



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Технология машиностроения»

А. А. Пучков, В. Ф. Соболев, А. В. Петухов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по курсу «Технология машиностроения» для студентов
специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»
и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительных производств»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2012

УДК 621.002(075.8)
ББК 34.5я73
П90

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 12.03.2012 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Металлорежущие станки и инструменты»
ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *М. И. Михайлов*

Пучков, А. А.

П90

Основы технологии машиностроения : лаборатор. практикум по курсу «Технология машиностроения» для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительных производств» днев. и заоч. форм обучения / А. А. Пучков, В. Ф. Соболев, А. В. Петухов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 63 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://alis.gstu.by/StartEK/>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены исходные данные для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технология машиностроения». Изложен порядок выполнения работы и оформления отчета.

Для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительных производств» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.002(075.8)
ББК 34.5я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторные работы № 1–3.....	5
Лабораторная работа № 1 Расчет режимов резания и техническое нормирование операции.....	6
Лабораторная работа № 2 Статистическая и динамическая настройки станка на заданный размер детали.....	16
Лабораторная работа № 3 Статистический метод исследования точности механообработки.....	22
Лабораторная работа № 4 Определение погрешности обработки от сил закрепления и неточности установки заготовок в трехкулачковых патронах.....	33
Лабораторная работа № 5 Определение жесткости технологической системы СПИД м вызываемой ею погрешности обработки.....	41
Лабораторная работа № 6 Определение зависимости размерного износа резца и шероховатости обработанной поверхности от пути резания и элементов режима обработки.....	53
Лабораторная работа № 7 Определение суммарной погрешности обработки и прогнозирование ее величины для конкретных условий выполнения токарной операции.....	71
Литература.....	81

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении лабораторных работ студентам необходимо выполнять следующие основные правила техники безопасности:

1. Перед началом выполнения цикла работ в лаборатории необходимо пройти инструктаж по технике безопасности с регистрацией его проведения в кафедральном журнале. Только после этого студент может быть допущен к выполнению лабораторных работ.

2. Необходимо соблюдать общие правила техники безопасности при работе на металлорежущих станках.

3. Станок должен быть оснащен защитным экраном, ограждающим зону обработки и защищающим работающего на станке от отлетающей стружки и брызг смазочно-охлаждающей жидкости.

4. Перед пуском станка проверить наличие заземления.

5. Проверить надежность крепления резца на суппорте, оправки (заготовки) в шпинделе станка и заготовок на оправке.

6. Перед началом работы на станке проверить действие отключающих устройств для перемещения суппорта и вращения шпинделя станка.

7. Не переключать частоту вращения шпинделя станка на ходу.

8. Величину подачи устанавливать только на холостом ходу.

9. Работа студента на станке разрешается только в присутствии учебного мастера и преподавателя, проводящего лабораторную работу со студентами.

10. Студент, находящийся в лаборатории, должен работать только на том оборудовании и с теми приборами, заготовками и т.п., которые необходимы ему для выполнения конкретной лабораторной работы.

Лабораторные работы выполняются последовательно и поэтому студенту необходимо до начала соответствующего занятия самостоятельно прорабатывать и осмысливать материал, изложенный в настоящей работе.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ № 1 – № 3

ЦЕЛЬ РАБОТ: Углубленное изучение, практическое выполнение и приобретение умений и навыков в расчете режимов резания при одноинструментальной обработке на токарном станке, определения технической нормы времени, определения настроечного размера, исследования точности изготовления деталей статистическим методом.

ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ № 1 – № 3

1. Токарно-винторезный станок модели *16К20* или *16Б16КП*.
2. Оправка специальная.
3. Вращающийся центр специальный.
4. Штангенциркуль *ШЦ-I-I-125-0,1* ГОСТ 169-89.
5. Набор щупов *N2* ГОСТ 882-64.
6. Микрометр *МК 25-50* ГОСТ 6507-78.
7. Резец *T15K6* ГОСТ 2101-76.
8. Набор предварительно обработанных деталей (заготовок) – 55...60 шт.
9. Микрокалькулятор.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ № 1 – № 3:

Размер d (см. рис. 1.1) – задается преподавателем; шероховатость $Ra = 3,2$ мкм; точность $11...8$ квалитеты; $b = 10$ мм; *сталь45*; 220 НВ; глубина резания $t = 0,5$ мм; материал режущей части инструмента - твердый сплав *T15K6*, главный угол в плане $\varphi = 45^0$; способ установки заготовки – *на оправке с гарантированным зазором*; вид обработки – *на проход*; модель станка – *16К20* или *16Б16КП* (по указанию преподавателя).

Схема обработки приведена на рис. 1.1.

Примечание – При обработке точением на токарных станках достигаются средние экономические точности и шероховатость обработанных поверхностей [2]:

- предварительное (черновое) точение IT 14..12, $Ra = 12,5$ мкм;
- получистовое IT 12...11, $Ra = 12,5...6,3$ мкм;
- чистовое IT 11...8, $Ra = 3,2$ мкм;
- тонкое IT 7– 6, $Ra = 0,63$ мкм.

Достижимая точность тонкого токарного обтачивания: IT 5 – 6, при шероховатости $Ra = 0,32$ мкм.

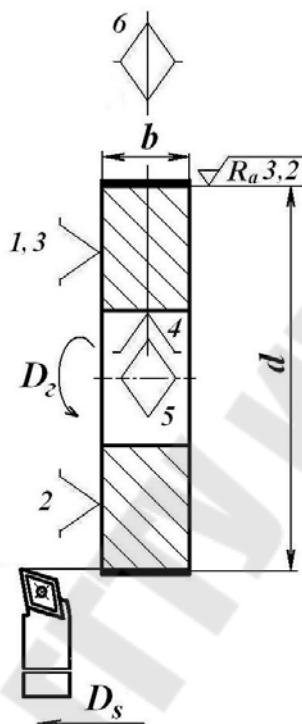


Рис. 1.1. Схема обработки

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ

1.1. Расчет режимов резания

Для случая, когда станок задан последовательность расчета режимов резания по методике, изложенной в литературе [1], следующая:

1. Рассчитывается длина рабочего хода суппорта по формуле

$$L_{px} = L_{рез} + y + L_{дон}, \quad (1.1)$$

где $L_{рез} = b$ – длина резания, мм (длина обрабатываемой поверхности по чертежу);

$y = Y_{вр} + Y_{подв} + Y_n$ – сумма длин врезания ($Y_{вр}$), мм (таблица 1.1), подвода и перебега ($Y_{подв} + Y_n$), мм (таблица 1.2);

$L_{дон}$ – дополнительная длина хода, принимаемая в отдельных случаях из-за особенностей наладки и конфигурации детали.

По главному углу в плане резца и принятой глубине резания определяется длина врезания резца по таблице 1.1 и длины подвода и перебега по таблице 1.2.

Таблица 1.1

Длина врезания $Y_{вр}$

Схема резания	Угол в плане φ	$Y_{вр}$, мм, при глубине резания t , мм					
		до1	2	3	4	5	6
			45	1	2	3	4
60	1	2	2	3	3	4	
70-75	1	1	1	1	2	2	

Таблица 1.2

Длины подвода и перебега.

Заготовка	$Y_{подв} + Y_n$, мм, при точении	
	на проход	в упор
Предварительно обточенная заготовка, прокат	4	2
Поковка, отливка	6	3

2. Назначается подача суппорта на оборот шпинделя S_0 , мм/об, в два этапа:

а) определяется рекомендуемая подача S_0 , мм/об, по нормативам, например, используя литературу [1] (таблица 1.3);

б) уточняется значение подачи S_0 , мм/об, которую возможно

установить на выбранном станке (например, из таблицы 1.4).

Так как обработку на станке, возможно производить только с подачами, которые позволяют установить его коробка подач, то необходима информация о значениях допустимых подач на оборот шпинделя S_0 из паспорта станка. Для некоторых станков такая информация содержится в таблице 1.4.

При чистовой обработке на станке устанавливается меньшая из ближайших подач, имеющих у станка по отношению к подаче, рекомендуемой таблицей 3, а при черновой - ближайшая из имеющих у станка

Таблица 1.3

Рекомендуемая подача на оборот шпинделя.

Материал заготовки	Черновая обработка S_0 суппорта, мм/об, при суммарной глубине ($\sum t + \sum b$), мм					Чистовая обработка при $Ra < 2,5$ мкм $r > 1$ мм
	до 3	5	10	20	40	
Сталь	0,6	0,4	0,30	0,25	0,20	0,11...0,16
Чугун	0,8	0,6	0,45	0,35	0,25	0,15...0,20
Дюралюминий Силумин	0,6...1,0					0,1...0,25

Примечания: 1. $b = t/\sin \varphi$ – ширина среза, мм;

2. r – радиус при вершине, мм.

Таблица 1.4

Ступени продольных подач токарных станков (выборочно)

Модель	Ступени продольных подач S_0 , мм/об									
16К20	0,05	0,06	0,075	0,090	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,25
16Б16КП	0,05	0,06	0,070	0,080	0,1	0,120	0,15	0,170	0,2	0,25

3. Определяется стойкость инструмента в минутах времени резания. Стойкость каждого инструмента наладки в минутах резания T_p , МИН., определяется по формуле

$$T_p = T_m \cdot \lambda, \quad (1.2)$$

где T_m – стойкость в минутах машинной работы, мин.;

λ – коэффициент времени резания.

Стойкость в минутах машинной работы зависит от числа инструментов в наладке и равномерности их загрузки. При работе на одношпиндельных станках одним инструментом в наладке $T_m = 50$ мин. При этом

$$\lambda = L_{px} / L_{рез}. \quad (1.3)$$

4. Рассчитывается скорость резания V , м/мин., и частота вращения шпинделя n , об/мин.

Скорость резания V , м/мин.

$$V = V_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.4)$$

где V_m – табличное значение скорости резания, м/мин., (таблица 1.5);

K_1 – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала (таблица 1.6);

K_2 – коэффициент, зависящий от стойкости инструмента и марки твердого сплава (таблица 1.7);

K_3 – коэффициент, зависящий от вида обработки:

- для наружного точения $K_3 = 1$;

- для растачивания, при диаметре расточки меньше 75 мм, $K_3 = 0,85$;

- для поперечного точения, при отношении:

d_{min}/d_{max}	0...0,4	0,5...0,7	0,8...1
K_3	1,35	1,2	1,05

Таблица 1.5

Табличное значение скорости резания

$t, \text{мм}$	$S_0 \text{ мм/об}$	Скорость резания V_m , м/мин, при угле в плане φ		
		45°	60°	90°
до 2,5	до 0.2	160	150	140
	0.3	135	125	120
	0.4	125	120	115
	0.5	115	110	105
	0.6	110	105	100
	0.8	100	95	93

Примечание – Таблица составлена для обработки стали резцом с твердым сплавом (например, T15K6).

Таблица 1.6

Материал инструмента	Значение коэффициента K_1					
	Марка стали					
	10; 15; 20; 25; 30; 35; 40;45;50 при твердости НВ					
	до 156	207	229	269	302	321
Твердый сплав	1,35	1,0	0,9	0,75	0,7	0,65

Таблица 1.7

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Значение коэффициента K_2				
		K_2 при стойкости резания T_p , мин.				
		до 30	60	100	200	300
Сталь	T15K6	2,00	1,55	1,25	0,90	0,75
	T14K8	1,60	1,25	1,00	0,70	0,60
	T5K10	1,25	1,00	0,80	0,55	0,50

Частота вращения шпинделя n , об/мин., рассчитывается по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (1.5)$$

где: V – скорость резания, м/мин, рассчитанная по (1.4);

d – диаметральный размер обрабатываемой поверхности, мм.

После получения рассчитанного значения частоты вращения n , оно уточняется по паспортным данным станка (см. таблицу 1.8), то есть принимается ближайшее значение из ряда частот вращения шпинделя станка, на котором производится обработка. Это значение частоты вращения устанавливается рукоятками коробки скоростей станка, и именно оно будет обеспечивать реальную скорость резания. Поэтому по установленной частоте вращения n' , об/мин., пересчитывается скорость резания V' , м/мин. с которой будет производиться обработка заготовки

$$V' = \frac{\pi \cdot d \cdot n'}{1000}. \quad (1.6)$$

Таблица 1.8

Частоты вращения шпинделя некоторых токарных станков

Модель	Частота вращения шпинделя n' об/мин													
	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160	125	100	80
16К20	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160	125	100	80
16Б16КП	2000	1600	1250	1000	800	630	500	400	315	250	200	160	125	100

Примечание – Меньшие значения частоты вращения в таблице 1.8 не приведены.

Далее должна производиться проверка установленного на станке режима резания по крутящему моменту и мощности станка, но в лабораторной работе она не проводится, так как принятые исходные данные обработки гарантируют их соблюдение.

1.2 Техническое нормирование

Под технической нормой времени в машиностроении понимается время, необходимое на выполнение операции в заданных организационно-технических условиях.

Определяется норма времени на операцию в следующей последовательности:

- определение нормы основного (машинного) времени t_o , мин.;
- определение вспомогательного времени t_B , мин.;
- определение операционного времени t_{on} , мин.;
- определение дополнительного времени t_{don} , мин.;
- определение штучного времени $t_{шт}$, мин.;
- определение подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$, мин.;
- определение штучно-калькуляционного времени $t_{шт-к}$, мин.

$$t_{шт-к} = t_o + t_B + t_{don} + t_{пз} / k, (1.7)$$

где k - количество деталей в партии, одновременно запускаемой в производство.

1. Определение нормы основного времени.

Под основным временем понимается время t_o , мин., необходимое на непосредственное изменение геометрической формы, размеров

или состояния поверхности обрабатываемой заготовки.

Для точения в один проход

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n}, \quad (1,8)$$

где L_{px} – длина рабочего хода, мм (1.1);

S_o – установленная на станке подача на оборот шпинделя в мм/об;

n – установленная на станке частота вращения шпинделя, об/мин.

Для точения в несколько проходов

$$t_o = \sum_{i=1}^m \frac{L_{pxi}}{S_{oi} \cdot n_i}, \quad (1.9)$$

где L_{pxi} – длина рабочего хода в i -м проходе, мм;

m – общее количество проходов на данной операции, выполняемых на данном станке.

2. Определение вспомогательного времени.

Вспомогательным временем t_g – называется время, затрачиваемое на различные приемы, обеспечивающие выполнение основной работы. Вспомогательное время в зависимости от факторов, влияющих на его продолжительность, в станочных работах подразделяется на:

t_y – на установку и снятие деталей, мин.;

t_n – связанное с переходом (управление механизмами станка; пуск, остановка, переключение частоты вращения шпинделя и подачи, перемещение суппорта на ускоренном ходу и т.д.), мин.;

t_k – на контрольные промеры обрабатываемых поверхностей мин.

Таким образом, вспомогательное время t_g , мин., определяется формулой

$$t_g = t_y + t_n + t_k. \quad (1.10)$$

Значения составляющих t_g можно найти в литературе [3]. При выполнении лабораторной работы t_g (вспомогательное неперекрываемое) может быть рассчитано по данным из литературы [2] (с.197-209).

Для этого, используя нормативную информацию для массового производства [2] рассчитанное значение t_g надо будет умножить на коэффициент 1,85. Учитывая, что масса заготовки явно меньше 0,5 кг,

то время на установку и снятие детали $t_y = 0,15$ мин (таблица 5.1, с.197 [2]). Вспомогательное время на приемы управления станком (связанное с переходом) t_n определяется с использованием таблиц 5.8 и 5.9 [1], содержащими данные норм времени:

- включить или выключить станок: кнопкой – $0,01$ мин; рычагом – $0,02$ мин;

- подвести или отвести инструмент (переместить токарный суппорт в продольном направлении) к детали на длину перемещения до 100 мм – $0,04$ мин.

Время на контрольные промеры t_k определяется с использованием таблицы 5.16 [2], содержащей данные норм времени при длине измеряемой поверхности микрометром до 50 мм и измеряемых размерах: до 50 мм – $0,22$ мин; до 100 мм – $0,22$ мин [2].

3. Оперативное время t_{on} , мин., определяется как сумма основного t_o , мин., и вспомогательного (неперекрываемого) времени t_e , мин.:

$$t_{on} = t_o + t_e. \quad (1.11)$$

4. Определение t_{don} , мин.

Дополнительное время t_{don} , мин., состоит из времени на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, мин., и времени перерывов на отдых и физиологические потребности $t_{ом}$, мин.

$$t_{don} = t_{обс} + t_{ом}. \quad (1.12)$$

где $t_{обс}$ – время обслуживания, мин. – является временем, которое затрачивается рабочим на уход за рабочим местом на протяжении рабочей смены

$$t_{обс} = t_{тех} + t_{орг}, \quad (1.13)$$

$t_{тех}$ – время технического обслуживания, то есть время, затрачиваемое рабочим на уход за рабочим местом при выполнении данной конкретной работы, отнесенное к данной операции, мин. Сюда входит время на смену затупившегося инструмента, правку круга алмазом, на сметание стружки в процессе работы и т.п. Считают время технического обслуживания в процентах к t_o ([2] с.212);

$t_{орг}$ – время организационного обслуживания – это время, затрачиваемое рабочими на уход за рабочим местом преимущественно в начале и конце рабочей смены, мин. Сюда относится время на раскладку и уборку рабочего и вспомогательного инструмента (ключи, под-

кладки под резцы и т. п.) в начале и конце смены, время на чистку и смазку станка в конце рабочей смены и время на осмотр и апробирование станка в начале смены. Считают время организационного обслуживания в процентах к t_o ([2] с.212);

t_{om} – время перерывов на отдых и физиологические потребности тот принимается в процентах к t_{on} ([2] с.213).

Для токарной операции

$$t_{don} = 0,065 \cdot t_{on}. \quad (1.14)$$

5. Определение штучного времени

$$t_{um} = t_{on} + t_{don}. \quad (1.15)$$

6. Определение подготовительно-заключительного времени t_{nz} . Подготовительно-заключительным временем t_{nz} , мин., называется время, затрагиваемое на ознакомление с чертежом и технологическим процессом время необходимое на наладку станка, инструмента и приспособлений для выполнения данной работы, а также время на снятие инструмента и приспособлений, на все приемы, связанные с окончанием данной работы. Для нашего случая t_{nz} можно определить по литературе [3] (карта 19) или [2], (с.215 – 216, таблица 6.1– 6.3).

При выполнении работы принимаем количество деталей в партии для одновременного допуска в производство $k = 50$ и учитываем, что при работе на токарных станках требуется на наладку станка, инструмента и приспособления – 8 мин.; на дополнительные приемы: установка упора – 1,5 мин, резца – 2 мин, величины подачи и частоты вращения шпинделя станка – по 1 мин; на получение инструмента и приспособлений до начала и сдачу их после окончания обработки – 7 мин.

Определив значение нормы подготовительно-заключительного времени, определяем норму штучно-калькуляционного времени с использованием зависимости (1.7). На этом расчет технической нормы времени расчетно-аналитическим методом заканчивается.

1.3. Контрольные вопросы

1.3.1. Что относится к элементам режима резания (обработки)?

1.3.2. Какова последовательность расчета режимов резания в общем случае для токарной операции?

1.3.3. Как устанавливается глубина резания t ?

- 1.3.4. Как определяется длина рабочего хода?
- 1.3.5. Как выбирается подача S_0 ?
- 1.3.6. Как выбираются фактические значения скорости резания и частоты вращения шпинделя станка?
- 1.3.7. Что называется технической нормой времени и в какой последовательности она определяется?
- 1.3.8. Как определяются основное (машинное) время t_m и вспомогательное время t_e и на что они даются?
- 1.3.9. Что включает в себя дополнительное время $t_{дон}$?
- 1.3.10. Что включает в себя подготовительно-заключительное время?
- 1.3.11. Как рассчитываются нормы штучного и штучно-калькуляционного времени?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА СТАНКА

2.1. Некоторые основные положения

Для выполнения любой операции механической обработки заготовок необходимо произвести настройку станка.

Под настройкой понимают процесс установки и закрепления режущего инструмента, приспособлений и других устройств (упоров, кулачков и т.д.) для обеспечения необходимого взаимного положения обрабатываемой заготовки и инструмента, при котором выдерживается заданная точность обработки.

Погрешность настройки станка является одной из основных частей общей погрешности изготовления деталей. Точность настройки зависит от применяемого метода настройки, точности измерительных инструментов и устройств, а также от квалификации исполнителя.

Настраивая станок, нужно знать, как выгоднее поместить поле рассеивания, порождаемое совокупным действием случайных факторов относительно границ установленного допуска. Так, например, при обточке вала выгоднее его смещать в сторону наименьшего предельного размера. При этом, по мере затупления инструмента оно постепенно будет смещаться в сторону наибольшего предельного размера.

Существует два метода настройки станка: статический и динамический.

При статической настройке станка режущие кромки инструмента необходимо установить на определенном расстоянии от базы, относительно которой ориентируется обрабатываемая поверхность. Это расстояние является размером статической настройки.

При статическом методе настройки режущий инструмент устанавливается по различным калибрам и эталонам на неподвижном (неработающем) станке. Часто для этого применяют деталь-эталон, которая устанавливается на место обрабатываемой заготовки. С ней приводится в соприкосновение режущий инструмент, после чего его закрепляют. Чтобы получить рабочий настроечный размер при обработке вала, необходимо иметь деталь-эталон несколько меньших размеров.

Статическую настройку обычно дополняют динамической настройкой, корректируя положение инструмента и упоров при обработке первых заготовок партии.

Динамическая настройка может осуществляться двумя методами:

- 1) настройкой по пробным деталям по рабочему калибру;
- 2) настройкой по пробным деталям с помощью универсального мерительного инструмента.

При первом методе наладчик изготавливает одну или несколько первых деталей и проверяет их размер рабочим предельным калибром. Если эти размеры находятся в пределах допуска, то разрешается продолжить обработку всей партии деталей. Такой метод не может обеспечить работу без брака даже в том случае, когда поле допуска превосходит величину поля рассеивания, так как нет гарантии, что центр группирования измеренных деталей совпадает с центром группирования размеров всей партии деталей. При увеличении количества пробных деталей вероятность появления значительного брака уменьшается, но опасность его появления все же не устраняется.

Второй метод настройки системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) разработан профессором Яхиным А. Б. и дополнен профессором Балакшиным Б. С. для случая обработки наружной поверхности (вала) с рациональным расположением настроечного размера в поле допуска на выполняемый размер.

При этом определение и уточнение настроечного размера производится в следующей последовательности:

1. При статической настройке настроечный размер L_H , мм, совмещается со серединой поля допуска

$$L_H = \frac{L_{max} + L_{min}}{2} \pm \frac{\Delta_H}{2}, \quad (2.1)$$

где L_{max} – максимальный размер по чертежу, мм;

L_{min} – минимальный размер по чертежу, мм;

Δ_H – погрешность настройки, мм; примем для расчета 0,02 мм.

2. Производится настройка станка на полученный размер и для динамической настройки производится обработка четырех заготовок.

3. Определяется среднее арифметическое значение этих четырех деталей L_{cp} , мм

$$L_{cp} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{4}. \quad (2.2)$$

4. Определяется среднеквадратическое отклонение σ'

$$\sigma' = \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m (L_i - L_{cp})^2}, \quad (2.3)$$

где m – количество деталей в группе; $m = 4$;

L_i – размер i -ой детали группы, мм.

5. Определяется минимальный настроечный размер для динамической настройки $L_{\Delta min}$, мм

$$L_{\Delta min} = L_{min} + a + 3 \cdot \sigma' \cdot (1 + \sqrt{m}), \quad (2.4)$$

где a – погрешность измерительных средств, мм; для микрометра $a = 0,01$ мм.

Зависимость (2.4) получена исходя из следующих соображений. При динамической настройке по пробным деталям с помощью универсального мерительного инструмента используется три предпосылки теории вероятности:

- если размеры партии деталей рассеиваются по закону нормального распределения со средним квадратическим σ и если эту партию разбить на группы по m штук в группе и определить среднее арифметическое значение размеров внутри каждой из этих групп, то распределение размеров групповых средних тоже подчиняется закону нормального распределения со средним квадратическим σ' ;

- существует следующая зависимость между σ и σ'

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}; \quad (2.5)$$

- середина поля рассеяния всей партии деталей совпадает с серединой поля рассеяния групповых средних размеров, следовательно, средний размер одной группы деталей (из четырех штук) может максимально из-за разброса размеров не совпадать с серединой поля рассеяния всей партии деталей на величину $3\sigma'$.

Поэтому минимальный настроечный размер при обработке наружной поверхности должен быть больше минимального размера детали по чертежу на величину погрешности измерительных средств a и плюс $3(\sigma' + \sigma)$, чтобы учесть случайный разброс размеров деталей.

6. Определяется максимальный настроечный размер $L_{g \max}$, мм, для динамической поднастройки

$$L_{g \max} = L_{g \min} + \Delta. \quad (2.6)$$

7. Производится динамическая поднастройка системы СПИД в пределах $L_{g \min}$ и $L_{g \max}$.

Выполнение лабораторной работы предусматривает реализацию вышеприведенной методики статической и динамической настройки токарного станка на заданный преподавателем номинальный размер детали, выполненный по $h11$ или $h12$. Значения допусков для заготовок, используемых при выполнении лабораторной работы, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значений допусков по ГОСТ 25348-82 (выборочно)

Квалитет	Значения допусков, мкм, для интервалов размеров, мм			
	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120
IT10	84	100	120	140
IT11	130	160	190	220
IT12	210	250	300	350

2.2. Порядок выполнения работы

1. Настраивается станок на следующий режим обработки: подача $S_o = 0,1$ мм/об, при номинальном размере диаметра $L > 50$ мм рекомендуется частота вращения шпинделя станка $n = 630$ об/мин, при $50 > L > 30$ мм – $n = 800$ об/мин, при $L < 30$ мм – $n = 1000$ об/мин. Глубина резания t должна быть от 0,5 до 1,0 мм (предопределяется диаметрами заготовок и заданным размером обработки).

2. Определяется величина настроечного размера для статической настройки станка L_n , мм, по формуле (2.1).

3. Для получения «эталоны» устанавливается заготовка и обрабатывается в размер, $L_э$, мм, меньший на 0,2...0,3 мм, чем настроечный размер L_n , мм.

4. Определяется толщина щупа, необходимая для выставления вершины резца на размер статической настройки по полученному «эта-

лону», с использованием зависимости $C = \frac{L_n - L_э}{2}$.

5. С использованием щупа толщиной C производится статическая настройка станка по эталону на настроечный размер L_n , мм, (щуп должен только «закусывать»).

6. Производится обработка четырех пробных деталей для последующего осуществления динамической настройки станка.

7. Производится измерение (микрометром) изготовленной группы деталей (четыре штуки). Причем замер производится в средней части толщины диска дважды с поворотом его вокруг продольной оси на 90° (в дальнейших расчетах используется среднее значение размера).

8. Производятся расчеты, связанные с динамической настройкой станка: определяется среднее арифметическое значение L_{cp} , мм, с использованием зависимости (2.2), затем среднеквадратичное отклонение σ' по зависимости (2.3) и, наконец, минимальный настроечный размер $L_{g\ min}$, мм, по зависимости (2.4) ($L_{g\ max}$ можно не определять).

9. Производится динамическая настройка станка, для чего:

- на станок устанавливается изготовленный ранее эталон;
- подводится резец к эталону так, чтобы можно было измерить щупом зазор между эталоном и резцом - в результате получаем размер B_1 , мм;

- определяется величина $B_2 = (L_{g\ min} + 0,01 - L_{cp}) / 2$;

- определяется толщина щупа для динамической поднастройки станка: $B = B_1 + B_2$ (величина B_2 , мм, берется со своим знаком);

- устанавливается резец по отношению к эталону на величину B , мм – в результате произвели динамическую поднастройку системы СПИД в заданных пределах.

10. Обрабатывается 50 заготовок.

11. Производится измерение диаметров 50 деталей. Причем замер производится в средней части толщины диска дважды с поворотом его вокруг продольной оси на 90° . По каждому диску данные двух измерений и их средние значения заносятся в таблицу результатов измерений.

2.3. Оформление отчета

Отчет должен содержать: название работы, цель работы, краткое содержание основных положений, перечень оборудования и оснастки, используемых при выполнении лабораторной работы, последователь-

ность выполнения работы со всеми необходимыми расчетами и данными, полученными при выполнении работы. При этом результаты замеров 50 деталей оформляются в виде отдельной таблицы, в шапке которой должны быть: порядковый номер детали (от 1 до 50), значения двух замеров по каждой детали и их средние значения. Следует иметь в виду, что средние значения всех 50 деталей будут использоваться в качестве исходных данных для выполнения последующей лабораторной работы.

2.4 Контрольные вопросы

- 2.4.1. Что понимается под настройкой станка?
- 2.4.2. От чего зависит точность настройки?
- 2.4.3. Какие существуют методы настройки станка и их суть?
- 2.4.3. Что такое настроечный размер и как он определяется при статической и динамической настройке станка?
- 2.4.4. Какова последовательность действий при статической настройке с динамической поднастройкой станка, используемая при выполнении лабораторной работы?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ МЕХАНООБРАБОТКИ

3.1. Некоторые основные положения

При обработке деталей на металлорежущих станках возникает ряд погрешностей, источниками которых являются элементы технологической системы СПИД. Погрешности обработки делятся на три вида:

1) систематические постоянные - погрешности, которые сохраняют

свое значение при изготовлении каждой новой детали;

2) систематические закономерно изменяющиеся - погрешности, которые закономерно изменяются при обработке каждой новой заготовки;

3) случайные - погрешности, которые при изготовлении новой детали могут принять любое численное значение, заранее не известное.

К систематическим постоянным погрешностям можно отнести погрешности теоретической схемы обработки, мерного режущего инструмента, настройки станков.

К систематическим закономерно изменяющимся погрешностям можно отнести погрешности, возникающие из-за износа режущего инструмента, переменной жесткости системы СПИД, вызванные тепловыми деформациями системы СПИД.

Зная величину постоянной систематической погрешности, ее можно устранить или компенсировать. Аналогичные меры можно предпринять для компенсации систематической закономерно изменяющейся погрешности, если известен закон ее изменения.

Сложнее выявить и компенсировать действие случайных погрешностей. Они возникают в результате проявления большого количества не связанных между собой случайных факторов. Случайные погрешности возникают из-за упругих деформаций системы СПИД, зазоров в отдельных узлах станка, неравномерности процесса резания, образования и срыва наростов на лезвии режущего инструмента, упругих деформаций детали под действием колеблющейся силы зажима, внутренних напряжений в материале заготовки и т.д.

Учет этих факторов во всей их совокупности (для получения возможности достоверно предсказать ожидаемую погрешность обработки) возможен на основании законов теории вероятности и математиче-

ской статистики, т.е. с использованием статистического метода исследования точности обработки.

Сущность статистического метода можно пояснить следующим образом. Если на оси абсцисс отложить в соответствующем масштабе размеры измеренных деталей, а на оси ординат - частотность или количество деталей данного размера, то размер каждой детали в виде точки расположится в поле Δ рассеивания размеров. Выбрав количество интервалов K , можно разбить поле рассеивания Δ на ряд интервалов ΔX размеров

$$\Delta X = \frac{\Delta}{K} = \frac{X_{max} - X_{min}}{K}. \quad (3.1)$$

Числовое значение количества деталей m , попадающих в каждый интервал, или их частота попадания (m/n) позволит построить ступенчатую диаграмму или гистограмму рассеивания. Соединив середины отдельных столбцов прямыми линиями, получим так называемую кривую рассеивания или полигон распределения (см. рис. 3.1). Площадь под кривой (если по оси Y отложены значения m) определяет в известном масштабе число n измеренных размеров

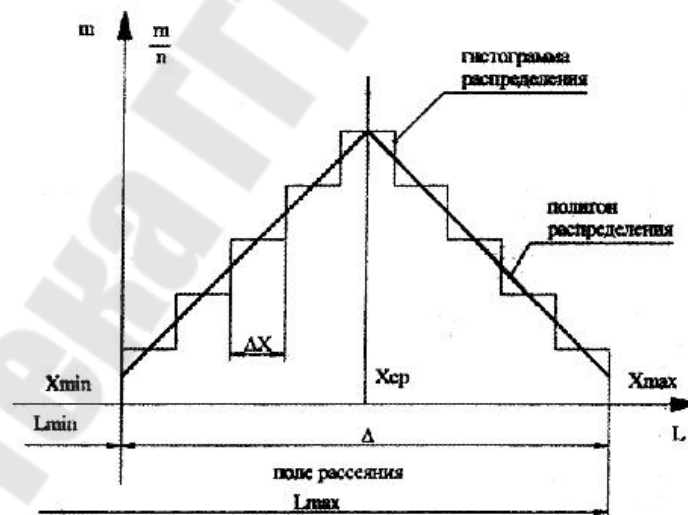


Рис. 3.2. Гистограмма и полигон распределения

$$n = m_1 + m_2 + \dots + m_k. \quad (3.2)$$

При бесконечном количестве интервалов вместо ступенчатой получаем плавную кривую распределения, которая может быть выражена

математически $y = \varphi(x)$. Уравнение, которому подчиняется эта кривая, называется законом распределения.

При устойчивом процессе обработки заготовок на настроенных станках действительные размеры деталей, как правило, подчиняются закону нормального распределения, функция распределения случайной величины которого имеет следующее выражение (кривая Гаусса)

$$y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{(X_i - X_{cp})^2}{2\sigma^2}}. \quad (3.3)$$

Графическое изображение теоретической кривой нормального распределения приведено на рис. 3.3.

Положение кривой относительно начала координат и ее форма определяются двумя параметрами X_{cp} и σ . С изменением X_{cp} форма кривой не изменяется, но изменяется ее положение относительно начала координат. С изменением σ положение кривой не изменяется, но изменяется ее форма.

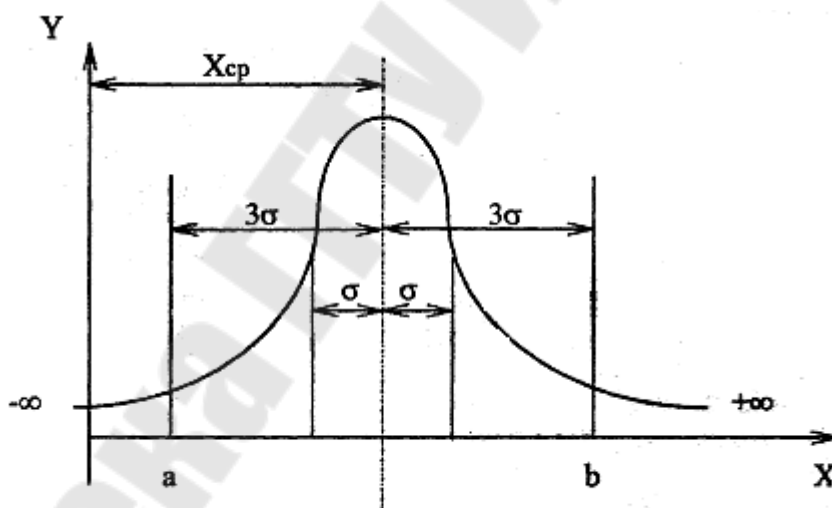


Рис. 3.3. Теоретическая кривая нормального распределения

Таким образом, кривая нормального распределения однозначно определяется в пространстве (в выбранной системе координат) двумя параметрами:

-положением центра группирования размеров или средним арифметическим значением размера, относительно которого происходит группирование отклонений размеров, – X_{cp} ;

- среднеквадратическим отклонением σ размеров от их среднего значения X_{cp} .

Значения X_{cp} и σ могут быть определены по зависимостям, аналогичным (2.2) и (2.3) из предыдущей лабораторной работы, что сопряжено, однако, с большим объемом вычислений. Поэтому, применяя математический прием группирования данных, для дискретных величин определяют значения X_{cp} и σ используя следующие зависимости

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i \cdot m_i ; \quad (3.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i - x_{cp})^2 \cdot m_i} , \quad (3.5)$$

где x_i – среднее значение i -го интервала (всего K интервалов);

m_i – количество попаданий размеров в i -й интервал;

n – общее количество измеренных деталей (объем выборки).

Возможны и другие законы распределения случайных величин, такие, как закон равной вероятности, Симпсона, Максвелла и др. и их композиции, для которых по соответствующим зависимостям, зная значение σ , определяется ширина поля рассеяния Δ случайной величины рассматриваемой выборки. Поэтому возникает необходимость подтверждения, какому из законов распределения принадлежит кривая фактического распределения (полигон распределения) рассматриваемой (изучаемой) выборки.

Так, для подтверждения того, что фактическое распределение подчиняется закону нормального распределения, поступают следующим образом (графический способ). На одном графике строится кривая фактического распределения и нормального распределения с приведением ее к масштабу фактического распределения. Для этого определяются четыре значения ординаты по следующим зависимостям

$$Y_{\max} = 0,4 \cdot n \cdot \frac{\Delta x}{\sigma} ; Y_{\sigma} = 0,24 \cdot n \cdot \frac{\Delta x}{\sigma} ;$$

$$Y_{2\sigma} = 0,08 \cdot n \cdot \frac{\Delta x}{\sigma} ; Y_{3\sigma} = 0,014 \cdot n \cdot \frac{\Delta x}{\sigma} , \quad (3.6)$$

где: n – объем выборки;

ΔX – ширина интервала (см. рис. 3.2);

σ – среднее квадратическое отклонение, определенное по (3.5);

Y_{max} – значение ординаты, соответствующее X_{cp} ;

$Y_{\sigma}, Y_{2\sigma}, Y_{3\sigma}$ – значения ординат, соответствующие отклонениям вправо и влево от X_{cp} на величину, соответственно, равную $\sigma, 2\sigma$ и 3σ .

По полученным семи значениям ординат (точкам) строится кривая нормального распределения, которая имеет точки перегиба на ординатах, равных Y_{σ} . В случае соответствия кривой фактического распределения закону нормального распределения, значение ширины поля рассеяния Δ определяется по формуле

$$\Delta = 6 \cdot \sigma, \quad (3.7)$$

что гарантирует попадание 99,73% всех размеров в это поле рассеяния.

Статистический метод используется при решении следующих шести основных групп задач, возникающих при механообработке заготовок для получения готовых деталей необходимого качества:

1. На базе сравнительно небольшого количества замеренных деталей (50 – 100 штук) имеется возможность определить точность выполнения операции на заданном станке, а также составить обоснованные нормативы точности и величину поля рассеяния, которую можно ожидать на каждом станке или операции технологического процесса. Данная группа задач фактически сводится к нахождению величины поля рассеяния, которая определяется в следующей последовательности:

- берется выборка (обрабатывается 50 штук деталей) и замеряются полученные размеры;
- используя метод группирования данных разбивается весь диапазон полученных значений на 5-9 интервалов и определяется количество попаданий размеров в каждый интервал;
- определяются значения X_{cp} и σ по зависимостям (3.4) и (3.5);
- уточняется закон распределения рассматриваемой выборки, например, графическим способом с использованием зависимостей (3.6);
- определяется ширина (величина) поля рассеяния, напри-

мер, для закона нормального распределения с использованием зависимости (3.7).

Данная задача будет более подробно изучена при выполнении рассматриваемой лабораторной работы.

2. Определить процент годных и бракованных деталей в данной партии, а также исправимый и неисправимый брак. На рис. 3.4 изображена кривая нормального распределения с полем рассеяния Δ , которая характеризует статистическую обработку партии деталей, изготовленной на каком-то оборудовании. Возможны случаи, что допуск на размер детали T по отношению к полю рассеяния Δ будет занимать положение, изображенное на рис. 3.4, причем, в случаях *a)* и *г)* середина полей допусков совпадает с серединой поля рассеяния, т. е. с центром группирования размеров, а в случаях *б)* и *в)* – не совпадает. Если $T < \Delta$, то брак неизбежен и будет соответствовать величине площадей *б* и *в* под кривой нормального распределения. Причем, например, при обработке валов исправимый брак будет соответствовать площади *б*, а неисправимый брак – *в*. При обработке отверстий – наоборот. При $T > \Delta$ (рис. 3.4 *б* – *г*), если середина поля допуска совпадает с серединой поля рассеяния (рис. 3.4 *г*), то брака не будет и в данном случае при обработке не будут получаться размеры, соответствующие полю допуска *1* и *2*; если же середина поля допуска не совпадает с серединой поля рассеяния, то возможен как брак (соответствующий величинам площадей *5* либо *б*), так и отсутствие при обработке размеров, лежащих, соответственно, в пределах полей допусков *3* либо *4*.

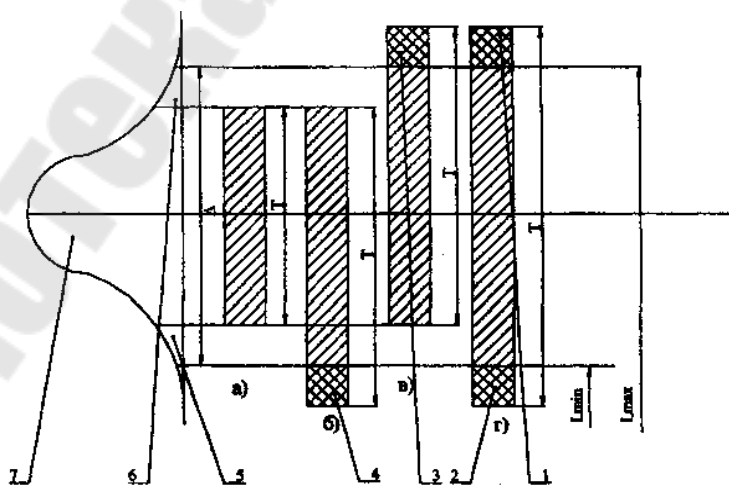


Рис. 3.4. Схема взаимного расположения поля рассеяния и поля допуска

Расчет процента годных и бракованных деталей производится обычно с использованием таблиц, которые отображают функцию Лапласа. При выполнении лабораторной работы процент годных и бракованных деталей определяется приближенно как отношение соответствующих площадей (6 или 5) к площади под всей кривой нормального распределения (7).

3. Учесть производственные погрешности, когда аналитический расчет их из-за влияния трудно учитываемых факторов, особенно при изготовлении изделий высокой точности, не дает надежного решения.

Например, в аналитическом методе расчета прогнозируемой величины погрешности обработки упругие отжата технологической системы СПИД могут иметь погрешность при их определении, сопоставляемую с величиной допуска, получаемого при обработке размера. Поэтому использовать аналитический метод расчета в этом случае не имеет смысла. При статистическом же методе исследования точности обработки, приняв (выбрав) точность используемого измерительного средства в 6...10 раз точнее допуска на контролируемый размер, мы гарантируем достоверность получаемого результата расчета.

4. По характеру закона распределения и его расположению по отношению к полю допуска дифференцировать случайные и систематические погрешности, что облегчает изыскание путей повышения точности изготовления. Действительно, если для закона нормального распределения кривая фактического распределения симметрична относительно своего центра группирования размеров, то при обработке отсутствуют систематические закономерно изменяющиеся погрешности. При этом, если центр группирования размеров совпадает с серединой поля допуска, то отсутствуют и систематические постоянные погрешности. Если же центр группирования размеров не совпадает с серединой поля допуска и кривая фактического распределения не симметрична, то при обработке имеются в наличии все три вида погрешностей.

5. Появляется объективная возможность сравнивать точность работы на разных станках и найти оптимальное число однотипных операций или число проходов для заданной степени точности. Так, каждый метод обработки, выполняемый на конкретном станке, имеет определенное значение величины поля рассеяния получаемых размеров. Зная, какая требуется точность размера, подбирается станок (метод обработки), дающий поле рассеяния несколько меньшее, чем значение допуска на выполняемый размер. Проведя последовательно 2...4 обработки одной и той же поверхности, наблюдается уменьшение и

дальнейшая стабилизация ширины поля рассеяния. Это свидетельствует о том, что дальнейшее увеличение числа проходов без дополнительного усовершенствования процесса не повышает точность обработки.

6. Найти величину межоперационных допусков для заданного метода обработки, организовать методы статистического контроля выполняемого техпроцесса (операции) и др. При этом для назначения межоперационных допусков находят поля рассеяния (первая задача) при получении промежуточных размеров и по найденным значениям назначают несколько большие величины допусков (для обеспечения обработки без брака).

Сущность метода статистического контроля сводится к тому, что контроль и промеры готовой продукции осуществляются во время обработки заданной партии деталей выборочно. Результаты замера наносятся на контрольной диаграмме в виде точки (рис. 3.5).

На диаграмме проводят границы, соответствующие полю допуска (T), и линии, определяющие пределы настройки или контрольные (a – величина погрешности измерения). По мере работы станка из-за износа режущего инструмента размер каждой детали несколько изменяется и отметки на поле допуска перемещаются к предельному верхнему отклонению (при обработке наружных цилиндрических поверхностей) и когда размеры приблизились к нему, то требуется переналадка станка. Обычно контролируют 5...10% всей продукции, т.е. каждую 10...20 деталь по мере их изготовления.



Рис. 5. Диаграмма статистического контроля

3.2. Порядок выполнения работы

1. Для выполнения работы в качестве исходных данных используются результаты средних замеров 50 деталей, полученные при выполнении предыдущей работы, а также значение заданного преподавателем размера детали, который необходимо обеспечить при обработке.

2. Определяются минимальное (X_{min}) и максимальное (X_{max}) значения среди имеющихся данных и, задавшись 5 или 7 интервалами (K), рассчитывается ширина интервала ΔX с использованием зависимости (3.1). $K = 5$ обеспечивает меньший объем дальнейших вычислений.

3. Подготавливается таблица по форме таблицы 3.1.

4. Записываются значения интервалов в 1 колонку таблицы 3.1.

5. Определяются середины каждого интервала и значения заносятся во 2 колонку таблицы 3.1.

Таблица 3.1

Статистическая обработка результатов эксперимента

Интервалы	Средины интервалов, X_i	m_i	$X_i \cdot m_i$	$X_i - X_{cp}$	$(X_i - X_{cp})^2$	$(X_i - X_{cp})^2 \cdot m_i$
1	2	3	4	5	6	7
$\sqrt{\quad} - \sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$
...
$\sqrt{\quad} - \sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$
-	-	$\sqrt{\quad}$	$\sqrt{\quad}$	-	-	$\sqrt{\quad}$

6. Определяется частота попадания экспериментальных размеров в каждый интервал и данные заносятся в 3 колонку. Причем, если значение находится на границе двух интервалов, то необходимо в каждый интервал записать по 0,5 попадания. Построчная сумма 3 колонки даст количество замеренных деталей и записывается в таблицу.

5. Для каждого интервала подсчитываются произведения $X_i \cdot m_i$ и значения заносятся в 4 колонку. Построчная сумма 4 колонки заносится в таблицу.

6. Определяется среднеарифметический размер по зависимости (3.4).

7. Заполняются построчно 5, 6 и 7 колонки таблицы, подсчитывается построчная сумма 7 колонки и записывается в таблицу.

10. Определяется величина среднеквадратического отклонения σ по зависимости (3.5).

11. Производятся необходимые расчеты для приведения к масштабу кривой нормального распределения с использованием зависимостей (3.6).

12. Строятся на одном графике кривые фактического и теоретического распределения и поле допуска на исследуемый размер (в едином масштабе).

13. Рассчитывается точность обработки на исследуемой операции Δ по формуле (3.7).

14. Делаются выводы по выполненной работе. Для этого график (см. пункт 12) дополняется положением ширины поля рассеяния Δ и по взаимному расположению его и поля допуска выявляется: имеется ли брак (какой и в каком объеме), имеется ли часть поля допуска (какая по величине) для компенсации размерного износа режущего инструмента, если есть неисправимый брак, то, как его избежать.

3.3. Оформление отчета

Отчет по данной работе должен содержать: исходные данные для выполнения работы (если эта работа оформляется в отдельной тетради, в противном случае – нет необходимости их повторять, т. к. они имеются в предыдущей работе); расчет ширины интервала; заполненную таблицу статистической обработки результатов эксперимента, расчеты значений X_{cp} , σ ; график (см. пункт 12 и 14); расчет ширины поля рассеяния Δ выводы по выполненной работе.

3.4. Контрольные вопросы и задания

3.4.1. Виды погрешностей.

3.4.2. Сущность статистического метода исследования точности.

3.4.3. Что такое гистограмма и полигон (фактическое) распределения?

3.4.4. Как определяется и что собой характеризует среднее арифметическое значение (центр группирования или центр рассеяния) исследуемого параметра?

3.4.5. Как определяется и что собой характеризует среднее квадратическое отклонение (мера рассеяния случайной величины относительно центра группирования)?

3.4.6. Какие основные задачи решаются статистическим методом исследования точности техпроцесса?

3.4.7. Какова последовательность действий для определения точности обработки на станке?

3.4.8. Как определяется процент годных и бракованных деталей, а также исправимый и неисправимый брак?

3.4.9. Каким образом можно дифференцировать случайные и систематические погрешности?

3.4.10. Как сравнивается точность работы на разных станках?

3.4.11. Как определяется необходимое число однотипных операций или проходов для заданной степени точности обработки?

3.4.12. Сущность метода статистического контроля.

3.4.13. Какова последовательность получения экспериментальных данных для исследования точности обработки дисков статистическим методом?

3.4.14. Какова последовательность обработки этих экспериментальных данных?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТ СИЛ ЗАКРЕПЛЕНИЯ И НЕТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК В ТРЕХКУЛАЧКОВЫХ ПАТРОНАХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Углубленное изучение, практическое выполнение и приобретение навыков и умений по определению погрешности обработки от сил закрепления и неточности установки заготовки и трехкулачковом патроне

4.1. Общие положения

При использовании приспособлений возможно появление погрешности установки обрабатываемых заготовок. Погрешность установки ε , как одна из составляющих общей погрешности выполняемого размера, состоит из погрешности базирования, погрешности закрепления и погрешности положения заготовки, вызываемой неточностью приспособления.

Погрешностью базирования называют разность предельных расстояний от измерительной базы заготовки до установленного на размер инструмента. Погрешность базирования возникает при несовмещении измерительной и технологической баз заготовки; она определяется для конкретного выполняемого размера при данной схеме установки.

Погрешность базирования влияет на точность выполнения размеров, точность взаимного расположения поверхностей и не влияет на точность их формы. Для устранения и уменьшения погрешности базирования следует совмещать технологические и инструментальные базы, повышать точность выполнения размеров технологических баз, выбирать рациональное расположение установочных элементов и назначать правильно их размеры или уменьшать зазоры при посадке заготовок на охватываемые установочные элементы.

Погрешностью закрепления называется разность предельных расстояний от измерительной базы до установленного на размер инструмента в результате смещения обрабатываемых заготовок под действием сил закрепления. Для партии заготовок эта погрешность равна нулю, если смещение хотя и велико, но постоянно; в этом случае положение поля допуска выполняемого размера может быть скорректи-

ровано настройкой станка.

В общем случае усилия зажима должны быть достаточными для надлежащего крепления и в тоже время не должны вызывать деформаций, искажающих форму деталей и нарушающих точность изготовления. Например, под действием зажимных усилий кольцо (рис. 4.1, *a*) или станина (рис. 4.1, *б*) упруго деформируются, и если в таком состоянии они будут обрабатываться, то после ослабления зажимов, форма обработанной поверхности исказится. Поэтому часто для повышения точности изготовления малоустойчивых деталей, последний окончательный проход последним режущим инструментом производят в полузажатом состоянии детали.

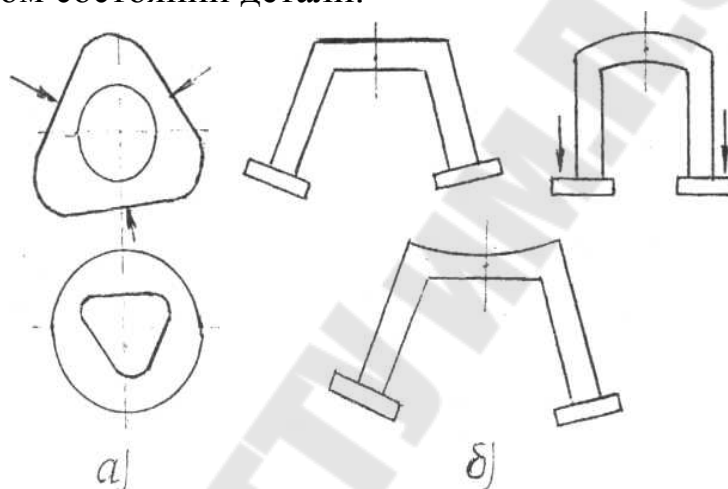


Рис. 4.1 Схемы влияния усилий закрепления на общую погрешность при обработке кольца (*a*) и станины (*б*)

Зажимное усилие характеризуется: а) величиной действующей зажимной силы; б) направлением ее; в) точкой приложения силы.

Следует отличать закрепление деталей принудительное и основанное на действии силы трения. При принудительном закреплении деталь оказывается зажатой между одним или несколькими крепежными элементами приспособления таким образом, что ее перемещение в определенном направлении без разрушения этих элементов невозможно. Если приспособление правильно сконструировано, то прилагая сравнительно небольшое усилие, можно достичь весьма надежного ее закрепления. Если же зажимное устройство основано только на действии трения, то для получения надежного закрепления придется прилагать очень большое усилие, т.к. коэффициент трения имеет значение меньше единицы.

Для повышения коэффициента трения применяют насечки на кулачках и подобных зажимных элементах. Однако это возможно, если поверхности прижима еще не обработаны начисто. Большие усилия вызывают деформации даже на первый взгляд жестких деталей, тогда как менее жесткие детали деформируются от самых незначительных усилий. Поэтому для повышения точности обработки следует стремиться к тому, чтобы усилие резания и другие большие усилия всегда воспринимались упорами или другими элементами, не зависящими от наличия сопротивления трения.

Установка обрабатываемых заготовок по базовым поверхностям предполагает полноту совпадения ее опорной поверхности с соответствующей установочной поверхностью приспособления. Однако в практике известно, что фактическая точность размеров заготовок, полученная при их обработке на настроенных станках, в значительной степени зависит также и от метода установки заготовки в том или ином приспособлении. Так, при установке заготовки в трехкулачковом патроне, возникают погрешности закрепления в радиальном и осевом направлениях.

При закреплении деталь, вследствие наличия целого ряда причин при разных условиях, не занимает в направлении оси одно и то же направление и, тем самым возникают дополнительные погрешности при получении размеров детали, отсчитываемых в осевом направлении от опорного торца. На смещение детали оказывает влияние величина и стабильность усилия зажима. В связи с тем, что колебания усилия зажима носят случайный характер, то и погрешность закрепления также будет случайной. Колебание усилия зажима детали вызывает неравномерность деформации между поверхностями кулачков и патрона, смятия поверхностных неровностей в местах контактах, заготовки и поверхности кулачков. Это вызывает перекося кулачков и изменение положения зажатой в них детали в осевом направлении.

При этом, если деталь (образец) будет занимать при закреплении одно и то же угловое положение, то величина фиксируемой погрешности предопределяется только силами закрепления. Если же деталь при каждом новом закреплении будет проворачиваться и, следовательно, занимать случайное угловое положение, то неточности изготовления образца (детали) будут сказываться на величине получаемой погрешности в осевом направлении, которая в данном случае будет предопределяться погрешностью уже установки заготовки, а не только силами закрепления.

При определении величины погрешности в радиальном направлении наблюдается аналогичная картина и поэтому можно считать, что если деталь при каждом новом закреплении будет проворачиваться, то получаемая величина отклонения будет характеризовать погрешность установки в радиальном направлении. Если же деталь проворачиваться не будет – то только величину погрешности от сил закрепления.

Погрешность положения заготовки, вызываемая неточностью приспособления, определяется ошибками изготовления и сборки его установочных элементов, их прогрессирующим износом, а также ошибками установки и фиксации приспособления на станке. Составляющую погрешности установки характеризует неточность положения установочных элементов приспособления. При использовании одного приспособления она представляет собой систематическую постоянную погрешность. Ее можно устранить соответствующей настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений, а также многоместных приспособлений эта погрешность не компенсируется настройкой станка и входит полностью в погрешность приспособления. Составляющую погрешности фиксации на станке характеризует изменение положения контактных поверхностей установочных элементов в результате их износа в процессе эксплуатации приспособления. Погрешность эта возникает в результате смещений и перекосов корпуса приспособления на столе, планшайбе или шпинделе станка.

Величины погрешности установочных элементов, установки на станке и их прогрессирующий износ характеризует расстояние между предельными проекциями измерительной базы обрабатываемых заготовок на направление выполняемого размера. В проектных технологических расчетах их можно рассматривать как поля рассеяния случайных величин, распределения которых в первом приближении можно принять по закону нормального распределения.

4.1 Проверка на однородность наблюдений выборки

С целью уменьшения объема экспериментального материала данную лабораторную работу целесообразно проводить, получая выборку объемом 25 и, используя методику обработки ее, приведенную в предыдущей лабораторной работе № 3. При этом целесообразно крайние (или крайний, вызывающий сомнение) элементы выборки

проверить на однородность наблюдений выборки с помощью τ – критерия следующим образом [6].

Если X - крайний элемент выборки, по которой подсчитывается \bar{X} и S (в предыдущей лабораторной работе № 3 обозначено как σ), величина $\tau = |X - \bar{X}| / S$, называемая максимальным относительным отклонением, имеет специальное распределение, которое зависит только от объема выборки n на уровне значимости p .

В таблице 10 приведены квантили τ_{1-p} этого распределения при различных n . При этом квантилем τ_p распределения случайной величины τ с функцией распределения $F(x)$ называется решение уравнения $F(\tau_p) = p$.

Таблица 10

Квантили распределения максимального относительного отклонения τ_{1-p}

Номер по порядку	Уровни значимости p			Номер по порядку	Уровни значимости p		
	0.1	0.05	0.01		0.1	0.05	0.01
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,65	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	18	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,27	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2Д7	2,37	20	2,45	2,62	2,96
9	2,10	2,24	2,46	21	2,47	2,64	2,98
10	2,15	2,29	2,54	22	2,49	2,66	3,01
11	2,19	2,34	2,61	23	2,50	2,68	3,03
12	2,23	2,39	2,66	24	2,52	2,70	3,05
13	2,26	2,43	2,71	25	2,54	2,72	3,07
14	2,30	2,46	2,76	26	2,56	2,74	3,09

С помощью τ – распределения получается критерий совместности крайнего элемента с остальными, не использующий никаких других сведений, кроме самой выборки, на основании которой получаются (находятся) значения среднего \bar{X} и среднеквадратического S . Согласно этому критерию крайнее значение X отбрасывается, как грубо ошибочное (на уровне значимости p ; при выполнении лабора-

торных работ можно принимать $p = 0,05$), если

$$\frac{|X - \bar{X}|}{S} > \tau_{1-p} \text{ или } \tau > \tau_{1-p}. \quad (4.1)$$

При выполнении лабораторных работ достаточно найти значения τ для минимального τ_1 и максимального τ_2 значений выборки и проверить их по значению квантиля распределения τ_{1-p} для $p = 0,05$. Если оказались грубо ошибочными минимальное или (и) максимальное значение, выборки, то оно исключается из выборки и для уточнения выборки вновь определяются значения среднеарифметического \bar{X} и среднеквадратического S , и так далее пока не будет грубо ошибочных крайних значений исследуемой выборки, либо надо воспользоваться рекомендациями, приведёнными на с.150 [6].

4.2. Оборудование и оснастка

1. Токарно-винторезный станок модели *16K20* или *16Б16КП*.
2. Оправка двухступенчатая спец.
3. Индикатор часового типа *ИЧ-10 ГОСТ 577-68* (2шт.).
4. Штатив *Ш- III ГОСТ 10197-70* (2шт.).

4.3. Порядок выполнения и оформления работ

4.3.1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.1

Определение погрешности в осевом и радиальном направлениях от закрепления заготовок в трехкулачковом патроне

1. Установить заготовку (двухступенчатую оправку) в трехкулачковый патрон и, не закрепляя ее плотно прижать буртикам к торцевым поверхностям кулачков.

2. Установить на станке два штатива с индикаторами таким образом, чтобы измерительный наконечник одного индикатора выходил на торцевую поверхность заготовки, а второго - на цилиндрическую образующую оправки в горизонтальной плоскости. Целесообразно, чтобы наконечник первого индикатора имел сферическую поверхность контакта с заготовкой, а второго - плоскую. Индикаторы устанавливаются с натягом $1 \dots 2$ мм, а стрелки их выводятся на нуль.

3. Не проворачивая оправку вокруг ее продольной оси много-

кратно (25 раз) закрепляется заготовка. При каждом закреплении фиксируются дважды показания индикатора; определяется их среднее значение и заносятся данные в таблицу результатов эксперимента.

4. Произвести математическую обработку экспериментальных данных на однородность наблюдений выборки и для однородной выборки определить величины погрешностей в осевом и радиальном направлениях от сил закрепления заготовок, которые будут равны $\bar{X} \pm \frac{6S}{2}$.

5. Сделать выводы о проделанной работе, обратив внимание на причины, вызывающие появление погрешностей в осевом и радиальном направлениях от сил закрепления заготовок.

4.3.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.2

Определение погрешности в осевом и радиальном направлениях при установке заготовок в трехкулачковом патроне

Данная работа выполняется аналогично лабораторной работе № 4.1 (см. п. 4.4.1. настоящих методических указаний) только заготовка перед каждым новым закреплением проворачивается на неопределенную угловую величину вокруг своей продольной оси. Такой поворот заготовки обеспечивает получение погрешности в осевом и радиальном направлениях при установке заготовок, а не только от сил закрепления.

4.5 Оформление отчета.

По лабораторным работам № 4.1 и № 4.2 оформляется общий отчет, который должен содержать краткие сведения по общим положением, последовательность выполнения каждой работы с приведением полученных экспериментальных данных, их математической обработке и выводов.

4.5. Контрольные вопросы и задания

4.5.1. Из каких элементов складывается погрешность установки?

4.5.2. Дайте характеристику каждому из элементов погрешности установки.

4.5.3. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на величину погрешности от сил закрепления заготовки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне в осевом и радиальном направлениях?

4.5.4. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на величину погрешности установки в трехкулачковом патроне (в осевом и радиальном направлениях)?

4.5.5. В чем суть проверки на однородность наблюдений выборки?

4.5.6. Как определяется величина погрешности для однородной выборки?

4.5.7. Какова последовательность действий при определении величины погрешности от сил закрепления заготовки в самоцентрирующем трехкулачковом патроне (в осевом и радиальном направлениях)?

5. Лаборатории работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СПИД И ВЫЗЫВАЕМОЙ ЕЮ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Приобретение знаний по определению жесткости технологической системы СПИД и вызываемой ею погрешности обработки, а также выработка некоторых умений и навыков по оценке жесткости элементов системы СПИД и их влияния на точность обработки.

5.1 Общие положения

Одной из причин, вызывающих погрешность выдерживаемого при обработке размера, является нестабильность силы резания, величина которой изменяется под влиянием переменных условий обработки. В частности, к изменению силы резания приводят колебания размеров заготовок, т.е. неравномерность глубины резания (t_1 и t_2 см. рис. 5.1.)

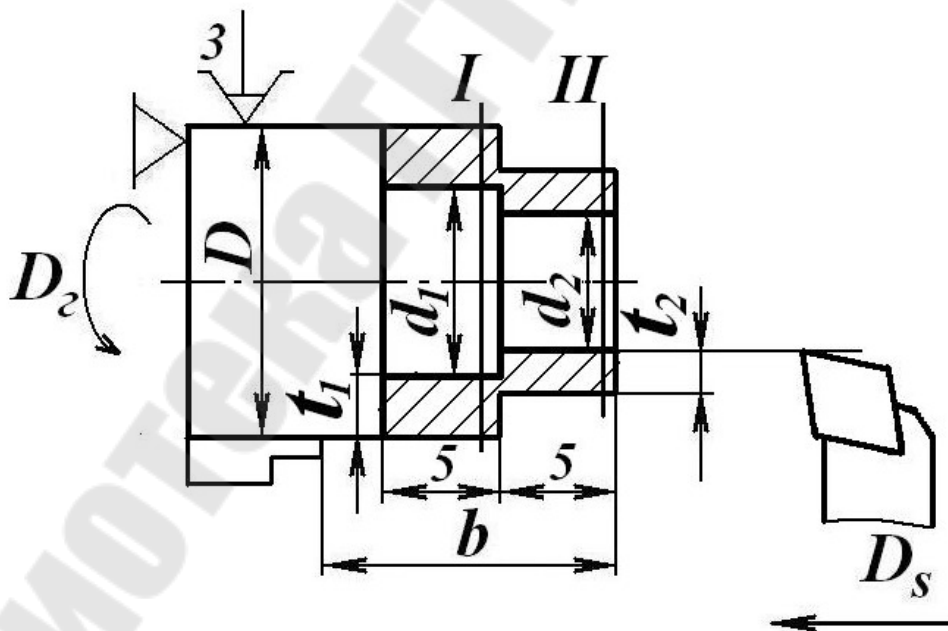


Рис.5.1. Общая схема

Нестабильность силы резания вызывает неравномерность деформаций и отжатий элементов упругой системы, в результате чего

возникают погрешности формы обработанной поверхности, т. к. неточность заготовки отражается на обработанной поверхности в виде аналогичной неточности. Таким образом, точность обработки зависит от жесткости упругой системы СПИД

Для определения погрешности обработки, вызванной упругими деформациями системы, необходимо определить жесткость этой системы. Под жесткостью системы $J_{сист.}$, кг/мм, понимают отношение силы резания, направленной нормально к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента в направлении действия этой силы

$$j_{сист.} = \frac{P_y}{Y_{сист.}}, \text{ кг/мм}, \quad (5.1)$$

где P_y – составляющая силы резания, направленной нормально к обрабатываемой поверхности, кг;

$Y_{сист.}$ – отжатие элементов системы, вызываемое силой P_y , мм

Для удобства расчетов удобно пользоваться величиной, обратной жесткости. Эту величину называют податливостью W , мм/кг

$$W = 1/j, \text{ мм/кг}, \quad (5.2)$$

Податливость системы складывается из податливости составляющих ее элементов. Примем, что

$$W_{сист} = W_{суп} + W_{пер.боб.} + W_{дет}, \quad (5.3)$$

или

$$W_{сист} = W_{ст} + Y_{дет}, \quad (5.4)$$

Аналогично

$$Y_{сист} = Y_{ст} + Y_{дет}, \quad (5.5)$$

где $W_{сист}$, $Y_{сист}$ – соответственно податливость и прогиб системы;

$W_{ст}$, $W_{суп}$, $W_{пер.боб.}$ – соответственно податливость станка, суппорта, передней бабки;

$Y_{ст}$ – прогиб (отжатие) "станка";

$W_{дет}$, $Y_{дет}$ – соответственно податливость и отжатие (прогиб) детали.

В работе погрешность детали измеряется разностью упругих отжатий в сечениях 1-1 П-П и будет равна

$$\Delta_{det} = 2(Y_1 - Y_2), \quad (5.6)$$

Отжатая системы определяются по формулам в тех же сечениях I-I и II-II

$$Y_1 = P_{y1} / j_1; \quad Y_2 = P_{y2} / j_2, \quad (5.7)$$

где P_{y1}, P_{y2} – радиальные составляющие усилия резания в сечениях I-I и II-II;

j_1, j_2 – значения жесткости системы в тех же сечениях.

Для рассматриваемой работы можно с достаточной степенью точности считать, что жесткости системы в сечениях I-I и II-II равны, т.е. $j_1 = j_2 = j_{сист}$

Значения радиальных составляющих усилия резания можно определить по известным формулам из теории резания

$$P_{y1} = C_p \cdot t_1^{xp} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{Пp} \cdot K_p, Н; \quad P_{y2} = C_p \cdot t_2^{xp} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{Пp} \cdot K_p, Н, \quad (5.8)$$

где C_p – постоянная, характеризующая определенные условия обработки;

t_1, t_2 – глубина резания соответственно в сечениях I-I и II-II, мм;

S – подача мм/об;

V – скорость резания, м/мин;

K_p – поправочный коэффициент, представляющий собой произведение ряда коэффициентов $K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$

K_{mp} – коэффициент, учитывающий влияние свойств обрабатываемого материала;

$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{75}\right)^{n_p}$ – при обработке конструкционной стали и стального литья;

$K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента, а именно: главного угла в плане φ , переднего угла γ , угла наклона главного лезвия λ , радиуса при вершине r .

Подставляя значения P_{y1} и P_{y2} в формулу (6), будем иметь

$$\Delta_{дет} = 2 \cdot (Y_1 - Y_2) = 2 \cdot \left(\frac{P_{y1} - P_{y2}}{j_{суст}} \right) = 2 \cdot \frac{1}{j_{суст}} \cdot (C_p \cdot t_1^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p - C_p \cdot t_2^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p), (5.9)$$

$$\text{или } \Delta_{дет} = C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot \frac{1}{j_{суст}} \cdot 2 \cdot (t_1^{X_p} - t_2^{X_p}), (5.10)$$

Учитывая, что погрешность заготовки $\Delta_{заг} = 2 \cdot (t_1 - t_2)$, а $X_p \approx 1$, то будем иметь

$$\Delta_{дет} = C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot \frac{1}{j_{суст}} \cdot \Delta_{заг}, (5.11)$$

Заменяя $\frac{1}{j_{суст}} = W_{суст}$, будем иметь

$$\Delta_{дет} = C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot W_{суст} \cdot \Delta_{заг}, (5.12)$$

Погрешность детали, получающаяся после второго прохода, определяется аналогично и равна

$$\Delta_{дет} = (C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot W_{суст})^2 \cdot \Delta_{заг}, (5.13)$$

а после третьего прохода

$$\Delta_{дет} = (C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot W_{суст})^3 \cdot \Delta_{заг}, (5.14)$$

т.е. в общем можно записать, что после n-го прохода

$$\Delta_{дет} = (C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot W_{суст})^n \cdot \Delta_{заг}, (5.15)$$

$$\text{или } \Delta_{дет} = c^n \cdot \Delta_{заг}, (5.16),$$

$$\text{где } C = C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p \cdot W_{суст} = const, (5.17)$$

при определенных условиях обработки.

Зависимость (5.16) позволяет определить количество уточнений (проходов) заготовки для обеспечения необходимой точности детали при заданных (определенных) условиях обработки, если известно значение податливости (жесткости) технологической системы СПИД и погрешности заготовки. Для этого прологарифмируем (5.16)

$$\lg \Delta_{дет} = n \cdot \lg c + \lg \Delta_{заг}$$

$$\text{откуда } n = \frac{\lg \Delta_{дет} - \lg \Delta_{заг}}{\lg c}, (5.18)$$

Значение n округляется до целого числа в большую сторону.

Из приведенных формул 5.13 - 5.15 следует, что для определе-

ния погрешности обработки необходимо знать податливость технологической системы $W_{сист}$, которая складывается из податливости станка и податливости детали.

Аналогично жесткость системы будет

$$\frac{1}{j_{сист}} = \frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_{дет}}, \quad (5.19)$$

Увеличение жесткости технологической системы СПИД и тем самым уменьшение ее влияния на величину погрешности обработки достигается:

- уменьшением количества стыков в конструкциях станков и приспособлений;
- предварительной затяжкой неподвижных стыков посредством резьбовых креплений;
- тщательной пригонкой сопряженных поверхностей и уменьшением зазоров;
- уменьшением длины консоли, высоты или вылета элементов технологической системы СПИД и увеличением их опорной поверхности;
- использованием дополнительных опор, люнетов, направляющих скалок и др. элементов приспособлений для заготовок и инструментов.

Причем, для повышения точности обработки важно не только повышать жесткость элементов технологической системы СПИД, но и выравнивать ее неравномерность в различных сечениях и направлениях.

Существует несколько методов определения жесткости металлорежущих станков или их составных частей. Основными являются методы:

- статический (испытания на неработающем станке);
- производственный (испытания при обработке заготовки).

Сущность статического метода определения жесткости металлорежущих станков заключается в том, что элементы станка с помощью специальных приспособлений нагружают силой, воспроизводящей действие силы резания, и одновременно измеряют перемещение отдельных частей станка. Для испытания жесткости станков методом статического приложения нагрузки существует много приборов, которые состоят из нагружающего устройства с динамометром и устройства для измерения деформаций. Данный метод имеет много не-

достатков: 1) метод сложен; 2) требует длительного испытания; 3) 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 t) форма заготовки (эксцентricность, ступенчатость) копируется на обработанной поверхности детали. Степень копирования тем больше, чем меньше жесткость СПИД. При принятых условиях проведения опыта влияние всех факторов, кроме жесткости станка, практически исключается.

Податливость детали в теоретическом плане можно определить из соответствующих формул курса "Сопротивление материалов", например, для случая, изображенного на рисунке 5.1, имеем

$$W_{дет} = \frac{l^3}{3EJ}, \quad (5.20)$$

где l – длина консоли (рисунок 5.1);

$E = 2 \cdot 10^4$, кг/мм – модуль упругости;

$J = 0,05D^4$ – момент инерции для прутка диаметром D .

Если обработке подлежит труба с наружным диаметром D и внутренним D_1 , то момент инерции ее определяется по формуле

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - D_1^4) \approx 0,05 \cdot (D^4 - D_1^4)$$

При установке заготовки в центрах или в патроне, с поджатием центров задней бабки, податливость детали при ее обработке будет изменяться от нуля (на концах заготовки) до максимального значения (в средней части), определяемая из зависимости

$$W_{дет} = \frac{l^3}{48EJ}, \quad (5.21)$$

При данном способе установки заготовки необходимо для конкретных условий проведения эксперимента определять так называемое среднее значение момента инерции вала, принимая соответствующее значение его диаметра. Так, выполняя первый проход при обработке конусной заготовки для промежуточного сечения заготовки среднее значение диаметра определяется как

$$D_{cp} = \frac{0,5 \cdot (D_{заг2} + D_{заг1}) \cdot l_1 + d_{дет} \cdot l_2}{l_1 + l_2},$$

где $D_{заг1}, D_{заг2}$ – диаметры заготовки, соответственно в рассматриваемом сечении вала и на левом конце заготовки (со стороны патрона);

$d_{дет}$ – диаметр обработанной поверхности заготовки;

l_1 и l_2 – расстояния до сечения, соответственно, от левого и правого концов вала.

При этой для сечений, расположенных на расстоянии $1/4$ длины заготовки от ее торцов с достаточной для практически целой точностью, нужно принять в формуле (5.21) вместо коэффициента 48 значение его равным 85,3, т.к. податливость детали

$$W_{дет} = \frac{x^2 \cdot (l - x)^2}{3EJ},$$

где x – расстояние от торца детали до рассматриваемого сечения.

Производственные способы определения податливости станка и детали приведены ниже, с необходимыми пояснениями по ходу выполнения лабораторных работ.

1.2. Оборудование и оснастка

1. Токарно-винторезный станок 16К20 или 16Б16КП.
2. Резец Т15К6,
3. Заготовки $l/D = 1 \dots 2$, $l/D = 5 \dots 7$ и $l/D = 3 \dots 5$.
4. Штангенциркуль ШЦ-I-I-125-0,1 ГОСТ 169-89, линейка 150 ГОСТ 427-75.
5. Микрометр МК 25-50 ГОСТ 6507-78.
6. Микрокалькулятор.

1.3. Порядок выполнения и оформления работы

1.3.1. Лабораторная работа 5.1.

Определение податливости (жесткости) технологической системы СПИД производственным методом.

1. Первоначально определяется податливость (жесткость) стан-

ка. Для этого:

1.1. В патрон токарного станка устанавливается весьма жесткая ступенчатая заготовка (рис. 5.2), жесткостью которой по сравнению с жесткостью станка можно пренебречь. Обычно такая заготовка имеет $l/D = 1 \dots 2$. Материал заготовки - конструкционная сталь с $\sigma_s = 50 \text{ кгс/мм}^2 = 500 \text{ МПа}$.

1.2. Установить резец с пластиной Т15К6 со следующими геометрическими параметрами $\varphi = 60^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 0,3 \dots 0,5$ мм.

Установка вершины резца выше оси центров недопустима. В противном случае будет, наблюдаться "втягивание" резца в тело заготовки и поэтому может оказаться, что $d_2 \leq d_1$

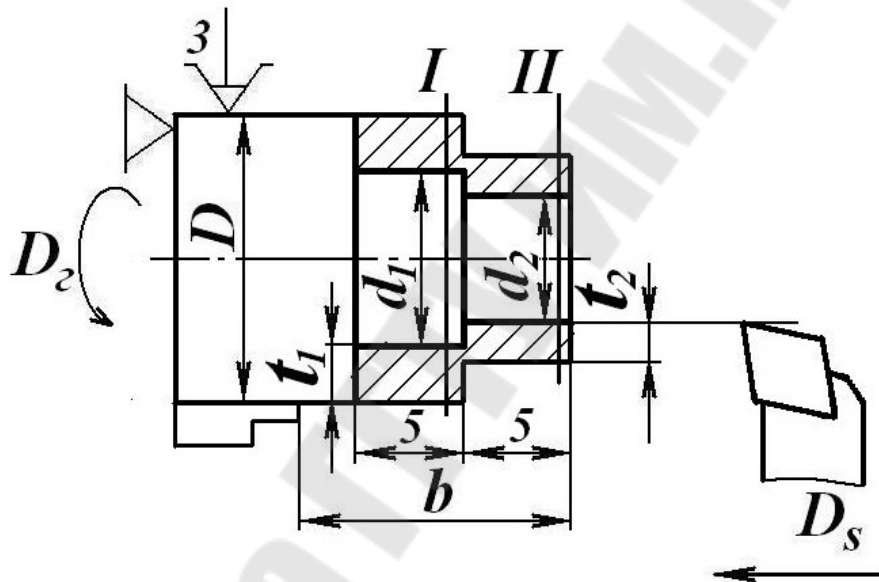


Рис.5.2. Схема производственного метода определения жесткости (податливости) станка

1.3. На длине $l_1 = 5 \dots 10$ мм проточить заготовку так, чтобы $D_1 - D_2 = 4 \dots 6$ мм. Затем измерить диаметры ступеней заготовки. Результат замера принимается за погрешность заготовки

$$\Delta_{\text{заг}} = \frac{D_2 - D_1}{2}, \quad (5.22)$$

1.4. Обработать заготовку за один проход таким образом, чтобы глубина резания на D_1 равнялась 1 мм, $S = 0,1$ мм/об; $V = 70 \dots 80$ м/мин

1.5. Замерить диаметры d_1 и d_2 после обработки. Результат заме-

ра принимается за погрешность детали $\Delta_{дет}$

$$\Delta_{дет} = \frac{d_2 - d_1}{2}, \quad (5.23)$$

1.6. Определить фактическое уточнение

$$E = \frac{\Delta_{дет}}{\Delta_{заг}}, \quad (5.24)$$

1.7. Определить податливость станка из формулы (5.11) считая, что при жесткой заготовке жесткость (податливость) системы будет равна $j_{см}(W_{см})$. Следовательно, с достаточной для практических целей точностью

$$W_{см} = \frac{E}{C_p \cdot S^{Y_p} \cdot V^{n_p} \cdot K_p}, \quad (5.25)$$

Из литературы [22] значение постоянной C_p и показателей степени для данного случая будет соответственно: 243; 0,6; 0,3. Значение показателя степени n_p в формуле для расчета K_{mp} будет 1,35. Для заданного резца с заданными параметрами режущей части значения коэффициентов будут следующими: $K_{\phi p} = 0,77$; $K_{\gamma p} = K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 0,82$.

1.8. Определить жесткость станка, используя формулу (5.2).

2. Определяется податливость (жесткость) детали. Для этого:

2.1. В патрон токарно-винторезного станка устанавливается маложесткая заготовка (рис. 5.3), у которой $l/D = 5 \dots 7$.

2.2. По формуле (5.21) определяется теоретическое значение податливости детали, а затем и жесткости ее, используя формулу (5.2).

2.3. Установленным ранее резцом протачивается ступенька на конце консоли длиной 5...10 мм с перепадом диаметров 1...2 мм (с поджатием центра задней бабки) измеряются диаметры D_1 и D_2 .

2.4. На длине l (рис.5.3) протачивается заготовка (без поджатая центром задней бабки) за один проход со следующим режимом обработки: $S = 0,1$ мм/об., $V = 70 \dots 80$ м/мин.; $t_2 = 1$ мм на диаметре меньшей ступени заготовки. Замеряются диаметры в сечениях 1-1, 2-2, 3-3, т.е., соответственно, d_1 , d_2 , d_3 . Причем, здесь и далее значению диа-

метра в одном сечении соответствует средний размер из двух, выполненных с "поворотом детали" на 90° .

Примечание; лабораторные работы 5.1. (п.2) и 5.2. выполняются на одной и той же заготовке, что и должно быть учтено при проведении эксперимента.

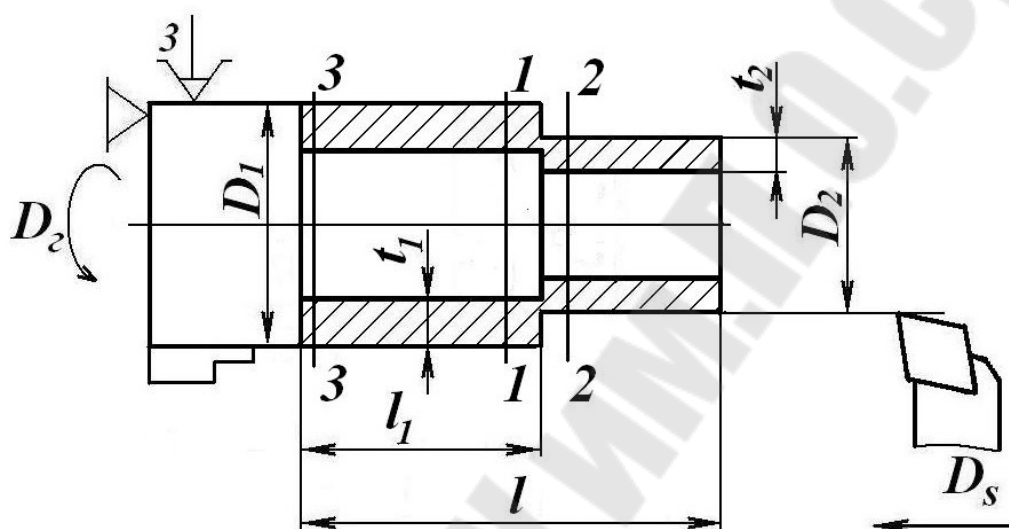


Рис.5.3. Схема определения точности обработки в зависимости от точности заготовки и жесткости системы

2.5. Определяется податливость детали по формуле

$$W_{дет} = \frac{K \cdot l_1}{2P_y}, \quad (5.26)$$

где P_y – радиальная составляющая усилия резания, определяемая по формуле (5.8) для сечения 1-1;

K – конусность на участке l_1 , после обработки, которая будет определена из зависимости $K = (d_1 - d_3) : l_1$.

2.6. Делается сравнение теоретически полученной податливости детали (п.2.2) с определенным значением ее производственным способом (п.2.5). Определяется жесткость детали (формула 5.2).

2.7. Определяются производственным способом податливость технологической системы СПИД с использованием зависимости (5.4) и жесткости ее (5.2).

2.8 Дополнительно замеряется диаметр (d_{cp}) обработанной

(п.2.4) заготовки по середине длины l_1 (рис.5.3) вылета консоли и для этого сечения определяются жесткость (податливость) детали и системы по п.2.7. и п.2.8.

1.3.2. Лабораторная работа 5.2.

Изучение зависимости точности обработки от точности заготовки и жесткости технологической системы СПИД.

1. При тех же элементах режимов обработки, что и в п. 2.4. предыдущей лабораторной работы выполняется второй проход на длине 15...20 мм от конца консоли и, микрометром замеряют полученные значения диаметров в сечениях 2-2 и 1-1, т.е., соответственно, d_2' , d_1' . Не изменяя элементов режима обработки выполняется на том же участке вала третий проход и замеряются микрометром диаметры d_1'' , d_2'' .

2. Определяются величины фактических погрешностей заготовки по формуле (5.22) и детали после соответствующего количества проходов по формуле (5.23).

3. Считая, что жесткость (податливость) технологической системы СПИД в сечениях 1-1 и 2-2 одинакова и в процессе выполнения эксперимента практически не изменяется (значение ее определено в п. 2.7.) рассчитываем величины теоретических погрешностей детали после первого, второго и третьего проходов по (5.17), (5.16) и сравниваем их с фактическими значениями (см. п.2).

4. Задавшись требуемой точностью обработки (погрешностью детали), равной среднему значению погрешностей между третьим и вторым проходами или (по указанию преподавателя) между вторым и первым проходами, определяется количество проходов по формуле (5.18).

5. Расчетные и фактически полученные значения погрешностей заготовки и деталей после соответствующих проходов сводятся в таблицу и делаются выводы по работе.

5.5. Контрольные вопросы

5.5.1. Что такое жесткость системы СПИД и как она определяется?

5.5.2. Что такое податливость и как она определяется?

5.5.3. Из чего складывается податливость системы для конкретного случая рассмотренного в данной лабораторной работе?

5.5.4. Какова зависимость радиальной составляющей силы резания от

геометрии режущего инструмента (резца)?

5.5.5. Что такое уточнение и как оно определяется?

5.5.6. Как определяется теоретически податливость детали?

5.5.7. Что такое статистический метод определения жесткости станка?

5.5.8. Что такое производственный метод определения жесткости станка?

5.5.9. Какие существуют зависимости для определения жесткости (податливости) станка?

5.5.10. Какие существуют зависимости для определения жесткости (податливости) детали?

5.5.11. Какие существуют зависимости для определения жесткости (податливости) технологической системы СПИД?

5.5.12. Какие пути увеличения жесткости технологической системы СПИД?

5.5.13. Что уменьшает влияние жесткости на величину погрешности обработки?

5.5.14. Какова зависимость для определения аналитически ожидаемой погрешности обработки заготовки после первого, второго и т. д. проходов?

5.5.15. Как определяется количество проходов для обеспечения требуемой точности обработки при известных погрешностях заготовки и жесткости (податливости) технологической системы СПИД?

6 Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА РЕЗЦА И ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ПУТИ РЕЗАНИЯ И ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Приобретение знаний по влиянию элементов режима обработки и длительности работы (пути резания) на величину размерного износа резца и тем самым на точность обработки, а также выработка некоторых умений и навыков по оценке величины, вызываемой размерным износом резца, погрешности обработки в зависимости от конкретных условий выполнения токарной операции (перехода).

6.1. Общие положения

Одним из факторов, существенно влияющим на точность механической обработки, является размерный износ режущего инструмента. При работе режущего инструмента происходит значительное трение его контактных поверхностей о стружку и обрабатываемую поверхность изделия. Трение оказывает огромное влияние на весь процесс резания. Все виды износа режущего инструмента, пусть то будет износ по задней поверхности (рис. 6.1, а), износ, образующийся на передней поверхности (рис. 6.1, б) или износ по передней и задней поверхностям одновременно (рис. 6.1, в), являются; главным образом, результатом трения.

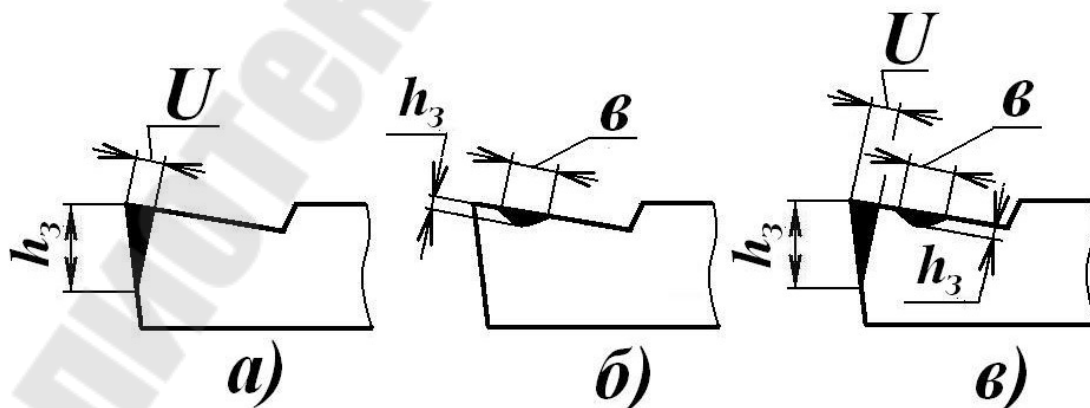


Рис. 6.1. Виды лимитирующего износа режущего инструмента

Превалирующий износ по задней поверхности обычно наблюдается при обработке сталей с малой толщиной среза (не более 0,15 мм) и низкими скоростями резания. Второй и третий виды износа наблюдаются у инструментов, снимающих слой больше указанной величины.

С точки зрения точности механической обработки для технологов представляет интерес размерный износ инструмента, непосредственно влияющий на размеры, обрабатываемой детали. Так, например, при износе резца по задней поверхности на некоторую величину h_3 (рис. 6.2, а) ухудшается шероховатость обработанной поверхности и, кроме того, наблюдается увеличение диаметра обработанной детали на удвоенную величину радиального (размерного) износа U (рис. 6.2, б).

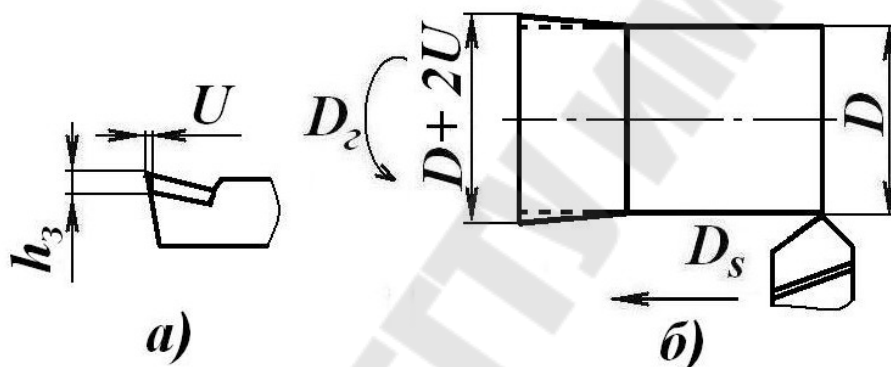


Рис. 6.2. Изменение размеров обрабатываемой детали при наличии радиального размерного износа резца

Размерным износом резца U называется износ его режущей кромки, измеренный в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности (рис.6.3).

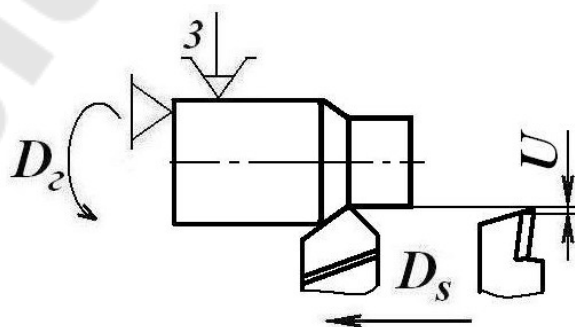


Рис. 6.3. Размерный износ резца

Изучение размерного износа при чистовой обработке показало, что его процесс не подчиняется строго линейному закону (рис. 6.4). В начальный период резания $L_{нач}$ происходит повышенный начальный износ U_n . Далее наступает наиболее продолжительный период (путь $L_{норм}$) нормального износа $U_{норм}$, характеризующийся линейной зависимостью размерного износа от пути резания.

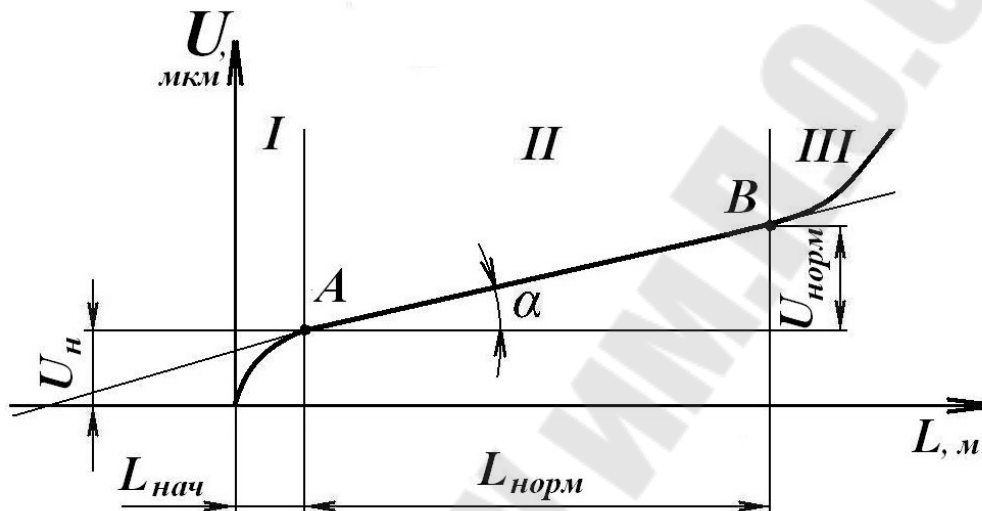


Рис. 6.4. Зависимость размерного износа резца от пути резания

Для более правильной характеристики износа и для упрощения расчетов точности механической обработки в технологии машиностроения размерный износ изучается в зависимости от пути, пройденного лезвием инструмента в металле.

Третий период (участок 3) характеризуется очень быстрым износом, в результате которого происходит разрушение режущей кромки инструмента.

Период начального износа ($L_{ном}$) и его величина зависят в основном от качества заточки и доводки инструмента. При хорошей заточке и доводке период начального (повышенного) износа может отсутствовать. На участке нормального износа интенсивность износа характеризуется углом наклона линии износа к оси абсцисс (угол α рис. 6.4). В этот период размерный износ зависит от материала инструмента и обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии режущего инструмента и смазочно-охлаждающей жидкости.

Линейная зависимость $U = f(L)$ на участке нормального износа дает возможность характеризовать интенсивность износа следующим

показателем - величиной относительного износа.

Относительным износом называется размерный износ режущего инструмента (в мкм) на пути резания $L = 1000$ м в зоне нормального износа

$$U_o = \frac{1000 \cdot U}{L_2} = \operatorname{tg} \alpha \frac{\mu_u \cdot 1000}{\mu_L}, \text{ мкм/км, (6.1)}$$

где: U_o – относительный износ, мкм;

U – размерный износ на участке нормального износа, мкм;

L_2 – путь резания в м на участке нормального износа, м;

μ_u - масштаб размерного износа, мкм/мм;

μ_L - масштаб пути резания, м/мм.

Упрощение расчета размерного износа можно получить, заменив кривую на рис. 6.4 прямой AB . Эта прямая совпадает с кривой на участке 2 и отсекает на оси ординат отрезок U_n , который характеризует величину износа на участке 1 (т.е. начальный износ). Зная для определенных условий обработки значения U_o и U_n можно определить размерный износ на длине пути резания L по формуле

$$U = U_n + \frac{U_o \cdot L}{1000}, \text{ мкм, (6.2)}$$

Величина относительного износа зависит от обрабатываемого материала, материала режущей части инструмента, режимов резания, геометрии режущего инструмента и др. факторов.

Обрабатываемый материал и, в частности, его твердость оказывает большое влияние на относительный износ инструмента. С повышением твердости материала относительный износ возрастает.

Большое влияние на относительный износ оказывает материал режущего инструмента. Относительный износ резцов из быстрорежущей стали при обтачивании в 1,5...2 раза больше износа резцов с пластинками твердого сплава. Износ резцов с пластинками из минералокерамики ЦН332 при тонком растачивании заготовок из закаленного чугуна (375...400 НВ) в 1,5...2 раза меньше, чем износ резцов с пластинками из твердого сплава. При алмазном растачивании цветных сплавов износ алмазных резцов в 50, а иногда и в 100 раз меньше износа твердосплавных резцов.

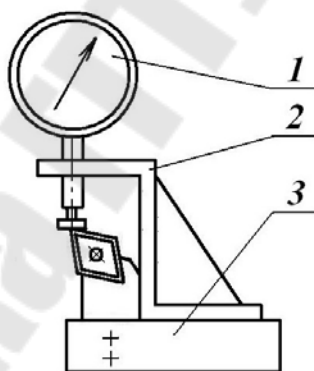
Из режимов резания наибольшее влияние на относительный износ оказывает скорость резания. При чистовой обработке серого чу-

гуна, легированной и углеродистой стали наименьшая величина относительного износа наблюдается в зоне средних скоростей резания ($V=100-200$ м/мин.); с ростом скорости от ее среднего значения износ начинает медленно увеличиваться; в зоне малых скоростей относительный износ велик.

С увеличением подачи от $0,1$ до $0,3$ мм/об, при обтачивании проходными резцами заготовок из стали и чугуна относительный износ увеличивается на $30...50$ %. Увеличение глубины резания от $0,3$ до $1,5$ мм ведет к увеличению относительного износа примерно на 50% .

Увеличение заднего угла с 8° до 15° в зоне высоких скоростей приводит к повышению относительного износа на 30% . Увеличение заднего угла в зоне средних скоростей резания нередко снижает относительный износ инструмента. Передний угол и др. геометрические элементы резца влияют на относительный износ незначительно.

Экспериментально размерный износ можно определить, если последовательно следить за изменением расстояния от вершины резца до выбранной измерительной базы. Такое измерение можно проводить с помощью специального контактного приспособления (рис.6.5).



- 1 – индикатор; 2 – корпус измерительного приспособления;
3 – резцедержатель

Рис. 6.5. Приспособление для измерения размерного износа резца

В результате проведения эксперимента будет получен график $U = f(L)$.

Обработка графика сводится к линейной аппроксимации функции $U = f(L)$ на участке нормального износа, т.е. к определению коэффициентов A и C уравнения

$$U = Ax + C, \quad (6.3)$$

Определение параметров зависимости (6.3) может производиться методом наименьших квадратов.

Рассмотрим применение метода наименьших квадратов для определения параметров формулы

$$y = ax^b + c, \quad (6.4)$$

Формула (6.4) является достаточно простой и наиболее общей, т.к. параметр b может принимать любые действительные значения:

$b < 0$, $b > 0$, $b = 1$, $b > 1$, $b < 1$, $b = n$ (целое)

Определение параметров формулы (6.4) начинаем с нахождения параметра C . Для этого составим среднее геометрическое

$$X_s = \sqrt{X_1 \cdot X_n}, \quad (6.5)$$

и пользуясь методом линейной интерполяции, для X_s найдем соответствующее значение Y_s

$$Y_s = Y_i + \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i} (X_s - X_i), \quad (6.6)$$

где X_1, X_n – крайние значения переменной X ;

X_i, X_{i+1} – промежуточные значения, между которыми содержится X_s , т.е. выполняется неравенство $X_i \leq X_s \leq X_{i+1}$;

Y_i, Y_{i+1} – значения функции, соответствующие X_i, X_{i+1} .

Значение параметра C вычисляется по формуле

$$C = \frac{Y_1 \cdot Y_n - Y_s^2}{Y_1 + Y_n - 2Y_s}, \quad (6.7)$$

где Y_1, Y_n – крайние значения заданной таблицы.

При $\min\{y_i\} \leq C \leq \max\{y_i\}$ принимается $C = 0$. $1 \leq i \leq n$; $1 \leq i \leq n$

Определив значение C , мы переходим от зависимости (6.4) к формуле $(y - c) = a \cdot x^b$, определение параметров которой изложено ниже.

Прологарифмируем полученное уравнение и получим

$$\lg(y - c) = b \lg x + \lg a = \lg a + b \lg x$$

Для нахождения значений параметров a и b воспользуемся следующей системой двух уравнений

$$\begin{cases} n \cdot \lg a + b \sum \lg x_i = \sum \lg(y_i - c) \\ \lg a \cdot \sum \lg x_i + b \sum (\lg x_i)^2 = \sum \lg x_i \cdot \lg y(y_i - c) \end{cases}$$

и следующей формой таблицы

Таблица 1

i	x_i	$\lg x_i$	$(\lg x_i)^2$	y_i	$(y_i - c)$	$\lg(y_i - c)$	$\lg x_i \cdot \lg(y_i - c)$
1	v	v	v	v	v	v	v
2	v	v	v	v	v	v	v
...
n	--	$\sum \lg x_i$	$\sum (\lg x_i)^2$	-	-	$\sum \lg(y_i - c)$	$\sum \lg x_i \cdot \lg(y_i - c)$

i	x_i	y_i	$a \cdot x_i^b$	$y_{bi} = ax_i^b + c$	$\delta = \frac{(y_{bi} - y_i)}{y_i}$
1	v	v	v	v	v
2	v	v	v	v	v
...
n	--	-	-	-	-

Решив систему уравнений найдем значения параметров b и $\lg a$, следовательно и значения параметров b и a уравнения (6.4). Для определения погрешности аппроксимации полученных экспериментальных данных целесообразно воспользоваться следующей формой таблицы.

Основными путями сокращения влияния размерного износа инструмента на точность обработки, а также на увеличение стойкости режущего инструмента являются:

- повышение стабильности качества изготовления инструмента;
- повышение качества доводки его режущих кромок для сокращения величины первоначального размерного износа (уменьшается протяженность участка I на рис.6.4);
- стабилизация сил резания;
- сокращение вибраций в технологической системе СПИД, если это не виброрезание;
- выбор наиболее экономичных режимов обработки;
- своевременная смена инструмента для его переточки;
- правильный подбор и применение смазочно-охлаждающих жидкостей;

- своевременная компенсация размерного износа инструмента путем поднастройки размерных цепей технологической системы СПИД;
- правильная установка и закрепление режущего инструмента с учетом изменения его геометрии при возникновении силы резания и упругих перемещений элементов технологической системы СПИД и ряд других мероприятий.

Микрогеометрия в т.ч. шероховатость поверхности зависит от формы инструмента, элементов режима резания (подачи, скорости и глубины резания) и действия ряда технологических факторов: упругих и пластических деформации, трений на задней поверхности инструмента, наросте, вибрации и изменении контура лезвия в процессе его износа. При обработке пластичных материалов наибольшее влияние на шероховатость поверхности оказывает пластическая деформация. Причем, с увеличением твердости металла шероховатость уменьшается, т.к. снижается коэффициент трения, в меньшей мере проявляется явление адгезии и уменьшается пластическая деформация.

С увеличением скорости резания и уменьшением подачи и глубины резания; уменьшается пластическая деформация, что приводит к уменьшению шероховатости поверхности.

Геометрия режущего инструмента на шероховатость поверхности влияет следующим образом. С увеличением заднего угла высота, микронеровностей незначительно уменьшается, т. к. происходит уменьшение контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемой деталью. С увеличением главного угла в плане и уменьшением вспомогательного угла в плане наблюдается улучшение шероховатости поверхности.

При правильно подобранной смазочно-охлаждающей жидкости представляется возможным улучшить шероховатость обработанной поверхности в 2...4 раза, снизив высоту микронеровностей.

6.2. Оборудование и оснастка

1. Токарно-винторезный станок *16К20* или *16Б16КП*.
2. Резцы (*18* шт.).
3. Штангенциркуль *ШЦ-I-I-125-0,1 ГОСТ 169-89*.
4. Секундомер.
5. Заготовка $D = 100$ мм и $L = 800$ мм
6. Образцы шероховатости поверхностей *ГОСТ 2798-73*.

7. Профилограф-профилометр модели 201.
8. Приспособление для измерения размерного износа резца.
9. Микрокалькулятор.

6.3. Использование латинских квадратов при проведении экспериментов

Из пункта 6.1 настоящей работы следует, что размерный износ режущего инструмента и шероховатость обработанной поверхности в большей степени зависят от следующих четырех факторов: скорости резания (V), подачи (S), глубины резания (t) и пройденного пути резания (L). Поэтому необходимо использовать четырехфакторные латинские квадраты четырехуровневый и трехуровневый (для определения относительного износа), которые приведены на рис. 6.5 (соответственно b и a). Примечание – Правые столбцы и нижние строки потребуются для дальнейших расчетов. При этом число уровней факторов должно быть не менее количества факторов. Поэтому при использовании латинского квадрата, приведенного на рис. 6.5, а) необходимо после проведения эксперимента «избавиться» от одного из факторов, т.е. его влияния на результаты эксперимента. Таким фактором в нашем случае может быть длина пути резания (фактор D), который, как известно из теории резания, не влияет на шероховатость обработанной поверхности до получения величины размерного износа инструмента, влияющего на изменение силы резания и, следовательно, изменение пластической деформации металла. Как «исключить» влияние пути резания на размерный износ режущего инструмента будет показано в лабораторной работе № 6.2.

В общем случае [6], дисперсионный анализ латинского квадрата при трехфакторном эксперименте выполняется следующим образом. Обозначая через X_i и X_j – итоги по столбцам и строкам, получим следующий порядок анализа:

- находим сумму квадратов всех наблюдений $Q_1 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k x_{ij}^2$,

где k – количество факторов и их уровней в эксперименте;

- находим суммы квадратов по столбцам (Q_2) и строкам (Q_3), деленные на числа наблюдений, соответственно, в столбцах и строках

$$Q_2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i^2 ; Q_3 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k X_j^2$$

A B	A ₁	A ₂	A ₃	X _j
B ₁	C ₁ D ₁	C ₂ D ₂	C ₃ D ₃	
B ₂	C ₂ D ₃	C ₃ D ₁	C ₁ D ₂	
B ₃	C ₃ D ₂	C ₁ D ₃	C ₂ D ₁	
X _i				Σ

a)

A B	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	X _j
B ₁	C ₁ D ₁	C ₂ D ₂	C ₃ D ₃	C ₄ D ₄	
B ₂	C ₂ D ₃	C ₁ D ₄	C ₄ D ₁	C ₃ D ₂	
B ₃	C ₃ D ₄	C ₄ D ₃	C ₁ D ₂	C ₂ D ₁	
B ₄	C ₄ D ₂	C ₃ D ₁	C ₂ D ₄	C ₁ D ₃	
X _i					Σ

б)

Рис.6.5. Латинские квадраты для трех (а) и четырех (б) уровней четырехфакторных экспериментов.

- находим квадрат общего итога, деленный на число всех наблюдений

$$Q_4 = \frac{1}{k^2} \left(\sum_{i=1}^k X_i \right)^2 = \frac{1}{k^2} \left(\sum_{j=1}^k X_j \right)^2 ;$$

- находим сумму квадратов итогов по уровням фактора С, деленную на число уровней:

$$Q_5 = \frac{1}{k} \sum_{v=1}^k Y_v^2 ,$$

где Y_v – сумма всех наблюдений, проводившихся при уровне C_v фактора C (независимо от того, какими при этом были уровни факторов A, B , и D при четырехфакторном латинском квадрате);

- находим дисперсию воспроизводимости S_o^2 , связанную со случайностью наблюдений

$$S_o^2 = \frac{Q_1 + 2Q_4 - Q_2 - Q_3 - Q_5}{(k-1)(k-2)},$$

где $(k-1)(k-2)$ – число степеней этой дисперсии (f_2);

- находим дисперсии изучаемых факторов A, B и C , имеющие по $k-1$ степеней свободы

$$S_A^2 = \frac{Q_2 - Q_4}{k-1}, S_B^2 = \frac{Q_3 - Q_4}{k-1}, S_C^2 = \frac{Q_5 - Q_4}{k-1},$$

- определяем значимость отличия этих дисперсий от дисперсии S_o^2 по критерию Фишера:

Если $S_A^2 / S_o^2 > F_{1-p}$ (аналогично и для B, C и т.д.), то влияние фактора значимо в противном случае – незначимо. При этом, при $f_1=2$ и $f_2=2$ (трехуровневый латинский квадрат) имеем значения квантиля распределения Фишера F_{1-p} : при уровне значимости $1-p = 0,2$ $F_{1-p} = 4,0$; если $1-p = 0,05$, то $F_{1-p} = 19,2$; если $1-p = 0,01$, то $F_{1-p} = 99,0$.

Для четырехуровневого латинского квадрата $f_1=3$ и $f_2=3$, поэтому квантили распределения Фишера F_{1-p} принимают значения: если уровень значимости $1-p = 0,2$, то $F_{1-p} = 2,9$; если $1-p = 0,05$, то $F_{1-p} = 9,3$; если $1-p = 0,01$, то $F_{1-p} = 29,5$.

Если дисперсии изучаемых факторов по критерию Фишера значимо отличаются от дисперсии воспроизводимости S_o^2 , то действия изучаемых факторов оцениваются дисперсиями

$$\sigma_A^2 \approx \frac{S_A^2 - S_o^2}{k}; \sigma_B^2 \approx \frac{S_B^2 - S_o^2}{k}; \sigma_C^2 \approx \frac{S_C^2 - S_o^2}{k}$$

Анализ для квадрата второго порядка (четырефакторный эксперимент) выполняется также как описано выше с добавлением рас-

чета значения $Q_6 = \frac{1}{k} \sum_{\mu=1}^k Z^2_{\mu}$,

где Z_{μ} – сумма наблюдений при фиксированных уровнях D_{μ} (при тех же условиях, что и C_v).

Дисперсия воспроизводимости в этом случае оценивается равенством

$$S_o^2 = \frac{Q_1 + 3Q_4 - Q_2 - Q_3 - Q_5 - Q_6}{(k-1)(k-3)}.$$

Добавляется дисперсия $S_D^2 = \frac{Q_6 - Q_4}{k-1}$, по которой, в случае значимости ее отличия от S_o^2 (по критерию Фишера) оценивается

$$\text{действие фактора } D: \sigma_D^2 = \frac{S_D^2 - S_o^2}{k}.$$

Если все факторы окажутся незначительными, то делается проверка всех полученных экспериментальных данных на принадлежность их к единой выборке (см. лабораторную работу № 4) и делаются соответствующие выводы по проведенному эксперименту. Однако, и в этом случае целесообразно, используя все полученные экспериментальные данные, и программное средство MatCad, определить параметры эмпирических зависимостей: $u = a \cdot v^{b_1} \cdot s^{b_2} \cdot t^{b_3} \cdot L^{b_4}$; $u_o = a \cdot v^{b_1} \cdot s^{b_2} \cdot t^{b_3}$; Ra или $R'a = f(v, s, t, L)$. Если окажутся незначительными один, два или три фактора, то для оставшихся значимых факторов определяются характеристики эмпирических зависимостей для них по полученным экспериментальным данным.

6.4. Порядок выполнения и оформления работы

В связи с тем, что размерный износ резца и шероховатость обработанной им поверхности может зависеть от пути резания и элементов режима обработки, то целесообразно при одном и том же эксперименте фиксировать значения как величины износа резца, так и шероховатости поверхности. При этом с целью выработки некоторых умений и навыков постановки эксперимента и обработки его результатов целесообразно выполнить лабораторные работы с использованием классического подхода постановки эксперимента и с использованием латинских квадратов. Классический подход заключается в том, что изменяется только один фактор по всем принятым уровням, а остальные факторы выдерживаются на каком – то одном постоянном уровне. Затем точно также последовательно поступаем и со всеми остальными факторами. Шероховатость необходимо определять с использованием образцов шероховатости ($R'a$) и контролировать профилометром (Ra).

2.4.1. Лабораторная работа 6.1

Определение зависимости размерного износа резца и шероховатости обработанной поверхности от пути резания и элементов режима обработки (классический подход)

1. В патроне токарного станка с упором в задний вращающийся центр закрепить образец (заготовку).

2. Установить и закрепить резец в резцедержателе станка. Материал режущей части резцов Т15К6. Резцы для экспериментов имеют постоянную геометрию $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\lambda = 0$, $r = 0,3 - 0,5$ мм.

3. Охладить резец эмульсией в течении 1 мин.

4. Установить измерительное приспособление на резцедержатель, подвести ножку индикатора к вершине резца, с натягом не менее 0,1 мм и зафиксировать показание индикатора на ноль.

5. Настроить станок на заданный режим работы: $V = 150$ м/мин.; $S = 0,1$ мм/об.; $t = 0,5$ мм.

6. Пустить станок. Через 2 мин. от начала работы отвести резец от заготовки и выключить станок.

Охладить резец эмульсией в течении 1 мин., установить приспособление и измерить величину размерного износа U_1 (как разность двух показаний индикатора), а также шероховатость обработанной поверхности $R'a$, Ra , т.е. здесь и далее, по образцам шероховатости ($R'a$) и профилометром (Ra).

7. Повторить приемы, указанные в п. 6 три раза и измерить U_2 , U_3 , U_4 , а также $R'a_2$, $R'a_3$, $R'a_4$; Ra_2 , Ra_3 , Ra_4 .

8. Подсчитать путь резания L для всех точек по формуле

$$L = V \cdot T \text{ (м)}, \quad (6.8)$$

где V - скорость резания в м/мин.;

T - время работы резца в мин.

9. Заменить резец, охладить его эмульсией, зафиксировать показание индикатора измерительного приспособления на ноль и настроить станок на новый режим работы: $V = 50$ м/мин.; $S = 0,1$ мм/об.; $t = 0,5$ мм.

10. Пустить станок. Через 6 мин. от начала работы отвести резец от заготовки, выключить станок, охладить резец и измерить величину размерного износа и шероховатости поверхности.

11. Заменить резец, охладить его эмульсией, зафиксировать показание индикатора на нуль, настроить станок на режим работы:

$V = 100$ м/мин.; $S = 0,1$ мин/об.; $t = 0,5$ мм.

12. Пустить станок, Через 3 мин. от начала работы отвести резец от заготовки, выключить станок, охладить резец и измерить величину размерного износа и шероховатости поверхности.

13. Повторить приемы, указанные в п. 6 для подачи $S = 0,2$ мм/об, и $S = 0,4$ мм/об., меняя резцы. Остальные режимы: $V = 150$ м/мин; $t = 0,5$ мм.

14. Повторить приемы, указанные в п. 6 для глубины резания $t = 1$ мм и $t = 2$ мм, меняя резцы. Остальные режимы: $V = 150$ м/мин.; $S = 0,1$ мм/об.

Примечание: Определять относительный износ по формуле (6.1) не целесообразно, т.к. эксперимент проводился на участке 1 рис. 6.4 при этом при работе с одним резцом (на участке 2 рис.6.4) требование замены резца исключается и определяется величина относительного износа резца от пути резания.

15. Построить графики зависимости: $Ra = f(L)$; $Ra = f(V)$; $Ra = f(S)$; $Ra = f(t)$; $U = f(L)$; $U = f(V)$; $U = f(S)$; $U = f(t)$.

16. С помощью метода наименьших квадратов произвести обработку экспериментально полученных данных (для функции по указанию преподавателя), а также с использованием программного средства MatCad определить параметры эмпирических зависимостей $U = f(L, V, S, t)$ и $Ra = f(L, V, S, t)$.

17. Сделать выводы по проделанной работе.

2.4.2. Лабораторная работа 6.2

Определение зависимости размерного износа резца и шероховатости обработанной поверхности от пути резания и элементов режима обработки (с использованием латинских квадратов)

1. Выполнить п.1 – п.4 лабораторной работы № 6.1.

2. Спланировать проведение эксперимента, задавшись следующими значениями уровней факторов:

- фактору A соответствует скорость резания V на уровнях $A_1 = 50$ м/мин.; $A_2 = 100$ м/мин.; $A_3 = 150$ м/мин.;

- фактору B соответствует подача на уровнях $B_1 = 0,1$ мм/об.; B_2

$= 0,2$ мм/об.; $B_3 = 0,4$ мм/об.

- фактору C соответствует глубина резания на уровнях $C_1 = 0,5$ мм; $C_2 = 1$ мм; $C_3 = 2$ мм;

- фактору D соответствует путь резания на уровнях $D_1 = 300$ м; $D_2 = 600$ м; $D_3 = 900$ м.

Примечание: Факторы B и C (S и t) при проведении эксперимента выдерживаются с достаточной точностью. При этом целесообразно первоначально выполнить эксперименты в тех точках плана, где значение глубины резания равно 2 мм; затем – 1 мм и, наконец, – 0,5 мм (это позволит более рационально, полно использовать объем заготовки). Фактор A (V) для фактического диаметра обработки будет реализовываться через частоту вращения шпинделя (ближайшая к расчетной из имеющихся ступеней на станке). Поэтому целесообразно, уточнив скорость резания по формуле $V_{cp} = (\pi \cdot D_{\phi} \cdot n_{\phi}) : 1000$, определить время непрерывного процесса резания для получения требуемого пути резания, используя зависимость (6.8) для каждой точки плана и тем самым устранить погрешность по уровням фактора D (пути резания).

3. Провести эксперимент на заданных планом уровнях, используя для каждой точки плана новый резец, проводя замеры величины износа резца и шероховатости обработанной поверхности (по образцам шероховатости $R'a$ и профилометром Ra).

4. Выполнить математическую обработку полученных экспериментальных данных.

5. Полученные зависимости $U = f(L, V, S, t)$, $Ra = f(L, V, S, t)$ сопоставить с аналогичными результатами лабораторной работы 6.1 и сделать выводы.

2.4.3. Лабораторная работа № 6.3

Определение зависимости размерного износа резца и шероховатости обработанной поверхности от пути резания и элементов режима обработки на участке нормального износа.

Данная лабораторная работа проводится (по указанию преподавателя) либо с использованием классического подхода постановки эксперимента, либо с использованием латинских квадратов, но на участке нормального износа резца. Для этого необходимо резец до начала эксперимента "вывести" в зону его нормального износа, т.е. обработать заготовку на длине пути резания равной 1,5 км при мини-

мальном значении уровня подачи и максимальных – глубине и скорости резания (замерив величину размерного износа резца U_o и шероховатости обработанной поверхности $R'a_{a_{он}}$, $Ra_{a_{он}}$). Данным резцом проводится вся или значительная часть лабораторной работы, т.е. до его критического износа (участок 3 на рис. 6.4). В случае выхода резца в зону его критического износа, в каком-то опыте (резкое изменение в показании индикатора по сравнению с предыдущим опытом) необходимо этот опыт выполнить повторно, предварительно "выведя" новый резец в зону нормального его износа (с замером его нового значения $U_{он}$ и шероховатости обработанной поверхности $R'a_{a_{он}}$, $Ra_{a_{он}}$).

При проведении каждого опыта фиксируются показания индикатора (отклонение от первоначального нуля, т.е. установленного нуля до "выведения" резца в зону нормального его износа) U'_i (i - порядковый номер опыта) и шероховатости обработанной поверхности $R'a_i$ и Ra_i .

Выполняя данную лабораторную работу необходимо:

1. Наметьте уровни изменения изучаемых факторов (целесообразно использовать те же, что и ранее – для лучшей сопоставимости результатов).

2. Разработать и четко записать последовательность опытов эксперимента.

3. Выполнить эксперимент во всех его "точках" (опытах) и записать значения U_o , U_i , Ra'_{a_o} , Ra_{a_o} , Ra'_i , Ra_i

4. Определить значения пути резания L'_i на конец выполнения опыта, т.е. $L'_i = L'_{i-1} + L_i$

где L_i – длина пути резания в данном i опыте.

5. Выполнить математическую обработку экспериментальных данных характеризующих зависимость $U' = f(L')$, используя графическое построение данной зависимости, а также метод наименьших квадратов. В последнем случае необходимо для определения параметров зависимости (6.3) воспользоваться системой уравнений

$$n \cdot c + A \cdot \sum X_i = \sum U_i$$

$$c \cdot \sum X_i + A \cdot \sum X_i^2 = \sum X_i \cdot U_i$$

и следующей формой таблицы, сделав необходимые выводы:

i	X_i	X_i^2	U_i	$U_i X_i$	AX_i	$U_{\text{в}i} = AX_i + c$ $U_{\text{б}i} = Ax_i + c$	$\delta_i = \frac{(U_{\text{в}i} - U_i) \cdot 100}{U_i}$
1	v	v	v	v	v	v	v
2	v	v	v	v	v	v	v
...
n	$\sum X_i$	$\sum X_i^2$	$\sum U_i$	$\sum U_i X_i$	-	-	-

6. Определить значение размерного износа резца U_i в зависимости от фактора i -го опыта как $U_i = U_i' - U_{i-1}'$

7. Определить для всех опытов эксперимента величины относительного размерного износа резца U_{oi} , используя зависимость (6.1). Проверить принадлежность значений U_{oi} к единой выборке по τ -критерию (см. лабораторную работу №4).

8. Выполнить по указанию преподавателя бригаде студентов математическую обработку экспериментальных данных, характеризующих зависимости:

$$Ra = f(L, V, S, t), U_i = f(L, V, S, t), U_{oi} = f(L, V, S, t),$$

если большинство значений U_{oi} не принадлежат к единой выборке.

Примечание: В случае постановки эксперимента классическим подходом дополнительно строятся графики и делается математическая обработка (определяются параметры формул) зависимостей (по указанию преподавателя):

$$Ra = f(V); Ra = f(S); Ra = f(t); U_i = f(L); U_i = f(t); U_i = f(V); U_i = f(S); U_{io} = f(V); U_{io} = f(S); U_{io} = f(t).$$

Однако, математическая обработка зависимостей, указанных в п.8, сводится только к нахождению параметров эмпирических зависимостей без оценки значимости их.

9. Сделать выводы, сопоставив данные, полученные в данной лабораторной работе, с полученными в лабораторных работах № 6.1. и (или) № 6.2. (по указанию преподавателя).

Примечание: В индивидуальном отчете студента приводятся расчеты (и исходные данные к ним), конечно, с построением необходимых графиков, выполненные бригадой студентов, а по всем остальным зависимостям приводятся только исходные данные и результаты их обработки, сведенные в разработанные студентом (студентами) формы таблиц и дополненные, в необходимых случаях (по согласованию с преподавателем), графиками, рисунками и т.д.

6.5. Контрольные вопросы

- 6.5.1. Какие бывают виды износа?
- 6.5.2. Что такое размерный износ инструмента?
- 6.5.3. Как влияет размерный износ на точность обработки?
- 6.5.4. Как экспериментально можно измерить размерный износ?
- 6.5.5. Какова зависимость размерного износа от пути резания?
- 6.5.6. От чего зависит период начального износа инструмента?
- 6.5.7. Что называется относительным износом?
- 6.5.8. Какова зависимость относительного износа от скорости резания?
- 6.5.8. Каково влияние подачи и глубины резания на относительный износ?
- 6.5.10. Каковы основные пути сокращения влияния размерного износа инструмента на точность обработки?
- 6.5.11. То же, на увеличение скорости режущего инструмента?
- 6.5.12. От каких факторов и как зависит шероховатость обработанной поверхности?
- 6.5.13. Какие способы постановки эксперимента использованы и в чем их суть?
- 6.5.14. Что общего и в чем различие при изучении износа резца на участках 1 и 2, рис.6.4?

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЕЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ВЫПОЛНЕНИЯ ТОКАРНОЙ ОПЕРАЦИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Закрепление материала лекционного курса дисциплины «Технология машиностроения» по разделу «Точность механической обработки», получение умений и навыков по определению влияния основных факторов процесса резания на точность обработки и по прогнозированию величины погрешности обработки для конкретных условий выполнения токарной операции.

7.1 Общие положения по определению суммарной погрешности обработки

Одним из важнейших показателей качества деталей машин является точность их обработки. С повышением скоростей, нагрузок и внедрением автоматизированного производства большое внимание уделяется обеспечению высокой точности механизмов, а, следовательно, и обработке деталей.

Чем выше точность механизмов, тем меньше погрешности обработки при выбранном режиме резания. Как бы ни были совершенны станки и механизмы, в процессе изготовления деталей возникают те или иные погрешности обработки.

В практике нередко наблюдаются случаи, когда изделия, изготовленные даже при помощи одного и того же технологического процесса отличаются друг от друга и от заданного по расчетам. Это объясняется рядом причин, связанных с процессом обработки металлов резанием. Избежать этих погрешностей нельзя, однако можно создать такие условия работы, чтобы эти погрешности были наименьшими и находились в пределах предусмотренных допусков на обработку.

При выполнении любого технологического процесса на систему «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) действует большое количество различных факторов, зависящих как от конструкции и состояния технологической системы, так и от резания металлов.

В процессе работы все указанные факторы непрерывно изменяются и оказывают существенное влияние на достижение требуемой точности обработки. Поэтому выполнение расчетов погрешностей механической обработки необходимо для рационального построения технологического процесса обработки и выявления резервов повышения качества продукции.

Имеются расчетно-аналитический, вероятностно статистический и расчетно-статистический методы расчета точности механической обработки.

Расчетно-аналитический метод применяется при детерминированных условиях выполнения техпроцесса, и расчет ведется по аналитическим (эмпирическим) зависимостям, описывающих протекание техпроцесса и условий возникновения погрешностей. Этот метод используется в единичном и мелкосерийном производстве, он основан на учете физических явлений и позволяет выявлять причины образования погрешностей.

Вероятностно-статистический метод позволяет, не раскрывая физической сущности явлений, определить точность обработки большой партии деталей. Причем, используя этот метод, можно определить как первичные, так и суммарные погрешности.

Расчетно-статистический метод сочетает положительные стороны предыдущих методов, так как позволяет рассчитать первичные погрешности как статистическим, так и расчетным путем. Поэтому он применяется для различных условий производства.

Суммирование погрешностей, т.е. получение суммарной величины погрешности обработки, производится в зависимости от способа получения размеров.

Суммарная погрешность Δ , мм, индивидуально обрабатываемой заготовки методом пробных проходов и промеров определяется по следующей зависимости

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon_B + \varepsilon_3 + \Delta_u + \Delta_m + \Delta_{cm}, \quad (7.1)$$

где Δ_y – погрешность формы обработанной поверхности, получаемая в результате копирования первичных погрешностей заготовки в условиях упругой технологической системы, жесткость которой различна в отдельных сечениях, мм;

ε_B – погрешность установки режущего инструмента на размер (погрешность выверки), зависящая от квалификации рабочего и

вида применяемого измерительного инструмента, мм;

ε_3 – погрешность формы обработанной поверхности или погрешность ее положения относительно измерительной базы в результате деформации технологической системы от приложения зажимных сил, мм;

Δ_u – погрешность формы поверхности в результате размерного износа режущего инструмента, мм;

Δ_m – погрешности формы, вызываемые температурными деформациями технологической системы в процессе обработки одной детали, мм;

Δ_{cm} – погрешности формы обрабатываемой поверхности, возникающие из-за геометрических неточностей станка, мм.

В данном случае суммирование первичных погрешностей ведется алгебраически, учитывая возможность их частичного или полного перекрытия и взаимной компенсации.

Если установка заготовок производится в приспособления и обработка всех заготовок ведется за большое количество настроек, т.е. обработка ведется на предварительно настроенном станке, то суммарная погрешность Δ , мм, как поле рассеяния выполняемого размера, определяется по методу полной взаимозаменяемости с использованием следующей зависимости

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon + \Delta_n + \Delta_u + \Delta_m + \sum \Delta\phi, \quad (7.2)$$

где Δ_y – погрешность (поле рассеяния) выполняемого размера, которая возникает в результате упругих отжатий звеньев технологической системы СПИД под влиянием нестабильности сил резания, мм. Величину Δ_y - находят по тому сечению заготовки, где она получается наибольшей, т.е. в сечении, для которого жесткость СПИД минимальна;

ε – погрешность установки заготовки;

Δ_n – погрешность настройки станка, которая является разностью предельных положений режущего инструмента на станке при настройке его на выполняемый размер;

Δ_u – погрешность из-за размерного износа (по задней поверхности) режущего инструмента;

Δ_m – погрешность выполняемого размера, вызываемая тепловыми деформациями системы. Данная погрешность изменяется во времени: в первоначальный период работы она растет, а после того

как будет достигнуто тепловое равновесие технологической системы, она стабилизируется. После стабилизации данная погрешность превращается в систематическую постоянную погрешность;

$\sum \Delta \phi$ – суммарная погрешность формы данного элемента, вызываемая геометрическими неточностями станка, деформациями заготовки под влиянием закрепления, неравномерным по различным сечениям заготовки упругим отжатиям технологической системы СПИД, неравномерностями припуска, глубины резания, изменениями сил резания, жесткости технологической системы в различных сечениях и направлениях и др.

Расчет суммарной погрешности Δ , мм, по формуле (7.2) прост, но значение погрешности получается завышенным, т.к. даже при большом количестве обработанных заготовок предельные размеры, соответствующие величине Δ , мм, встречаются крайне редко. Принятие технологического допуска по этой величине приводит к увеличению промежуточных и общих припусков на обработку. Поэтому суммирование погрешностей наиболее целесообразно проводить методом неполной взаимозаменяемости с использованием следующей зависимости

$$\Delta = t \sqrt{\lambda_1 \cdot \Delta_y^2 + \lambda_2 \cdot \varepsilon^2 + \lambda_3 \cdot \Delta_u^2 + \lambda_4 \cdot \Delta_n^2 + \lambda_5 \cdot \Delta_m^2} + \sum \Delta \phi, (7.3)$$

где t – коэффициент, определяющий процент риска получения брака при обработке: при $t = 1$ процент риска равен 32%, при $t = 2 \dots 4.5\%$ и при $t = 3 \dots 0,27\%$. Обычно применяется $t = 3$;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_5$ – коэффициенты, зависящие от формы кривых распределения соответствующих первичных погрешностей: для нормального распределения $\lambda = 1/9$, для кривой равной вероятности и в случае, если о форме кривой ничего не известно, то $\lambda = 1/3$, и если кривая распределения близка к треугольнику, то $\lambda = 1/6$.

Следует иметь в виду, что все составляющие общей погрешности для конкретных условий являются вполне постоянными по величине, а текущие их значения при обработке каждой заготовки представляют собой случайные величины, распределения которых подчиняются определенным законам. Так распределение погрешностей Δ_y, ε и Δ_n близко к нормальному, а поэтому $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/9$; распределение погрешности Δ_u подчиняется закону равной ве-

роятности, следовательно $\lambda_4 = 1/3$; а характер распределения погрешности Δt мало изучен, поэтому $\lambda_5 = 1/3 = 1/3$.

Приняв $t = 3$ и подставив значения λ в (7.3), получим

$$\Delta = \sqrt{\Delta y^2 + \varepsilon^2 + \Delta n^2 + 3\Delta u^2 + 3\Delta t^2} + \sum \Delta \phi, \quad (7.4)$$

При расчетно-статистическом методе определения точности обработки учитываются условия выполнения конкретной операции. Так, если обработке подвергается партия заготовок при единой настройке станка (без поднастроек станка) и соблюдается технологический принцип совмещения баз (технологическая база совмещается с конструкторской), т.е. погрешность установки будет равна нулю, то суммарная погрешность обработки определяется с использованием следующей зависимости

$$\Delta = 6\sigma + \sum \Delta \phi, \quad (7.5)$$

где σ - среднее квадратичное отклонение, характеризующее точность данного метода обработки;

$\sum \Delta \phi$ - систематическая погрешность формы обрабатываемой поверхности в результате влияния геометрических неточностей станка и др. факторов (тоже, что и в (7.2)).

В случае несоблюдения принципа совмещения баз и нерациональной схемы закрепления возникает погрешность установки ε , которая представляет собой случайную величину, то суммарная погрешность обработки определяется с использованием следующей зависимости

$$\Delta = \sqrt{\kappa_1^2 \cdot (6\sigma)^2 + \kappa_2^2 \cdot \varepsilon^2} + \sum \Delta \phi, \quad (7.6)$$

где κ_1, κ_2 - коэффициенты, характеризующие отклонение действительных кривых распределения от кривых нормального распределения. При незначительном отклонении; $\kappa_1 = \kappa_2 = 1, 2$.

Если же обработка нескольких партий заготовок будет производиться при разных настройках (поднастройках) станка, т.е. $\Delta n \neq a$ и наличии погрешности установки, то суммарная погрешность обработки определяется с использованием следующей зависимости

$$\Delta = 1,2\sqrt{(6\sigma)^2 + \varepsilon^2 + \Delta_n^2} + \sum \Delta\phi, (7.7)$$

Если же данная операция выполняется на нескольких станках - дублерах и при наличии погрешности установки ε , после чего обработанные детали перемешиваются в одной большой партии, то постоянная систематическая величина $\sum \Delta\phi$ превращается в случайную и суммарная погрешность обработки определяется с использованием следующей зависимости

$$\Delta = 1,2\sqrt{(6\sigma)^2 + \varepsilon^2 + \Delta_n^2 + (\sum \Delta\phi)^2}, (7.8)$$

Отметим некоторые рекомендации, которые следует помнить при расчете суммарной погрешности обработки.

При определении суммарной погрешности диаметральных размеров или размеров между противоположащими поверхностями величину ε не учитывают. В случае обработки небольшой партии деталей без смены инструмента не учитывают слагаемое Δ_n . Величину $\sum \Delta\phi$ следует определять с учетом взаимной компенсации ее отдельных составляющих.

Удельное значение составляющих погрешностей в общей Δ непостоянно и зависит от выполняемой операции (предварительная или чистовая), от метода обработки, типа и состояния станка, его жесткости и др. факторов. При предварительной обработке доминирующее значение (до 30%) могут иметь погрешности Δ_u , вызываемые упругими деформациями технологической системы под влиянием сил резания. В условиях чистой и отделочной обработки и роль этих погрешностей заметно снижается.

Погрешности Δ_u твердосплавных инструментов при чистовой и предварительной обработке составляют 10...20% суммарной погрешности. Погрешности настройки станка составляют 30...40% при чистовой обработке и 20...30% при предварительной обработке.

Погрешности обработки, возникающие в результате геометрических неточностей станка, достигают 10...30%. При обработке тонкостенных, маложестких неустойчивых заготовок погрешности в результате действия остаточных напряжений достигают 40%. Погрешности Δ_m достигают 10...15%.

При нерациональных схемах базирования и закрепления заготовок в приспособлениях относительно большое значение имеют погрешности установки.

При проведении лабораторной работы рассматриваем про-

стейший случай обработки гладкого вала, т.к. при обработке ступенчатого вала необходимо для прогнозирования погрешности обработки какой - то ступени учитывать дополнительно ее положение на валу, диаметры и длины ее и остальных ступеней, способ установки заготовки и т.д. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо, руководствуясь сведениями раздела 1 настоящих методических указаний и данными, полученными в предыдущих лабораторных работах, определить для конкретных условий обработки величины первичных погрешностей, а затем соответствующим образом их просуммировать, Поэтому приведем некоторые сведения по определению величин первичных погрешностей.

Величина погрешности, вызываемая упругими отжатиями технологической системы СПИД (Δy), может быть взята из лабораторной работы № 5 при условии идентичности условий обработки в данной работе с заданным (здесь и далее, не повторяясь, использование значений данных лабораторных работ допустимо только при идентичности условий обработки, заданных преподавателем в лабораторной работе № 7, с условиями выполнения соответствующей лабораторной работы).

В противном случае необходимо выполнить уточняющие расчеты и определить значение Δy для условий обработки, заданных преподавателем.

Погрешность выверки (ε_e) зависит от способа установки режущего инструмента на заданный размер и может быть в пределах $0,025 \dots 0,05$ мм (измерение производится микрометром или штангенциркулем с соответствующей ценой деления; смещение резца по лимбу с ценой деления $0,05$ мм). Поэтому при выполнении данной лабораторной работы надо обосновать (оговорить) принятое решение.

Значение погрешности закрепления ε_z , мм, т.е. от применения зажимных сил, также как и установки в приспособлении (ε) могут быть взяты из лабораторной работы № 4, либо принятые их значения обоснованы на основании других источников [2;5;17;22 и др.].

Значение погрешности (Δu), вызываемой размерным износом режущего инструмента, при индивидуальной обработке заготовок методом пробных проходов и промеров из-за малой протяженности обработки принимается равной нулю, а в противном случае, и при установке в приспособлении может быть определено на основании

данных лабораторной работы № 6.

Значение погрешности (Δt) вызываемой температурными деформациями технологической системы СПИД, может быть определено исходя из того, что она может достигнуть 10...15% от суммарной погрешности обработки. Следует иметь в виду, что при обработке партии заготовок (на установившемся тепловом режиме системы СПИД) данная погрешность может быть сведена к нулю за счет соответствующей поднастройки станка (технологической системы СПИД).

Значение погрешности формы (Δ_{cm}), вызываемой геометрическими неточностями станка, непосредственно получена, не может быть, т.к. геометрическая точность станка на погрешность обработки оказывает косвенное влияние, а не прямое. Обычно погрешность формы и взаимного положения поверхностей лежит в пределах 1/4-1/3 поля допуска на выдерживаемый размер. Если примем, что при обработке обеспечивается IT12, то, зная диаметр вала, не представит труда определить значение Δ_{cm} . Аналогично обстоит дело и с определением значения погрешности $\sum \Delta\phi$. Можно также учесть влияние этих погрешностей путем умножения суммы всех остальных первичных погрешностей на коэффициент $k = 1,2$ для Δ_{cm} и $k = 1,3$ для $\sum \Delta\phi$. Целесообразно рассмотреть оба варианта и принятое решение обосновать.

Значение погрешности настройки станка (Δn) берется либо из лабораторной работы №3 при адекватных условиях обработки, либо рассчитывается с использованием приведенных там же данных:

Значение поля рассеяния (6σ) берется из лабораторной работы №3.

Удельные значения влияния первичных погрешностей на общую при различных условиях обработки приведены в разделе 7.1 настоящей работы.

Бригадам студентов по указанию преподавателя могут быть заданы следующие общие условия выполнения токарной операции:

- при установке в патроне без поджатая центром задней бабки заготовки - диаметром 60 мм; диаметром 50 мм или диаметром 40 мм
- при установке в патроне с поджатием центром задней бабки (либо в центрах с передачей крутящего момента торцевым по-

водковым патроном – может быть уточнено студентом) заготовки диаметром 40 мм, диаметром 30 мм, диаметром 20 мм

При этом во всех случаях заготовкой является горячекатанный пруток обычной точности и длина обработки (детали - гладкого вала) составляет 150 мм.

7.2. Порядок выполнения и оформления работы

Для заданных общих условий выполнения токарной операции и, конкретизируя в случае необходимости дополнительные условия обработки, выполняется следующее:

1. Определяются значения первичных погрешностей и определяется суммарная величина погрешности обработки :

- при индивидуальной обрабатываемой заготовки методом пробных проходов и промеров с использованием зависимости (7.1);

- при установке заготовок в приспособлении на предварительно настроенном станке:

а) методом полной взаимозаменяемости с использованием зависимости (7.2);

б) методом неполной взаимозаменяемости с использованием зависимости (7.3) или (7.4);

- расчетно-статистическим методом при различных дополнительных условиях выполнения операций с использованием зависимостей (7.5) – (7.8).

2. Определяются удельные значения составляющих (первичных) погрешностей в общей (прогнозируемой) погрешности обработки, сравниваются они с приведенными в разделе 7.1 настоящей работы данными и делаются выводы по выполненной работе, отмечая, в том числе, когда и почему точность обработки будет выше.

7.3. Контрольные вопросы

7.3.1. Какие существуют методы суммирования погрешностей?

7.3.2. Как определяется суммарная величина погрешности при индивидуальной обработке заготовки методом пробных проходов и промеров?

7.3.3. Как определяется суммарная величина погрешности обработки при работе на настроенных станках (методом полной и

неполной взаимозаменяемости)?

7.3.4. Как определяется суммарная величина погрешности обработки расчетно-статистическим методом при различных условиях осуществления операции?

7.3.5. Каковы удельные значения первичных погрешностей в общей суммарной величине при различных условиях выполнения операции?

ЛИТЕРАТУРА

1. Режимы резания металлов: Справочник. /Под ред. Ю. В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 408 с.
2. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностроит. спец. – Мн.: Выш. шк., 1983. – 256 с.
3. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы выполняемые на металлорежущих станках. – М: «Машиностроение», 1984 г.
4. Маталин А. А. Технология машиностроения: Учеб. для машиностроит. вузов по спец. «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, 1985. – 512 с.
5. Ящерицын П. И. Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении. – Мн.: Выш. шк., 1974. – 607 с.
6. Пустыльник Б. И. Статические методы анализа и обработки наблюдений. М., Наука, 1968.
7. Румшинский Л. З. Элементы теории вероятностей. 5-е изд. Главная редакция физ.-мат. литературы. – М.: «Наука», 1976.
8. Егоров М. Е., Дементьев В. И., Дмитриев В. Л. Технология машиностроения. Учебник для втузов. Изд. 2-е доп. – М.: Выс. шк., 1976 – 543 с.
9. Кован В. М. и др. Основы технологии машиностроения. М.: «Машиностроение», 1977.
10. Балакишин Б. С. Основы технологии машиностроения. – 3-е изд. доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
11. Скраган В.А. и др. Лабораторные работы по технологии машиностроения. – Л.: «Машиностроение», 1974.
12. Даниловский В. В. Лабораторные работы по технологии машиностроения. – М.: Выс. шк., 1971.
13. Кован В.М. и др. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1965.
14. Корсаков В.С. и др. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1977.
15. Корсаков В.С. Точность механической обработки и проекти-

рования технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1970.

16. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.

17. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении: Учебное пособие для вузов /*И. П. Филонов, Г. Я. Беляев, Л. М. Кожуро и др.* Под общ. ред. *И. П. Филонова.* – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.

18. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов /*Я. М. Радкевич, В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, М. С. Островский;* под ред. *В. А. Тимирязева* – М.: Высшая школа, 2004. – 272 с.

20. Режимы резания металлов: Справочник. /Под ред. *А. Д. Корчемкина.* – М.: НИИавтопром, 1995. – 456 с.

21. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т1 /Под ред. *А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова и А. Г. Сулова.* – 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.

22. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т2 /Под ред. *А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова и А. Г. Сулова.* – 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение-1, 2001. – 944 с.

23. *Якобсон М.О.* Шероховатость, наклон и остаточные напряжения при механической обработке. – М.: Маш. из., 1956.

25. Сборник практических работ по технологии машиностроения: Учеб. пособие/ *А. И. Медведев, В. А. Шкред, В. В. Бабук и др.;* Под ред. *И. П. Филонова.* – Мн.: БНТУ, 2003. – 486 с.

**Пучков Анатолий Андреевич
Соболев Виктор Федорович
Петухов Александр Владимирович**

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Лабораторный практикум
по курсу «Технология машиностроения» для студентов
специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»
и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительных производств»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 19.06.12.

Пер. № 18Е.

<http://www.gstu.by>