

Министерство образования и науки Российской Федерации+
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра технологии машиностроения,
металлообрабатывающих станков и комплексов

К.Н. Абрамов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Методические указания
к лабораторным работам

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
Государственного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Оренбургский государственный
университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2010

УДК 621 (075)
ББК 34.5 я7
А 16

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Н. Ю. Глинская

Абрамов К. Н.
А 16 Основы технологии машиностроения, технология машиностроения:
методические указания к лабораторным работам / К. Н. Абрамов;
Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2010. - 90 с.

Методические указания включают в себя 8 лабораторных работ по циклу технологических дисциплин: «Основы технологии машиностроения», «Технология машиностроения». Каждая работа включает теоретическое изложение материала, описание методики проведения экспериментов и контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторного работ по дисциплинам «Основы технологии машиностроения», «Технология машиностроения» студентами, обучающимися по направлению подготовки 151000 Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированного машиностроительного производства.

УДК 621 (075)
ББК 34.5 я7

© Абрамов К.Н., 2010
© ГОУ ОГУ, 2010

Содержание

Введение	5
1 Лабораторная работа № 1. Оценка точности технологической операции статистическим методом.....	6
1.1 Цель работы.....	6
1.2 Общие положения.....	6
1.3 Методика выполнения работы.....	20
1.4 Отчет по лабораторной работе.....	22
1.5 Вопросы для самопроверки.....	23
2 Лабораторная работа № 2. Базирование и базы в машиностроении....	24
2.1 Цель работы.....	24
2.2 Общие положения.....	24
2.3 Методика выполнения работы.....	34
2.4 Отчет по лабораторной работе.....	37
2.5 Вопросы для самопроверки.....	38
3 Лабораторная работа № 3. Определение жесткости токарного станка производственным методом.....	39
3.1 Цель работы.....	39
3.2 Общие положения.....	39
3.3 Методика выполнения работы.....	48
3.4 Отчет по лабораторной работе.....	48
3.5 Вопросы для самопроверки.....	49
4 Лабораторная работа № 4. Исследование влияния жесткости заготовки на точность обработки.....	50
4.1 Цель работы.....	50
4.2 Общие положения.....	50
4.3 Методика выполнения работы.....	54
4.4 Отчет по лабораторной работе.....	54
4.5 Вопросы для самопроверки.....	55
5 Лабораторная работа № 5. Исследование зависимости размерного износа от пути резания.....	56
5.1 Цель работы.....	56
5.2 Общие положения.....	56

5.3	Методика выполнения работы.....	60
5.4	Отчет по лабораторной работе.....	61
5.5	Вопросы для самопроверки.....	62
6	Лабораторная работа № 6. Исследование зависимости температурных деформаций токарного резца от пути резания	63
6.1	Цель работы.....	63
6.2	Общие положения.....	63
6.3	Методика выполнения работы.....	67
6.4	Отчет по лабораторной работе.....	68
6.5	Вопросы для самопроверки.....	69
7	Лабораторная работа № 7. Исследование влияния жесткости заготовки на виброустойчивость технологической системы.....	70
7.1	Цель работы.....	70
7.2	Общие положения.....	70
7.3	Методика выполнения работы.....	74
7.4	Отчет по лабораторной работе.....	76
7.5	Вопросы для самопроверки.....	77
8	Лабораторная работа № 8. Анализ накопления погрешностей в технологических процессах изготовления деталей.....	78
8.1	Цель работы.....	78
8.2	Общие положения.....	78
8.3	Методика выполнения работы.....	86
8.4	Отчет по лабораторной работе	88
8.5	Вопросы для самопроверки.....	89
	Список использованных источников.....	90

Введение

Основными целями проведения лабораторных работ являются:

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

Цели лабораторного практикума достигаются наилучшим образом в том случае, если выполнению эксперимента предшествует определенная подготовительная внеаудиторная работа. Поэтому перед каждой лабораторной работой с целью оценки готовности студента к выполнению работы проводится короткое собеседование.

Оформление отчетов должно производиться после окончания работы непосредственно в лаборатории. Отчет по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом. При оформлении отчета следует руководствоваться требованиями, предъявляемыми к оформлению текстовых документов, таблиц, рисунков, графиков. Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен аккуратно (записи - ручкой или с применением печатающих устройств, рисунки и графики карандашом при помощи чертежных инструментов).

При подготовке отчета к защите следует проанализировать экспериментальные результаты, сопоставить их с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде лаконичных выводов по работе, подготовить ответы на вопросы, приводимые в методических указаниях к выполнению лабораторных работ.

1 Лабораторная работа № 1. Оценка точности технологической операции статистическим методом

1.1 Цель работы

Изучение погрешностей, возникающих в процессах изготовления деталей. Освоение методики оценки точности технологических операций с помощью математической статистики. Выявление мероприятий, направленных на повышение точности технологических операций.

1.2 Общие положения

В технологии машиностроения все погрешности, действующие в технологической системе (ТС) в процессе обработки, разделяют на систематические и случайные [1].

Систематические погрешности разделяются на постоянные и переменные. Постоянные систематические погрешности неизменны во времени. К таким погрешностям можно отнести погрешности, вызываемые неточностью статической настройки ТС, износом опорных элементов установочного приспособления и др. Постоянные систематические погрешности одинаково влияют на размеры всех заготовок, обрабатываемых на ТС.

К систематическим погрешностям относятся погрешности, изменяющиеся по определенному закону во времени. К таким погрешностям можно отнести погрешности обработки, вызываемые размерным износом режущего инструмента, температурными деформациями в ТС и другие.

Действие случайных погрешностей подчиняется тем или иным вероятностным законам. К факторам, определяющим появление случайных погрешностей, обычно относят: изменения механических характеристик обрабатываемого материала партии заготовок; изменения припуска при обработке и другие.

Систематические погрешности обработки изучаются с помощью теоретических или экспериментальных исследований закономерностей, которым они подчи-

няются. Случайные погрешности изучаются с применением теории вероятностей и математической статистики.

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

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

Для исследований точности механической обработки используются следующие основные методы: расчетно-аналитический; вероятностно - статистический и расчетно-статистический.

Расчетно-аналитическая модель предполагает полную детерминированность процесса, для которого точно известны как начальные условия, так и влияние сопутствующих факторов. Путем решения систем уравнений, описывающих закономерности образования погрешностей технологического процесса, однозначно определяется искомая точность. Однако реальные процессы не всегда правильно отображаются детерминированными моделями и правомерность их применения в таких случаях, зависит от детальности изучения исследуемого процесса. Математическое описание процессов в этом случае заключается в последовательном определении начальных (исходных) погрешностей заготовки; далее устанавливается в аналитическом виде их влияние на окончательную точность.

Вероятностно-статистическая модель применяется при изготовлении достаточно больших партий деталей. Она позволяет без раскрытия физической сущности явлений решать ряд задач по оценке и исследованию точности.

Расчетно-статистические модели сочетают положительные стороны обоих, вышерассмотренных методов. Они пригодны для различных условий производства и являются весьма гибкими, так как позволяют рассчитывать первичные и суммарные погрешности, оценивая их отдельные составляющие статистическим или расчетным путем. При недостатке данных модель носит в большей мере вероятностно-статистический характер. В то же время, применяя детерминированный подход, можно определить поле рассеивания случайных погрешностей и отдельные погрешности расчетно-аналитическим методом.

К статистическим методам относятся исследования с использованием кривых распределения погрешностей и графоаналитический метод (метод точечных диаграмм).

Центральная теорема теории вероятностей Ляпунова дает обоснование тому факту, что при устойчивом процессе обработки деталей на настроенных станках и при отсутствии изменяющихся во времени систематических погрешностей действительные размеры деталей подчиняются закону нормального распределения, так как результирующая погрешность обработки определяется действием значительного числа независимых погрешностей.

Этот метод оценки точности применяется в условиях производства большого количества деталей, например, в массовом производстве. Для его применения необходимо произвести выборку деталей на исследуемой операции. Количество деталей в выборке n влияет на точность оценки и определяется по специальной методике. Объективные результаты статистической оценки в большинстве случаев получаются при n , большем 30. По результатам измерения деталей выборки строится опытная кривая распределения, к которой по критерию согласия подбирается теоретический закон распределения.

Опытные кривые распределения строят следующим образом. Определяется диапазон изменения контролируемого параметра – поле рассеяния

$$\omega_x = x_{\max} - x_{\min}, \quad (1.1)$$

где x_{\max} - максимальное значение контролируемого параметра;

x_{\min} - минимальное значение контролируемого параметра.

На оси абсцисс откладывают величину поля рассеяния и разбивают его на несколько интервалов. Число интервалов $k = 8 - 10$. На оси ординат откладывают количество деталей, попавших в эти интервалы, или частоты, m_i . Соединяя образовавшиеся точки, получают ломаную линию, которая называется опытной кривой распределения или полигоном распределения деталей по размерам, рисунок 1.1.

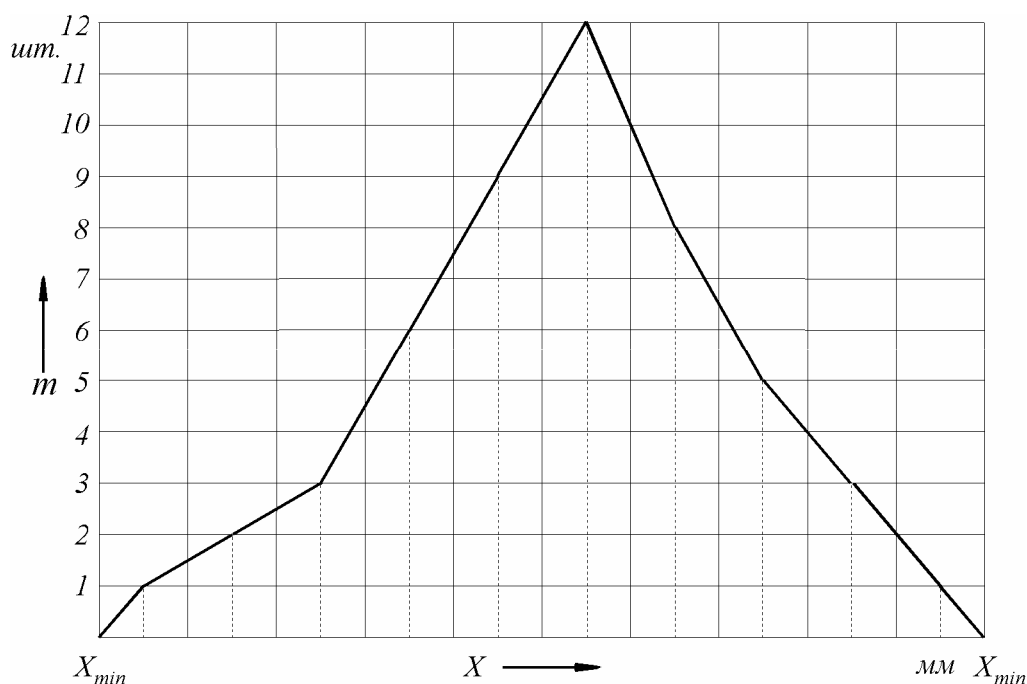


Рисунок 1.1 - Опытная кривая распределения или полигон распределения

Иногда строят гистограмму распределения случайной величины, рисунок 1.2.

Плотность вероятности или дифференциальная функция распределения непрерывной случайной величины, подчиняющейся закону нормального распределения, имеет следующий вид:

$$y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.2)$$

где x - переменная случайная величина;

σ - стандартное отклонение случайной величины;

\bar{x} - среднее значение (центр группирования) величины x ;

e - основание натуральных логарифмов.

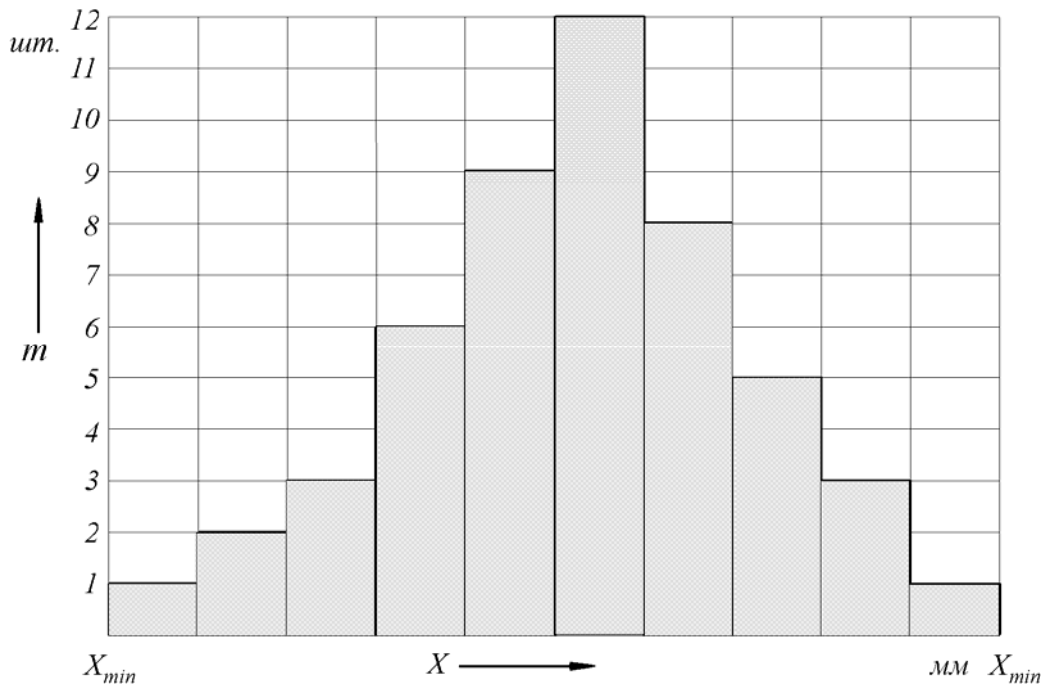


Рисунок 1.2 – Гистограмма распределения случайной величины

Дифференциальная функция нормального распределения графически выражается в виде симметричной кривой – кривой Гаусса (рисунок 1.3).

Стандартное отклонение случайной величины σ является мерой рассеяния случайной величины и определяется

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i \right) / n}, \quad (1.3)$$

где x_i – координата соответствующей середины интервала;

Симметричность кривой относительно ординаты точки \bar{x} свидетельствует о том, что одинаковые положительные и отрицательные отклонения от центра группирования равновероятны. С изменением σ изменяется форма кривой. При его уменьшении кривая становится более вытянутой и узкой, с увеличением σ максимальная ордината кривой уменьшается, а ширина увеличивается. Изменение центра группирования приводит к смещению кривой (рисунок 1.4).

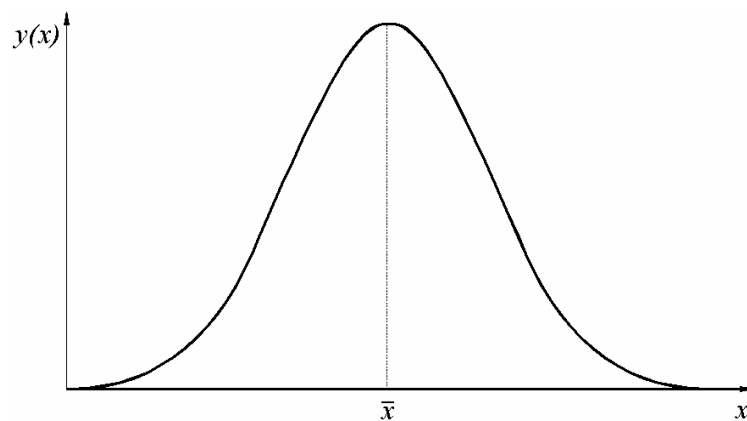


Рисунок 1.3 - Дифференциальная функция нормального распределения

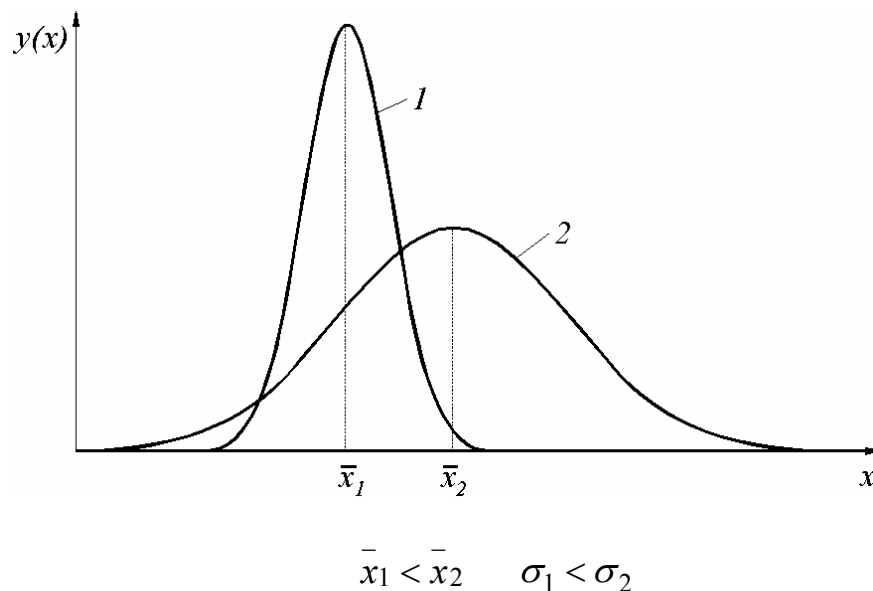


Рисунок 1.4 – Влияние параметров кривой Гаусса на ее форму и положение

Интегральный закон нормального распределения выражается в общем виде

$$F(x) = \int_{x_1}^{x_2} y(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1.4)$$

Величина $F(x)$ определяет вероятность попадания случайной величины в интервал $x_1 < x < x_2$. Если случайная величина x подчиняется нормальному закону, то она может принимать любые численные значения в пределах $\pm\infty$, то есть вероятность попадания случайной величины в интервал $-\infty < x < +\infty$ равна единице

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

Для облегчения вычислений формулу интегрального закона нормального распределения с помощью нормирующего множителя $t = x/\sigma$ можно привести к виду

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t). \quad (1.5)$$

Интеграл $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t)$ называют нормированной функцией Лапласа и его

значения для различных t приводят в таблицах значений функции Лапласа. При использовании этих таблиц решение задачи по определению вероятности того, что случайная величина x находится в пределах от x_1 до x_2 , сводится к нахождению разности между двумя значениями функции Лапласа:

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1). \quad (1.6)$$

Для практических применений зона рассеяния случайной величины x , подчиняющейся закону нормального распределения, ограничивают пределами $\pm 3\sigma$ и составляет 6σ . При этом $t_1 = -3\sigma$ и $t_2 = +3\sigma$.

Следовательно, $P[-3\sigma < x < +3\sigma] = \Phi(3) - \Phi(-3) = 2\Phi(3)$. По таблицам функции Лапласа, $2\Phi(3) = 0,9973$. Это означает, что вероятность нахождения случайной величины вне указанного интервала $q = 1 - 0,9973 = 0,0027$, то есть очень мала.

Распределение случайной величины по нормальному закону является следствием действия многих факторов, носящих случайный характер, имеющих примерно одинаковую степень активности и независящих или слабо зависящих один от другого. Такой комплекс условий не всегда оказывается полным. Его нарушение приводит к отклонению закона распределения от нормального.

Одной из форм таких отклонений может быть несимметричность кривой рассеяния (рисунок 1.5), характеризуемая коэффициентом асимметрии α , учитывающим смещение центра группирования относительно середины поля рассеяния ω_x

$$\alpha = (\bar{x} - \Delta\omega_x) / 0,5\omega_x . \quad (1.7)$$

Практическое значение в технологии машиностроения имеют также закон равной вероятности и закон Симпсона.

Распределение по закону равной вероятности встречается, когда наряду со случайными факторами, вызывающими рассеяние, действует доминирующий систематический фактор, непрерывно и равномерно изменяющий во времени положение центра группирования \bar{x} . Графически такое распределение случайной величины отображается прямоугольником (рисунок 1.6).

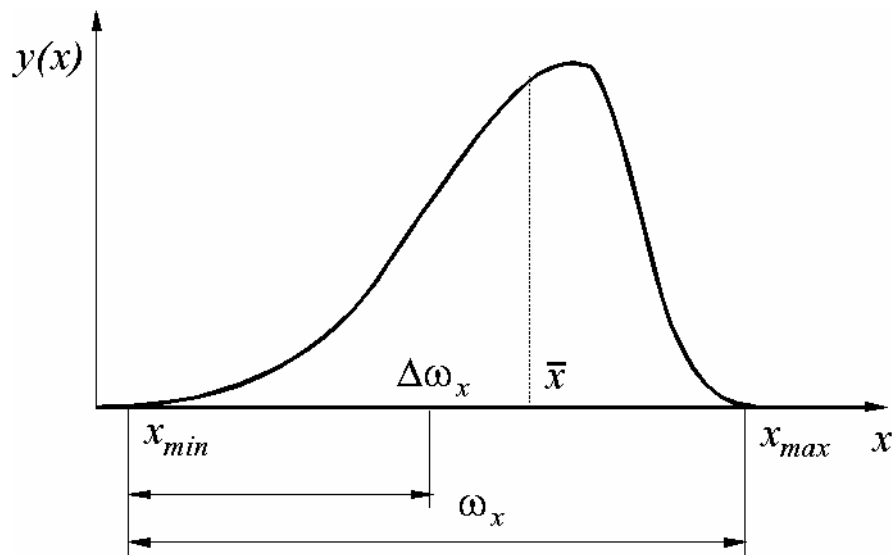


Рисунок 1.5 - Несимметричное распределение случайной величины

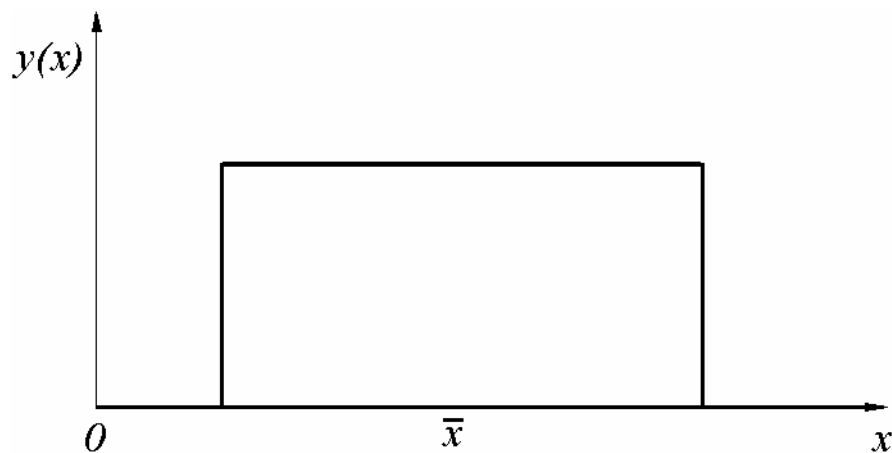


Рисунок 1.6 - Распределение случайной величины по закону равной вероятности

Дифференциальный закон распределения или плотность вероятности

$$y(x) = \begin{cases} (b-a)^{-1} & \text{при } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{при } x > b; x < a \end{cases} \quad (1.8)$$

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны

$$\bar{x} = (b + a) / 2; \quad D = (b - a)^2 / 12; \quad \sigma = (b - a) / 2\sqrt{3}. \quad (1.9)$$

К распределению по закону Симпсона приводит сложение двух случайных величин, подчиненных закону равной вероятности при одинаковых параметрах рассеяния. Кривая рассеяния имеет вид равностороннего треугольника (рисунок 1.7), из-за чего закон Симпсона часто называют законом треугольника.

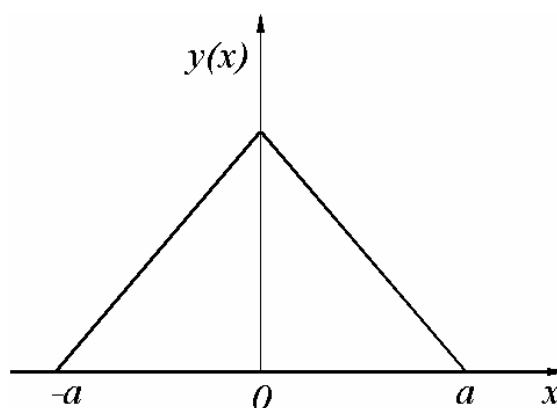


Рисунок 1.7 - Распределение случайной величины по закону Симпсона

При выборе в качестве начала отсчета случайной величины ее центр группирования характеристики распределения имеют следующий вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{a} \left(1 - \frac{|x|}{a} \right) & \text{при } -a < x < a, \\ 0 & \text{при } x < -a; x > a, \end{cases} \quad (1.10)$$

$$\bar{x} = 0; \quad D = a^2; \quad \sigma = \frac{a}{\sqrt{6}}. \quad (1.11)$$

Наличие характеристик распределения позволяет произвести оценку точности технологической операции. Расположение кривой распределения внутри поля до-

пуска на изготовление детали свидетельствует о приемлемой точности (рисунок 1.8).

Необходимое условие обеспечения требуемой точности

$$6\sigma \leq T. \quad (1.12)$$

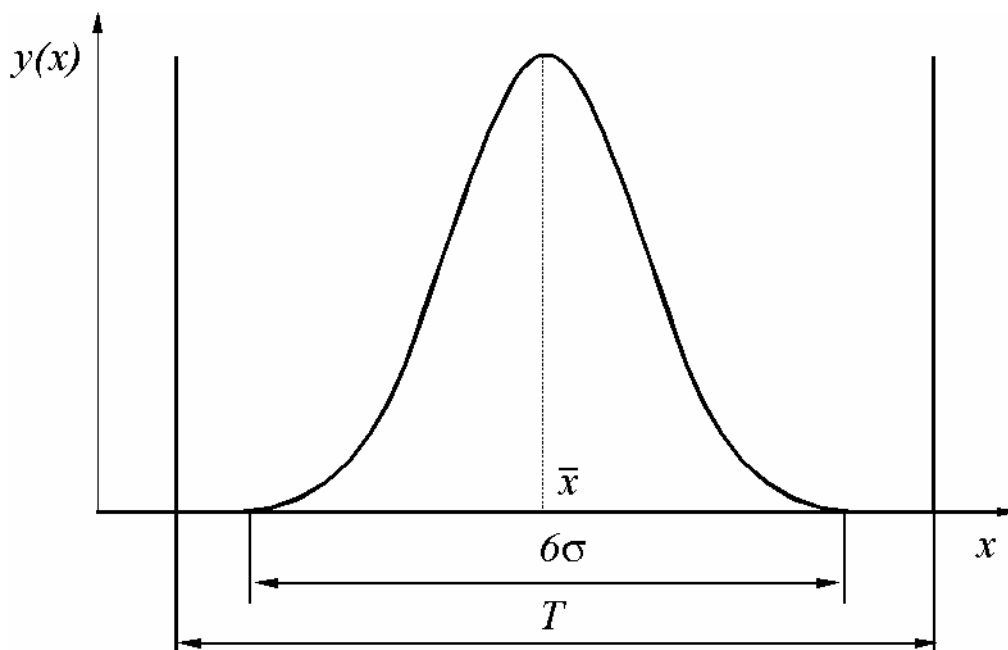


Рисунок 1.8 – Взаимное расположение кривой распределения и поля допуска при достаточной точности технологической операции

Данное условие не является достаточным, поскольку центр группирования может быть смещен под действием систематических постоянных факторов (рисунок 1.9). При этом, несмотря на то, что ширина кривой меньше допуска, вероятно получение деталей с размерами за пределами допуска.

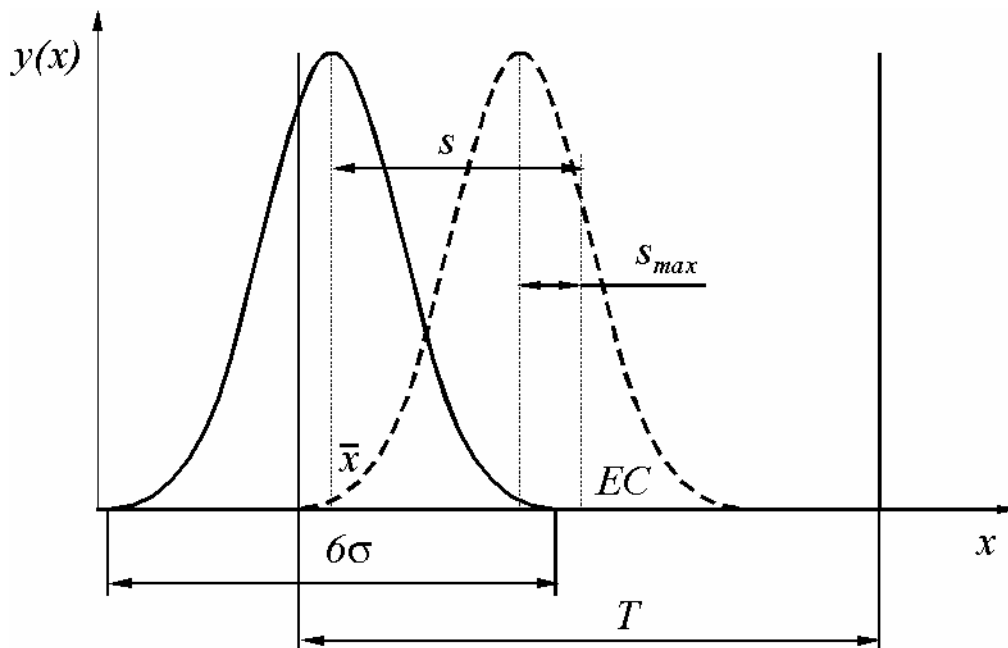


Рисунок 1.9 – Смещение кривой распределения под действием постоянных систематических факторов

Достаточное условие обеспечения требуемой точности технологической операции определяется соотношением фактического смещения s и максимально возможным смещением центра группирования относительно середины поля допуска s_{max} , при которой кривая распределения не выходит за пределы допуска. Граничное положение кривой показано на рисунке 1.9 штриховой линией.

$$s = EC - \bar{x} \leq s_{max} = \frac{6\sigma - T}{2}. \quad (1.13)$$

Таким образом, для обеспечения точности технологической операции необходимо и достаточно, чтобы выполнялись два условия, выражаемые формулами (1.12) и (1.13).

Выполнение условия (1.12) свидетельствует о приемлемом уровне действия случайных факторов, а выполнение условия (1.13) – о допустимом уровне действия постоянных систематических факторов.

Использование кривых распределения позволяет оценить точность технологической операции не только на качественном уровне, но и дает возможность количественной оценки. Площадь дифференциальной кривой нормального распределения, не вошедшая в поле допуска, равна вероятности получения размера в диапазоне от x_{min} до x_{max} , то есть определяет возможный процент брака (рисунок 1.10).

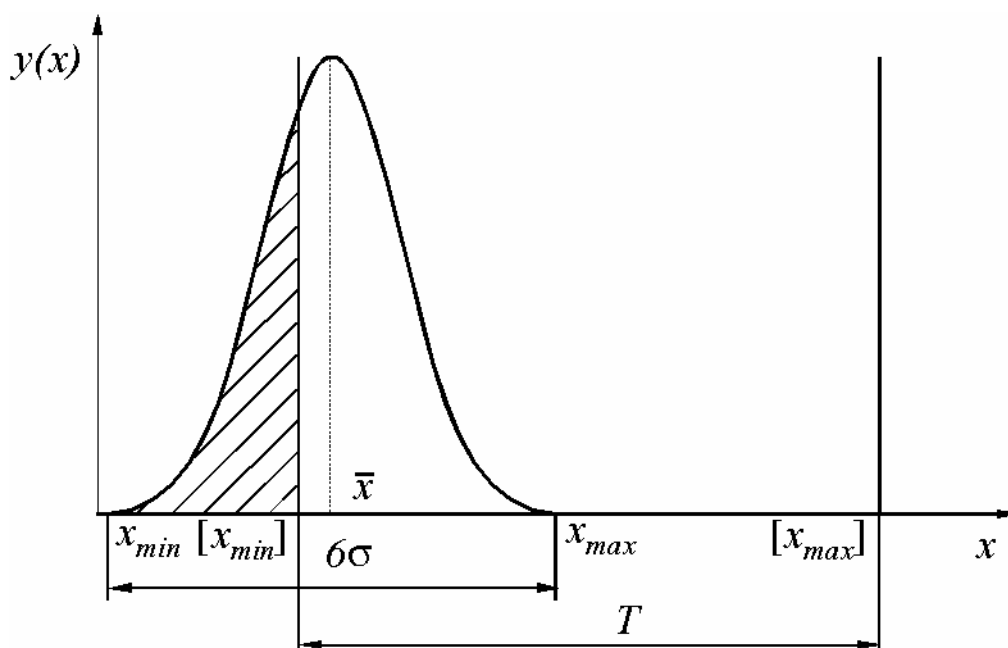


Рисунок 1.10 – Определение вероятности получения брака

Вероятность получения брака на основании формулы (1.6)

$$P(x_{min} < x < [x_{min}]) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1),$$

где $\Phi(t)$ - значение нормированной функции Лапласа (таблица 1.1);

$t_1 = \frac{\bar{x} - [x_{min}]}{\sigma}$ - определяет площадь под левой половиной кривой, вошедшей в поле допуска;

$t_2 = \frac{\bar{x} - x_{min}}{\sigma}$ - определяет площадь под всей левой частью кривой (0,5).

Окончательно имеем выражение для определения возможного процента брака

$$P(x_{\min} < x < [x_{\min}]) = 0,5 - \Phi(t_1).$$

Таблица 1.1 – Значения нормированной функции Лапласа $\Phi(t)$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0,00	0,0000	0,58	0,2190	1,40	0,4192
0,02	0,0080	0,60	0,2257	1,45	0,4265
0,04	0,0160	0,62	0,2324	1,50	0,4332
0,06	0,0239	0,64	0,23b9	1,55	0,4394
0,08	0,0319	0,66	0,2454	1,60	0,4452
0,10	0,0398	0,68	0,2517	1,65	0,4505
0,12	0,0478	0,70	0,2580	1,70	0,4554
0,14	0,0557	0,72	0,2642	1,75	0,4599
0,16	0,0636	0,74	0,2703	1,80	0,4641
0,18	0,0714	0,76	0,2764	1,85	0,4678
0,20	0,0793	0,78	0,2823	1,90	0,4713
0,22	0,0871	0,80	0,2881	1,95	0,4744
0,24	0,0948	0,82	0,2939	2,00	0,4772
0,26	0,1026	0,84	0,2995	2,10	0,4821
0,28	0,1103	0,86	0,3051	2,20	0,4861
0,30	0,1179	0,88	0,3106	2,30	0,4893
0,32	0,1255	0,90	0,3159	2,40	0,4918
0,34	0,1331	0,92	0,3212	2,50	0,4938
0,36	0,1406	0,94	0,3264	2,60	0,4953
0,38	0,1480	0,96	0,3325	2,70	0,4965
0,40	0,1554	0,98	0,3365	2,80	0,4974
0,42	0,1628	1,00	0,3413	2,90	0,4981
0,44	0,1700	1,05	0,3531	3,00	0,49865
0,46	0,1772	1,10	0,3643	3,20	0,49931
0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,40	0,49966
0,50	0,1915	1,20	0,3849	3,60	0,499841
0,52	0,1985	1,25	0,3944	3,80	0,499928
0,54	0,2054	1,30	0,4032	4,00	0,499968
0,56	0,2123	1,35	0,4115	4,50	0,499997

1.3 Методика выполнения лабораторной работы

Для выполнения необходимо иметь:

- 1) выборку деталей, полученных в одной технологической операции (50 штук);
- 2) рычажный микрометр с ценой деления 0,02 мм и набор концевых мер для его настройки.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

- 1) произвести настройку рычажного микрометра, пользуясь набором концевых мер, соответствующим номинальному размеру деталей (номинальный размер с предельными отклонениями указывается преподавателем);
- 2) измерить все детали, записать результаты измерения (для уменьшения погрешности измерение следует производить в одном и том же сечении детали);
- 3) определить поле рассеяния размеров деталей ω_x по формуле (1.1);
- 4) разбить поле рассеяния на равные интервалы и определить: границы интервалов, середины каждого из них - x_i (число интервалов k принять равным 10);
- 5) определить частоты m_i , подсчитав число деталей, попавших в каждый из интервалов;
- 6) рассчитать центр группирования выборки по следующей формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i m_i}{n};$$

- 7) пользуясь формулой (1.3), определить стандартное отклонение σ ;
- 8) в едином масштабе построить практическую, теоретическую кривую распределения, поле допуска. Кривую Гаусса следует строить по пяти характерным точкам, абсциссы которых приведены на рисунке 1.11. Точки 1,5 соответствуют крайним точкам кривой Гаусса $y(1) = y(5) \approx 0$, точки 2, 4 - точкам перегиба кривой

$y(2) = y(4) = \frac{0,24\Delta x \cdot n}{\sigma}$, точка 3 – максимуму кривой $y(3) = \frac{0,4\Delta x \cdot n}{\sigma}$, где Δx - ширина интервала;

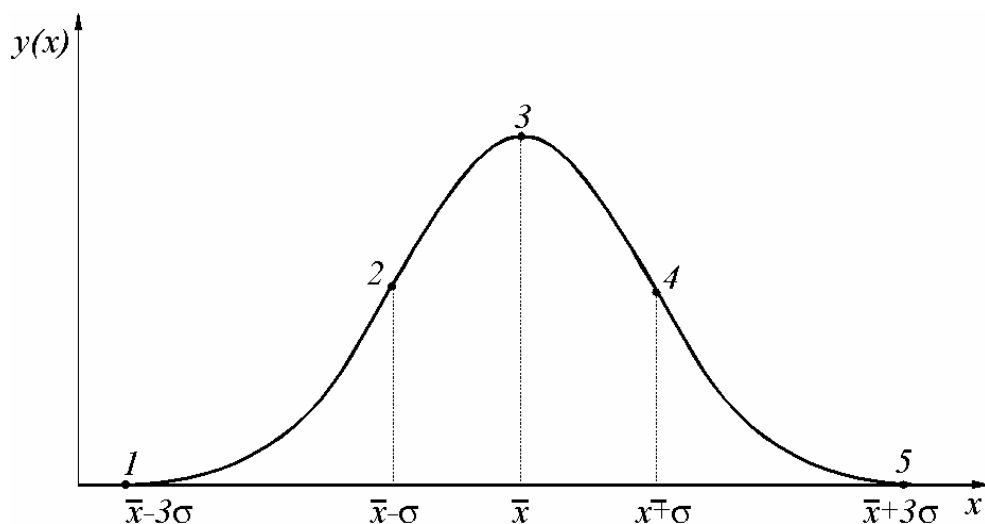


Рисунок 1.11 - Построение кривой Гаусса по пяти точкам

9) оценить точность технологической операции по относительному расположению кривой распределения и поля допуска, пользуясь формулами (1.12, 1.13);

10) если точность технологической операции не обеспечивается, определить вероятность получения брака, пользуясь формулой (1.6) и данными таблицы 1.1;

11) сделать выводы по работе, в выводах следует оценить точность операции; привести вероятность появления брака; указать факторы, действие которых может привести к появлению брака; наметить мероприятия, направленные на уменьшение брака.

При определении статистических характеристик выборки можно использовать программные средства Microsoft Excel, Statistika, Machcad и другие, позволяющие выполнить статистические расчеты.

1.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 1 должен содержать следующие разделы:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) эскиз детали с номиналом и предельными отклонениями контролируемого параметра;
- 3) таблица с данными замеров деталей (таблица 1.2);

Таблица 1.2 – Данные замеров деталей

№ детали																	
Размер, мм																	

- 4) поле рассеяния размеров деталей;
- 5) таблица результатов статистической обработки (таблица 1.3);

Таблица 1.3 – Результаты статистической обработки

№ интервала	Границы интервалов, мм	Середина интервала, мм	Частость, m_i , ШТ	Центр группирования, \bar{x} , мм	Стандартное отклонение, σ , мм

- 6) ординаты теоретической кривой распределения;

ординаты крайних точек, соответствующих $x = \bar{x} \pm 3\sigma$:

$$y(1) = y(5) \approx 0$$

ординаты точек перегиба для $x = \bar{x} \pm \sigma$

$$y(2) = y(4)$$

ордината точки максимума для $x = \bar{x}$

$$y(3) =$$

7) теоретическая кривая распределения, полигон распределения, поле допуска;

8) необходимое и достаточное условие точности технологической операции в соответствии с формулами (1.12, 1.13);

9) выводы по работе.

1.5 Вопросы для самопроверки

1.5.1 Какие существуют виды погрешностей по характеру их действия?

1.5.2 Как определяется поле рассеяния случайной величины?

1.5.3 В каких случаях распределение случайной величины подчиняется нормальному закону?

1.5.4 Как влияют параметры нормального закона распределения на форму и положение кривой Гаусса?

1.5.5 Каким образом оценить точность по относительному расположению поля допуска и кривой нормального распределения?

1.5.6 Как определяется возможный процент брака с помощью нормированной функции Лапласа?

1.5.7 Какой вид имеют законы распределения Симпсона и закона равной вероятности?

1.5.8 Какова общая последовательность оценки точности технологической операции статистическим методом?

2 Лабораторная работа № 2. Базирование и базы в машиностроении

2.1 Цель работы

Изучить основные понятия теории базирования, классификацию баз. Получить навыки выявления баз, разработки схем базирования. Познакомиться с реализацией наиболее распространенных схем базирования.

2.2 Общие положения

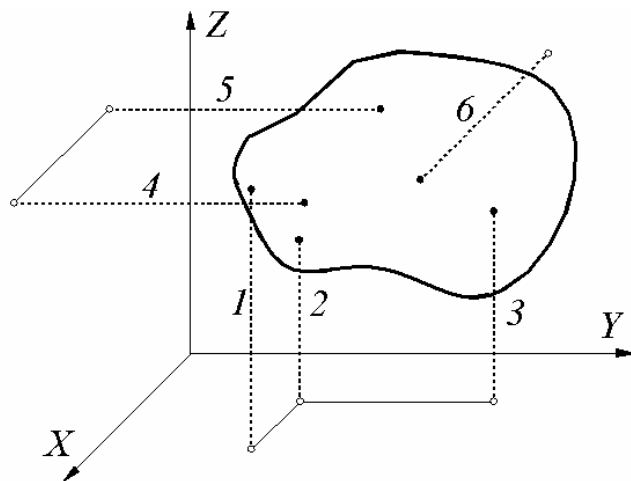
Качество машины обеспечивается на всех этапах ее создания от проектирования до изготовления. При реализации этих этапов для достижения точности приходится решать разноплановые задачи. Среди этих задач часто встречается задача, заключающаяся в необходимости обеспечить верное относительное положение предметов труда. При разработке конструкции машины главной задачей является придание требуемого положения одной детали относительно другой. В процессе сборки машины реализуется это положение деталей. При обработке заготовок на технологическом оборудовании невозможно получить требуемую точность, если заготовка и режущий инструмент занимают неопределенное относительное положение. Для решения всех этих задач применяется теория базирования [2]. От их решения во многом зависят показатели качества и себестоимости машины.

2.2.1 Основные положения теоретической механики, определяющие теорию базирования

Основу теории базирования составляет теоретическая механика, ее раздел об определении положения твердого тела в пространстве. Требуемое положение твердого тела относительно выбранной системы отсчета достигается наложением геометрических связей. Связями в теоретической механике называют условия, которые налагают ограничения на положение тела. Связи обычно осуществляются в виде воздействий на рассматриваемое тело со стороны других тел, ограничивающих сво-

боду движения данного тела. Независимые перемещения, которые может иметь тело, называют степенями свободы. Абсолютно твердое тело имеет шесть степеней свободы. Для того чтобы придать телу необходимое положение и состояние покоя относительно выбранной системы отсчета, его надо лишить шести степеней свободы, наложив на него шесть двусторонних геометрических связей.

Если избрать в качестве системы отсчета прямоугольную систему координат $OXYZ$ (рисунок 2.1), то при наложении шести геометрических связей 1 — 6 тело лишится трех перемещений вдоль осей OX , OY и OZ и трех поворотов вокруг этих осей.



- - точки пересечения связей и поверхности тела
- - точки пересечения связей и координатных плоскостей

Рисунок 2.1 - Геометрические связи, определяющие положение твердого тела в системе координат $OXYZ$

Связи 1, 2, 3 лишают тело трех степеней свободы: перемещения вдоль оси Z и поворотов вокруг осей X и Y . Связи 4, 5 лишают тело двух степеней свободы: перемещения вдоль оси Y и поворота вокруг оси Z . Связь 6 лишает тело перемещения вдоль оси X .

Под базированием в машиностроении понимают придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Под изделием подразумевают деталь, сборочную единицу, а также режущий и измерительный инструмент, приспособления, приборы и другие объекты, допускающие их представление как абсолютно твердых тел.

Придание заготовке или изделию требуемого положения в избранной системе координат в реальной ситуации осуществляется путем соприкосновения ее поверхностей с поверхностями детали или деталей, на которые ее устанавливают или с которыми ее соединяют. Реальные детали машин ограничены поверхностями, имеющими отклонения формы, поэтому базируемая деталь контактирует с деталями, определяющими ее положение лишь на отдельных элементарных площадках - точках контакта.

В общем случае при сопряжении детали по трем поверхностям с деталями, базирующими ее, возникает шесть точек контакта. При этом на контактирующих поверхностях точки контакта распределяются определенным образом.

На рисунке 2.2 показана деталь типа прямоугольного параллелепипеда, установленная в «координатный угол», образованный базирующими деталями. Шесть точек контакта распределились на поверхностях детали (соответственно и на поверхностях, на которые она установлена) следующим образом: три точки контакта на нижней поверхности детали, две на боковой поверхности наибольшей протяженности и одна на торцовой поверхности.

Таким образом, наложение на деталь шести геометрических связей и определение ее положения относительно деталей, на которые она установлена, в реальной жизни осуществляется через точки контакта. Более того, шесть точек контакта материализуют подвижную систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$, связанную с базируемой деталью. Координатные плоскости этой системы координат проходят через точки контакта 1, 2, 3, 4, 5, 6. Положение базируемой детали в системе $OXYZ$ полностью отражает положение системы $O_1X_1Y_1Z_1$. Из рассмотренного примера видно, что базирование детали было осуществлено с помощью нескольких ее поверхностей — баз.

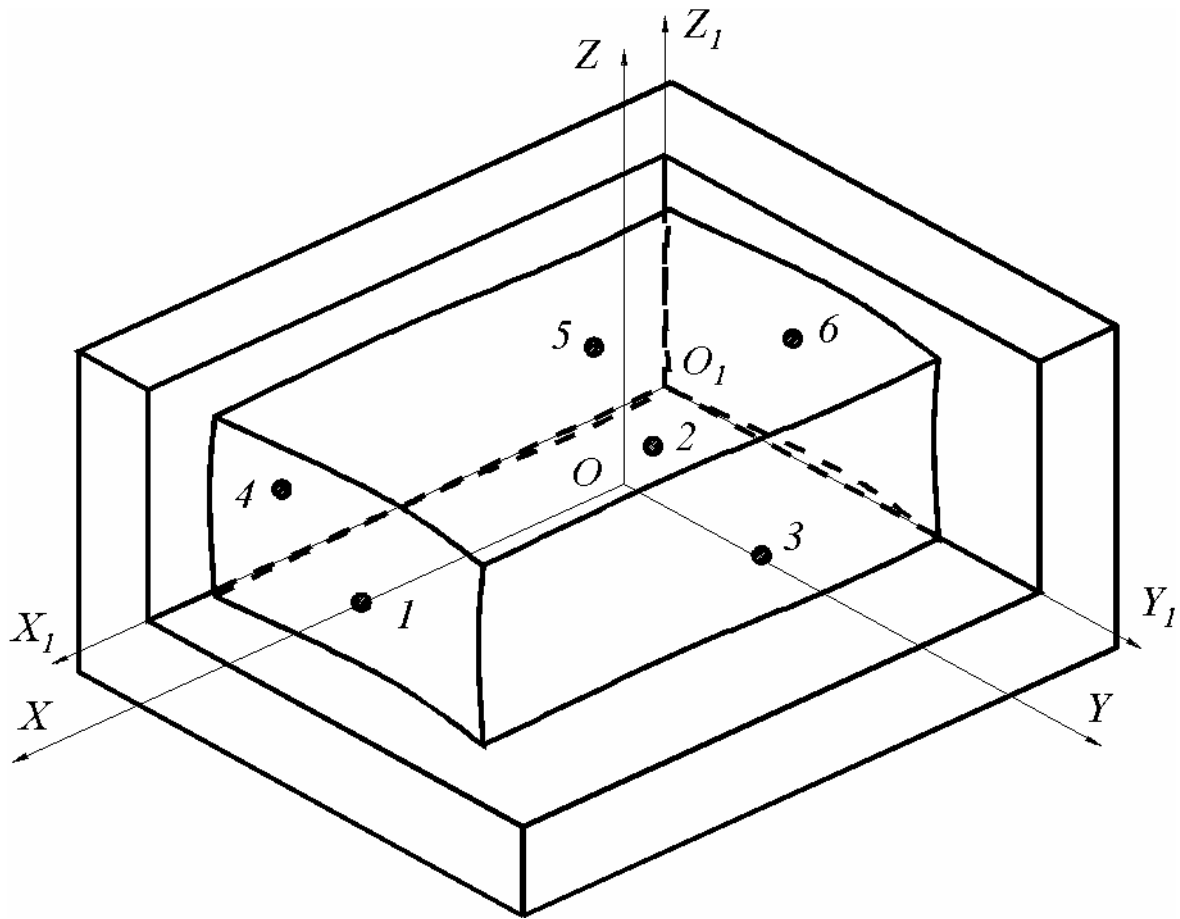


Рисунок 2.2 - Сопряжение реальных деталей по трем номинально плоским поверхностям

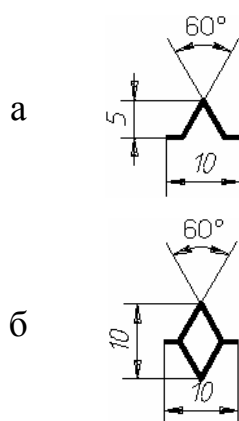
База - поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

Для наложения на деталь шести связей с целью определения ее положения в системе $OXYZ$ потребовались три базы, образовавшие подвижную систему $O_1X_1Y_1Z_1$. **Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия, - комплект баз.**

В рассмотренном примере система $O_1X_1Y_1Z_1$ была построена на точках контакта базируемой детали с деталями, на которые она установлена. При идеализации геометрической формы поверхностей баз считается, что контакт деталей происходит полностью по сопрягающимся поверхностям. И тогда за координатные плоскости

принимают поверхности баз, а наличие связей, наложенных на них, отображается опорными точками, носящими теоретический характер.

Опорная точка – это точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат. Условное изображение опорной точки показано на рисунке 2.3.



a – на виде спереди и сбоку; *б* – на виде сверху.

Рисунок 2.3 - Условное обозначение опорной точки

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах. Все опорные точки на схеме базирования нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагают наибольшее число опорных точек. Число проекций детали на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображают одну точку и около нее проставляют номера совмещенных точек.

При некоторой идеализации, когда базируемая и базирующая детали имеют идеально плоские поверхности, координатные плоскости системы $O_1X_1Y_1Z_1$ образованы самими базами. В этом случае опорные точки располагаются на поверхностях базируемой детали. На рисунке 2.4 показана схема базирования детали, представленной на рисунке 2.2.

2.2.2 Классификация баз

Существует три признака классификации баз: по назначению, по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

Классификация баз по назначению. Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия: при конструировании, при изготовлении и измерении. По назначению все базы разделяются на три вида: конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторская база - база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы в зависимости от выполняемых ими задач бывают основными и вспомогательными (рисунок 2.5).

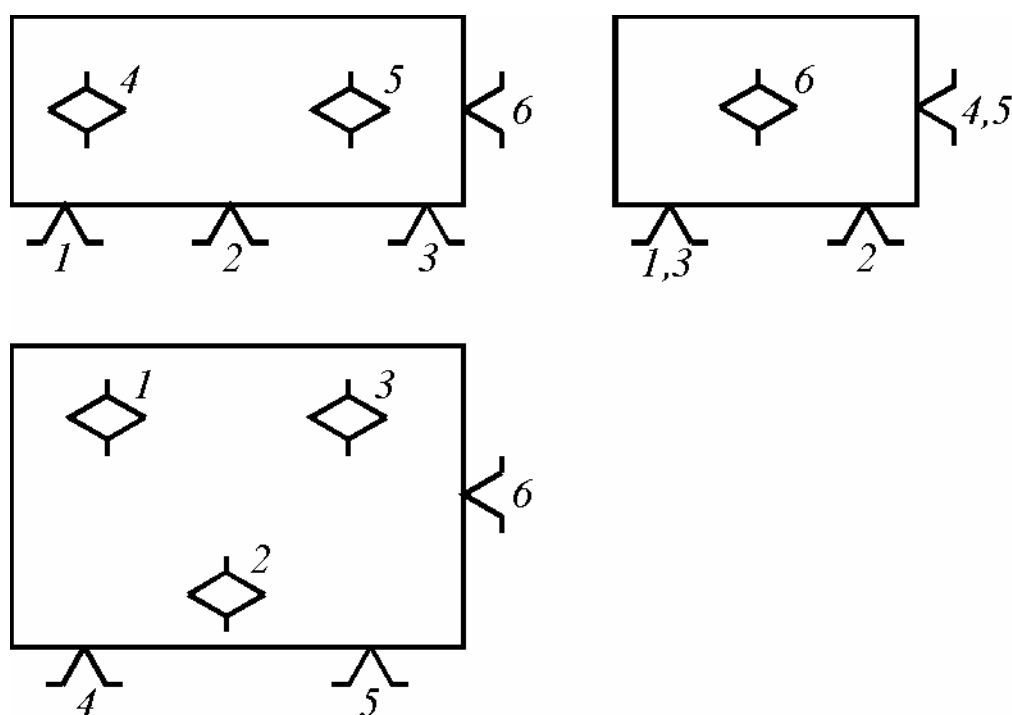


Рисунок 2.4 - Идеализированное представление о сопряжении деталей по плоским поверхностям

Основная конструкторская база - конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии.

Вспомогательная конструкторская база - конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ней изделия (детали или сборочной единицы).

На рисунке 2.5 представлены основные и вспомогательные базы втулки. Любая деталь может иметь только один комплект основных баз и столько комплектов вспомогательных баз, сколько деталей или сборочных единиц к ней присоединяется.

Технологическая база - база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. Понятие технологической базы распространяется на все стадии процесса изготовления изделия: на обработку заготовки, на сборку изделия и т. д.

Измерительной называют базу, используемую для определения относительно положения заготовки или изделия и средств измерения.

Классификация баз по лишаемым степеням свободы.

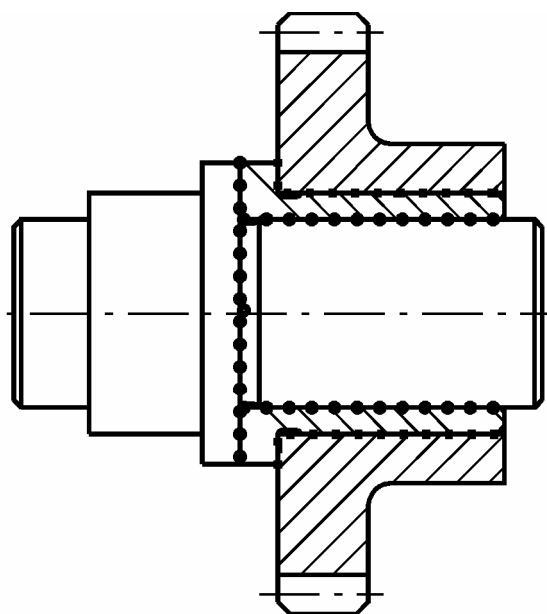
Установочная база - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их трех степеней свободы - перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей. Установочной базой является нижняя плоскость детали на рисунках 2.2, 2.4.

Направляющая база - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси. Направляющая база – боковая поверхность большей протяженности детали на рисунках 2.2, 2.4.

Опорная база - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связи, лишаящей их одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. На рисунках 2.2, 2.4 опорная база – торцовая поверхность детали.

Данный комплект баз является весьма распространенным и может считаться типовым.

Если базирование детали или заготовки осуществляется с использованием цилиндрической (конической) поверхности большой протяженности (соотношение ее длины и диаметра больше единицы), то с помощью этой поверхности на деталь или заготовку можно наложить четыре связи. Такая база получила название двойной направляющей.



- - Основные конструкторские базы
- - Вспомогательные конструкторские базы

Рисунок 2.5 - Основные и вспомогательные базы деталей

Двойная направляющая база - база, используемую для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их четырех степеней свободы — перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг осей, параллельных им.

Наложение связей на деталь или заготовку с помощью цилиндрической (конической) поверхности показано на рисунке 2.6. Ось O_1X_1 подвижной системы координат $O_1X_1Y_1Z_1$ связана с осью детали. Две связи (1 и 2) из четырех, приложенных к оси, отнесены к координатной плоскости $X_1O_1Z_1$, две (3 и 4) — к $X_1O_1Y_1$. Эти связи отбирают у детали возможность перемещаться вдоль и поворачиваться вокруг осей, параллельных OY и OZ . Данные связи реализуются с помощью двойной направ-

ляющей базы. Перемещение детали вдоль оси O_1X_1 лишает связь 5, наложенная на торец детали. Угловое положение детали определено, с помощью связи 6. Последние две связи реализуются с помощью двух опорных баз.

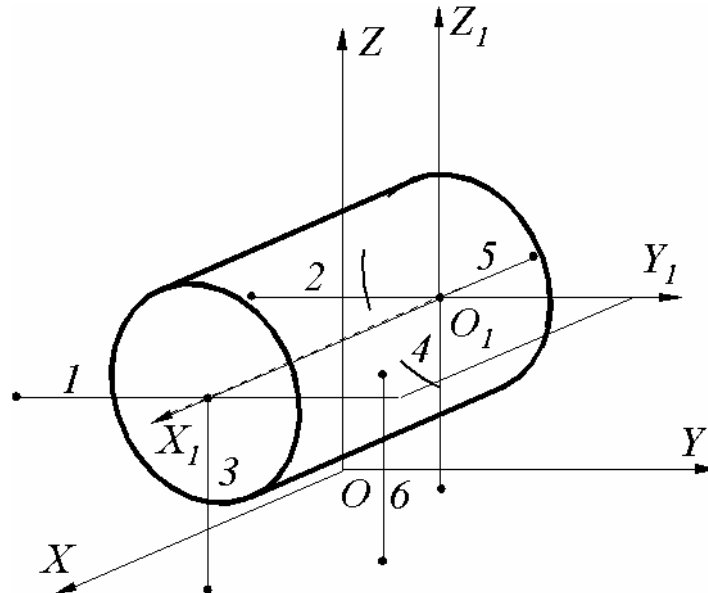


Рисунок 2.6 - Наложение шести связей на цилиндрическую деталь

Комплект из двойной направляющей и двух опорных баз широко используется и также является типовым.

Часты случаи, когда двойную направляющую базу образует сочетание двух цилиндрических или конических поверхностей небольшой протяженности (рисунок 2.7).

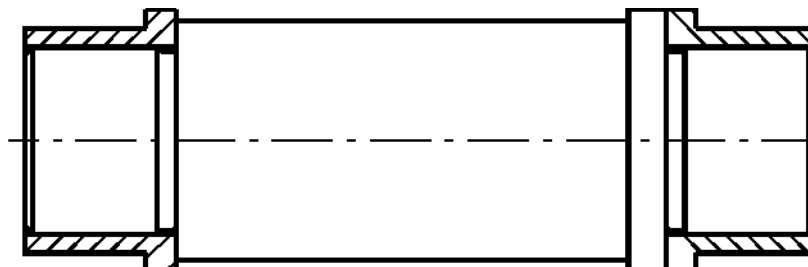


Рисунок 2.7 - Реализация двойной направляющей базы сочетанием двух цилиндрических поверхностей

Положение детали типа диска будет более устойчивым, если установить ее на торец и сделать торец установочной базой (рисунок 2.8). С торцом совмещена координатная плоскость. $X_1O_1Y_1$, на которую будут наложены три связи (1, 2, 3) - установочная база. Две связи (4 и 5), лишаящие диск возможности перемещений в направлении осей OX и OY , наложены на ось цилиндрической поверхности, с их помощью реализуется двойная опорная база. Для того чтобы лишить диск возможности поворота вокруг оси O_1Z_1 , имеется связь 6, реализующая опорную базу.

Двойная опорная база - база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишаящих их двух степеней свободы — перемещений вдоль двух координатных осей.

Комплект из установочной, двойной опорной и опорной баз - третий типовой комплект баз.

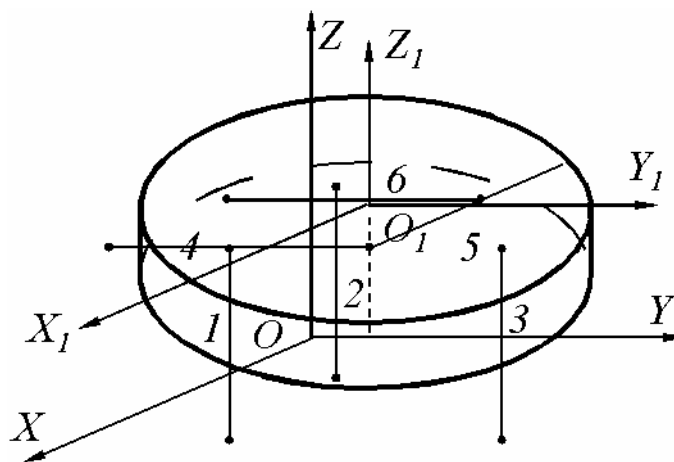


Рисунок 2.8 - Наложение шести связей на деталь типа диска

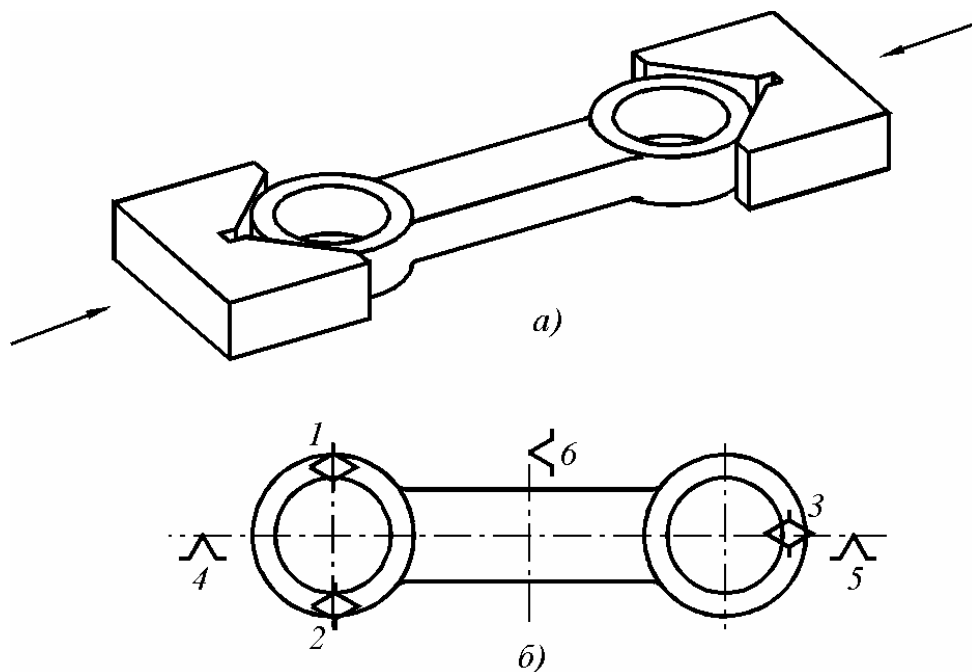
Классификация баз по характеру проявления. По характеру проявления различают базы явные и скрытые.

Явная база - база в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Скрытая база - база в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Скрытые базы используют, когда требуется определить положение детали или заготовки с помощью плоскостей симметрии, оси или пересечения осей. Базирова-

ние по скрытым базам выполняется с помощью специальных средств (центров токарного станка, самоцентрирующих патронов и тисков и т. д.). На рисунке 2.9 показано базирование рычага по плоскости и по двум его плоскостям симметрии. Базирование по плоскостям симметрии осуществлено с помощью одновременно сходящихся призм. Нижние плоскость бобышек образуют явную установочную базу, продольная плоскость симметрии – скрытую, направляющую, а поперечная плоскость симметрии – скрытую, опорную базу.



а) схемы приспособления; б) схема базирования.

Рисунок 2.9 - Базирование рычага

2.3 Методика выполнения лабораторной работы

Все конструкторские, технологические и метрологические задачи по базированию можно подразделить на два типа:

- анализ схемы базирования детали, используемой в конструкции изделия, технологическом процессе его изготовления или при измерении;
- разработка схемы базирования в соответствии с возникшей задачей на каком-либо этапе создания машины.

В лабораторной работе № 2 решается задача первого типа, при ее решении необходимо:

- из условий задачи выявить функциональное назначение баз и систему координат, относительно которой осуществляется базирование;
- выявить поверхности, оси, точки детали, заготовки и т. п., участвующие в базировании;
- проанализировать функции, выполняемые этими базами (определить каких степеней свободы лишает заготовку или изделие каждая из них);
- определить соответствие комплекта баз одному из типовых;
- в соответствии с признаками классификации определить названия баз;
- показать теоретическую схему базирования на эскизе.

Задача: выявить схему базирования шестерни на валу (рисунок 2.10).

Поскольку задача касается определения положений самой детали в сборочной единице, то речь может идти лишь о конструкторских основных базах. Базирующей деталью является вал, с ним связана система отсчета $OXYZ$.

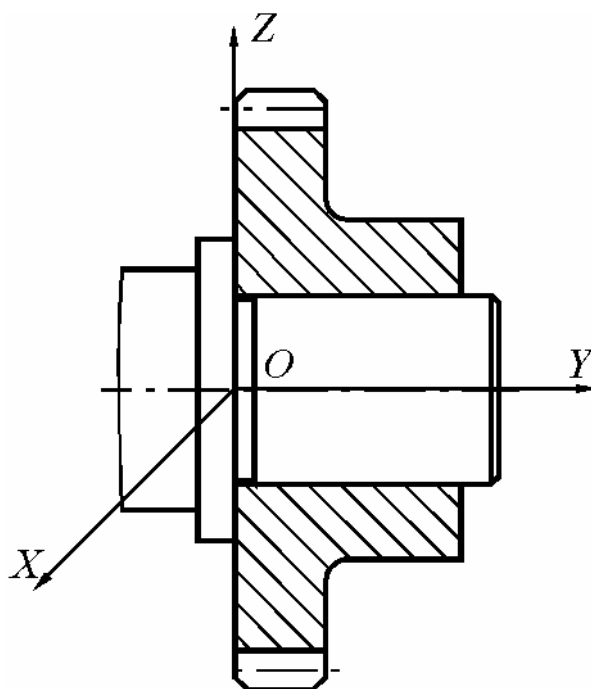


Рисунок 2.10 - Базирование шестерни на валу

В базировании шестерни участвуют ее цилиндрическая поверхность (центральное отверстие) при соотношении $L/d > 1$ и левая торцовая поверхность. Отверстие лишает шестерню четырех степеней свободы: перемещений вдоль осей X , Z и поворотов вокруг тех же осей. Левый торец лишает шестерню перемещения вдоль оси Y . Поворота вокруг оси Y шестерня лишается за счет сил трения между шейкой вала и отверстием при соединении с натягом.

Такому сочетанию баз соответствует типовой комплект, в состав которого входят двойная направляющая и две опорные базы.

По характеру проявления двойная направляющая база будет явной, первая опорная — явной и вторая опорная — скрытой. Таким образом, в состав комплекта основных баз, с помощью которых определено положение шестерни на валу, входят двойная направляющая явная, опорная явная и опорная скрытая базы. Схема базирования представлена на рисунке 2.11.

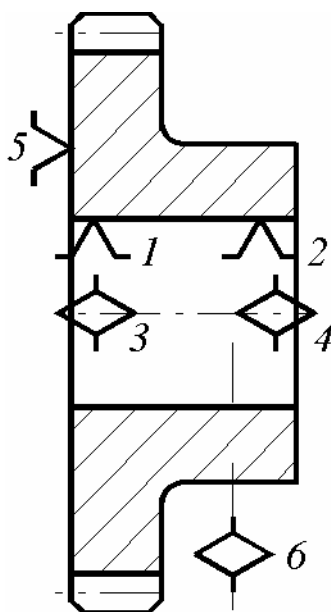


Рисунок 2.11 - Схема базирования шестерни на валу

При выполнении лабораторной работы предлагается рассмотреть базирование заготовок в следующих типовых приспособлениях:

- базирование призматической заготовки по трем плоскостям;

- базирование вала в трехкулачковом самоцентрирующем патроне;
- базирование вала в центрах;
- базирование диска трехкулачковом самоцентрирующем патроне;
- базирование втулки на гладкой оправке;
- базирование втулки на разжимной оправке;
- базирование вала в призме.

Для всех случаев базирования заготовок необходимо решить задачу выявления баз, привести схемы базирования, дать классификацию баз.

2.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 2 должен содержать следующие разделы:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) схемы базирования заготовок в установочных приспособлениях;
- 3) классификация баз;

Разделы 2, 3 оформить в виде таблицы 2.1 (таблицу следует заполнять последовательно по строкам, выбирая их высоту в соответствии с размером схемы базирования).

Таблица 2.1 – Пример оформления схем базирования и классификации баз

Заготовка, приспособление	Схема базирования	Классификация баз		
		по назначению	по лишаемым степеням свободы	по характеру проявления
базирование призматической заготовки по трем плоскостям				

- 4) выводы по работе.

2.5 Вопросы для самопроверки

2.5.1 Какие задачи решаются с помощью теории базирования?

2.5.2 Что такое базирование?

2.5.3 Сколько связей необходимо наложить на заготовку или изделие, чтобы определить их положение?

2.5.4 Что такое база?

2.5.5 Как разделяются базы по назначению?

2.5.6 В чем состоит отличие основных конструкторских баз от вспомогательных конструкторских баз?

2.5.7 Как разделяются базы по лишаемым степеням свободы?

2.5.8 Как разделяются базы по характеру проявления?

2.5.9 В какой последовательности решается задача по выявлению схемы базирования?

3 Лабораторная работа № 3. Определение жесткости токарного станка производственным методом

3.1 Цель работы

Изучить понятие жесткости технологической системы. Освоить методику определения жесткости оборудования производственным методом. Выявить мероприятия, направленные на уменьшение погрешностей обработки, обусловленных податливостью технологической системы.

3.2 Общие положения

Под действием сил, действующих в процессе обработки, в технологической системе (ТС) возникают упругие деформации. Они складываются из деформаций базовых деталей системы, деформаций стыков, а так же деформаций соединительных деталей (болты, клинья и др.). Наибольшее влияние на величину упругих деформаций системы оказывают деформации стыков и соединительных деталей [1].

Способность упругой системы оказывать сопротивление действию сил, стремящихся ее деформировать, характеризует ее жесткость. Оценка жесткости j , Н/мм, производится по отношению приращения нагрузки к получаемому при этом приращению упругого отжатия:

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta y}, \quad (3.1)$$

где ΔP — приращение нагрузки, Н;

Δy — приращение упругого отжатия, мм.

В некоторых случаях удобнее использовать величину, обратную жесткости и получившую название податливости ТС ω , мм/Н

$$\omega = \frac{1}{j}, \quad (3.2)$$

В результате действия упругих деформаций происходит изменение размеров станка, приспособления, инструмента, заготовки, являющихся составляющими звеньями размерной цепи ТС. Это, в свою очередь, приводит и к изменению замыкающего звена данной размерной цепи – размера, получаемого при обработке. Механизм возникновения погрешностей, обусловленных податливостью ТС, представлен на рисунке 3.1.

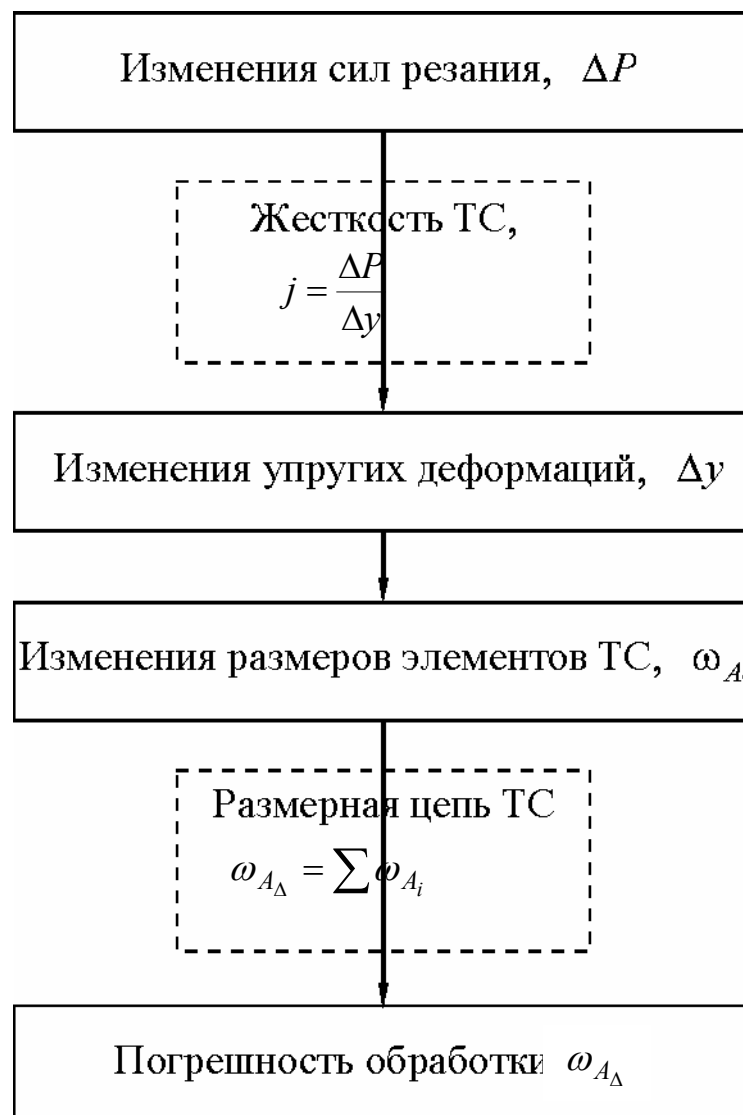


Рисунок 3.1 – Механизм возникновения погрешностей, обусловленных податливостью ТС

Для уменьшения погрешностей обработки, связанных с конечной жесткостью конкретной ТС, необходимо либо уменьшать колебания сил резания ΔP , либо увеличивать жесткость j .

Сила резания P зависит параметров обработки и определяется:

$$P = C_p t^{x_p} S^{y_p} V^{z_p} k_p, \quad (3.3)$$

где C_p - коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала;

t – глубина резания (припуск на обработку), мм;

S – подача, мм/об;

V – скорость резания, м/мин;

k_p – поправочный коэффициент;

x_p, y_p, z_p - показатели степени, определяющие влияние на силу резания глубины, подачи и скорости соответственно.

Для уменьшения колебаний сил резания необходимо:

- уменьшить колебания механических свойств обрабатываемого материала, например, за счет стабилизирующей термообработки;
- уменьшить колебания припуска за счет применения более точных заготовок и деления обработки на стадии – черновую, чистовую, отделочную.

Для повышения жесткости ТС необходимо:

- уменьшать количества звеньев и стыков ТС;
- повышать контактную жесткость деталей;
- создавать предварительный натяг в ТС;
- использовать для изготовления базовых деталей станков материалы высокой и сверхвысокой жесткости (например, искусственный гранит);

Уменьшение погрешностей из-за упругих деформаций ТС производится также путем управления процессом обработки. При этом используются следующие мероприятия:

- применение систем автоматического регулирования для стабилизации упругих отжатий;
- статическая настройка станков с учетом упругих отжатий;
- выравнивание жесткости технологической системы по длине хода инструмента;
- изменение величины подачи на длине рабочего хода;
- корректировка траектории движения режущего инструмента на станках с ЧПУ за счет предсказаний траектории режущего инструмента.

Величина сил является случайной величиной, зависящей от параметров обработки, по случайному закону изменяются и упругие деформации. Поэтому погрешность обработки, определяемая действием упругих деформаций, также случайная величина. Упругие деформации технологической системы в ряде случаев являются определяющими, так как погрешности, обусловленные ими, могут достигать от 20 % до 80 % от суммарной погрешности обработки. Кроме того, жесткость технологической системы оказывает большое влияние на виброустойчивость системы и на производительность механической обработки.

Существует несколько методов определения жесткости технологических систем или их отдельных элементов. Основными являются следующие методы:

- 1) статический (испытания на неработающем станке);
- 2) производственный (испытания при обработке заготовок);
- 3) динамический (испытания при действии периодических возмущающих воздействий);
- 4) расчетно-аналитический (использование САЕ – систем).

Сущность статического метода определения жесткости заключается в том, что узлы станка с помощью специальных приспособлений нагружают силой, воспроизводящей действие силы резания, и при этом измеряют перемещение отдельных узлов станка. Перемещения узлов станка измеряются в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности, так как эти перемещения определяют погрешность обработки.

Принципиальная схема определения перемещения одной детали узла относительно другой под действием прикладываемой силы (по К. В. Вотинкову) показана на рисунке 3.2.

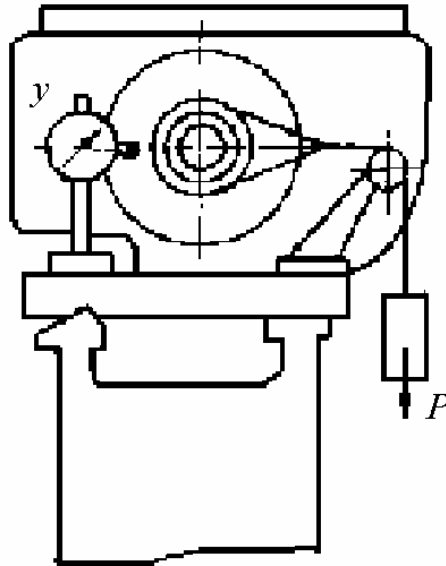


Рисунок 3.2 – Определение жесткости статическим методом

По мере увеличения массы груза, подвешенного на тросе, возрастает сила P , приложенная к концу шпинделя коробки скоростей. По показаниям индикатора, расположенного против точки приложения силы P по направлению ее действия, судят о перемещении конца шпинделя относительно станины станка. Полученные данные в виде точек наносят на график (рисунок 3.3) и получают нагрузочную ветвь характеристики жесткости узла. Затем, уменьшая нагрузку, строят разгрузочную ветвь. Площадь образовавшейся петли гистерезиса представляет собой работу, затраченную на преодоление сил трения, контактных деформаций и т. п.

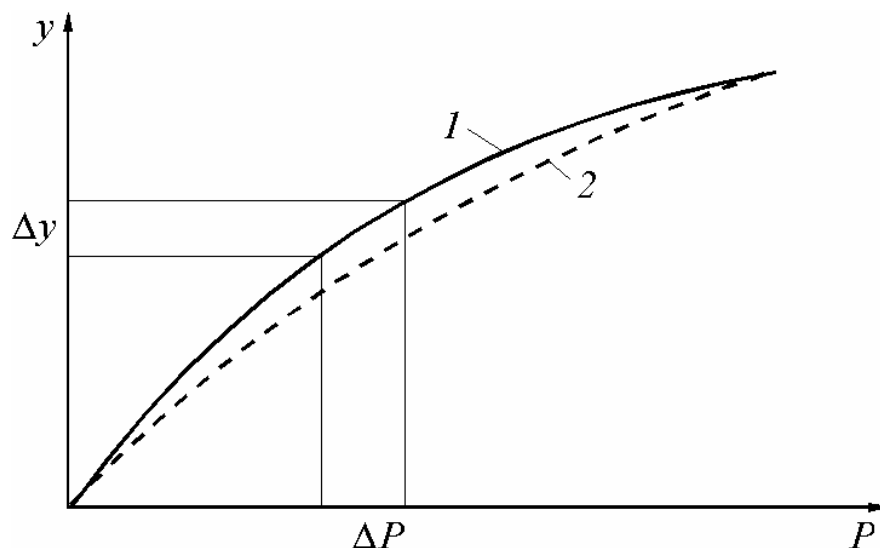


Рисунок 3.3 – Изменение упругих отжатий в зависимости от силы

Рассмотренный выше статический метод определения жесткости станков сложен и трудоемок. Кроме того, жесткость станка, определяемая в статическом состоянии, лишь приблизительно характеризует упругие перемещения станка в процессе работы.

Производственный метод испытания жесткости станков основан на том, что при обработке заготовки с неравномерным припуском изменяющаяся глубина резания, отклонение формы заготовки копируется на обработанной поверхности. Степень копирования тем больше, чем меньше жесткость технологической системы. Для исключения влияния жесткости других элементов ТС (приспособления, инструмента, заготовки) они должны иметь высокую жесткость.

Сущность динамического определения жесткости заключается в экспериментальном получении амплитудно-частотных характеристик ТС. При использовании данного метода с помощью специального вибратора в ТС создают гармонические колебания с изменяющейся частотой. Возникающие при этом колебания несущей системы, фиксируются. Полученные при этом зависимости амплитуды колебаний от частоты, позволяют судить о динамических свойствах ТС, в том числе и о ее жесткости.

Расчетно-аналитический метод определения жесткости ТС предполагает использование современных автоматизированных систем для инженерных исследований (CAE-систем). Он основан на методе конечных элементов. Для его использования необходимо иметь 3-D модель ТС, построенную средствами компьютерного моделирования. При указании на модели величины и направления внешних сил, имитирующих силы резания, возможно определение перемещений в различных точках. Это позволяет судить о жесткости ТС. Такие возможности реализованы программными средствами ANSYS, NASTRAN и др.

В данной лабораторной работе производится определение жесткости токарного станка производственным методом. Для обработки используется заготовка с неравномерным припуском (рисунок 3.4). При обработке малой ступени заготовки глубина резания – t_1 ; нормальная составляющая силы резания - P_{y1} ; соответствующее этой силе перемещение – y_1 . При обработке большей ступени заготовки эти величины соответственно равны: t_2 ; P_{y2} ; y_2 .

Жесткость станка с учетом формулы (3.1) составит

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y} = \frac{P_{y2} - P_{y1}}{y_2 - y_1}.$$

Приращение радиальной силы резания

$$\Delta P_y = C_{P_y} t_2^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} V^{z_{P_y}} k_{P_y} - C_{P_y} t_1^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} V^{z_{P_y}} k_{P_y} = C_{P_y} S^{y_{P_y}} V^{z_{P_y}} k_{P_y} (t_2^{x_{P_y}} - t_1^{x_{P_y}}).$$

Разность упругих перемещений при обработке малой и большой ступени из рисунка 3.4 равна

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \frac{d_2 - d_1}{2},$$

где y_1, y_2 – упругие перемещения при обработке малой большой ступени, мм;
 d_1, d_2 – диаметры ступеней после обработки, мм.

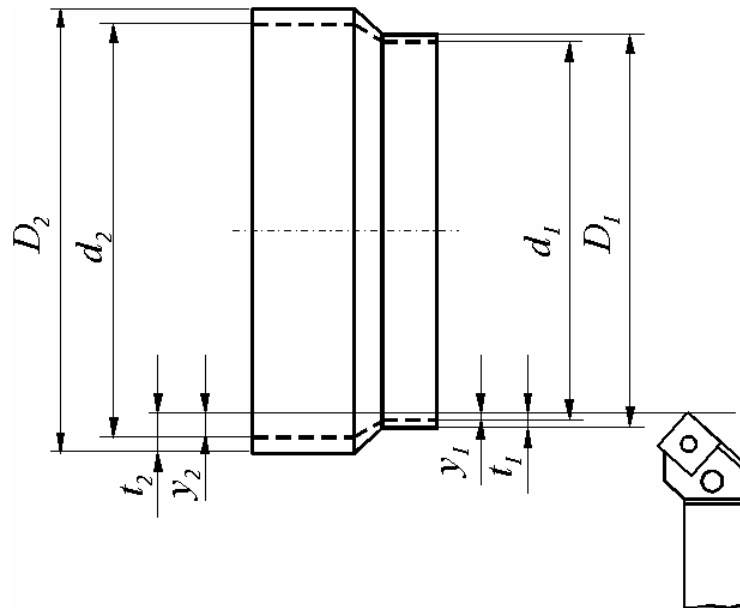


Рисунок 3.4 – К определению жесткости токарного станка производственным методом

С учетом выражений для P_y , Δy жесткость станка

$$j = C_{P_y} S^{y_{P_y}} V^{z_{P_y}} k_{P_y} (t_2^{x_{P_y}} - t_1^{x_{P_y}}) \frac{2}{d_2 - d_1}. \quad (3.4)$$

При обработке конструкционной стали резцами из твердого сплава, имеющими главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, передний угол $\gamma = 10^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$, радиус при вершине $r = 2$ мм, коэффициенты принимают следующие значения: $C_{P_y} = 2383$; $x_{P_y} = 0,9$; $y_{P_y} = 0,6$; $z_{P_y} = -0,3$; $k_{P_y} = 1$.

Жесткость станка j , Н/мм в этом случае

$$j = 2383 \cdot S^{0,6} V^{-0,3} (t_2^{0,9} - t_1^{0,9}) \frac{2}{d_2 - d_1}, \quad (3.5)$$

где S – продольная подача, мм/об;

V – скорость резания, м/мин;

t – глубина резания, мм.

Входящее в формулу отношение разности глубин резания к разности диаметров после обработки характеризует увеличение точности, полученное в результате обработки. Очевидно, что при большей жесткости станка это отношение больше. То есть получение большей точности возможно за счет увеличения жесткости ТС. Увеличение жесткости также способствует повышению производительности обработки, так как при высокой жесткости ТС требуемая точность может быть получена при меньшем числе технологических переходов.

Ориентировочные данные жесткости токарных станков, находящихся в эксплуатации приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Жесткость токарных станков

Высота центров, мм	200	250	300	400	500
Жесткость станка, Н/мм	20000	25000	30000	40000	50000
Средняя жесткость узлов, Н/мм	40000	50000	60000	80000	100000

Наибольшее влияние на жесткость станка оказывает суппорт, так как он имеет большое число стыков, в том числе подвижных. Жесткость шпиндельного узла (передней бабки) зависит от способа посадки патрона на шпиндель. Посадка на резьбовой конец снижает его жесткость, а фланцевая посадка увеличивает ее. Обычно жесткость шпиндельного узла значительно больше жесткости суппорта. При патронных работах жесткость передней бабки и станка в целом намного ниже, чем в центрах. Жесткость задней бабки в значительной степени зависит от вылета пиноли, качества центрального гнезда, центра (жесткого, вращающегося).

3.3 Методика выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используется:

- 1) токарный станок 1К62 (для получения характерных зависимостей применяется станок, долго находившийся в эксплуатации);
- 2) жесткий вал с тремя дисками, имеющими ступени с неравномерным припуском;
- 3) токарный проходной резец К.01.4979.000-02 Т15К6 ТУ 2-035-892-82;
- 4) микрометр гладкий МК 200-250 с ценой деления 0,01 мм ГОСТ 6507-90.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

- 1) измерить диаметры трех ступеней заготовки до обработки D_1, D_2 ;
- 2) последовательно проточить диски при трех положениях суппорта. Режимы обработки: скорость резания от 50 до 60 м/мин, продольная подача от 0,2 до 0,3 мм/об, глубина резания при обработке ступени меньшего диаметра D_1 равна 0,5 мм;
- 3) измерить диаметры ступеней заготовки после обработки d_1, d_2 ;
- 4) пользуясь формулой (3.5) определить жесткость токарного станка для трех положений суппорта: у передней бабки - j_{cm_1} , в середине - j_{cm_2} , у задней бабки - j_{cm_3} ;
- 5) сделать вывод по работе.

3.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 3 должен содержать следующие разделы:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) эскиз обрабатываемой заготовки;
- 3) режимы обработки;
- 4) таблица с данными замеров и расчетов (таблица 3.2);

Таблица 3.2 – Данные замеров заготовок и результаты расчетов

Положение суппорта	D_1 , мм	D_2 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	J_{cm} , Н/мм	ω_{cm} , мм/Н
У передней бабки						
В середине						
У задней бабки						

5) расчеты по определению жесткости станка;

6) выводы по работе.

3.5 Вопросы для самопроверки

3.5.1 Что такое жесткость технологической системы?

3.5.2 Какими методами определяется жесткость?

3.5.3 Каков механизм влияния жесткости на точность обработки?

3.5.4 В чем состоит сущность определения жесткости технологической системы производственным методом?

3.5.5 От чего зависит погрешность заготовки с переменным припуском после обработки?

3.5.6 Как уменьшить влияние податливости на точность?

4 Лабораторная работа № 4. Исследование влияния жесткости заготовки на точность обработки

4.1 Цель работы

Изучить влияние жесткости заготовки на точность обработки. Освоить методику определения погрешностей формы нежесткого вала. Выявить мероприятия, направленные на уменьшение погрешностей обработки, обусловленных малой жесткостью заготовки.

4.2 Общие положения

Под действием сил, действующих в процессе обработки, в технологической системе (ТС) возникают упругие деформации. Они складываются из деформаций всех элементов ТС, в том числе и деформаций обрабатываемой заготовки. Если жесткость заготовки невелика, то погрешности обработки в основном определяются деформациями заготовки. Деформации заготовки возникают под действием сил закрепления или под действием сил резания. В тех случаях, когда жесткость заготовки переменна по длине, образуется погрешность формы обработанной поверхности [1].

При обработке нежесткого вала происходит изменение положения его оси из точки O в точку O_1 под действием составляющих сил резания (рисунок 4.1).

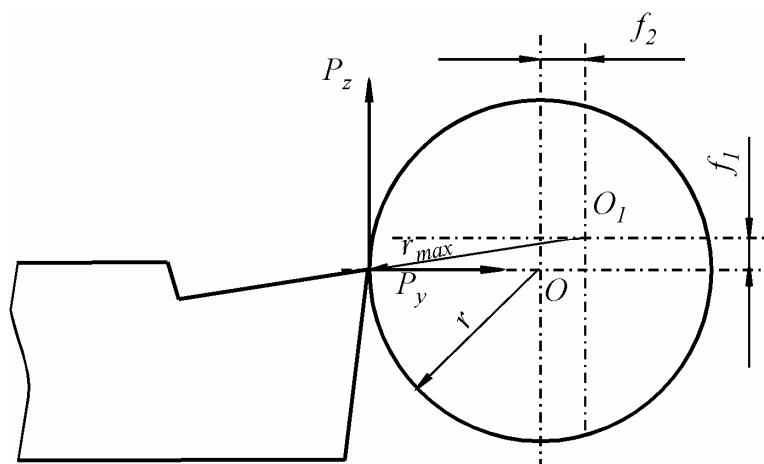


Рисунок 4.1 – Изменение положения оси нежесткого вала

Величины прогибов вала в вертикальном f_1 и горизонтальном f_2 направлении при положении инструмента в середине заготовки

$$f_1 = \frac{P_z \cdot l^3}{140E \cdot J}, \quad (4.1)$$

$$f_2 = \frac{P_y \cdot l^3}{140E \cdot J}, \quad (4.2)$$

где P_z, P_y - тангенциальная и радиальная сила резания, Н;

l - длина вала, мм;

E - модуль упругости материала заготовки, $E = 2 \cdot 10^5$, МПа;

J - момент инерции вала, $J = 0,05d^4$, мм⁴ (d - диаметр вала до обработки, мм).

Составляющие силы резания при точении

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} V^{z_{P_z}} k_{P_z}, \quad (4.3)$$

$$P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} V^{z_{P_y}} k_{P_y}, \quad (4.4)$$

где C_{P_z}, C_{P_y} - коэффициенты, зависящие от механических свойств обрабатываемого материала;

t - глубина резания, мм;

S - подача, мм/об;

V - скорость резания, м/мин;

k_{P_z}, k_{P_y} - поправочные коэффициенты для измененных условий обработки;

x_p, y_p, z_p - показатели степени, определяющие влияние на силу резания глубины, подачи и скорости соответственно.

Для используемых в лабораторной работе условий значения коэффициентов следует принять следующими:

$$C_{p_z} = 3000; x_{p_z} = 1; y_{p_z} = 0,75; z_{p_z} = -0,15;$$

$$C_{p_y} = 2430; x_{p_y} = 0,9; y_{p_y} = 0,6; z_{p_y} = -0,3;$$

$$k_{p_z} = k_{p_y} = 1.$$

При обработке заготовки вала наименьшие деформации будут получены при положении инструмента около опор, наибольшие – в середине. Радиус обработанной заготовки в среднем сечении с учетом суммарного прогиба заготовки из рисунка 4.1 составит

$$r_{\max} = \sqrt{(r + f_2)^2 + f_1^2}, \quad (4.5)$$

где r – расчетный радиус вала без учета прогиба

$$r = \frac{d}{2} - t. \quad (4.6)$$

Расчетное значение погрешности формы вала, полученное в результате обработки определяется

$$\Delta\Phi = \frac{2r_{\max} - d}{2}. \quad (4.7)$$

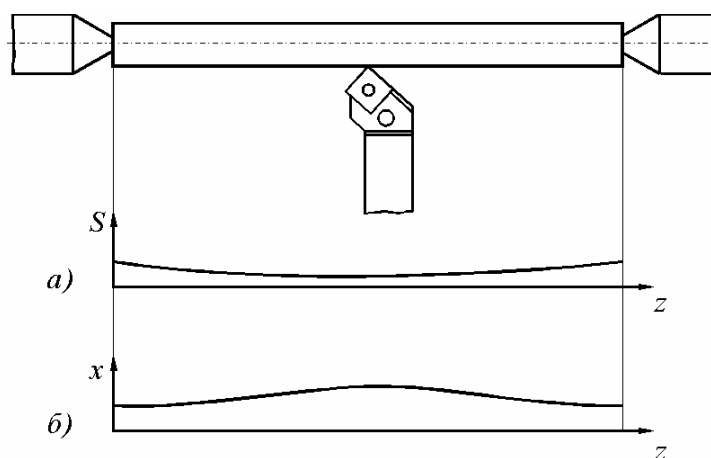
Фактическая погрешность составит:

$$\Delta\Phi_{\delta} = \frac{d_{\max_{\delta}} - d_{\min_{\delta}}}{2}, \quad (4.8)$$

где d_{\max_∂} , d_{\min_∂} - максимальный и минимальный действительный диаметр вала.

Для уменьшения погрешностей формы обработанной поверхности, обусловленных малой жесткостью заготовки необходимо:

- применять дополнительные опоры, увеличивающие жесткость ТС (люнеты на токарных станках, подводимые опоры при обработке на фрезерных станках);
- уменьшить силы резания за счет уменьшения глубины резания, подачи, изменения геометрических параметров режущего инструмента;
- применять обработку с изменяемой по определенному закону подачей (рисунок 4.2а) или глубиной резания (рисунок 4.2б) (это можно реализовать только при использовании оборудования с ЧПУ). На участках с меньшей жесткостью величина подачи должна быть уменьшена до значений, обеспечивающих постоянство упругих деформаций заготовки. Глубину резания возможно изменять за счет изменения траектории движения инструмента.



а) – закон изменения подачи; б) – закон изменения траектории

Рисунок 4.2 – Уменьшении погрешностей формы при обработке нежесткой заготовки

4.3 Методика выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используются:

- 1) токарный станок 1К62;

2) цилиндрическая заготовка диаметром 20 – 30 мм, длиной 500 – 600 мм, материал заготовки сталь 45 ГОСТ 1050-88;

3) токарный проходной резец К.01.4979.000-02 Т15К6 ТУ 2-035-892-82;

4) микрометр гладкий МК 0-25 с ценой деления 0,01 мм ГОСТ 6507-90.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

1) измерить диаметры заготовки до обработки в трех сечениях (у переднего центра, в середине, у заднего центра), определить среднее значение и принять его за действительный диаметр заготовки, d ;

2) точить заготовку вала по всей длине; режимы обработки: скорость резания от 50 до 60 м/мин, продольная подача равна 0,1 мм/об, глубина резания – 0,5 мм;

3) измерить диаметры заготовки в трех сечениях после обработки;

4) определить фактическое отклонение формы вала по выражению (4.8);

5) определить расчетный радиус вала в среднем сечении по формуле (4.5);

6) определить расчетное отклонение формы вала по выражению (4.7);

7) сопоставить фактическое и расчетное отклонение формы вала;

8) сделать вывод по работе.

4.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 4 должен содержать следующие разделы:

1) наименование и цель работы;

2) эскиз обрабатываемой заготовки;

3) режимы обработки;

4) диаметры вала в трех сечениях до и после обработки (таблица 4.1);

6) расчетный радиус вала в среднем сечении;

7) фактическое и расчетное отклонение формы вала;

8) выводы по работе.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные

Сечение вала	Диаметр до обработки, мм	Диаметр после обра- ботки, мм
У передней бабки		
В середине		
У задней бабки		

4.5 Вопросы для самопроверки

4.5.1 По какой причине появляется погрешность формы длинного нежесткого вала при токарной обработке?

4.5.2 Как определить расчетный размер вала в среднем сечении?

4.5.3 Как уменьшить погрешность формы вала?

4.5.4 В чем состоит сущность уменьшения погрешности формы при обработке на оборудовании с ЧПУ?

5 Лабораторная работа № 5. Исследование зависимости размерного износа от пути резания

5.1 Цель работы

Экспериментально установить зависимость размерного износа токарного резца от пути резания. Выявить мероприятия, направленные на уменьшение погрешностей обработки, обусловленных размерным износом инструмента.

5.2 Общие положения

Под действием факторов, действующих в процессе обработки, происходит износ инструмента. При этом увеличиваются силы резания, растет температура в зоне резания, изменяется размер инструмента. Поскольку размер инструмента является одним из составляющих звеньев размерной цепи технологической системы (ТС), то его изменение приводит к изменению замыкающего звена – размера, получаемого в данной технологической операции. Таким образом, износ инструмента сказывается на точности обработки. Для того чтобы уменьшить погрешности обработки, обусловленные размерным износом инструмента необходимо знать механизм возникновения и изменения износа [1].

В зависимости от физической природы износа существует несколько видов износа режущих инструментов: абразивный, адгезионный, диффузионный, окислительный, электродиффузионный. Одной из задач, возникающих при определении режимов обработки, является выбор критерия износа. В зависимости от вида обработки, от требований к точности и состоянию поверхностного слоя различаются следующие критерии износа инструмента: критерий «блестящей полоски», силовой критерий, критерий оптимального износа, технологический критерий. С точки зрения обеспечения требуемой точности наиболее важным является технологический критерий. Согласно этому критерию инструмент подлежит замене, если наличие износа не позволяет получить размер детали в пределах требуемого допуска или если не обеспечивается требуемая шероховатость поверхности. Одним из вариантов тех-

нологического критерия износа является допустимая величина размерного износа инструмента. Размерный износ – это износ, измеряемый по нормали к обрабатываемой поверхности, для токарных резцов и фрез он обусловлен износом по задней поверхности (рисунок 5.1) и связан с ним следующим соотношением:

$$U = h_3 \operatorname{tg} \alpha, \quad (5.1)$$

где h_3 — износ по задней поверхности;

α — задний угол.

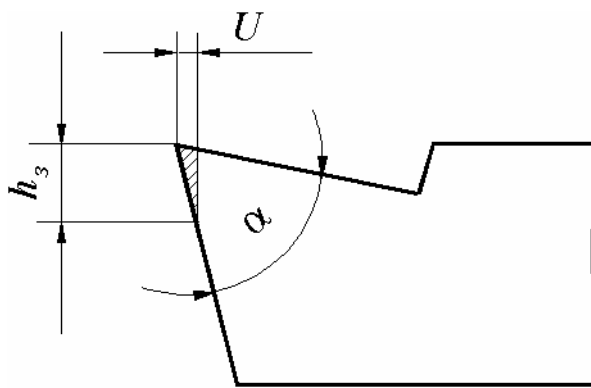


Рисунок 5.1 – Размерный износ резца

Для осевых инструментов (сверл, зенкеров, разверток) размерный износ измеряется в диаметральном направлении. Его действие приводит к изменению диаметра обрабатываемого отверстия.

Типичная зависимость размерного износа от пути резания приведена на рисунке 5.2.

Весь период работы резца может быть условно разделен на три участка:

I – начальный износ;

II – нормальный износ;

III – катастрофический износ.

Начальный износ (участок *I*) характеризуется большой скоростью изменения и обуславливается приработкой инструмента. При этом происходит сглаживание микронеровностей режущей кромки, появившихся в результате заточки.

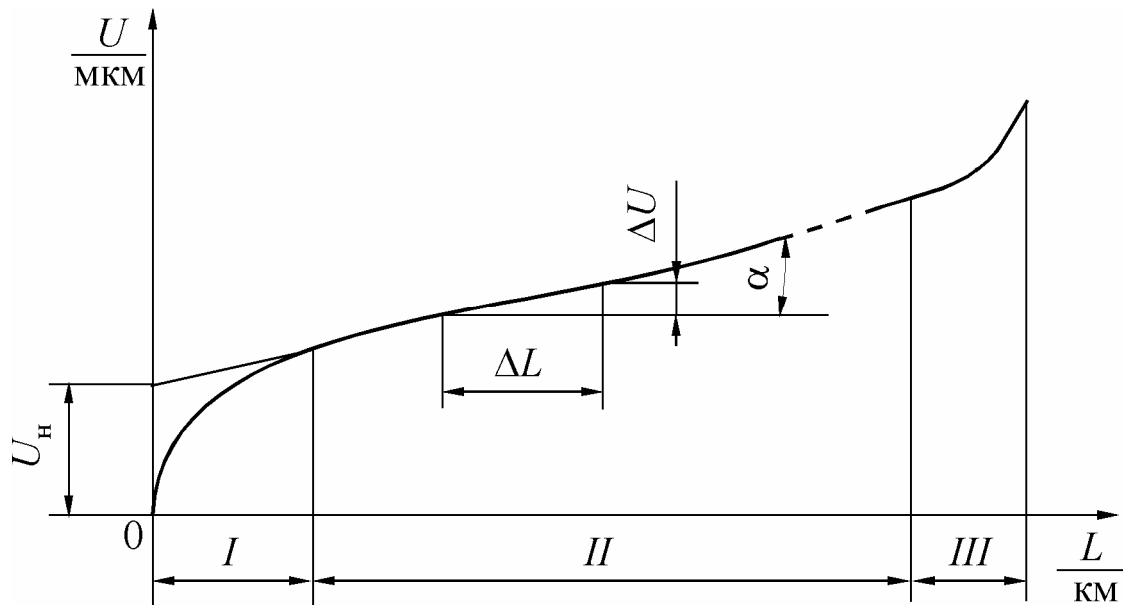


Рисунок 5.2 – Зависимость размерного износа от пути резания

На участке *II* скорость изменения износа уменьшается и стабилизируется. Это вызвано уменьшением напряжений, действующих на режущую кромку. Износ протекает под действием факторов, существующих в процессе резания.

На участке *III*, соответствующем катастрофическому износу, износ протекает наиболее интенсивно. Это объясняется увеличением температуры в зоне резания из-за увеличения площади контакта заготовки и задней поверхности инструмента. При этом происходит усиленный адгезионный и диффузионный износ. Эксплуатация инструмента в этой области недопустима.

С достаточной для практики точностью кривую износа можно заменить прямой, пересекающей ось ординат на расстоянии U_n , рисунок 5.2. Уравнение такой прямой

$$U = U_n + U_o L, \quad (5.2)$$

где U_n – начальный износ, мкм;

U_o – относительный износ, мкм/км;

L – путь резания, км.

Путь резания при точении определяется

$$L = \frac{\pi D n \cdot \theta}{10^6}, \quad (5.3)$$

где D – диаметр обработки, мм;

n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ;

θ – время обработки, мин.

Величина относительного износа U_o характеризует скорость износа на участке нормального износа

$$U_o = \frac{\Delta U}{\Delta L} = \text{tg}(\alpha), \quad (5.4)$$

где ΔU - приращение износа при соответствующем приращении пути резания ΔL .

Величины ΔU и ΔL определяются по графику, построенному в масштабе.

При чистовом точении конструкционной стали резцами, оснащенными пластинками твердого сплава Т15К6, Т30К4, начальный износ составляет от 2 до 8 мкм, относительный – от 2 до 10 мкм/км. При обработке чугуна резцами, оснащенными пластинками твердого сплава ВК4, ВК8, начальный износ составляет от 3 до 10 мкм, относительный – от 3 до 12 мкм/км.

Выражение для определения размерного износа в зависимости от параметров обработки при точении стали резцами с пластинками твердого сплава Т15К6, имеющими передний угол 12° , главный угол в плане 45° и радиус закругления 1 мм, имеет вид:

$$U_{op} = 0,33 \cdot V^{1,36} \cdot S^{0,95} \cdot t^{0,12}, \quad (5.5)$$

где V – скорость резания м/мин;

S – подача мм/об;

t – глубина резания, мм.

Для повышения точности обработки применяется комплекс мероприятий, направленных на уменьшение или на компенсацию размерного износа.

Для уменьшения размерного износа необходимо:

- уменьшать начальный износ за счет повышения качества заточки инструмента и применения доводки его режущих кромок;
- применять при обработке смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ);
- выбирать режимы резания, обеспечивающие высокую размерную стойкость инструмента (в особенности это касается дорогого инструмента - протяжек, разверток);
- выбирать материалы инструмента, соответствующие обрабатываемому материалу;
- применять инструмент с рациональными геометрическими параметрами.

С целью компенсации размерного износа следует:

- применять режущий инструмент со стабильными режущими свойствами, что позволит с большей долей вероятности прогнозировать величину износа;
- производить своевременную поднастройку технологической системы;
- своевременно производить замену режущего инструмента;
- применять автоматические устройства для определения износа и его компенсации.

5.3 Методика выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используются:

- 1) токарный станок 1К62, оснащенный вращающимся задним центром;
- 2) гладкая цилиндрическая заготовка из стали 45 длиной около 500 мм и диаметром 60 – 70 мм, зацентрованная с одной стороны;
- 3) токарный проходной резец (К.01.4979.000-02 Т15К6 ТУ 2-035-892-82);

- 4) ванночка с водой;
- 5) индикаторное приспособление для измерения длины резца.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

- 1) измерить диаметр заготовки, d ;
- 2) настроить индикаторное приспособление. для чего поместить новый резец в приспособление, и создав натяг, установить индикатора на нулевое деление;
- 3) произвести обработку заготовки, режимы обработки: скорость резания от 100 до 200 м/мин, продольная подача от 0,1 до 0,2 мм/об, глубина резания от 0,1 до 0,2 мм, время обработки $\theta_1 = 2$ мин;
- 4) охладить резец до комнатной температуры в ванночке с водой;
- 5) измерить износ резца за время работы θ_1 , данные занести в таблицу;
- 6) повторить обработку заготовки, охлаждение резца и измерение его износа для времени работы 3, 5, 10, 20 минут;
- 7) определить путь резания для времени, отсчитываемого от начала эксперимента: 2, 5, 10, 20, 40 минут;
- 8) построить в масштабе график зависимости размерного износа от пути резания;
- 9) по графику определить величину начального износа U_n , относительного износа U_o ;
- 10) пользуясь зависимостью (5.5), рассчитать расчетное значение относительного износа U_{op} , сопоставить экспериментальное и расчетное значения относительного износа;
- 11) сделать вывод по работе.

5.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 5 должен содержать следующие разделы:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) эскиз обрабатываемой заготовки;

- 3) режимы обработки;
- 4) таблица экспериментальных данных (таблица 5.1);

Таблица 5.1 – Экспериментальные данные

Время обработки θ , мин	Суммарный путь резания L , км	Размерный износ U , мкм
2		
5		
10		
20		
40		

- 5) график зависимости размерного износа от пути резания;
- 6) экспериментальные значения начального износа, относительного износа;
- 7) расчетное значение относительного износа;
- 8) выводы по работе.

5.5 Вопросы для самопроверки

- 5.5.1 Что такое размерный износ инструмента?
- 5.5.2 Какие существуют критерии износа?
- 5.5.3 Как выглядит типичная кривая размерного износа?
- 5.5.4 Чем объясняется начальный износ, нормальный износ?
- 5.5.5 От каких факторов зависит величина относительного износа?
- 5.5.6 Как уменьшить размерный износ?
- 5.5.7 Как уменьшить влияние размерного износа на точность?

6 Лабораторная работа № 6 Исследование зависимости температурных деформаций токарного резца от пути резания

6.1 Цель работы

Изучить зависимость температурных деформаций инструмента от пути резания. Освоить методику определения температурных деформаций. Выявить мероприятия, направленные на уменьшение погрешностей обработки, обусловленных температурными деформациями элементов технологической системы.

6.2 Общие положения

В процессе обработки большая часть работы сил резания переходит в тепло. Теплота, образовавшаяся в процессе резания, действует на элементы технологической системы (ТС), часть ее рассеивается в окружающей среде. Другими источниками тепла являются электродвигатели, гидроаппаратура. Под действием теплоты в ТС происходят температурные деформации. Изменение размеров элементов ТС, являющихся составляющими звеньями размерной цепи ТС, приводит к изменению замыкающего звена – размера детали. Таким образом, температурные факторы, действующие в процессе обработки, оказывают влияние не только на стойкость инструмента, но и на точность [1].

Несмотря на то, что количество теплоты, воспринимаемое инструментом составляет от 3 % до 5 % от общего количества теплоты, выделяемой в процессе резания, температура режущего лезвия составляет от 1000 °С до 1200 °С. Вклад температурных деформаций инструмента в погрешность обработки достаточно велик. Особенно важно учитывать температурные деформации при чистовой и отделочной обработке, поскольку в этом случае они соизмеримы с допусками на обработку. Зависимость температурных деформаций от времени работы или от пути резания не линейна. В начале работы температура инструмента и его тепловые деформации возрастают быстро, затем скорость изменения деформаций уменьшается, и с насту-

плением теплового равновесия они стабилизируются и становятся равными ξ_c (рисунок 6.1).

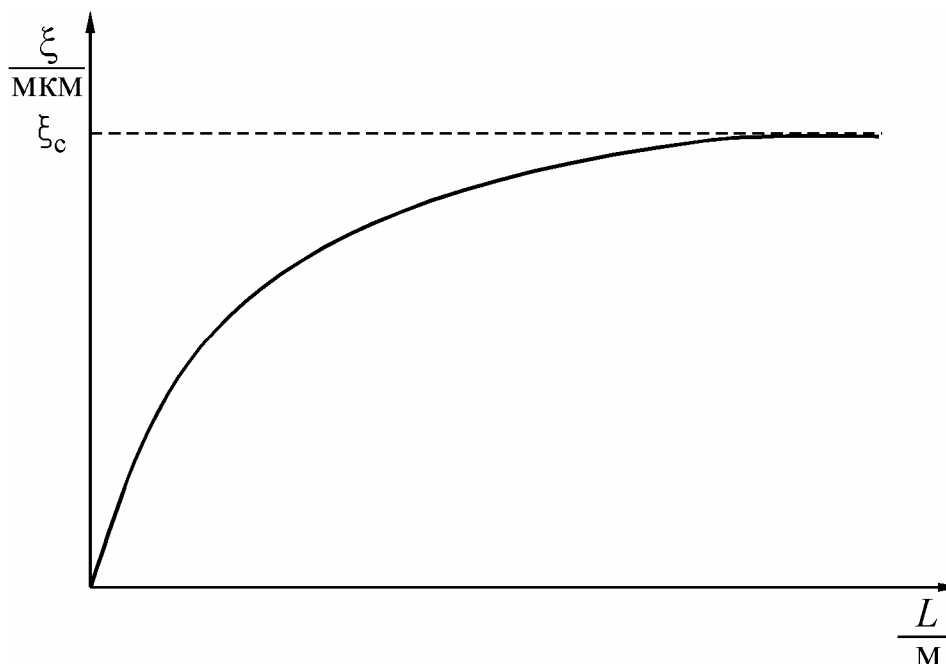


Рисунок 6.1 – Изменение температурных деформаций резца

Аналитически процесс изменения размеров резца под действием температурных деформаций в зависимости от времени работы τ имеет вид

$$\xi = \xi_c \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}} \right), \quad (6.1)$$

где ξ_c - температурные деформации, соответствующие тепловому равновесию, мкм;

T – постоянная для данных условий величина, определяемая массой резца и теплофизическими свойствами материала резца, мин.

Максимальное удлинение резца ξ_c , мкм, с пластинкой твердого сплава при работе с режимами резания, соответствующими чистовой обработке без охлаждения, определяется по эмпирической формуле

$$\xi_c = C \frac{L}{F} \sigma_\sigma (t \cdot S)^{0,75} \sqrt{V}, \quad (6.2)$$

где C – постоянная;

L – вылет резца, мм;

F – площадь сечения резца, мм²;

σ_σ - предел прочности обрабатываемого материала, Мпа (для стали 45 составляет 750 Мпа);

t - глубина резания, мм;

S – продольная подача, мм/об;

V – скорость резания, м/мин.

Для используемых режимов обработки величина постоянной C равна 0,45.

Для уменьшения погрешности обработки, обусловленной температурными деформациями в ТС, необходимо:

- применять оптимальные режимы обработки, способствующие уменьшению температуры в зоне резания;
- уменьшать температуру в зоне резания за счет изменения геометрических параметров режущего инструмента;
- уменьшать вылет инструмента и увеличивать его сечение, это позволяет улучшить отвод тепла;
- применять смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ);
- использовать в особых случаях (при точной обработке ответственных деталей) термоконстантные помещения, температура в которых поддерживается в пределах $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$;
- производить предварительный прогрев ТС с целью стабилизации температуры;
- осуществлять местный нагрев или охлаждение элементов ТС для выравнивания температурных полей;

– организовать ритмичную (циклическую) работу оборудования, позволяющую уменьшить диапазон изменения температурных деформаций.

В лабораторной работе величина теплового удлинения резца в зависимости от пути резания определяется путем фиксации величины его укорочения при остывании.

В формировании погрешности обработки участвуют не только температурные деформации инструмента, но и деформации прочих элементов ТС. В частности, под действием температуры происходит смещение шпиндельных узлов. При этом температурные деформации шпинделей определяются, в основном, теплом, выделяющимся при работе подшипников и зубчатых передач. Температурные деформации элементов ТС оказывают наибольшее влияние на точность обработки при шлифовании. Так через полтора часа работы шпиндели бесцентровошлифовальных станков смещались на 0,10 – 0,13 мм, шпиндели круглошлифовальных - на 0,05 – 0,06 мм.

При обработке тонкостенных заготовок из-за ухудшенных условий отвода тепла происходят существенные температурные деформации заготовок. Это приводит к искажению формы заготовки в продольном сечении, рисунок 6.2. Величина температурных деформаций заготовки в некоторых случаях составляет от 0,004 до 0,012 мм.

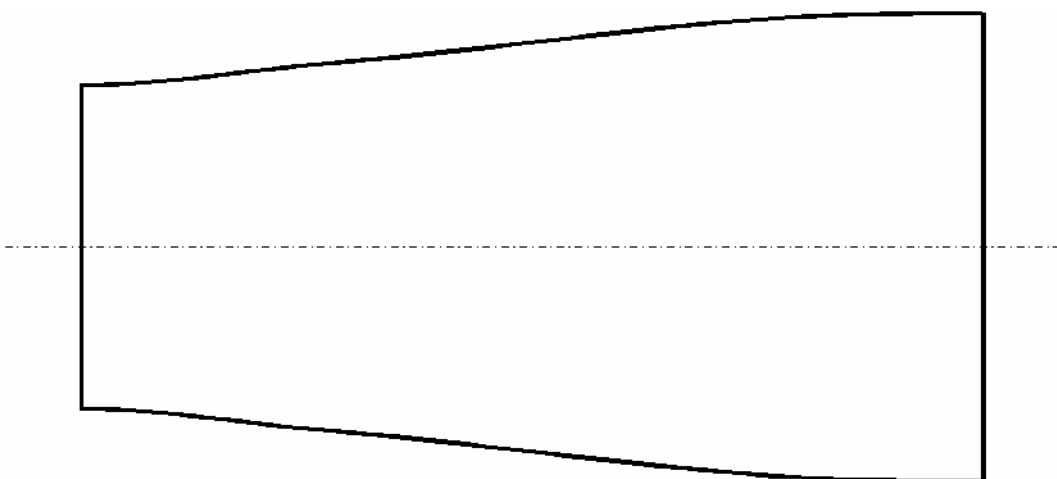


Рисунок 6.2 – Искажение формы детали в продольном сечении из-за температурных деформаций заготовки

6.3 Методика выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используются:

- 1) токарный станок 1К62;
- 2) цилиндрическая заготовка диаметром от 40 до 50 мм, длиной от 500 до 600 мм; материал заготовки сталь 45 ГОСТ 1050-88;
- 3) токарный проходной резец К.01.4979.000-02 Т15К6 ТУ 2-035-892-82;
- 4) индикаторная стойка с индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

- 1) измерить диаметр заготовки до обработки d ;
- 2) точить заготовку вала. Режимы обработки: скорость резания от 100 до 150 м/мин, продольная подача от 0,1 до 0,2 мм/об, глубина резания – 0,15 мм, время обработки $\theta_1 = 1$ мин;
- 3) выключить станок, быстро повернуть резцедержатель, ввести резец в контакт со щупом индикатора и измерить укорочение резца при его охлаждении до температуры окружающей среды;
- 4) определить укорочение резца после его работы в течение времени $\theta = 3, 6, 10$ и 20 минут;
- 5) для последнего эксперимента ($\theta = 20$ минут) зафиксировать величину укорочения в зависимости от времени остывания;
- 6) определить путь резания для всех моментов времени по формуле

$$l = V \cdot \theta,$$

где V - скорость резания, определенная по фактическим режимам резания, установленным на станке

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000},$$

где n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ;

7) построить графики зависимости удлинения резца от пути резания зависимости укорочения резца от времени остывания. Определить по графику фактическое удлинение резца, соответствующее тепловому равновесию $\xi_{c\phi}$;

8) вычислить расчетное удлинение резца для установившегося теплового равновесия ξ_c по формуле 6.2. Сопоставить фактическое и расчетное удлинение резца;

8) сделать вывод по работе.

6.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 6 должен содержать следующие разделы:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) эскиз обрабатываемой заготовки;
- 3) режимы обработки, диаметр заготовки;
- 4) таблица экспериментальных данных (таблица 6.1);

Таблица 6.1 – Удлинение резца

Время обработки, мин	Путь резания, км	Удлинение резца, мкм
1		
3		
6		
10		
20		

5) таблица для построения зависимости укорочения резца от времени остывания (таблица 6.2);

6) график зависимости удлинения резца от пути резания;

7) график зависимости укорочения резца от времени остывания;

- 8) фактическое и расчетное удлинение резца, соответствующее тепловому равновесию;
- 9) разность в процентах между фактическим и расчетным удлинением резца;
- 8) выводы по работе.

Таблица 6.2 – Укорочение резца

Время остывания, мин	Укорочение резца, мкм
0	
0,5	
1,0	
3,0	
6,0	
10,0	

6.5 Вопросы для самопроверки

6.5.1 По какой причине появляются температурные деформации ТС?

6.5.2 Как изменяются температурные деформации резца в зависимости от времени работы?

6.5.3 От каких факторов зависит величина установившихся температурных деформаций?

6.5.4 Как уменьшить погрешность обработки, вызванную температурными деформациями?

7 Лабораторная работа № 7. Исследование влияния жесткости заготовки на виброустойчивость технологической системы

7.1 Цель работы

Изучить влияние жесткости обрабатываемой заготовки на виброустойчивость технологической системы (ТС). Освоить методику определения параметров вибраций. Выявить мероприятия, направленные на уменьшение вибраций в технологической системе.

7.2 Общие положения

Одним из факторов, действующих на качество обработки, является вибрация ТС. Под действием вибраций ухудшается шероховатость обработанной поверхности, изнашивается оборудование, происходит интенсивный износ режущего инструмента [1].

ТС может быть представлена в виде совокупности масс m , связанных между собой упругими связями c (рисунок 7.1). Такими массами являются отдельные элементы ТС (несущая система станка, заготовка, инструмент и т.д.). Связи – это упругость стыков между данными элементами. То есть ТС является сложной механической колебательной системой.

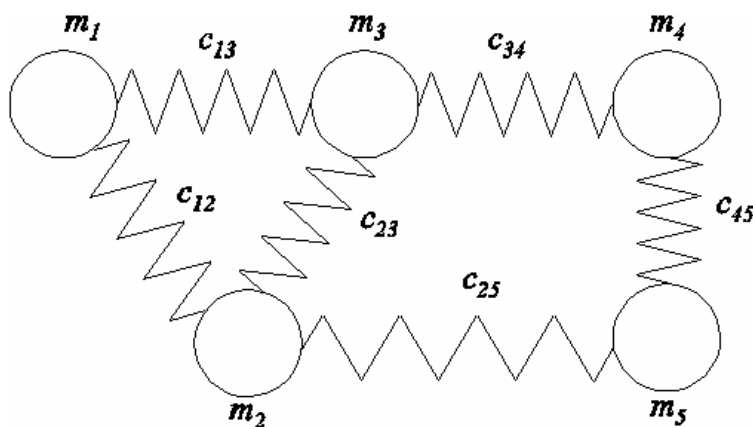


Рисунок 7.1 – Механическая колебательная система

В состоянии покоя, когда на систему не действуют внешние силы, массы неподвижны. Если данную систему вывести из состояния покоя, то в ней возникнут механические колебания. С течением времени колебания прекратятся, что связано с рассеиванием энергии колебаний. Частота таких колебаний определяется собственной частотой резонанса $\omega_{рез}$ (рисунок 7.2).

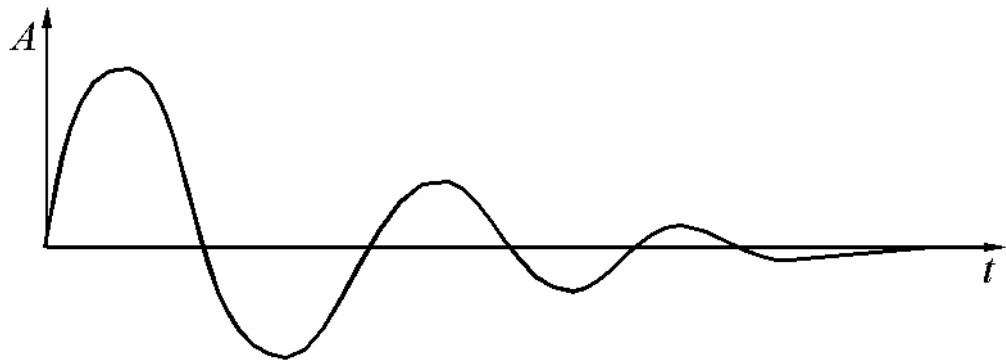


Рисунок 7.2 – Затухающие механические колебания

Если вынуждающая сила изменяется по периодическому закону с частотой $\omega_{вын}$, то в системе возникнут незатухающие колебания с такой же частотой, амплитуда этих колебаний A будет зависеть от $\omega_{вын}$, рисунок 7.3.

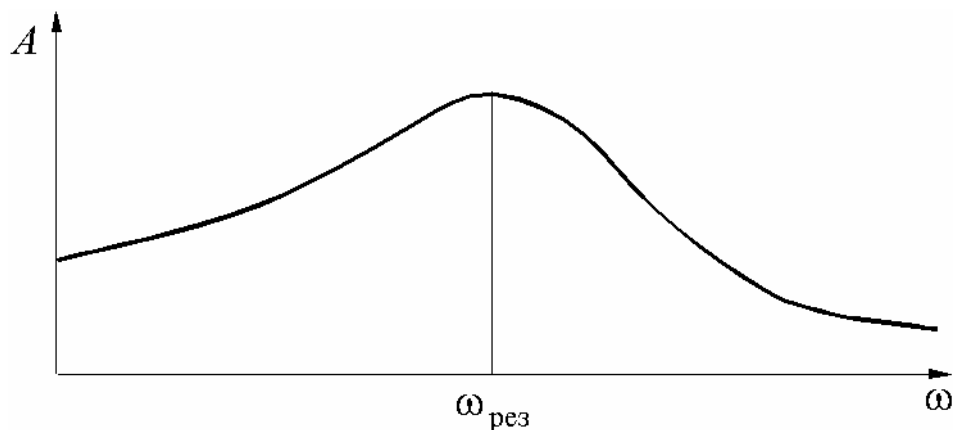


Рисунок 7.3 – Амплитудно-частотная характеристика колебательной системы

Как следует из рисунка 7.3, амплитуда колебаний увеличивается, если частота вынуждающей силы находится в области резонанса. Значение резонансной частоты $\omega_{рез}$ зависит от внутренних свойств ТС. Амплитуда колебаний в механической колебательной системе зависит также от ее демпфирующих свойств, то есть способности к поглощению энергии колебаний.

В процессе механической обработки механические колебания представляют собой периодические относительные перемещения элементов ТС. Их наличие приводит к изменению относительного положения инструмента и заготовки, что приводит к ухудшению качества обработанной поверхности.

Возможности возникновения вибраций определяются как внешними, так и внутренними факторами. К первой группе факторов относятся: внешние кратковременные воздействия, периодически изменяющиеся внешние воздействия. Под действием первых в системе возникают затухающие колебания с частотой, соответствующей собственной частоте резонанса. Такие колебания носят название свободных колебаний. Они могут быть вызваны, например, передачей воздействий от работающих неподалеку кузнечно-прессовых машин, крупных металлорежущих станков и т.п. по грунту.

При наличии периодически изменяющихся внешних воздействий в системе возникают колебания с частотой возмущающей силы. Источниками таких воздействий могут быть:

- периодические изменения сил резания, возникающие при обработке прерывистых поверхностей (цилиндрические поверхности со шпоночными пазами, шлицами, зубьями) или при работе фрез, протяжек;
- наличие шероховатости поверхности, полученной на предыдущей стадии обработки;
- неуравновешенность вращающихся масс (дисбаланс шпиндельного узла, суммарный дисбаланс несимметричной заготовки, обрабатываемой на планшайбе токарного станка и т.п.);
- дефекты передач станка (неточности зубчатых передач, пульсации в гидроприводе).

Внутренними факторами, определяющими виброустойчивость ТС, являются:

- жесткость ТС, определяемая упругостью связей c ;
- демпфирующие свойства ТС.

Для уменьшения вибраций в ТС необходимо управлять как внешними, так и внутренними факторами. При этом используются следующие мероприятия:

- установка оборудования на массивные фундаменты для изоляции ТС;
- расположение кузнечно-прессового оборудования вдали от механических цехов;
- исключение обработки прерывистых поверхностей за счет рационального построения технологического процесса;
- уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности путем введения промежуточных технологических переходов (получистовых перед чистовыми);
- балансировка вращающихся элементов ТС – балансировка шпинделей при их изготовлении, включение в конструкцию приспособления противовесов при обработке несимметричных заготовок, балансировка вращающихся в процессе работы инструментов;
- изменение резонансной частоты ТС путем увеличения жесткости ТС;
- изменение величины и частоты вынуждающей силы за счет выбора оптимальных режимов обработки;
- применение для изготовления несущих деталей станков из материалов, обладающих высокой демпфирующей способностью (серый чугун);
- заполнение полостей станины и других элементов несущей системы станка смесью гранитной крошки и эпоксидного компаунда (синтеграном);
- применение устройств для гашения колебаний (виброгасителей).

В данной лабораторной работе производится экспериментальное изучение влияния жесткости заготовки на виброустойчивость ТС. Жесткость технологической системы изменяется за счет использования заготовок разной длины. Жесткость ТС j определяется экспериментально при статической нагрузке вала и измерении возникающего при этом перемещения

$$j = \frac{P}{y}, \quad (7.1)$$

где P – нагрузка, Н (определяется по динамометру);

y – перемещение вала при нагрузке P , мм (определяется по индикатору).

Виброустойчивость оценивается вибрационной глубиной резания. Вибрационная глубина резания – это минимальная глубина, при которой появляется вибрация. Момент появления вибраций определяется появлением характерного низкочастотного звука. Под действием вибраций на поверхности резания появляются следы вибрации. Измерение шага образующейся волнистости дает возможность определить частоту вибраций, f , Гц

$$f = \frac{1000 \cdot V}{60 \cdot l}, \quad (7.2)$$

где V – скорость резания, м/мин;

l – шаг волнистости на поверхности резания, мм.

7.3 Методика выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используется:

- 1) токарный станок 1К62;
- 2) набор заготовок разной длины с дисками, расположенными в среднем сечении, (длина заготовок 660, 850 и 1000 мм);
- 3) токарный проходной резец К.01.4979.000-02 Т15К6 ТУ 2-035-892-82;
- 4) индикаторная стойка с индикатором часового типа с ценой деления 0,002 мм;
- 5) динамометр пружинный (в комплекте);
- 6) штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм и пределом измерения от 0 до 300 мм;

7) линейка инструментальная 500 мм.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

1) измерить диаметр и длину трех заготовок;

2) установить одну из трех заготовок;

3) установить кольцевой динамометр между резцедержателем и валом. С противоположной стороны установить на верхние салазки суппорта индикаторную стойку;

4) нагрузить вал радиальной силой за счет перемещения суппорта в поперечном направлении. Снять показания динамометра и индикатора. По формуле (7.1) определить жесткость технологической системы. Для определения силы использовать тарировочный график (зависимость силы P от показаний динамометра d , рисунок 7.4);

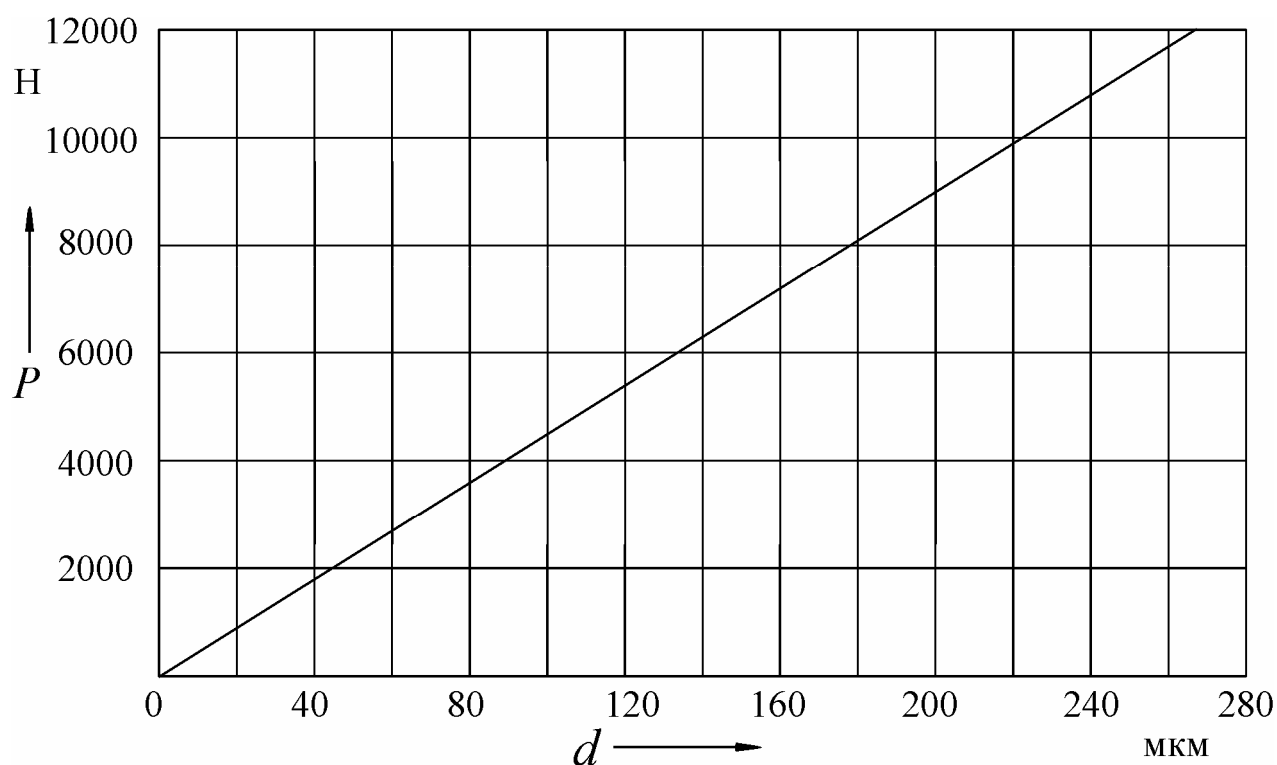


Рисунок 7.4 – Тарировочный график динамометра

5) точить заготовку вала, режимы обработки: скорость резания $V = 50 - 60$ м/мин, продольная подача $S = 0,08 - 0,16$ мм/об, глубина резания $t = 0,3$ мм;

6) если в процессе обработки вибрации не возникают увеличить глубину резания ступенями по $0,3 - 0,5$ мм до возникновения вибраций. Зафиксировать вибрационную глубину резания;

7) определить с помощью металлической линейки шаг вибрационных следов l на поверхности резания. По формуле (7.2) определить частоту вибраций;

8) повторить эксперимент для других заготовок;

9) занести полученные экспериментальные данные в таблицу;

10) построить графики зависимости вибрационной глубины резания и частоты вибраций от жесткости ТС;

11) сделать вывод по работе.

7.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 7 должен содержать следующие разделы:

1) наименование и цель работы;

2) эскиз обрабатываемых заготовок;

3) режимы обработки;

4) таблица экспериментальных и расчетных данных (таблица 7.1);

Таблица 7.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Длина вала, мм	Нагрузка, Н	Перемещение вала, мм	Жесткость ТС, Н/мм	Вибрационная глубина резания, мм	Шаг вибрационных следов, мм	Частота вибраций, Гц

б) график зависимости вибрационной глубины резания от жесткости ТС;

- 7) график зависимости частоты вибраций от жесткости ТС;
- 8) выводы по работе.

7.5 Вопросы для самопроверки

- 7.5.1 Каковы основные причины появления вибраций в ТС?
- 7.5.2 Какое влияние оказывают вибрации на качество поверхности?
- 7.5.3 Как определяется вибрационная глубина резания?
- 7.5.4 От каких факторов зависит виброустойчивость ТС?
- 7.5.5 Как повысить виброустойчивость ТС?

8 Лабораторная работа № 8. Анализ накопления погрешностей в технологических процессах изготовления деталей

8.1 Цель работы

Изучить механизм возникновения и накопления погрешностей при выполнении ряда технологических операций. Освоить методику выявления таких погрешностей. Выявить мероприятия, направленные на уменьшение суммарной погрешности технологического процесса.

8.2 Общие положения

Явление накопления погрешностей в технологических процессах связано, в первую очередь, с выбором технологических баз. В тех случаях, когда размер детали получается непосредственно от технологических баз, накопления погрешностей не происходит. В этом случае выдерживается принцип единства баз, то есть, в качестве технологических используются конструкторские базы детали. При этом размер детали является замыкающим звеном размерной цепи технологической системы, и его точность определяется только факторами, присутствующими в данной технологической операции (рисунок 8.1). Для детали, показанной на рисунке, 8.1 размер уступа задан конструктором от нижней плоскости. Такое построение технологического процесса является наиболее удачным, так как позволяет обеспечить требуемую точность детали кратчайшим путем.

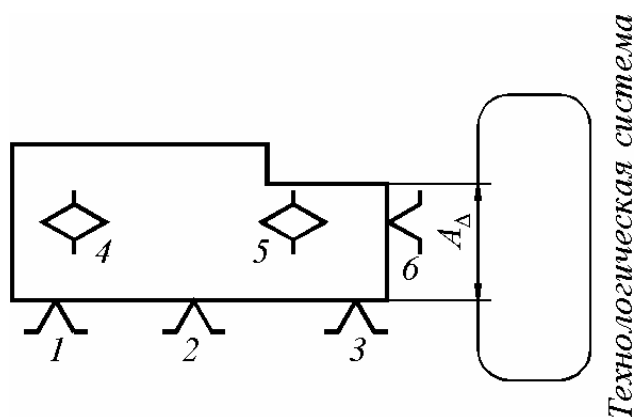


Рисунок 8.1 – Получение размера детали от технологических баз

В некоторых случаях не удастся использовать принцип единства баз. Если размер уступа задан конструктором от верхней плоскости, то для реализации принципа единства баз в качестве технологической установочной базы следует использовать верхнюю плоскость детали (рисунок 8.2).

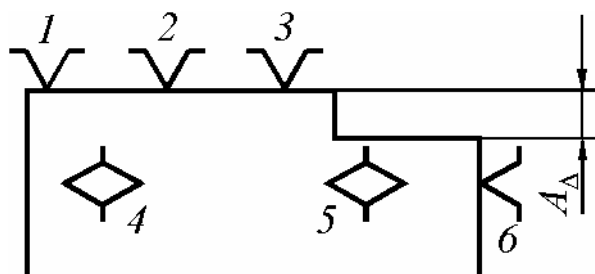


Рисунок 8.2 – Использование принципа единства баз при указании размера от верхней плоскости

Несмотря на возможность получения точности кратчайшим путем, такой вариант построения технологического процесса нельзя признать удачным, так как при этом существенно усложняется конструкция установочного приспособления. В подобных случаях приходится производить организованную смену баз. При использовании в качестве технологической базы нижней плоскости детали (рисунок 8.3) точность размера, определяющего положение уступа, будет определяться размерной цепью A . Размер детали является в этом случае замыкающим звеном A_{Δ} технологической размерной цепи. Составляющими звеньями являются операционные размеры A_1, A_2 .

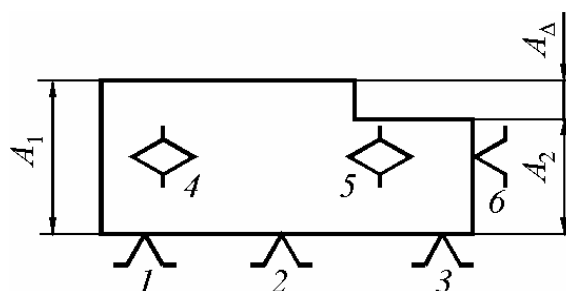


Рисунок 8.3 – Образование технологической размерной цепи

Погрешность замыкающего звена равна сумме погрешностей составляющих звеньев

$$\omega_{A_{\Delta}} = \omega_{A_1} + \omega_{A_2}. \quad (8.1)$$

Размер A_1 получен на предыдущих операциях при обработке верхней и нижней плоскости. Размер A_2 получен в данной технологической операции. Таким образом, при несовпадении технологической и измерительной баз происходит накопление погрешностей.

Для уменьшения таких погрешностей необходимо:

- по согласованию с конструктором изменить схему простановки размеров детали;
- расширить допуск размера детали, на котором происходит накопление погрешностей (также по согласованию с конструктором);
- изменить схемы базирования или схемы обработки;
- уменьшить погрешности, присущие технологическим операциям (погрешности установки, погрешности статической и динамической настройки).

Анализ накопления погрешностей производится различными методами, в основе которых лежит теория размерных цепей. При использовании одного из них анализ накопления погрешностей в технологических процессах изготовления деталей производится путем формирования трехзвенных размерных цепей, относящихся к конкретной технологической операции [3]. Данные размерные цепи формируются в результате анализа операций технологического процесса в обратном порядке. Формирование начинают с операции, в которой окончательно получается требуемый размер детали, имеющий накопленную погрешность. Заканчивается формирование размерных цепей тогда, когда погрешность размера будет определяться только данной операцией. При этом образуется система параллельно связанных размерных цепей. Определение накопленной погрешности производится путем последовательного расчета данных размерных цепей.

Более просто и наглядно анализ накопления погрешностей производится с помощью построения размерных схем технологического процесса и расчета одной многозвенной размерной цепи [4]. Размерная схема позволяет анализировать точность всех размеров, получающихся в данном технологическом процессе. Размерная схема - технологический документ, наглядно отображающий последовательность изменения размерных параметров заготовки от операции к операции. Построение схемы начинается с нанесения под чертежом заготовки вертикальных линий, соответствующих поверхностям и осям детали. Их расположение должно строго соответствовать реальному расположению поверхностей и осей. Все операционные размеры и размеры исходной заготовки привязываются к этим вертикалям. Указание размеров должно производиться в последовательности обработки поверхностей в технологическом процессе. Сначала указываются размеры заготовки. Описание технологических переходов сопровождается указанием всех размерных параметров: припусков, операционных размеров, отклонений от соосности и др. После описания последнего перехода оставляется место для возможных замыкающих звеньев-размеров, а затем на тех же вертикалях наносят размеры детали. Выявление замыкающих звеньев производится путем сопоставления размеров детали и окончательных размеров. В том случае, если какой-либо размер детали не получен в технологическом процессе как окончательный, то в состав размерной схемы добавляется соответствующее замыкающее звено-размер.

Формирование размерных цепей производится путем нахождения замкнутых контуров для каждого из замыкающих звеньев по размерной схеме. Обход контуров следует начинать с замыкающего звена, не допускается включение в состав размерной цепи нескольких замыкающих звеньев, при обходе контуров не допускается проходить через разрывы поверхностей.

В качестве примера рассмотрим построение размерной схемы линейных размеров для технологического процесса изготовления детали типа вала, Рисунок 8.4 и таблица 8.1.

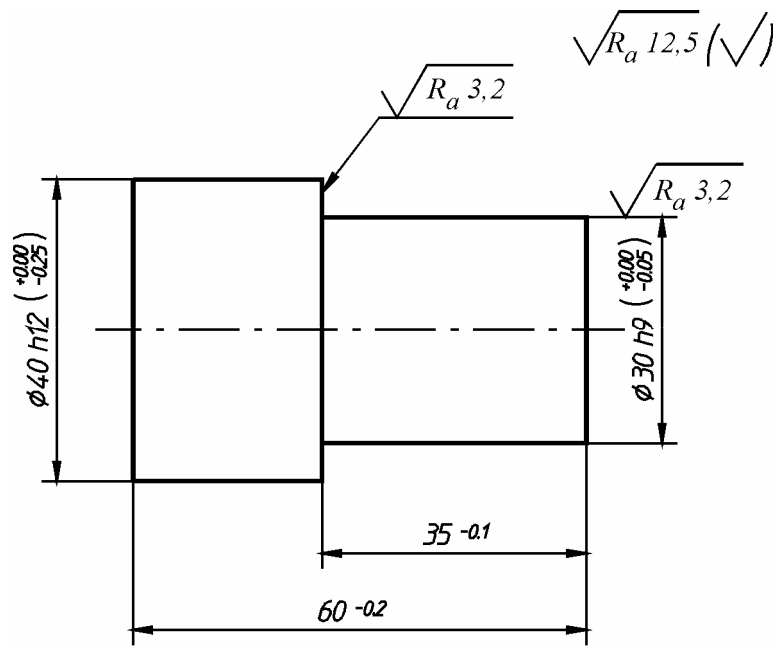
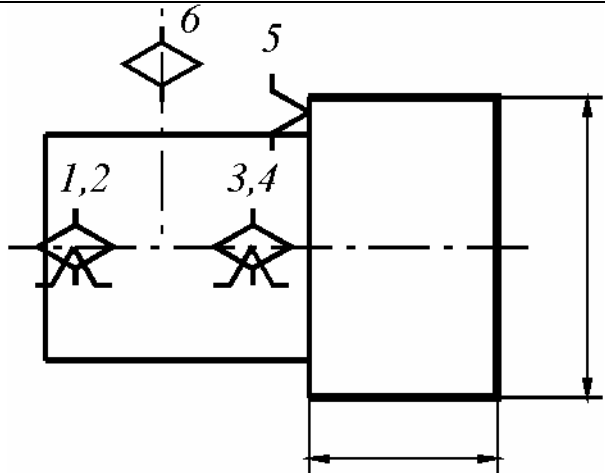
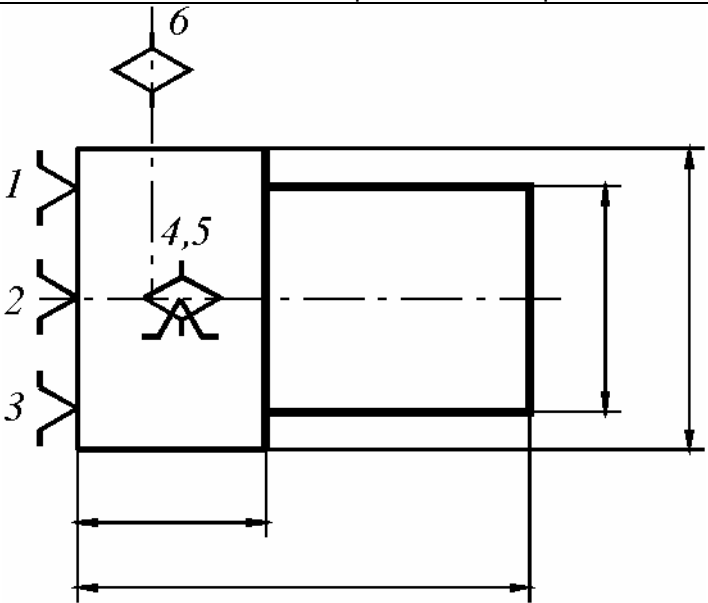
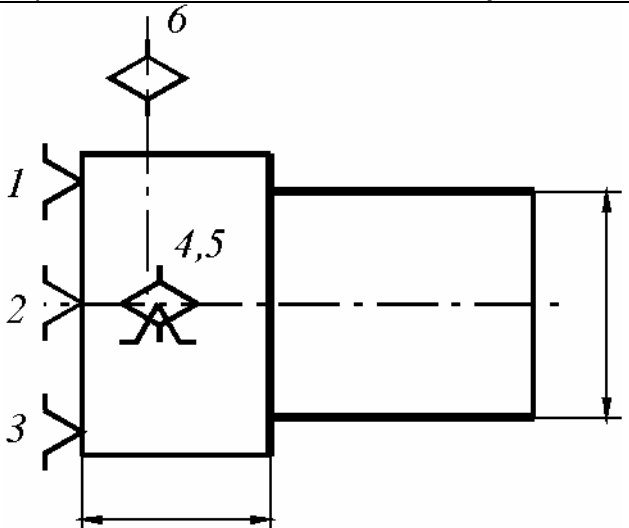


Рисунок 8.4 – Чертеж вала

Таблица 8.1 – Технологический маршрут изготовления вала

Номер и наименование Операции	Операционный эскиз
1	2
Исходная заготовка	

Продолжение таблицы 8.1

1	2
05 Токарная	
10 Токарная	
15 Токарная	

Построение размерной схемы, рисунок 8.5, начинается с вычерчивания эскиза заготовки.

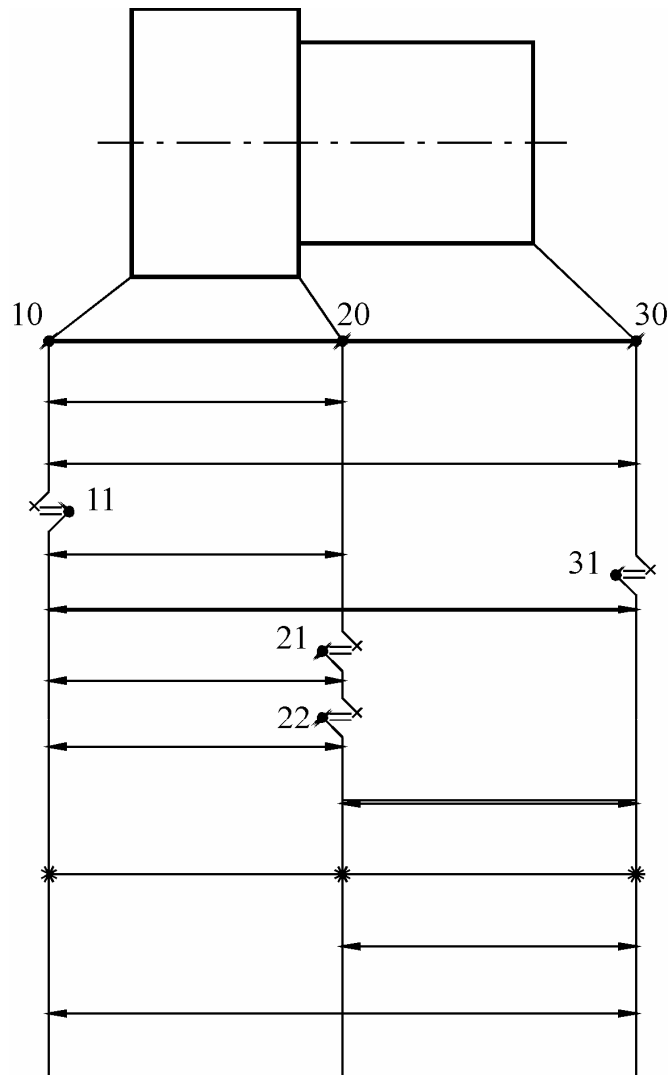


Рисунок 8.5 – Размерная схема

На горизонтальной линии под эскизом наносятся 3 метки, соответствующие поверхностям заготовки. От этих меток вниз проводится вертикали, между которыми впоследствии будут наноситься размеры. Сначала наносятся 2 размера исходной заготовки. При обработке каждого из торцов на размерную схему наносятся припуск и размер, связывающий обрабатываемую поверхность с технологической базой. После указания последнего размера, полученного в технологическом процессе, оставляется место для возможных замыкающих звеньев-размеров. Затем выявляются известные составляющие звенья. К ним относятся размеры, связывающие окончательно обработанные поверхности при условии соответствия их размерам детали. В данном случае известным звеном является размер, образующийся на 20 операции. Далее выявляются замыкающие звенья – размеры. В рассматриваемом случае замы-

кающим звеном-размером является длина ступени вала меньшего диаметра, поскольку этот размер не получается в качестве окончательного в технологическом процессе, но указан на чертеже детали, рисунок 8.4.

В данной лабораторной работе анализ накопления погрешностей фрагмента технологического процесса, состоящего из двух операций. Из этих операций в работе выполняется последняя - обработка уступа на фрезерном станке. На рисунке 8.6 представлен эскиз обрабатываемой заготовки.

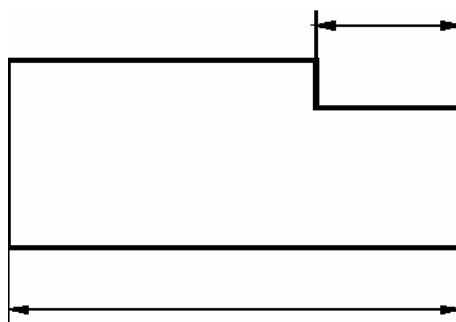
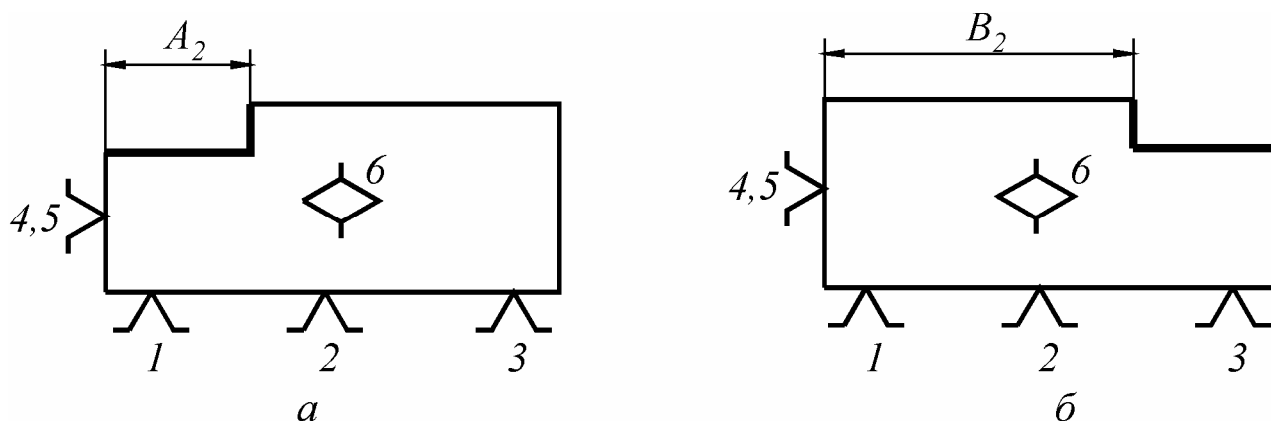


Рисунок 8.6 – Обрабатываемая заготовка

В лабораторной работе производится обработка уступа по двум вариантам, рисунок 8.7.



а – технологическая и измерительная базы совпадают; б – технологическая и измерительная базы не совпадают

Рисунок 8.7 – Базирование заготовки при обработке по различным вариантам

При обработке направляющая технологическая база образуется за счет упора заготовки в неподвижную губку машинных тисков. В варианте *a* точность размера A_2 определяется только точностью данной технологической операции. В варианте *б* точность размера уступа, заданного чертежом детали, зависит от данной операции (размер B_2) и от предыдущих, в которых производится обработка боковых плоскостей заготовки (рисунок 8.8).

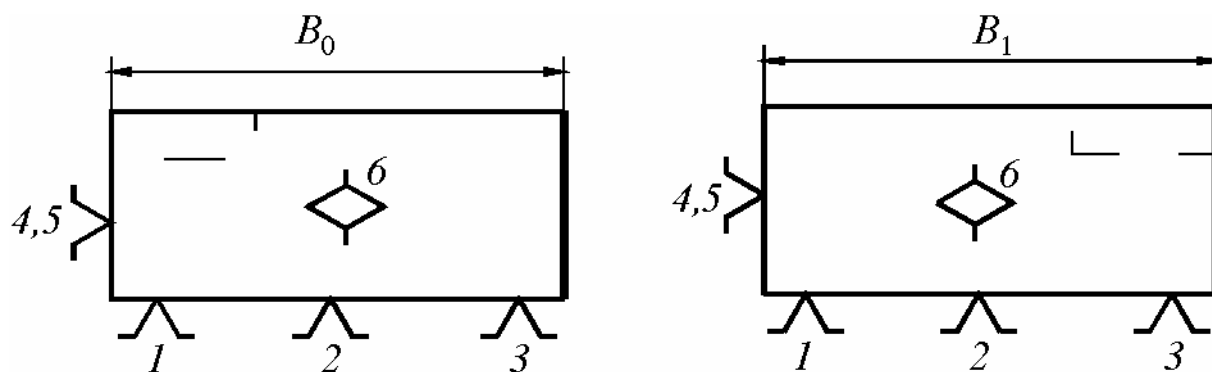


Рисунок 8.8 – Предыдущие операции обработки заготовки

Для анализа процесса накопления погрешностей необходимо построить размерную схему для части технологического процесса обработки боковых сторон детали. Выявить размерную цепь, замыкающим звеном которой является ширина уступа. Определить погрешность замыкающего звена, суммируя погрешности составляющих звеньев. Сопоставить расчетную погрешность замыкающего звена с фактической, полученной измерением ширины уступа в партии заготовок.

8.3 Методика выполнения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы используются:

- 1) горизонтально-фрезерный станок;
- 2) машинные тиски;
- 3) фреза дисковая трехсторонняя, оснащенная пластинками твердого сплава Т15К6;

4) заготовки плитки из стали 45 ГОСТ 1050-88;

5) средства измерения: штангенциркуль 0-125 ГОСТ 166-89, штангенглубиномер 0-160 ГОСТ 162-90.

Выполнение лабораторной работы производится в следующей последовательности:

1) измерить ширину плиток - размер заготовки до обработки B_1 (рисунок 8.8) с помощью штангенциркуля. Определить поле рассеяния размера B_1 , характеризующее точность предыдущей операции ω_{B_1} ;

2) настроить технологическую систему на фрезерование уступа в плитке при совпадении измерительной и технологической баз. Грань плитки, от которой отсчитывается размер уступа, упирается в неподвижную губку тисков (рисунок 8.7а). Ширина уступа должна изменяться от 3 до 5 мм. Режимы обработки: скорость резания $V = 100$ м/мин; подача $S_{мин} \approx 31,5$ мм/мин, глубина резания $t \approx 2$ мм.

3) фрезеровать уступ в партии плиток;

4) штангенглубиномером измерить ширину уступа и определить поле рассеяния ω_{A_Δ} размера A_Δ ;

5) настроить технологическую систему на фрезерование уступа по варианту 8.7б (измерительная и технологическая базы не совпадают). Грань плитки, противоположная той, от которой отсчитывается размер уступа, упирается в неподвижную губку тисков.

6) фрезеровать уступ в партии плиток при тех же режимах обработки;

7) измерить размер B_2 , точность которого определяется данной операцией и размер ширины уступа, имеющий накопленную погрешность $B_{\Delta_{изм}}$. Определить рассеяния данных размеров $\omega_{B_2}, \omega_{B_{\Delta_{изм}}}$.

8) построить размерную схему фрагмента технологического процесса, включающего операции формирования размеров B_0, B_1, B_2 (рисунок 8.7а и рисунок 8.8).

9) сформировать размерную цепь, замыкающим звеном которой является размер ширины уступа B_{Δ} , полученный при несовпадении измерительной и технологической базы. То есть установить, какие размеры влияют на точность этого размера;

10) определить расчетное поле рассеяния ширины уступа $\omega_{B_{\Delta_{расч}}}$ путем суммирования погрешностей составляющих звеньев размерной цепи;

11) сопоставить поля рассеяния $\omega_{B_{\Delta_{расч}}}$ и $\omega_{B_{\Delta_{изм}}}$;

12) сделать вывод по работе.

8.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе № 8 должен содержать следующие разделы:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) эскиз обрабатываемой заготовки по вариантам;
- 3) режимы обработки;
- 4) схемы обработки уступа по вариантам;
- 5) данные замеров заготовок (таблица 8.1);

Таблица 8.1 – Экспериментальные данные

№ заготовки	Ширина плиток B_1 , мм	Размер уступа A_{Δ} , мм	Размер B_1 , мм	Размер уступа $B_{\Delta_{изм}}$, мм
1				
2				
3				
4				
5				
Поле рассеяния, мм				

- 6) размерная схема фрагмента технологического процесса;
- 7) технологическая размерная цепь, выявленная по размерной схеме;
- 8) определение расчетной погрешности ширины уступа $\omega_{B_{\Delta_{расч}}}$;
- 9) разность в процентах между фактической и расчетной погрешностью;
- 10) выводы по работе.

8.5 Вопросы для самопроверки

8.5.1 Каковы основные причины возникновения накопленных погрешностей при выполнении ряда операций механической обработки?

8.5.2 Чем определяется точность размера при совпадении технологической и измерительной базы?

8.5.3 От чего зависит точность размера при несовпадении технологической и измерительной базы?

8.5.4 Как производится анализ накопления погрешностей в технологическом процессе?

8.5.5 Какие мероприятия необходимо произвести, чтобы уменьшить накопленную погрешность?

Список использованных источников

- 1 Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения: учебник для машиностроит. спец. вузов / И. М. Колесов. – 3-е изд. стер. – М. : Высшая школа, 2001. – 591 с.
- 2 ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Введ. 1977-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 35 с.
- 3 Технология машиностроения (специальная часть) / А. А. Гусев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.
- 4 Размерный анализ технологических процессов / В. В. Матвеев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 264 с.