-26 для питания FDD. Питание +5 В через разъемы модуля ECDA I/O подается на энкодеры, через разъем «USB» – на внешнее устройство ввода/вывода, подключаемое к каналу USB.

Первичная цепь УЧПУ защищена от токов перегрузки и короткого замыкания предохранителем. Предохранитель номиналом 3,0 А установлен в цепь фазного провода «L» первичной цепи.

Плата NC201-14 производит контроль выходных напряжений источника питания. Напряжение +5 В используется для формирования сигнала «Питание исправно». Если этот сигнал не поступит в блок управления, УЧПУ не включится. Кроме того, напряжение +5 В используется для индикации исправности вторичного питания. Индикатор зеленого цвета «DC» определяет исправность вторичного источника питания, индикатор красного цвета «ER» сигнализирует оператору о наличии ошибки.

10.3.4. Лицевая панель пульта оператора (рис. 10.4)

ПО включает модуль дисплея и модуль клавиатуры. Конструктивно ПО встроен в моноблок УЧПУ таким образом, что лицевая панель ПО представляет собой лицевую панель УЧПУ. В качестве элементов управления используются кнопки, клавиши и переключатели, в качестве элементов контроля – дисплей и светодиоды.

Внизу под дисплеем расположена горизонтальная секция, в которой размещены функциональная клавиатура «F1»–«F8», «+X», «-X», «+Z», «-Z», , клавиши «ПРОКРУТКА» и «ПЕРЕХОД», пять программных клавиш, станочная консоль с элементами управления и индикации.

На станочной консоли установлены:

- светодиоды «AC», «DC», «ER»;
- сетевой выключатель УЧПУ (замок с ключом);

- кнопка «**АВАРИЙНЫЙ ОСТАНОВ**»;
- кнопка «**ПУСК**»;
- кнопка «**СТОП**»;
- переключатель корректор подачи «**F**»;
- переключатель корректор скорости вращения «**S**»;
- переключатель режимов работы со станком «**MDI**»...«**RESET**».

Индикатор станочной консоли:

«**AC**» – индикатор подачи сетевого питания (зеленого цвета):

- индикатор горит – сетевое питание подано на УЧПУ/сетевое питание исправно;
- индикатор не горит – сетевое питание отсутствует/сетевое питание неисправно.

«**DC**» – индикатор исправности вторичного питания (зеленого цвета):

- индикатор горит – вторичное питание исправно;
- индикатор не горит – вторичное питание неисправно.

«**ER**» – индикатор ошибки в работе УЧПУ (красного цвета);

- индикатор загорается, если в работе УЧПУ системой «**WATCH DOG**» выявлена ошибка, при этом снимается сигнал готовности УЧПУ «**RSPEPN**».

10.4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Персонал, допущенный к работе с УЧПУ, должен быть аттестован по технике безопасности. Перед началом работ необходимо убедиться, что станок заземлен.

Работа на УЧПУ при включенном питании должна осуществляться при закрытых дверях шкафа. Многие узлы чувствительны к статическому электричеству, поэтому, прежде чем начинать работу, следует дотронуться до заземленного металлического корпуса УЧПУ для снятия статического электричества.

10.5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах формата А4 и должен содержать:

- название и цель работы;
- описание программного обеспечения и программного интерфейса УЧПУ;
- описание функциональных блоков УЧПУ.

10.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое программный интерфейс УЧПУ станка 16К20Ф3?
2. Опишите архитектуру программного обеспечения УЧПУ станка 16К20Ф3.
3. Что включается в структуру УЧПУ станка 16К20Ф3?
4. Опишите назначение и устройство блока управления.
5. Опишите назначение и устройство пульта оператора.
6. Опишите назначение и устройство блока питания.
7. Опишите назначение и устройство лицевой панели пульта оператора.
8. Меры безопасности при работе на станке 16К20Ф3.

10.7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

10.7.1. Сосонкин, В. Л. Системы программного управления : учеб. пособие / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – М. : Логос, 2005. – 296 с.

10.7.2. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения : учеб. для машиностроит. специальностей вузов / И. М. Баранчукова [и др.] ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 1999. – 416 с.

10.7.3. Гузеев, В. И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ : справочник / В. И. Гузеев, В. А. Батуев, И. В. Сурков ; под ред. В. И. Гузеева. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Лабораторная работа № 1. Определение погрешностей геометрической точности станков.....	5
Лабораторная работа № 2. Определение погрешностей обработки, вызываемых упругими деформациями технологической системы	19
Лабораторная работа № 3. Определение погрешностей обработки, вызываемых размерным износом режущего инструмента.....	26
Лабораторная работа № 4. Определение погрешностей обработки, вызываемых температурными деформациями режущего инструмента.....	34
Лабораторная работа № 5. Исследование методов размерной настройки технологической системы.....	42
Лабораторная работа № 6. Исследование погрешности установки резца на размер.....	55
Лабораторная работа № 7. Статистическое исследование точности технологической операции.....	61
Лабораторная работа № 8. Исследование шероховатости поверхности методом планируемого эксперимента	77
Лабораторная работа № 9. Сборка подшипников качения по методу групповой взаимозаменяемости.....	92
Лабораторная работа № 10. Изучение структуры устройства числового программного управления станка 16К20Ф3	111

Блюменштейн Валерий Юрьевич и др.

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Редактор З. М. Савина

Подписано в печать 01.04.2009. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе
Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 150 экз. Заказ
ГУ КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Типография ГУ КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а