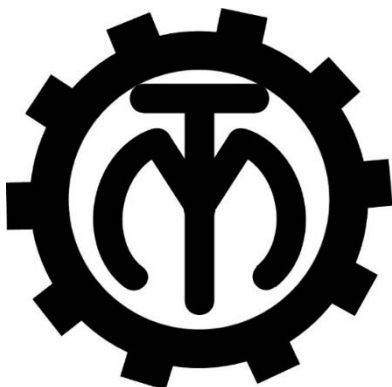


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология
машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 621.01
ББК 34.41
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «24» апреля 2025 г.,
протокол № 14

Составители: канд. техн. наук, доц. А. В. Капитонов;
В. С. Дроздов

Рецензент А. С. Федосенко

Методические рекомендации содержат указания для выполнения лабораторных работ в соответствии с рабочей программой дисциплины «Основы технологии машиностроения», а также краткие теоретические положения и необходимые справочные данные.

Учебное издание

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать	. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л.	. Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Определение погрешности базирования при установке цилиндрических деталей в призме	4
2 Лабораторная работа № 2. Изучение влияния погрешности закрепления на точность размеров и взаимного расположения поверхностей	8
3 Лабораторная работа № 3. Определение погрешности настройки инструмента на размер	13
4 Лабораторная работа № 4. Исследование жесткости токарного станка статическим методом	20
5 Лабораторная работа № 5. Определение жесткости токарного станка динамическим методом	24
6 Лабораторная работа № 6. Определение точности обработки на плоскошлифовальном станке	28
7 Лабораторная работа № 7. Исследование влияния жесткости технологической системы на точность обработки	32
8 Лабораторная работа № 8. Статистическое регулирование наладки технологических операций	36
Список литературы	42

1 Лабораторная работа № 1. Определение погрешности базирования при установке цилиндрических деталей в призме

Цель работы: освоение методики оценки влияния погрешности диаметра заготовки и величины угла призмы на точность размера, получаемого при фрезеровании на настроенном станке.

1.1 Оборудование, инструменты и приборы

1.1.1 Объекты исследования – комплект цилиндрических деталей.

1.1.2 Набор призм с углами 2α , равными 60° , 90° , 120° и 180° .

1.1.3 Набор мерительного инструмента (штангенциркуль, микрометр, индикатор часового типа).

1.1.4 Вертикально-фрезерный станок.

1.2 Базирование заготовок. Погрешности базирования

Базированием называют придание заготовке требуемого положения относительно выбранной системы координат. Придать требуемое положение заготовке абсолютно точно невозможно. Имеет место отклонение фактически достигнутого положения заготовки от требуемого – погрешность базирования.

Погрешность базирования возникает вследствие несовмещения установочной базы и измерительной. Она определяется разностью предельных расстояний измерительной базы от режущей кромки установленного на размер инструмента [1, 4, 6].

При установке цилиндрической детали в призме погрешность базирования при обработке партии деталей в размер H на настроенном станке (рисунок 1.1) определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_H = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right), \quad (1.1)$$

где T – допуск на диаметр вала, мкм;

α – половина угла призмы, град.

При обработке партии деталей в размер h (рисунок 1.2) погрешность базирования определяется следующим образом:

$$\varepsilon_h = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right). \quad (1.2)$$

Из представленных формул следует, что при установке детали на плоскость ($2\alpha = 180^\circ$) погрешность базирования в первом случае равна нулю (измерительная и установочная базы совпадают), а во втором случае эта погрешность равна допуску на диаметр вала.

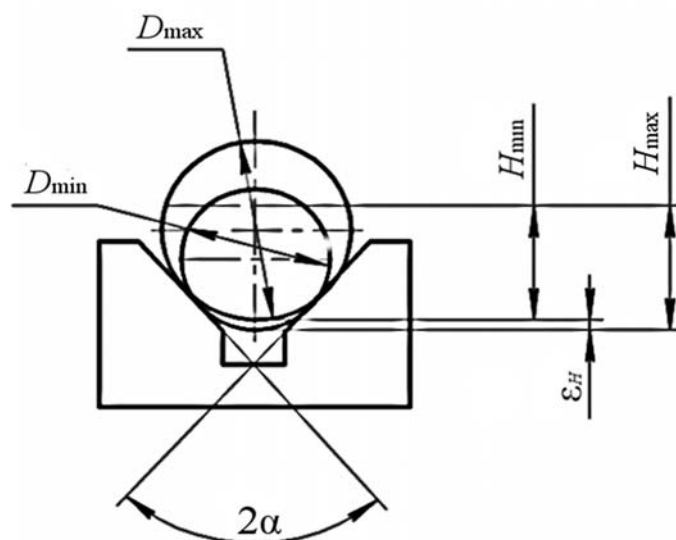


Рисунок 1.1 – Схема образования погрешности базирования при установке детали в призме и обработке в размер H

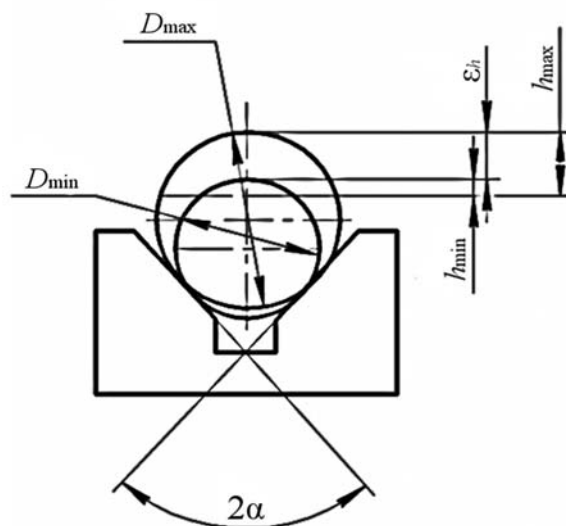


Рисунок 1.2 – Схема образования погрешности базирования при установке детали в призме и обработке в размер h

Как видно из рисунков 1.1 и 1.2, погрешности базирования можно оценить разностями:

$$\varepsilon_H = H_{\max} - H_{\min}; \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_h = h_{\max} - h_{\min}. \quad (1.4)$$

1.3 Методика проведения лабораторной работы

При проведении лабораторной работы используется вертикально-фрезерный станок СФ15 (или другой модели). На станке могут выполняться операции фрезерования плоскостей и шпоночных пазов в размеры H и h (см. рисун-

ки 1.1 и 1.2) при установке цилиндрических заготовок на столе (в тисках) и в призме с различной величиной угла 2α .

В качестве заготовки используются валики, изготовленные с различными допусками на нагруженный диаметр, т. е. с различной фактической величиной диаметра. Значение диаметра валика $D = 30$ мм; длина $L = 100$ мм; выполняемый размер $H = 28$ мм; размер $h = 2$ мм.

В качестве режущего инструмента применяется торцовая фреза, оснащённая вставочными зубьями из быстрорежущей стали (твёрдого сплава), диаметр фрезы 200 мм.

Средствами измерения служат микрометр (цена деления 0,01 мм) и специальное индикаторное устройство – «наездник». Схема измерения размера h с помощью «наездника» показана на рисунке 1.3. В качестве измерительного прибора в этом устройстве служит индикатор часового типа (цена деления 0,01 мм).

При выполнении лабораторной работы рекомендуется следующий режим обработки деталей на станке: $V = 150 \dots 160$ м/мин, $S = 100$ мм/мин, $t = 2$ мм. Измерения размеров H и h следует производить указанными выше средствами с точностью до 0,01 мм.

1.4 Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа по определению погрешности базирования основана на обработке и измерении четырёх партий заготовок ($D = 30$ мм, $L = 100$ мм) по пять штук в каждой партии или в каждой партии может быть одна заготовка с разными обработанными поверхностями. Каждая партия обрабатывается (снимается сегмент высотой 2 мм) в различных призмах. Используются призмы с углами 2α , равными 60° , 90° , 120° , 180° . Выполняется работа в следующей последовательности.

1.4.1 Определяются по формулам (1.1) и (1.2) погрешность базирования для размеров H и h при установке деталей в призмах с углами $2\alpha = 60^\circ$, 90° , 120° , 180° . Результаты расчётов заносятся в таблицу 1.1.

1.4.2 Ведётся обработка по 5 деталей в каждой призме. Настройка инструмента на обработку каждой партии производится по установу с помощью щупов.

1.4.3 Измеряется с помощью микрометра размер H , а h – с помощью «наездника» (схема измерения показана на рисунке 1.3). Результаты измерений заносятся в таблицу 1.1.

1.4.4 Определяются погрешности базирования по формулам (1.3) и (1.4).

1.4.5 По полученным данным (расчётным и экспериментальным) строятся графики зависимости погрешности базирования для размеров H и h от угла призмы (60° , 90° , 120° , 180°).

1.4.6 Проводится анализ полученных результатов.

1.4.7 Составляется отчёт.

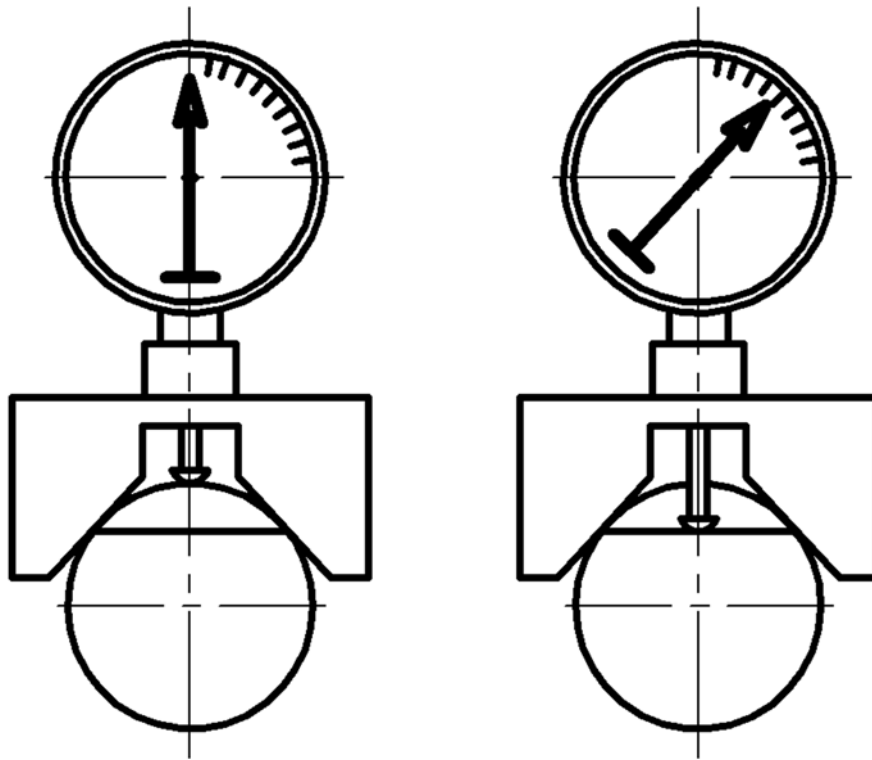


Рисунок 1.3 – Схема измерения высоты с помощью «наездника»

Таблица 1.1 – Таблица расчётных и экспериментальных данных

Угол призмы																			
2α = 60°				2α = 90°				2α = 120°				2α = 180°							
Погрешность базирования (расчётная), мм																			
ε _H =		ε _h =		ε _H =		ε _h =		ε _H =		ε _h =		ε _H =		ε _h =					
Номер детали (поверхности детали)	H _i , мм	ε _H , мм	h _i , мм	ε _h , мм	Номер детали (поверхности детали)	H _i , мм	ε _H , мм	h _i , мм	ε _h , мм	Номер детали (поверхности детали)	H _i , мм	ε _H , мм	h _i , мм	ε _h , мм	Номер детали (поверхности детали)	H _i , мм	ε _H , мм	h _i , мм	ε _h , мм
1					6					11					16				
2					7					12					17				
3					8					13					18				
4					9					14					19				
5					10					15					20				

1.5 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующие материалы.

1.5.1 Название лабораторной работы.

1.5.2 Цель работы.

1.5.3 Наименование, модель и характеристика станка (размер стола, наибольшие размеры обрабатываемой детали).

1.5.4 Эскиз образца, схема закрепления и обработки с указанием измеряемых параметров (схема образования погрешностей базирования).

1.5.5 Наименование и характеристика режущего инструмента.

1.5.6 Наименование и характеристика измерительного инструмента. Схема измерения размера h .

1.5.7 Режимы обработки на станке.

1.5.8 Таблица расчётных и экспериментальных данных (см. таблицу 1.1).

1.5.9 Графики зависимости погрешностей базирования от угла призмы 2α .

1.5.10 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Что такое погрешность базирования и каковы причины её появления?

2 В каких случаях погрешность базирования имеет место и когда она равна нулю?

3 От каких параметров зависит погрешность базирования при установке цилиндрической детали в призме?

4 Как уменьшить погрешность при обработке деталей в размеры H и h ?

5 С какой точностью производилось измерение размеров?

6 Как определяется величина размера h при измерении «наездником»?

2 Лабораторная работа № 2. Изучение влияния погрешности закрепления на точность размеров и взаимного расположения поверхностей

Цель работы: изучение характера влияния погрешности закрепления под действием неоднородности шероховатости и непостоянства сил зажима на формирование погрешности размера и взаимного расположения поверхностей при обработке в приспособлении партии деталей на настроенном станке.

2.1 Оборудование, инструменты и приборы

2.1.1 Объекты исследования – образцы с различной шероховатостью опорной поверхности.

2.1.2 Динамометрический ключ.

2.1.3 Набор мерительного инструмента (штангенциркуль, микрометр, индикатор часового типа).

2.1.4 Вертикально-фрезерный станок.

2.1.5 Приспособление специальное.

2.2 Основные теоретические положения

Погрешность закрепления является одной из составляющих погрешности установки, величина которой определяется по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6 + \varepsilon_3 + \varepsilon_{пр}}, \quad (2.1)$$

где ε_6 – погрешность базирования заготовки;

ε_3 – погрешность закрепления заготовки;

$\varepsilon_{пр}$ – погрешность приспособления.

Прилагать усилие закрепления необходимо для того, чтобы заготовка при обработке сохраняла то положение относительно установочных элементов приспособления, которое было достигнуто при базировании.

Погрешность закрепления – разность наибольшего и наименьшего расстояний от измерительной базы заготовки до режущей кромки настроенного на размер инструмента [1, 4, 6].

Погрешность закрепления возникает в результате деформации самой заготовки, установочных элементов приспособления, а также поверхностных слоев заготовки под действием колебаний усилия закрепления, неоднородностей твёрдости и шероховатости заготовок в обрабатываемой партии.

Погрешность закрепления влияет как на погрешность размеров, так и на погрешность формы деталей.

В общем случае схема формирования погрешности закрепления заготовки в приспособлении показана на рисунке 2.1.

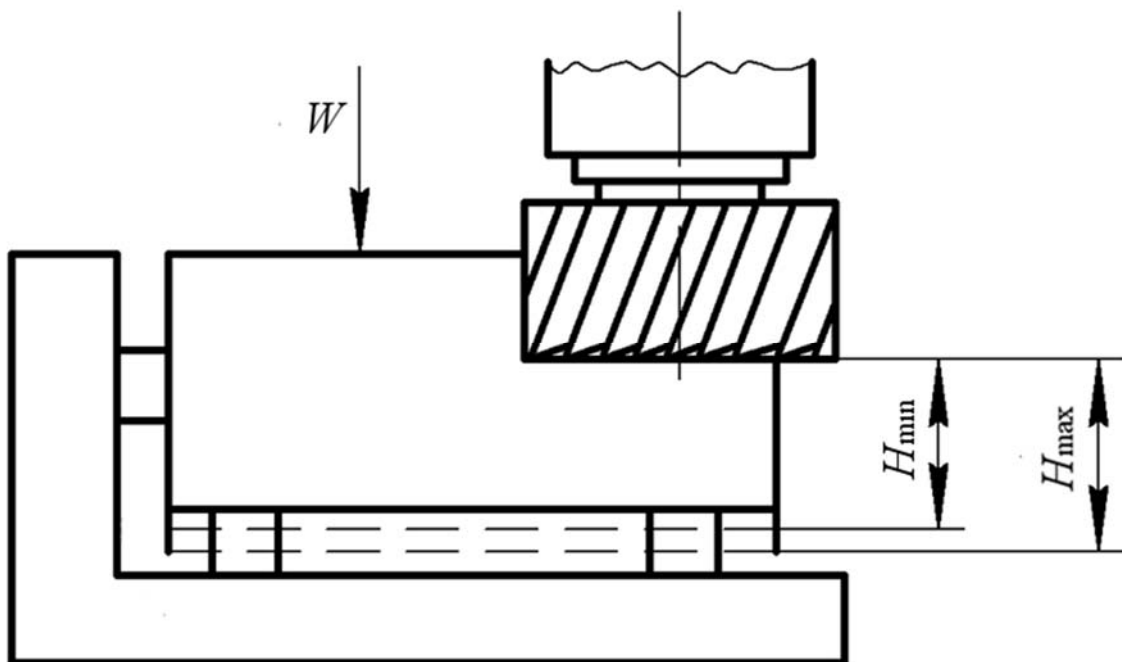


Рисунок 2.1 – Схема формирования погрешности закрепления заготовки в приспособлении

На рисунке 2.1 обозначено: W – усилие закрепления; H_1, H_2 – предельные положения измерительной базы под действием различных факторов при наличии усилий закрепления и колебания величины этого усилия, а также неоднородности твёрдости и шероховатости заготовок в партии

Из рисунка 2.1 видно, что погрешность закрепления, согласно определению, определяется по формуле

$$\varepsilon_3 = H_{\max} - H_{\min}. \quad (2.2)$$

Для уменьшения влияния погрешности закрепления на точность обработки необходимо устранять причины, порождающие эти погрешности, за счёт выбора рациональной схемы закрепления, уменьшения и стабилизации шероховатости базирующей поверхности, а также уменьшения разброса твёрдости материала заготовок в партии. Необходимо также стабилизировать величину самого усилия зажима.

2.3 Оснащение работы

Работа выполняется на вертикально-фрезерном станке мод. СФ15.

На столе станка устанавливается и крепится специальное приспособление 1 (рисунок 2.2).

Для выполнения работы подготовлены специальные образцы (рисунок 2.3, таблица 2.1).

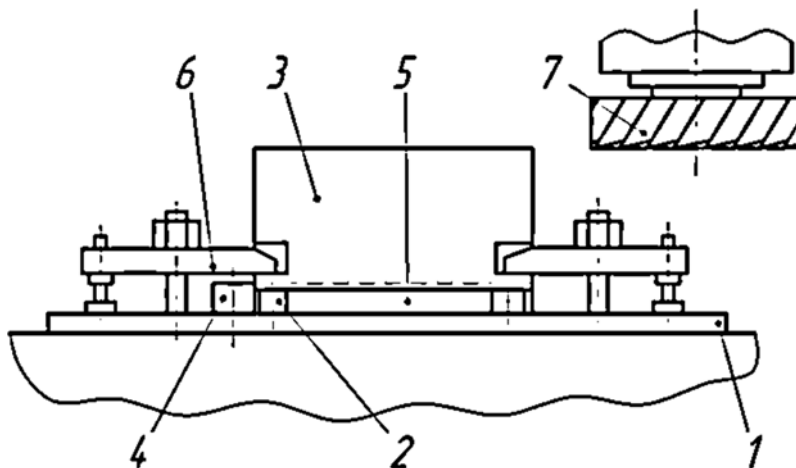


Рисунок 2.2 – Специальное приспособление для крепления заготовок

Поверхность A у различных образцов обработана с различной шероховатостью.

Закрепление заготовок осуществляется вручную гаечным ключом. Для стабилизации усилия используется динамометрический ключ.

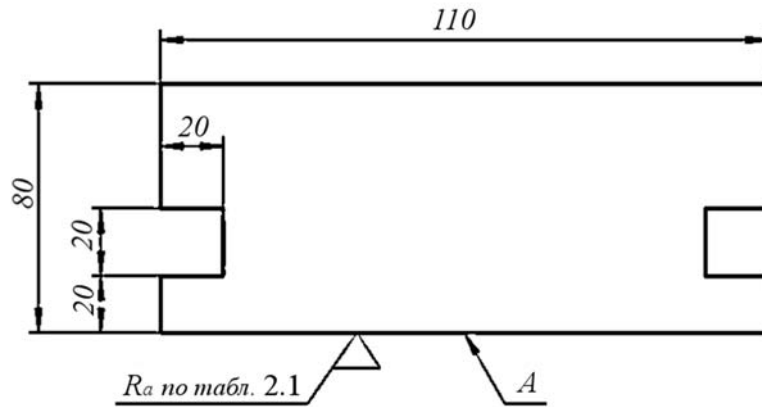


Рисунок 2.3 – Исследуемые образцы

Таблица 2.1 – Шероховатость опорной поверхности образцов

Номер образца	Шероховатость R_a поверхности
1–8	2,5
9, 10	3,2
11, 12	6,3
13, 14	12,5
15, 16	25
17, 18	50
19, 20	100

2.4 Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в два этапа. На первом этапе определяется величина погрешности закрепления при различной шероховатости базирующей поверхности A заготовки и неконтролируемой величине усилия закрепления. При этом в приспособление устанавливается заготовка 9 и крепится двумя прихватами при помощи гаечного ключа без динамометра (с различным усилием зажима). Затем устанавливается требуемая частота вращения шпинделя для обеспечения скорости $V = 100...120$ м/мин. Устанавливается минутная подача исходя из подачи на зуб фрезы и частоты её вращения. Устанавливается номинальная глубина резания $t = 1$ мм. Подача на зуб фрезы $S_z = 0,1$ мм.

В установленном режиме обрабатываются образцы 9...20. При этом целесообразно, чтобы закрепление различных образцов производилось различными студентами из подгруппы, что позволит учесть влияние субъективного фактора на величину усилия закрепления (крепление заготовок должно быть надёжным).

После обработки производится измерение образцов по схеме, представленной на рисунке 2.4, и результаты измерения заносятся в таблицу расчётных и экспериментальных данных.

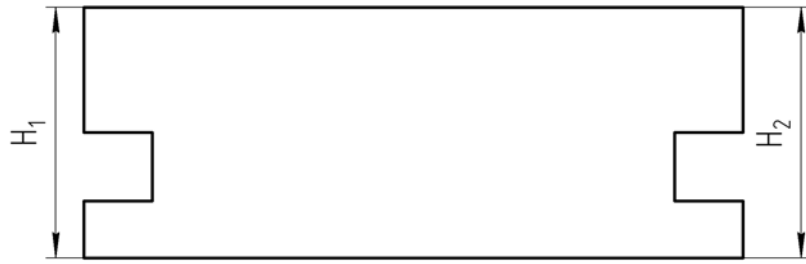


Рисунок 2.4 – Схема измерения образцов

На втором этапе работы определяется погрешность закрепления при однородной шероховатости $Ra\ 2,5$ и стабильном усилии зажима, равном 1600 Н (75...80 делений на индикаторе динамометрического ключа). Производится обработка образцов с 1 по 8 в том же режиме и с той же настройкой, что и на предыдущем этапе. После обработки производится обмер образцов по той же схеме (см. рисунок 2.4), результаты заносятся в таблицу (таблица 2.2).

По результатам замеров определяются погрешности взаимного расположения базовой и обработанной поверхностей:

$$\varepsilon_p = H_{1i} - H_{2i}, \quad (2.3)$$

где H_{1i} и H_{2i} – размеры образцов (см. рисунок 2.4);

i – номер образца, $i = 1 \dots 20$.

Определяют наибольшую погрешность расположения $\varepsilon_p^{\max}$ для каждого этапа работы.

Определяют погрешности закрепления на обоих этапах работы по соотношению:

$$\varepsilon_z = H_{\max} - H_{\min}, \quad (2.4)$$

где $H_{\max}$, $H_{\min}$ – наибольший и наименьший размеры после обработки образцов.

Сопоставляются полученные результаты на двух этапах работы. Формулируются выводы.

Таблица 2.2 – Таблица расчётных и экспериментальных данных

Номер этапа работы	Номер образца	Шероховатость базовой поверхности	Размер		Погрешность расположения $\varepsilon_p = H_{1i} - H_{2i}$	$\varepsilon_p^{\max}$	Погрешность закрепления $\varepsilon_z = H_{\max} - H_{\min}$
			H_1	H_2			
1	9						
	...						
	20						
2	1						
	...						
	8						

2.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующие материалы.

2.5.1 Название лабораторной работы.

2.5.2 Цель работы.

2.5.3 Наименование, модель и характеристика станка.

2.5.4 Схема закрепления образца в специальном приспособлении с указанием измеряемого размера. Схема образования погрешности закрепления.

2.5.5 Наименование и характеристика режущего инструмента.

2.5.6 Наименование и характеристика измерительного инструмента.

2.5.7 Режимы обработки на станке.

2.5.8 Таблица расчётных и экспериментальных данных.

2.5.9 Выводы по результатам измерений на двух этапах работы.

Контрольные вопросы

1 Что такое погрешность установки и каковы её составляющие?

2 Какие причины порождают погрешность закрепления?

3 Как определить погрешность закрепления?

4 Какими путями можно уменьшить погрешность закрепления?

5 Для каких целей используется динамометрический ключ?

6 Каким инструментом производится обмер заготовок после обработки и какова точность измерения?

3 Лабораторная работа № 3. Определение погрешности настройки инструмента на размер

Цель работы: изучение методики и практическое освоение настройки инструмента на размер методами обработки пробных деталей и настройки по эталону.

3.1 Оборудование, инструменты и приборы

3.1.1 Объекты исследования – заготовки из стали 45 ГОСТ 1050–74, зацентрованные с обоих концов.

3.1.2 Универсальный токарно-винторезный станок.

3.1.3 Набор мерительного инструмента (штангенциркуль, микрометр).

3.1.4 Технологическая оснастка, состоящая из переднего центра, заднего вращающегося центра и поводкового устройства или хомутика.

3.1.5 Резец проходной.

3.2 Основные теоретические положения

Настройка инструмента на размер заключается в согласованной установке режущего инструмента, рабочих органов станка и приспособления, обеспечивающей при обработке заготовок получение заданного размера в пределах установленного допуска на этот размер. При этом при настройке инструмента на размер на станках-дублерах, при обработке нескольких партий деталей, при смене затупившегося инструмента невозможно обеспечить одинаковую установку режущего инструмента при каждой настройке или поднастройке. Разность предельных расстояний режущей кромки инструмента при его настройках является погрешностью настройки [1, 4, 6].

В машиностроительной практике применяются два принципиально различных метода настройки инструмента на размер: настройка по пробным деталям и настройка по эталонной детали или габариту.

По первому методу установку режущего инструмента производят последовательным приближением к заданному настроечному размеру в результате обработки на станке пробных деталей, размеры которых проверяют универсальными измерительными инструментами.

По данным проверки размеров пробных деталей определяют величину и направление необходимого смещения инструмента.

Погрешность настройки зависит от квалификации наладчика и точности применяемого измерительного инструмента. При настройке по пробным заготовкам точность настройки оценивают по результатам измерений обработанных заготовок. Среднее арифметическое полученных размеров принимают за центр группирования размеров партий заготовок, обрабатываемых при данной настройке. Если вычисленное значение среднего арифметического размера пробных заготовок отличается от настроечного, то следует вводить корректировку (регулирование) положения инструмента с помощью лимба или другого устройства.

Настроечный размер

$$L_{\text{нс}} = \frac{L_{\text{нм}} + L_{\text{нб}}}{2}, \quad (3.1)$$

где $L_{\text{нм}}$, $L_{\text{нб}}$ – наименьший и наибольший предельные размеры по чертежу соответственно.

Погрешность настройки по пробным деталям с помощью универсального измерительного инструмента определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{н}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{р}} + \varepsilon_{\text{рег}} + \varepsilon_{\text{изм}}}, \quad (3.2)$$

где K – коэффициент, учитывающий отклонение закона распределения погрешностей от нормального (как правило, $K = 1,2$);

$\varepsilon_{\text{р}}$ – погрешность мгновенного рассеяния размеров пробных деталей из-за дей-

ствия случайных причин (колебания припуска и твердости заготовок);

$\varepsilon_{\text{рег}}$ – погрешность регулирования положения инструмента при настройке;

$\varepsilon_{\text{изм}}$ – погрешность измерения пробной детали, равная погрешности универсального измерительного инструмента.

Погрешность мгновенного рассеивания размеров зависит от режима обработки, жесткости технологической системы, колебаний (допуска) размеров и твердости заготовок в партии пробных деталей.

Величина ε_p определяется по величине среднего квадратического отклонения, характеризующего точность обработки на данном станке σ , и количеству пробных деталей m ($m = 3 \dots 8$) по формуле

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}. \quad (3.3)$$

Если величина σ неизвестна, то можно принять

$$\sigma = \frac{T}{6}, \quad (3.4)$$

где T – допуск выдерживаемого размера.

Погрешность регулирования положения инструмента при настройке зависит от принятого способа регулирования и определяется по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Погрешность регулирования положения инструмента

Метод регулирования положения резца по лимбу с ценой деления	$\varepsilon_{\text{рег}}$, МКМ
0,02	10...15
0,05	15...30
0,1	30...50

Погрешность измерения $\varepsilon_{\text{изм}}$ принимается равной предельной погрешности используемого при настройке измерительного инструмента, т. е. равной величине цены деления измерительного инструмента.

При обработке партии заготовок по квалитетам точности 9...11 настройка на размер осуществляется по лимбу с ценой деления 0,05 мм, а измерение пробных деталей производится микрометром (цена деления 0,01 мм).

При настройке инструмента на размер по второму методу (настройка по эталону) режущий инструмент доводят до соприкосновения с эталонной деталью или щупом, которой помещается между эталоном и вершиной режущей кромки инструмента.

Настройка по эталону осуществляется на неработающем станке и занимает меньше времени, чем настройка по пробным деталям. Однако этот метод настройки менее точен по сравнению с первым.

Погрешность настройки станка по эталону зависит от погрешности изго-

товления эталона (габарита) $\varepsilon_{\text{эт}}$ и погрешности установки инструмента по эталону $\varepsilon_{\text{уст.инстр}}$:

$$\varepsilon_{\text{н}} = K \sqrt{\varepsilon_{\text{эт}}^2 + \varepsilon_{\text{уст.инстр}}^2}, \quad (3.5)$$

где $K = 1,2$;

$$\varepsilon_{\text{эт}} = T_{\text{эт}} + T_{\text{щ}}, \quad (3.6)$$

где $T_{\text{эт}}$ – допуск на изготовление эталона;

$T_{\text{щ}}$ – допуск на изготовление щупа.

Величины допусков $T_{\text{эт}}$ и $T_{\text{щ}}$ принимаются по $h6$. Погрешности установки инструмента по эталону $\varepsilon_{\text{уст.инстр}}$ приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Погрешности установки резца на размер $\varepsilon_{\text{уст.инстр}}$

Метод установки резца на размер	Погрешность $\varepsilon_{\text{уст.инстр}}$, МКМ
Резец закрепляют винтами резцедержателя после касания его с эталоном	100...330
Резец, закрепленный в резцедержателе, подводят к эталону винтом поперечной подачи	20...30
То же, но с контролем положения резца с помощью металлического щупа	8...10

3.3 Методика проведения лабораторной работы

Работа выполняется на универсальном токарно-винторезном станке мод. 1К625 (высота центров – 250 мм, расстояние между центрами – 750 мм).

В качестве пробных деталей используются заготовки ($m = 5$ шт.) из стали 40 или 45, а также из стали 40Х или 45Х длиной 260...270 мм, зацентрованные с обоих концов. Заготовки предварительно обрабатываются до диаметра 48 мм по 14-му качеству точности ($h14$). На каждой заготовке должно быть три шейки длиной 50 мм, разделенных канавками шириной 8...10 мм.

Для установки и обработки заготовок используется передний центр, задний вращающийся центр и поводковое устройство или хомутик.

Обработка шеек заготовок осуществляется проходным резцом, оснащенным пластиной твердого сплава Т15К6 ($\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $\gamma = 8^\circ...10^\circ$, $\alpha = 10^\circ...12^\circ$, $r = 1...1,5$ мм).

Режим обработки $V = 120...150$ м/мин, $S = 0,15...0,2$ мм/об.

Измерение шеек пробных деталей осуществляется микрометром с диапазоном измерений 25...50 мм.

Для определения погрешности настройки на размер по эталону служит эталонная деталь, диаметр которой 46 мм выполнен по 6-му качеству точности ($h6$) и щуп толщиной 3 мм с допуском по 6-му качеству ($h6$).

Погрешности настройки резца на размер обоими способами определяются индикатором с ценой деления 0,002 мм, установленным на магнитной стойке.

3.4 Порядок выполнения работы

Погрешность установки инструмента на размер для двух методов настройки (по пробным деталям и эталону) определяется экспериментально и расчетом.

3.4.1 Определение погрешности настройки экспериментально по пробным деталям.

Для настройки резца на размер $45_{-0,16}$ служит пробная партия заготовок ($m = 5$ шт.).

Настройку инструмента на размер осуществляют в следующей последовательности.

1 Методом пробных ходов и замеров у первой заготовки на первой шейке устанавливается резец на размер, для чего используют лимб винта поперечных салазок, а для измерения размеров – микрометр.

2 Настроенным на размер инструментом протачиваются у других четырех заготовок первые шейки.

3 Замеряются микрометром размеры первой шейки у пяти проточенных деталей, результаты заносятся в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты измерений

Номер настройки (шейки)	Номер детали	Величина размера D_i , мм	Среднее арифметическое значение размера, мм $D_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^5 D_i}{5}$	Скорректированное среднее арифметическое значение размера D'_{cp} , мм
1	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
2	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
3	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

Определяется среднее арифметическое значение размера, которое записывается в эту же таблицу. Полученный средний размер сравнивается с расчетным настроечным размером.

4 Если требуется корректировка положения режущего инструмента, то ее осуществляют с помощью лимба и замеров получаемых результатов с помощью микрометра и записывают в таблицу скорректированное среднее арифметическое размера $D'_{\text{ср}}$.

5 Затем с помощью контрольного приспособления фиксируется положение режущего инструмента индикатором при первой настройке (на первой шейке). При этом стрелка индикатора устанавливается на нуль (рисунок 3.1).

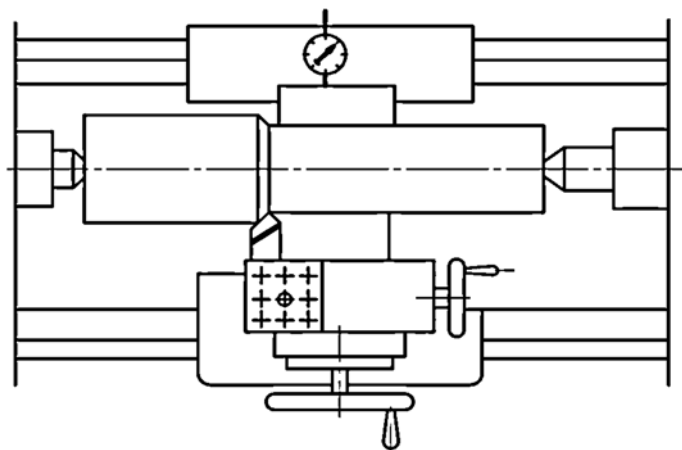


Рисунок 3.1 – Схема настройки резца по пробным партиям

6 Затем выполняют вторую и третью настройки по пп. 1–5 по второй и третьей шейкам у всех пяти заготовок, при этом в каждой настройке фиксируют показания индикатора.

7 Погрешность настройки определяется как разность между максимальным и минимальным показаниями контрольного индикатора, снятым при трех настройках, т. е.

$$\varepsilon_{\text{н}} = I_{\text{max}} - I_{\text{min}}, \quad (3.7)$$

где I – показания индикатора с соответствующим знаком.

Определить погрешность настройки также можно по формуле

$$\varepsilon_{\text{н}} = D'_{\text{ср max}} - D'_{\text{ср min}}, \quad (3.8)$$

где $D'_{\text{ср max}}$, $D'_{\text{ср min}}$ – наибольшее и наименьшее среднее арифметическое значение размера.

3.4.2 Расчет погрешности настройки по пробным деталям.

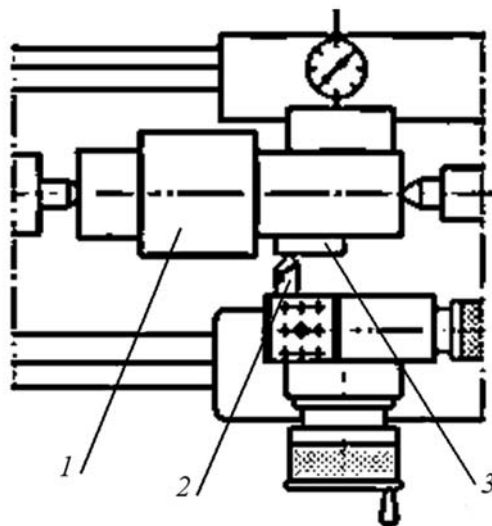
Расчет погрешности настройки $\varepsilon_{\text{н}}$ по пробным деталям осуществляется по формулам (3.2), (3.3), таблице 3.1 и указаниям к выполнению данной лаборатор-

ной работы.

3.4.3 Определение погрешности настройки инструмента по эталонной детали экспериментально.

Для определения погрешности настройки резца на размер $45_{-0,16}^{+0,16}$ по эталону необходимо выполнить следующее.

1 Установить эталон в центрах станка (рисунок 3.2).



1 – эталон; 2 – резец; 3 – щуп

Рисунок 3.2 – Схема настройки резца по эталону

2 Закрепить резец в резцедержателе.

3 Подвести резец до соприкосновения с мерным щупом, который располагают между эталоном и резцом.

4 При первой установке резца стрелку контрольного индикатора установить на нуль. При каждой новой установке резца на размер снять показания с соответствующим знаком («плюс» или «минус»).

5 Занести показания индикатора в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Показания индикатора

Номер опыта	Показание индикатора I_i , мкм	Погрешность настройки ε_n , мкм
1		$\varepsilon_n = I_{\max} - I_{\min}$
2		
3		
4		

3.4.4 Расчет погрешности настройки по эталонной детали.

Расчет погрешности настройки ε_n по эталонной детали осуществляется по формулам (3.5) и (3.6), таблице 3.2 и указаниям к выполнению данной работы.

Работа заканчивается сравнением фактических и расчетных значений по-

грешности для двух методов настройки инструмента на размер и делаются выводы по этим методам настройки.

3.5 Содержание отчета

- 3.5.1 Название лабораторной работы.
- 3.5.2 Цель работы.
- 3.5.3 Наименование, модель и краткая характеристика станка.
- 3.5.4 Эскизы схем настройки.
- 3.5.5 Наименование, характеристика и геометрия режущего инструмента.
- 3.5.6 Режимы обработки пробных деталей.
- 3.5.7 Назначение и характеристика пробных деталей.
- 3.5.8 Таблицы экспериментальных данных.
- 3.5.9 Исходные данные для расчета погрешности настройки двумя методами.
- 3.5.10 Расчеты погрешностей настройки и сравнения их с экспериментальными данными.
- 3.5.11 Выводы, полученные в результате выполнения лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие методы настройки инструмента на размер Вы знаете?
- 2 Какова сущность метода настройки на размер обработанной партии пробных деталей?
- 3 Какова сущность метода настройки на размер по эталонной детали?
- 4 Какой метод настройки из изученных в данной работе более точен?
- 5 Укажите область применения двух методов настройки на размер.
- 6 От чего зависит погрешность настройки станка по эталону?
- 7 Как определяется погрешность настройки резца по пробным деталям с помощью универсального измерительного инструмента?
- 8 Чему равна погрешность измерения?

4 Лабораторная работа № 4. Исследование жесткости токарного станка статическим методом

Цель работы: освоить способ измерения жесткости технологической системы лабораторным (статическим) способом и измерить жесткость узлов токарного станка; определить погрешности от упругих перемещений элементов технологической системы.

4.1 Оборудование, инструменты и приборы

Лабораторная работа выполняется на универсальном токарно-винторезном станке, жесткость узлов которого измеряется. Станок оснащен специальным

приспособлением: скобой высокой жесткости и динамометрическим устройством, позволяющим нагружать исследуемые узлы некоторой постоянной силой. Перемещения узлов станка измеряются индикаторами часового типа с ценой деления 0,002 мм. (Допускается использование и других измерительных устройств, в том числе – индикаторов с другой ценой деления.)

4.2 Основные теоретические положения

Жесткостью j , кН/м, технологической системы называется отношение радиальной составляющей силы резания к смещению лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки, измеренному в направлении действия силы [1, 4, 6].

Жесткость технологической системы (станок – приспособление – инструмент – деталь) можно вычислить по зависимости

$$j = \frac{P_{\max}}{y_{\max}}, \quad (4.1)$$

где $P_{\max}$ – максимальная сила нагружения;

$y_{\max}$ – максимальное смещение от действия силы $P_{\max}$.

Иногда при расчетах удобно использовать величину обратную жесткости – податливость. Податливостью технологической системы называют способность этой системы упруго деформироваться под действием сил резания.

$$\omega = \frac{1}{j}. \quad (4.2)$$

При обработке заготовок технологическая система деформируется силой резания, величина и пространственное расположение которой существенно отличается от величины и направления действия радиальной составляющей. Поэтому в некоторых работах по технологии машиностроения жесткость технологической системы, вычисленную в предположении действия только одной радиальной составляющей силы резания, называют коэффициентом жесткости.

При лабораторных испытаниях обычно определяется жесткость не технологической системы, а лишь жесткость отдельных узлов станка. Эти испытания проводятся на неработающем станке, узлы которого нагружаются ступенчато внешней силой строго определенной величины и направления. При этом фиксируются пространственные перемещения выбранных для расчета точек узлов станка.

По полученным результатам испытаний строится диаграмма «нагрузка – перемещение» (рисунок 4.1).

Так как при проведении испытаний обычно разгрузочная ветвь диаграммы не совпадает с нагрузочной, образуя петлю гистерезиса, то расчет производят только по одной – нагрузочной ветви.

Площадь фигуры $OACBDG$ – соответствует работе, которая затрачена на

отжатие элемента. Площадь фигуры $O^*A^*C^*B^*D^*G$ – соответствует работе, которая возвращена элементом при разгрузке. Следовательно, площадь петли гистерезиса, характеризует работу, затраченную на преодоление силы трения в стыках, контактные деформации и силы собственного веса деталей исследуемого элемента.

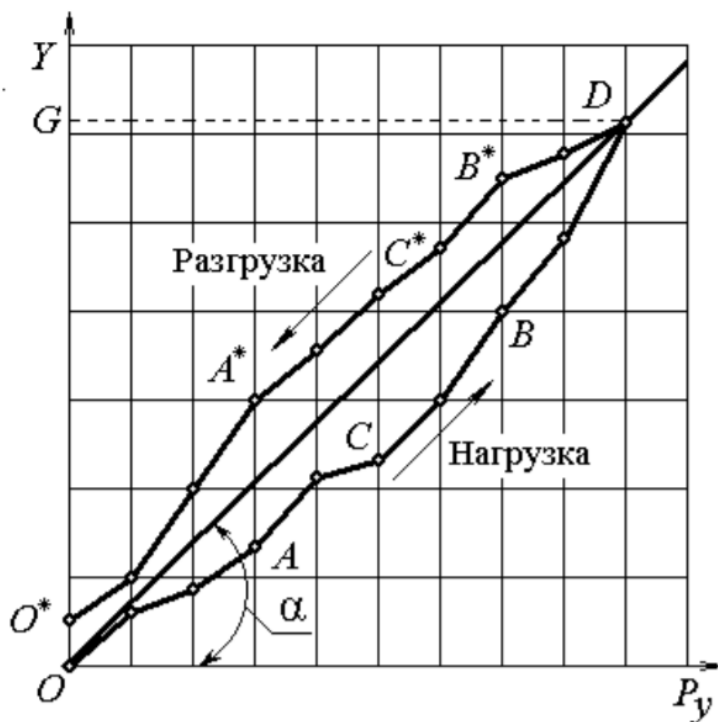


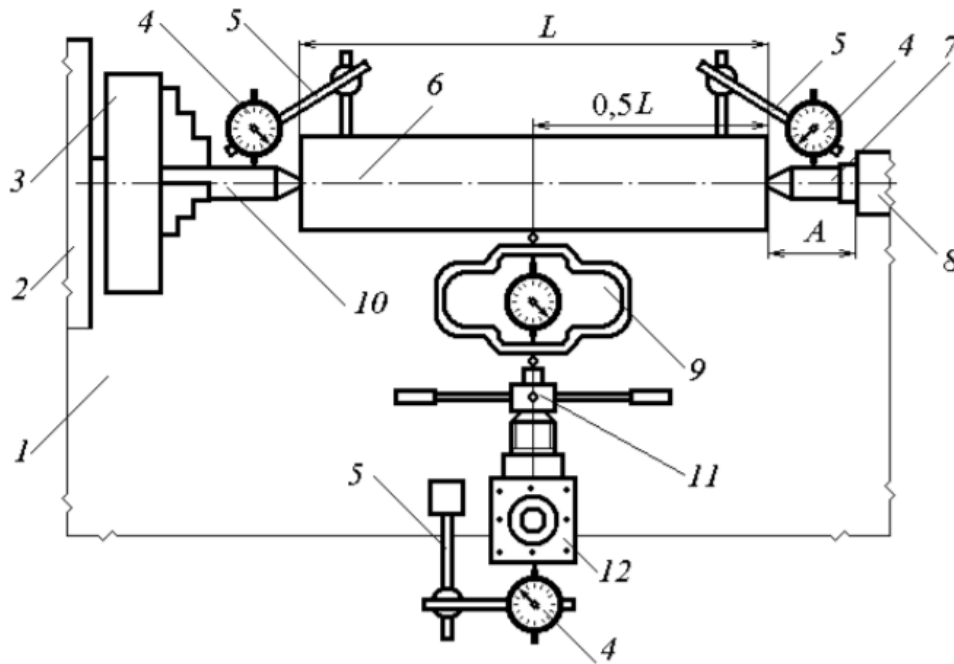
Рисунок 4.1 – Диаграмма «нагрузка – упругое перемещение» за один цикл нагружения и разгружения одного элемента узла технологической системы

Для упрощения расчетов используют среднюю жесткость $J_{\text{ср}}$, которая характеризуется прямой OD или углом α :

$$J_{\text{ср}} = DG / OG = \text{tg}\alpha. \quad (4.3)$$

При выполнении лабораторной работы нагружение узлов станка производится определенной по величине и направлению силой, создаваемой специальным кольцевым динамометром. Нагружаются: передняя бабка (ПБ), суппорт (СП), задняя бабка станка (ЗБ). (Схема установки для измерения жёсткости токарного станка показана на рисунке 4.2.)

Перемещения передней бабки, суппорта и задней бабки станка измеряются тремя индикаторами часового типа, установленными на станке, как это показано на схеме на рисунке 4.2.



1 – станина; 2 – передняя бабка; 3 – патрон; 4 – индикатор; 5 – магнитная стойка, установленная на станине (возможно крепление обычных стоек к станине станка); 6 – центровая оправка; 7, 10 – задний и передний центр; 8 – корпус задней бабки; 9 – динамометр; 11 – поджимной винт; 12 – резцедержатель

Рисунок 4.2 – Схема установки для измерения жесткости токарного станка методом статического нагружения

4.3 Порядок выполнения работы

4.3.1 При проведении опыта нагрузка от нуля увеличивается примерно до 1000 Н ступенчато, причем в протоколе наблюдений фиксируются показания индикатора в делениях его шкалы.

4.3.2 Динамометр предварительно тарируют, поэтому истинные значения прикладываемой силы могут быть установлены по тарировочному графику.

4.3.3 Нагрузка снимается также ступенчато. При каждой ступени нагружения фиксируются показания индикаторов и вносятся в протокол наблюдений, составленный в форме таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Показания индикатора

Нагрузка		Смещение Y , мм			Жесткость J , Н/мм		
Деление индикатора	P_y , Н	$Y_{ПБ}$	$Y_{ЗБ}$	$Y_{СП}$	$J_{ПБ}$	$J_{ЗБ}$	$J_{СП}$
0							
3							
6							
и т. д.							

4.4 Содержание отчета

4.4.1 Название лабораторной работы.

4.4.2 Цель работы.

4.4.3 Оборудование, инструменты и приборы.

4.4.4 Схема установки приспособления для измерения жесткости передней и задней бабок и суппорта токарного станка.

4.4.5 Протокол наблюдений, составленный по форме таблицы 4.1.

4.4.6 Графики перемещения точек передней и задней бабок и суппорт в зависимости от прилагаемой нагрузки (на ветви нагрузки и разгрузка проводится прямая, аппроксимирующая опытную совокупность данных).

4.4.7 Жесткость элементов технологической системы токарного станка.

4.4.8 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Что называют жесткостью технологической системы?

2 Что такое податливость технологической системы и область применения этого понятия?

3 Как определяется жесткость элементов технологической системы статическим (лабораторным способом)?

4 В чем преимущества и недостатки лабораторного способа определения жесткости технологической системы?

5 Лабораторная работа № 5. Определение жесткости токарного станка динамическим методом

Цель работы: ознакомиться с экспериментальными методами определения жесткости токарного станка; выяснить зависимость точности обработки от жесткости технологической системы.

5.1 Оборудование, инструменты и приборы

Лабораторная работа выполняется на универсальном токарно-винторезном станке. Станок оснащен специальным приспособлением: оправкой высокой жесткости, на которую устанавливают обрабатываемые заготовки в виде колец с разными диаметрами.

5.2 Основные теоретические положения

Под жёсткостью технологической системы понимают её способность противодействовать относительному перемещению режущего инструмента и обрабатываемой детали в направлении получаемого размера под действием возникающих при обработке усилий [1, 4, 6].

Под влиянием сил резания происходят как упругие деформации деталей технологической системы, так и контактные деформации в стыках, в результате чего нарушается первоначально установленное относительное положение инструмента к обрабатываемой детали.

Выдерживаемый на данной операции размер получает приращение, величина и знак которого зависят от конструктивного исполнения, качества сборки и степени изношенности узлов станка, места приложения нагрузки и направления вектора силы резания.

Аналитический расчёт величины относительного перемещения инструмента и детали под действием всех трёх составляющих силы резания P_z , P_y , P_x весьма трудоёмок. Поэтому для этой цели пользуются экспериментальными методами. Наиболее распространёнными из них являются метод статистического нагружения и, так называемый, производственный (динамический) метод.

Наиболее часто жёсткость станков определяют методом статистического нагружения их узлов силой определённого направления с одновременным измерением упругих деформаций. С целью упрощения приспособлений для нагружения чаще всего направление нагружающей силы принимают вдоль оси y , имея в виду то, что в большинстве случаев радиальная составляющая силы резания P_y оказывает наибольшее влияние на приращение размера.

Однако этот метод не учитывает действие двух остальных составляющих силы резания P_z и P_x . Кроме того, условия статического нагружения не соответствуют реальным, например, отсутствуют вибрации, сопровождающие процесс обработки и увеличивающие деформацию элементов технологической системы.

Более точным является производственный метод. Преимущество этого метода перед другими состоит в том, что величина упругих перемещений определяется непосредственно при обработке. Условия нагружения технологической системы могут при этом в точности соответствовать производственным. Вместо измерения относительных смещений узлов станка здесь измеряют непосредственно приращение размера на обработанной детали.

Сущность этого метода состоит в том, что обрабатывается заготовка со ступенчатым изменением припуска или несколько заготовок – колец, установленных на оправку (рисунок 5.1).

При обработке такой заготовки изменяется глубина резания, силы резания и, следовательно, величина суммарной деформации технологической системы.

На обрабатываемой поверхности появляется уступ, высота которого Δy равна разности деформаций технологической системы при обработке с глубиной резания t_1 и t_2 . Подсчитав составляющие силы резания P_{y1} и P_{y2} и их разность $\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}$, можно, как и в предыдущем случае, найти коэффициент жесткости

$$J = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}.$$

Однако для технолога определение жесткости оборудования не является самоцелью. Его прежде всего интересует, как отразится нестабильность упру-

гих деформаций технологической системы на точность обработки.

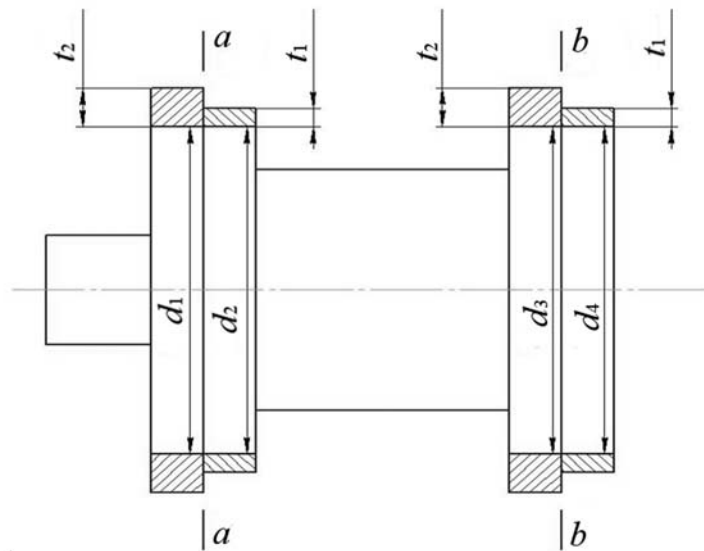


Рисунок 5.1 – Эскиз обрабатываемой заготовки

С этой целью размер меньшей ступени заготовки (см. рисунок 5.1) выполняют равным наименьшему, а размер большей ступени – наибольшему предельному размеру заготовки в той партии, на обработку которой настроен станок. Таким образом, при обработке меньшей ступени будет сниматься наименьший припуск t_1 , а при обработке большей ступени – наибольший припуск t_2 . Величина изменения припуска на диаметр (удвоенная величина Δt) равна допуску на размер заготовки, т. е. имитируется обработка двух заготовок из партии – наибольшей и наименьшей. Иногда высоту ступени Δt дополнительно увеличивают для того, чтобы учесть колебание твердости обрабатываемого материала.

Высота ступени на обработанной поверхности в месте перехода припуска (сечения $a-a$ и $b-b$) соответствует величине поля рассеивания размеров, которое возникает из-за неравномерности деформаций в технологической системе при обработке партии заготовок с переменным припуском и твердостью.

Поскольку жесткость задней бабки станка отличается от жесткости передней бабки, то при снятии одного и того же припуска на правом и левом концах вала (за одну установку) изменение размера на обработанной поверхности будет различным. По разности размеров на концах вала можно судить об ожидаемой величине конусности обработанных деталей.

Минимальную величину конусности будет иметь деталь с наименьшим припуском (условно принимается, что величина припуска вдоль оси на каждой заготовке постоянна). Эту конусность можно скомпенсировать за счет сдвига задней бабки. В этом случае конусность детали с наибольшим припуском несколько уменьшится.

5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1 Настроить станок на следующие режимы обработки: $V = 80 \dots 140$ м/мин; $S = 0,15 \dots 0,3$ мм/об.

5.3.2 Пользуясь соответствующими нормативами, подсчитать величину радиальной составляющей силы резания при обработке с глубиной резания $t_1 = 0,75$ мм и $t_2 = 2$ мм.

5.3.3 Обточить заготовку или набор колец на оправке со ступенчатым возрастанием припуска $t_1 = 0,75$ мм и $t_2 = 2$ мм.

5.3.4 Замерить величины диаметров на обоих концах заготовки после обработки.

5.3.5 Подсчитать величину приращений размера $y_{0,75}$, $y_{2,0}$ возле передней и задней бабок после обработки заготовок со ступенчатым изменением глубины резания от 0,75 до 2,0 мм.

5.3.6 Подсчитать величину конусности после обработки.

5.3.7 Оформить отчет.

5.4 Содержание отчета

5.4.1 Название, цель работы.

5.4.2 Оборудование, технологическое оснащение.

5.4.3 Эскиз обрабатываемой заготовки.

5.4.4 Результаты измерения жесткости токарного станка методом динамическим методом.

5.4.5 Таблица результатов (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Результаты расчетов

Размер деталей		Приращение размера, мм	Жесткость, Н/мм	Расчет усилий резания
$D_{1пб} =$	$D_{2пб} =$	$\Delta y_1 = y_{0,75} - y_{2,0}$ $\Delta y_1 =$	$J_1 = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}$	$P_{y0,75} =$ $P_{y2} =$
$D_{13б} =$	$D_{23б} =$	$\Delta y_2 = y_{0,75} - y_{2,0}$ $\Delta y_2 =$	$J_2 = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}$	$\Delta P_y = P_{y2,0} - P_{y0,75}$ $\Delta P_y =$
Конусообразность, мм	$\Delta y = y_1 - y_2$ $\Delta y =$			

В таблице 5.1 приняты следующие обозначения:

$D_{1пб}$ – диаметры колец до обработки у передней бабки;

$D_{2пб}$ – диаметры колец после обработки у передней бабки;

$D_{13б}$ – диаметры колец до обработки у задней бабки;

$D_{23б}$ – диаметры колец после обработки у задней бабки.

5.4.6 Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Что понимается под жесткостью технологической системы?
- 2 За счет чего можно скомпенсировать конусность детали?
- 3 Какие факторы не учитываются при определении жесткости станков методом статического нагружения?
- 4 Объясните причины образования величин приращений размеров после обработки.
- 5 Какой метод определения жесткости технологической системы более точный?

6 Лабораторная работа № 6. Определение точности обработки на плоскошлифовальном станке

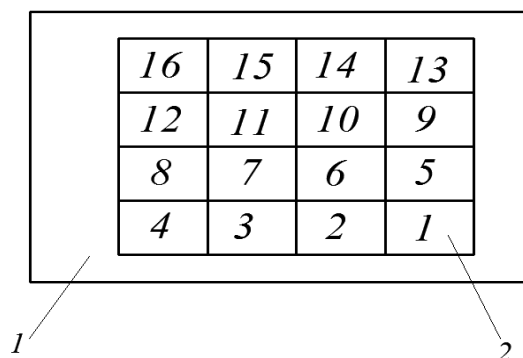
Цель работы: освоение расчетно-аналитического и экспериментального методов определения погрешностей обработки при шлифовании плоских поверхностей.

6.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 6.1.1 Объекты исследования – заготовки из стали 45 ГОСТ 1050–74 призматической формы – 16 шт.
- 6.1.2 Плоскошлифовальный станок с магнитной плитой.
- 6.1.3 Набор мерительного инструмента (штангенциркуль, микрометр).

6.2 Основные теоретические положения. Методические указания

Для выполнения работы производят шлифование стальных заготовок (16 шт.) при определенных режимах резания. Схема расположения заготовок на электромагнитной плите приведена на рисунке 6.1.



1 – электромагнитная плита, 2 – заготовка

Рисунок 6.1 – Схема расположения заготовок

Рекомендуемые режимы шлифования: глубина шлифования 0,02...0,04 мм, скорость продольного перемещения стола – 8...12 м/мин, поперечная подача за каждый ход стола – 1...4 мм [3, 5].

Поле рассеяния размеров деталей при обработке на шлифовальном станке

$$\omega = 6S + \Delta_{\text{см}}, \quad (6.1)$$

где S – среднее квадратическое отклонение размеров при обработке деталей, зависящее от случайных факторов;

$\Delta_{\text{см}}$ – смещение уровня настройки станка вследствие влияния систематических факторов.

Смещение уровня настройки, в свою очередь, можно приравнять к погрешности, обусловленной износом шлифовального круга [4, 6]:

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{и}} = \frac{U_0 l}{1000}, \quad (6.2)$$

где U_0 – относительный износ шлифовального круга, который можно принять равным 0,03...0,04 мкм/км;

l – путь резания, м.

$$l = \frac{\pi \cdot D_{\text{к}} \cdot n_{\text{к}} \cdot B \cdot Z \cdot n}{1000 \cdot n_{\text{с}} \cdot S_{\text{п}} \cdot t}, \quad (6.3)$$

где $D_{\text{к}}$ – диаметр шлифовального круга, мм;

$n_{\text{к}}$ – частота вращения круга, мин⁻¹;

B – ширина шлифования, мм;

Z – припуск на сторону, мм;

n – количество шлифуемых деталей, $n = 16$ шт.;

$n_{\text{с}}$ – число двойных ходов стола, дв. х/мин;

$S_{\text{п}}$ – подача круга на один двойной ход, мм/дв. х;

t – глубина шлифования, мм.

При нормальном распределении фактическое поле рассеяния размеров, обработанных на станке деталей в выборке, определяется по формуле

$$\omega_{\text{ф}} = 6S_{\text{ф}}, \quad (6.4)$$

где $S_{\text{ф}}$ – среднее квадратическое отклонение в выборке.

$$S_{\text{ф}} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{(X_i - \bar{X})^2}{m}}, \quad (6.5)$$

где X_i – значения размеров обработанных деталей в выборке;

$\bar{X}$ – среднее значение размеров обработанных деталей в выборке;

m – количество деталей в выборке или в ряду, $m = 4$.

Фактическое смещение центра настройки станка на размер

$$\Delta_{\text{см}} = \bar{X}_{\text{к}} - \bar{X}_1, \quad (6.6)$$

где $\bar{X}_1$, $\bar{X}_{\text{к}}$ – центры группирования контролируемых параметров (средние значения размеров), определяемые по мгновенным выборкам соответственно в начальный (1-я выборка или 1-й ряд) и конечный (4-я выборка или 4-й ряд) моменты обработки партии деталей, определяемые по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i. \quad (6.7)$$

Сравнение значений теоретического $\Delta_{\text{т}}$ и практического $\Delta_{\text{см}}$ смещений уровня настройки производится в процентах по формуле

$$P = \frac{\Delta_{\text{т}}}{\Delta_{\text{см}}} 100 \%. \quad (6.8)$$

Измерения деталей в выборках производят микрометром. На основании измерений строят диаграмму точности обработки (рисунок 6.2).

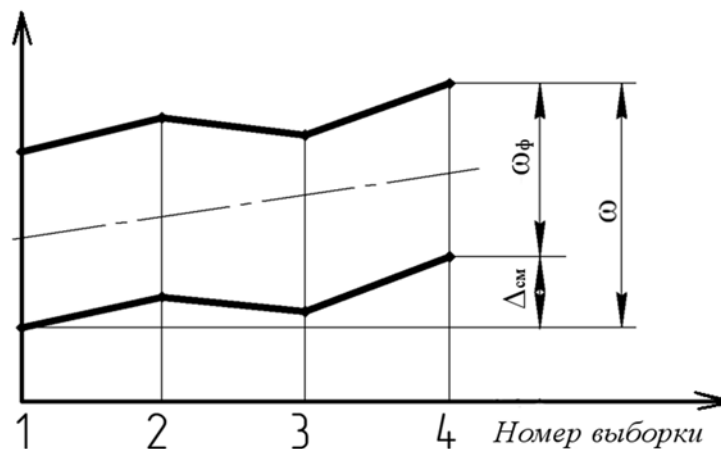


Рисунок 6.2 – Диаграмма точности обработки

6.3 Порядок выполнения работы

6.3.1 Определить смещение уровня настройки расчетно-аналитическим методом:

– рассчитать путь резания, необходимый для обработки шестнадцати пластин;

– рассчитать $\Delta_{\text{т}}$.

6.3.2 Определить погрешность обработки опытно-статистическим методом:

– установить на магнитной плите станка шестнадцать пластин;

- настроить станок на заданный размер по первой заготовке;
 - шлифовать за один рабочий ход все детали на заданных режимах;
 - измерить обработанные детали по рядам: 1-й ряд – 1-я выборка; 2-й ряд – 2-я выборка и т. д. Результаты свести в таблицу 6.1;
 - рассчитать поле рассеяния размеров в каждой выборке;
 - рассчитать смещение уровня настройки;
- 6.3.3 Определить соотношение между теоретическим и экспериментальным смещениями уровня настройки.
- 6.3.4 Построить диаграмму точности обработки.
- 6.3.5 Определить суммарную погрешность обработки по диаграмме.
- 6.3.6 Проанализировать полученные результаты.
- 6.3.7 Составить отчет.

Таблица 6.1 – Результаты измерений

Номер детали в выборке	Размер в выборке, мм			
	1-й	2-й	3-й	4-й
1				
2				
3				
4				
$\bar{X}_i$				
S_{ϕ}				
ω_{ϕ}				

6.4 Содержание отчета

- 6.4.1 Название и цель работы.
- 6.4.2 Эскиз установки заготовок на станке.
- 6.4.3 Режим обработки.
- 6.4.4 Определение смещения уровня настройки расчетно-аналитическим методом.
- 6.4.5 Результаты измерений фактической точности обработки (таблица 6.1).
- 6.4.6 Определение ω_{ϕ} и $\bar{X}_i$ в каждой точке.
- 6.4.7 Определение фактического смещения центра настройки станка.
- 6.4.8 Сравнение расчетных и экспериментальных данных.
- 6.4.9 Диаграмма точности обработки.
- 6.4.10 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как определяется поле рассеяния размеров деталей при обработке на шлифовальном станке?
- 2 Как рассчитывается износ шлифовального круга?
- 3 Как рассчитывается путь резания при шлифовании?

4 Как определяется среднее квадратическое отклонение в выборке после обработки?

5 Как рассчитывается фактическое смещение центра настройки станка на размер?

7 Лабораторная работа № 7. Исследование влияния жесткости технологической системы на точность обработки

Цель работы: освоение методики аналитического и экспериментального определения погрешностей обработки, вызываемых упругими деформациями технологической системы под влиянием силы резания.

7.1 Оборудование, инструменты и приборы

7.1.1 Объекты исследования – заготовки из стали 45 ГОСТ 1050–74, зацентрованные с обоих концов.

7.1.2 Универсальный токарно-винторезный станок.

7.1.3 Набор мерительного инструмента (штангенциркуль, микрометр).

7.1.4 Технологическая оснастка, состоящая из переднего центра, заднего вращающегося центра и поводкового устройства или хомутика.

7.1.5 Резец проходной.

7.2 Основные теоретические положения

Технологическая система деформируется под влиянием усилия резания. Понятие «жесткость» связано со способностью системы противостоять действию сил, стремящихся ее деформировать. Жесткость технологической системы оказывает влияние на точность и производительность обработки [1, 2, 4, 6].

Так как под действием силы резания технологическая система деформируется, то форма и размеры детали окажутся отличными от тех, которые можно было бы получить при отсутствии этих деформаций. Повышая жесткость упругой технологической системы, можно повысить и режимы резания без снижения точности обработки, что, в свою очередь, приводит к повышению производительности.

Жесткость технологической системы в целом складывается из жесткости отдельных узлов станка, жесткости приспособления и жесткости обрабатываемой детали. Схема образования погрешности формы, получающейся в процессе обработки консольно закрепленной в патроне токарного станка заготовки, приведена на рисунке 7.1.

Узлы станка под действием составляющей силы резания P_y претерпевают упругую деформацию, в результате чего вершина резца смещается относительно детали на величину $y_{ст}$. Эта же составляющая силы резания, действуя на заготовку, вызывает ее деформацию в направлении измеряемого диаметра на величину $y_{дет}$. При этом

$$y_{\text{дет}} = \frac{P_y X^3}{3EJ}, \quad (7.1)$$

где E – модуль упругости материала детали;

J – момент инерции сечения заготовки;

X – расстояние от торца патрона до рассматриваемого сечения, мм.

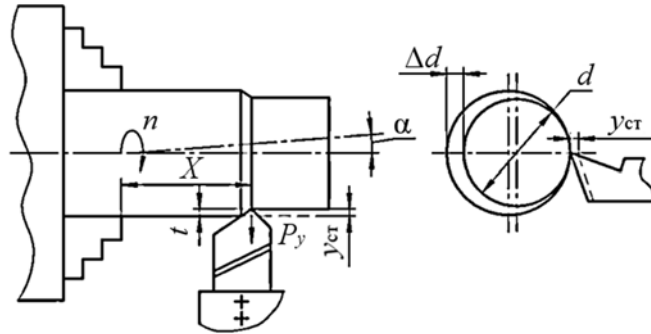


Рисунок 7.1 – Схема образования погрешности при консольном закреплении детали

Для круглого сечения момент инерции можно найти следующим образом:

$$J = 0,05d^4, \quad (7.2)$$

где d – диаметр заготовки, мм.

Суммарная величина погрешности

$$\Delta y = y_{\text{ст}} + y_{\text{дет}}. \quad (7.3)$$

Условия обработки: $t = 1 \dots 3$ мм в зависимости от заданных размеров заготовки; $S_0 = 0,15 \dots 0,25$ мм/об; $V = 60 \dots 80$ м/мин; диаметр исходной заготовки $d = 25 \dots 30$ мм; длина $L = 150 \dots 200$ мм.

При экспериментах отклонение от номинального размера в каждом сечении определяется по формуле

$$\Delta D_i = D_i + D_0, \quad (7.4)$$

где D_i – диаметр вала в i -м сечении, мм;

D_0 – номинальный диаметр обработанного вала.

Погрешность на сторону, характеризующая отклонение образующей цилиндра от прямой линии, рассчитывается как

$$y_i = \frac{\Delta D_i}{2}. \quad (7.5)$$

Расчет погрешностей формы в каждом продольном сечении выполняется

на основе уравнения податливости технологической системы W_i , мкм/Н, которое для случая обработки гладкого вала, закрепленного в патроне токарного станка, имеет вид

$$W_i = W_{\text{суп}} + W_{\text{п.б}} + \frac{10^9 X^3}{3EJ}, \quad (7.6)$$

где X – расстояние от патрона до точки приложения силы резания, мм;

E – модуль упругости стали, $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

J – момент инерции для круглого сечения, мм⁴; $J = 0,05d^4$;

$W_{\text{суп}}$ – податливость суппорта, мкм/Н;

$W_{\text{п.б}}$ – податливость передней бабки, мкм/Н.

Радиальная составляющая силы резания для данного случая может быть определена по формуле

$$P_y = 10 \cdot \lambda \cdot C_p \cdot t \cdot S^{0.75}. \quad (7.7)$$

Значения коэффициентов λ и C_p уточнить у преподавателя.

Упругие деформации в каждом сечении вала

$$y_i = P_y \cdot W_i. \quad (7.8)$$

Результаты эксперимента и расчета сводятся в таблицу 7.1, по данным которой затем строятся экспериментальный и расчетный графики упругих деформаций $y_i = f(X)$. Далее следует охарактеризовать погрешность формы обработанной детали в продольном сечении. Оба графика (экспериментальный и расчетный) изображаются в одной координатной сетке.

Таблица 7.1 – Определение упругих деформаций

X , мм	Результат эксперимента		Результат расчета	
	D_i , мм	y_i , мм	W_c , мкм/Н	y_i , мм
0				
0,1L				
0,2L				
0,3L				
0,4L				
0,5L				
0,6L				
и т. д.				

В таблице 7.1 L – длина заготовки. При выполнении работы необходимо принимать следующие значения податливости узлов станка: $W_{\text{п.б}} = 0,0334$ мкм/Н;

$W_{\text{суп}} = 0,0416 \text{ мкм/Н}$.

Погрешность формы в продольном сечении обработанной детали определяется как максимальная погрешность по диаметру в различных поперечных сечениях детали. Эта погрешность при обработке единичной заготовки:

- по результатам эксперимента: $\Delta D_{\text{max}} = D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$;
- по результатам расчета: $\Delta D_{\text{max}} = 2(y_{\text{max}} - y_{\text{min}})$.

7.3 Порядок выполнения работы

7.3.1 Осуществить наладку станка по заданной схеме: установить заготовку в патроне, закрепить резец, установить режимы резания.

7.3.2 Измерить диаметр заготовки в одиннадцати сечениях через каждую 0,1 ее длины. Убедиться, что у заготовки отсутствует погрешность формы в продольном сечении.

7.3.3 Установить резец на размер D_0 и проточить заготовку.

7.3.4 Измерить диаметр обработанного вала в тех же одиннадцати сечениях. Результаты измерений занести в таблицу 7.1.

7.3.5 По данным измерений построить экспериментальный график $y_i = f(X)$ и определить наибольшую погрешность по диаметру, вызываемую упругими деформациями при обработке единичной заготовки.

7.3.6 Определить расчетным путем податливость и упругие деформации системы для тех же положений режущего инструмента.

7.3.7 По результатам вычислений построить график упругих деформаций $y_i = f(X)$ и определить наибольшую погрешность по диаметру, вызываемую этими деформациями при обработке единичной заготовки.

7.4 Содержание отчета

7.4.1 Название и цель работы.

7.4.2 Эскиз обработки.

7.4.3 Режим обработки и исходные данные для расчета.

7.4.4 Расчет податливости и упругих деформаций технологической системы в различных сечениях.

7.4.5 Результаты измерений погрешностей и расчета упругих деформаций (см. таблицу 7.1).

7.4.6 Экспериментальный и расчетный графики упругих деформаций.

7.4.7 Определение погрешностей формы в продольном сечении на основании экспериментальных и расчетных данных.

7.4.8 Выводы.

Контрольные вопросы

1 Что такое жесткость технологической системы? На что она оказывает влияние?

2 Из чего складывается жесткость технологической системы?

- 3 Как определяется деформация в направлении измеряемого диаметра?
- 4 Как рассчитывается погрешность формы в каждом продольном сечении?
- 5 По какой формуле рассчитывается радиальная составляющая силы резания?
- 6 Как определяется погрешность формы в продольном сечении обработанной детали?

8 Лабораторная работа № 8. Статистическое регулирование наладки технологических операций

Цель работы: освоение методики выбора планов статистического регулирования и построение контрольных карт средних арифметических значений и размахов.

8.1 Оборудование, инструменты и приборы

8.1.1 Комплекс выборок деталей в порядке их изготовления:

- для карт средних арифметических значений – 10 выборок (с 1-й по 10-ю) по 4 шт. в каждой, взятые через каждые 9 мин;
- для карт размахов – шесть выборок по 5 шт. в каждой, взятые через каждые 18 мин.

8.1.2 Микрометр МК 0...25 мм.

8.2 Основные теоретические положения. Методические указания

Под статистическим регулированием технологических операций понимают управление уровнем настройки станка на основании анализа мгновенных выборок с помощью специальных контрольных карт. Смысл метода в том, что контролер через определенные промежутки времени из всей совокупности выпущенной продукции отбирает «вслепую» небольшую пробу, измеряет входящие в пробу детали и заносит результаты на специальную карту с определенными границами. Если размеры измеренных деталей находятся между контрольными границами, то вся обработанная продукция принимается без дополнительного контроля. Если размеры деталей выходят за контрольные границы, это сигнализирует о разладке процесса и необходимости подналадки оборудования [4, 6].

Внедрение статистических методов регулирования и контроля качества продукции должно основываться на результатах предварительного анализа точности, настроенности и стабильности технологических процессов.

Измерение деталей при статистическом регулировании необходимо производить измерительными средствами с ценой деления шкалы, не превышающей среднего квадратического отклонения контролируемого параметра.

Статистическое регулирование применяют для управления уровнем наладки технологического процесса и для управления рассеянием параметров технологического процесса. В первом случае используют контрольные карты сред-

них арифметических значений X_i , во втором – картами размахов R_i .

Средние значения выборок определяются по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{ij}^n X_{ij}, \quad (8.1)$$

где X_{ij} – j -й результат измерения контролируемого параметра в i -й выборке;

n – объем мгновенной выборки.

Выбор планов статистического регулирования состоит в назначении следующих величин:

- периода отбора выборок или проб;
- объема выборки или пробы;
- границ регулирования для контрольных карт.

Статистическое регулирование уровня наладки технологического процесса с помощью контрольных карт средних арифметических значений осуществляется при наличии следующих данных:

- S – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра X ;
- m_0 – среднее значение контролируемого параметра X , при котором выпускают продукцию наилучшего качества (как правило, значение m_0 соответствует середине поля допуска контролируемого параметра);
- m_1, m_{-1} – предельно допустимые средние значения контролируемого параметра X , при которых требуется корректировка процесса. Эти значения соответствуют максимально допустимой для брака.

$$m_1 = m_0 + [X]; \quad m_{-1} = m_0 - [X], \quad (8.2)$$

где $[X]$ – предельно допустимое отклонение среднего значения контролируемого параметра от середины поля допуска в плюс и в минус.

В свою очередь,

$$[X] = K \cdot TX, \quad (8.3)$$

где K – коэффициент, вычисленный по функции Лапласа при условии предельно допустимой величины брака. Значения коэффициента приведены в таблице 8.1;

TX – допуск контролируемого параметра.

L_0, L_1 – средние длины серий (СДС) налаженного и разлаженного процессов, т. е. среднее число выборок между соседними наладками технологического процесса.

В работе следует принимать $L_0 = 20, L_1 = 1,053$.

Следует учитывать, что при статистическом регулировании максимальный уровень доверия принят равным 0,9555, поэтому риск выхода размеров за пределы допуска равен 4,45 % и соотношение между полем рассеяния к средним квадратическим следующее:

$$\omega = \pm 2S \text{ или } \omega = 4S = TX. \quad (8.4)$$

Для определения объема мгновенных выборок n и границ регулирования необходимо определить также величину δ :

$$\delta = \frac{m_1 - m_0}{S} \text{ или } \delta = \frac{m_0 - m_1}{S}. \quad (8.5)$$

Таблица 8.1 – Значение коэффициентов K и t в зависимости от допустимого процента брака q

q	t	K
0,27	3,00	0,500
0,50	2,81	0,534
1,00	2,58	0,582
1,50	2,43	0,618
5,00	2,33	0,644
2,50	2,24	0,670
3,00	2,17	0,692
3,50	2,11	0,711
4,00	2,05	0,732
4,50	2,00	0,750
5,00	1,96	0,765
5,50	1,92	0,782

Итак, для выбора плана статистического регулирования при применении контрольных карт средних арифметических значений необходимо располагать следующими данными: S , m_0 , m_{-1} , m_1 , L_0 , L_1 , δ .

Для определения положения границ регулирования при применении карт средних арифметических значений по таблице 8.2 находят величины n и $U/\sqrt{n}$. При этом необходимо помнить, что поскольку схема контрольной карты предусматривает как увеличение, так и уменьшение контрольного параметра, то в таблицу следует входить с удвоенным значением L_0 . Иначе, при заданном $L_0 = 20$ следует принимать $L_0 = 40$.

Таблица 8.2 – Значения n и $U/\sqrt{n}$ для определения границ регулирования на контрольных картах средних арифметических значений при $L_1 = 1,053$

L_0	n	$U/\sqrt{n}$
40	4	0,980
20	3	0,946

Границы регулирования определяют по формулам:

– верхняя

$$\varepsilon_+ = m_0 + \frac{U}{\sqrt{n}} S; \quad (8.6)$$

– нижняя

$$\varepsilon_- = m_0 - \frac{U}{\sqrt{n}} S. \quad (8.7)$$

Статическое регулирование основано на отборе выборок через определенные промежутки времени или количество единиц продукции. Если для измерений отбирать каждую вторую деталь, что нежелательно, т. к. процент контроля слишком высок ($> 50 \%$), то и в этом случае должно соблюдаться условие

$$L_0 \cdot n \leq 0,5N, \quad (8.8)$$

где N – количество единиц продукции, наготовленной в межнастроечный период T .

$$N = \frac{T}{t_o}, \quad (8.9)$$

где T – период стойкости инструмента, мин;

t_o – основное время обработки, мин.

Если приведенное неравенство не выполняется, то необходимо увеличить значение средней длины серии разлаженного процесса L , что приведет к уменьшению объема мгновенной выборки n (в пределе $n_{\min} = 1$).

Период отбора выборок τ определяется по формуле

$$\tau = \frac{t_{шт} \cdot T}{L_1}, \quad (8.10)$$

где $t_{шт}$ – штучное время операции, мин.

Процент контроля деталей при внедрении статистического регулирования должен быть меньше 50 и определяться по формуле

$$P = \frac{L_0 \cdot n \cdot 1000}{N}. \quad (8.11)$$

Статистическое регулирование рассеяния значений параметров технологического процесса с применением карт средних квадратических отклонений и размахов осуществляется при наличии следующих данных.

S_0 – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра X , при котором процесс считается налаженным (определяется при входе предварительного анализа технологического процесса по выборкам, исключая мгновенную).

Налаженным можно считать процесс, если $\omega \leq 0,75TX$, но т. к. $\omega = 6S$, то $S_0 \leq 0,125TX$.

S_1 – предельно допустимое значение среднего квадратического отклонения, при котором требуется корректировка процесса (при этом значении допускается максимально допустимая доля брака).

Значение S_1 определяют по формуле

$$S_1 = \frac{0,5TX}{t}, \quad (8.12)$$

где t – коэффициент, соответствующий принятому допустимому проценту брака q (см. таблицу 8.1);

TX – допуск на контролируемый параметр.

При этом должно соблюдаться условие

$$\frac{S_1}{S_0} \geq 1,4. \quad (8.13)$$

Средние длины серий L_0 и L_1 рекомендуется принимать в сочетаниях

$$L_0 = 20; L_1 = 1,053; \quad (8.14)$$

$$L_0 = 10; L_1 = 1,11. \quad (8.15)$$

При этом необходимо, чтобы L_0 не превышало половины общего количества единиц продукции, изготавливаемой за межнастроечный период.

Итак, для выбора плана статистического регулирования рассеяния параметров технологического процесса методом контрольных карт размахов необходимо иметь данные: $S_0, S_1, S_1/S_0, L_0, L_1$.

Выбор плана при этом состоит в назначении периода отбора δ и объема n выборок и границы регулирования R_B для размахов.

Назначение δ производится так же, как и для метода средних арифметических значений.

Границу регулирования при этом рассчитывают следующим образом:

$$R_B = wS_0. \quad (8.16)$$

Объем выборки n и коэффициент w находят по таблице 8.3.

Размах выборки определяют по формуле

$$R_i = X_{\max} - X_{\min}, \quad (8.17)$$

где $X_{\max}$, $X_{\min}$ – максимальное и минимальное значения контролируемого параметра в выборке.

Таблица 8.3 – Значение n и w для определения границы регулирования на контрольных картах размахов при $L_0 = 10$, $L_1 = 1,11$

S_1/S_0	2,700
n	5,000
w	3,478

После взятия очередной выборки находят среднее значение или размах контролируемого параметра, которые наносят на контрольные карты.

Задание к лабораторной работе

1 Определить план и границы статистического регулирования методом средних арифметических значений операции точения муфт в размер 10_{-0,45}, $t_0 = 0,3$ мин, $t_{шт} = 0,3$ мин. Стойкость инструмента – 120 мин. Среднее квадратическое отклонение $S = 0,1125$ мм, $L_0 = 20$, $L_1 = 1,053$. Допустимый процент брака $q = 0,27$ %.

2 Определить план и границу регулирования операции точения муфт в размер 10_{-0,3}, $t_0 = 0,2$ мин, $t_{шт} = 0,3$ мин. Стойкость инструмента – 120 мин. Среднее квадратическое отклонение $S = 0,0215$ мм, $L_0 = 10$, $L_1 = 1,11$. Допустимый процент брака $q = 1$ %.

8.3 Порядок выполнения работы

8.3.1 Определить m_0 , m_1 , m_{-1} , δ , N , τ , P .

8.3.2 Рассчитать границы регулирования ε_+ и ε_- .

8.3.3 Измерить детали в выборках, определить X_i .

8.3.4 Построить контрольную карту средних арифметических значений.

8.3.5 Определить S_1 , S_1/S_0 .

8.3.6 Рассчитать границу регулирования R_B .

8.3.7 Измерить детали в выборках, определить R_i .

8.3.8 Построить контрольную карту размахов.

8.3.9 Проанализировать ход процесса и сделать выводы.

8.4 Содержание отчета

8.4.1 Название и цель работы.

8.4.2 Задание и необходимая оснастка.

8.4.3 Эскиз детали с указанием измеряемого размера.

8.4.4 Определение m_0 , m_1 , m_{-1} , δ , N , τ , S_1 , S_1/S_0 , R_B , ε_+ , ε_- .

8.4.5 Выбор планов статистического регулирования.

8.4.6 Определение процента контроля измеряемых деталей и выполнение условий $L_0 < n < 0,5N$.

8.4.7 Контрольные карты статистического регулирования.

8.4.8 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Что понимают под статистическим регулированием?
- 2 В чем смысл метода статистического регулирования?
- 3 Какова точность измерения при статистическом регулировании?
- 4 Для чего применяют статистическое регулирование?

Список литературы

- 1 **Скворцов, В. Ф.** Основы технологии машиностроения: учеб. пособие / В. Ф. Скворцов. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 330 с.
- 2 **Жолобов, А. А.** Технология машиностроения: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1: Формообразование деталей и сборка узлов машин / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Минск : РИВШ, 2020. – 520 с.
- 3 **Жолобов, А. А.** Практикум по технологии машиностроения: учеб. пособие / А. А. Жолобов, И. Д. Камчицкая, А. М. Федоренко; под ред. А. А. Жолобова. – Минск : РИВШ, 2020. – 316 с.
- 4 **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / А. Г. Косилова. – М. : Книга по Требованию, 2023. – Т. 1. – 655 с.
- 5 **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / А. Г. Косилова. – М. : Книга по Требованию, 2023. – Т. 2. – 496 с.
- 6 **Маталин, А. А.** Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – 4-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2016. – 512 с.