

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

Н. Н. ПОПОК, В. И. АБРАМОВ

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебно-методический комплекс
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»
и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного
производства»

Новополоцк
ПГУ
2009

УДК 621(075.8)
ББК 34.5я73
П58

Рекомендовано к изданию методической комиссией
машиностроительного факультета в качестве
учебно-методического комплекса (протокол № 5 от 30.05.2009)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Технология машиностроения»
БНТУ В. К. ШЕЛЕГ

д-р техн. наук, проф. каф. «Технология конструкционных материалов»
УО «ПГУ» В. П. ИВАНОВ;

канд. техн. наук, доц. каф. «Технология и оборудование машиностроительного
производства» УО «ПГУ» А. С. АРШИКОВ

Попок, Н. Н.

П58 Основы технологии машиностроения : учеб.-метод. комплекс для
студентов спец. 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03
«Технологическое оборудование машиностроительного производст-
ва» / Н. Н. Попок, В. И. Абрамов. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 192 с.

ISBN 978-985-418-943-7.

Изложена методика обучения и контроля знаний, предоставлены рабо-
чая программа и конспект лекций по дисциплине, рассмотрены понятия и
положения основ технологии машиностроения, в частности – теории бази-
рования и размерного анализа технологических процессов, точности и каче-
ства изготовления деталей машин и технологические методы повышения
производительности труда и снижения себестоимости изделий. Приведены
структура и содержание курсовой работы и варианты заданий для самостоя-
тельной работы студентов.

Предназначен для студентов, магистрантов, аспирантов и специалистов
в области технологии машиностроения.

УДК 621(075.8)
ББК 34.5я73

ISBN 978-985-418-943-7

© Попок Н. Н., Абрамов В. И., 2009
© УО «Полоцкий государственный университет», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Методика обучения и контроля уровня знаний, умений и навыков.....	5
Общие положения	5
Контрольные вопросы	6
Рабочая программа по дисциплине	9
Конспект лекций.....	19
Введение.....	20
1. Изделие и его виды. Основы базирования деталей и заготовок	23
1.1. Виды изделий.....	23
1.2. Базирование и базы в машиностроении	24
1.3. Погрешность базирования заготовок.....	35
1.4. Понятия о служебном назначении изделия, об исполнительных и вспомогательных поверхностях.....	38
2. Производственный и технологический процессы.....	39
2.1. Общие понятия о производственном и технологическом процессах	39
2.2. Классификация технологических процессов	41
2.3. Размер программного задания. Характеристики технологического процесса	43
2.4. Технологическая характеристика различных типов производства	44
3. Качество изделий	48
3.1. Показатели качества изделий	48
3.2. Точность в машиностроении.....	50
4. Статистические методы исследования качества изделий	52
4.1. Виды погрешностей	52
4.2. Кривые распределения контролируемого параметра и оценка точности обработки на их основе.....	53
5. Погрешность установки заготовок и выбор технологических баз в процессе изготовления деталей.....	64
5.1. Погрешность установки заготовок	64
5.2. Выбор технологических баз	69
6. Припуски на механическую обработку.....	76
6.1. Общие понятия и определения.....	76
6.2. Факторы, влияющие на величину припуска	78
6.3. Методы определения припусков.....	79
7. Размерный анализ технологических процессов	83
7.1. Общие понятия о технологических размерных цепях	83
7.2. Назначение допусков	88
7.3. Припуски на обработку.....	89
8. Методы настройки технологической системы	91
9. Погрешности при обработке заготовки на станке.....	101
9.1. Жесткость технологической системы заготовка – инструмент – приспособление – станок.....	101
9.2. Размерный износ инструмента	111
9.3. Тепловые деформации технологической системы	117
10. Качество поверхностей и основы технологических методов повышения надежности деталей машин	123
11. Технологичность конструкции изделия.....	134
11.1. Общие понятия	134
11.2. Мероприятия по повышению технологичности конструкций	135
11.3. Требования к анализу технологичности конструкции детали	140
12. Производительность и экономическая эффективность технологических процессов.....	141
12.1. Основы технического нормирования	141
12.2. Структура затрат рабочего времени	143
12.3. Методы расчета себестоимости вариантов технологических процессов.....	147
13. Технологические методы повышения производительности труда и снижения себестоимости изделий.....	152
13.1. Снижение себестоимости изделий путем регулирования их количества	152
13.2. Сокращение расходов на материалы	153
13.3. Технологические основы увеличения производительности труда	154
13.4. Автоматизация производственных процессов.....	158
13.5. Типизация технологических процессов	160
Структура и содержание курсовой работы.....	166
Приложение. Варианты заданий.....	167

ПРЕДИСЛОВИЕ

Машиностроение является ключевой отраслью промышленности. Развитию машиностроения со стороны государства всегда уделялось существенное внимание. Особенно возросла роль машиностроения в настоящее время, когда в силу высокой конкуренции на рынке очень быстро изменяются требования по повышению качества машин и производительность их изготовления. Развитие машиностроения базируется на современных достижениях науки «Технология машиностроения», совершенствовании ее научных основ.

Основы технологии машиностроения достаточно всесторонне и глубоко проработаны отечественными и зарубежными учеными, прежде всего России и Беларуси, и отражены в материалах многочисленных учебных пособий и учебников. В предлагаемом студентам учебно-методическом комплексе (УМК) по основам технологии машиностроения излагаются сложившиеся на сегодня передовые взгляды ведущих ученых-технологов, производителей, а также преподавателей, имеющих многолетний опыт проведения занятий по дисциплине «Основы технологии машиностроения» кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства» Полоцкого государственного университета.

Комплекс включает разработанные на кафедре методику обучения и контроля знаний студентов, рабочую программу по дисциплине, конспект лекций, а также материалы к выполнению курсовой работы. Дан перечень разработанных на кафедре методических указаний к лабораторным работам и практическим занятиям. Методические указания являются неотъемлемой частью УМК. В приложении приведены варианты заданий, которые могут быть использованы как при выполнении курсовой работы, так и при проведении практических занятий и самостоятельной работе студентов.

В конспекте лекций основное внимание уделено понятиям и определениям, связанным с изделием, качеством изделий, производственным и технологическим процессами и другими вопросами. Подробно рассмотрены вопросы базирования заготовок, погрешности их установки и обработки, размерного анализа технологических процессов, технологичности конструкций изделий, технического нормирования труда.

Авторы благодарны рецензентам – д-ру техн. наук, проф., зав. каф. «Технология машиностроения» БНТУ Валерию Константиновичу Шелегу, а также д-ру техн. наук, проф. Владимиру Петровичу Иванову и канд. техн. наук, доц. Александру Сергеевичу Аршикову (УО «ПГУ») за ценные замечания и пожелания, высказанные ими при составлении комплекса.

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ И НАВЫКОВ

Общие положения

На кафедре «Технология и оборудование машиностроительного производства» Полоцкого государственного университета в течение ряда лет реализуется методика обучения, которая нацелена на индивидуальную работу со студентами и комплексную (рейтинговую) оценку уровня полученных ими знаний.

Методика предусматривает выполнение студентами следующих требований:

1. Посещение лекций и ведение конспекта с предоставлением его преподавателю на экзамене. Такое требование приучает студентов к внимательности и собранности на лекции, позволяет фиксировать новые (дополнительные к имеющимся учебно-методическим материалам) сведения по дисциплине.

2. Самостоятельную подготовку студентов к лабораторным занятиям. Необходимо отметить, что содержание лабораторных работ соответствует разделам курса, и студент имеет возможность постепенно усваивать необходимую теоретическую информацию. До начала лабораторной работы студенты предоставляют отчет в виде краткого изложения теории по рассматриваемому вопросу, опрашиваются при положительных ответах допускаются к выполнению лабораторной работы. На самой лабораторной работе студенты осваивают необходимые приемы на станке, проводят с использованием приборов и аппаратуры измерения, заполняют протоколы и обрабатывают экспериментальные данные. В конце лабораторных занятий студенты защищают лабораторную работу. Те студенты, которые не отчитались по лабораторной работе до начала следующей, не допускаются к выполнению очередной работы.

3. Выполнение научных исследований, написание научного реферата по одной из предлагаемых тем, принятие участия в работе кафедрального кружка СНО, выполнение практической работы по изготовлению на станке образцов, устройств, стендов к лабораторным работам.

Выполнение этих требований позволяет произвести рейтинговую оценку готовности студента к экзамену, которая складывается из оценки: 1) посещения лекций; 2) ведения конспекта лекций; 3) теоретической готовности к лабораторным работам; 4) своевременности оформления отчетов по выполненным работам; 5) участия в научно-исследовательской работе кафедры.

Первые три оценки определяют уровень усвоения студентами теоретического курса (рейтинг R_m), четвертая оценка определяет полученные практические навыки (рейтинг R_{np}), и пятая оценка характеризует активность и стремление студента к более глубокому познанию дисциплины (рейтинг $R_{акт}$). Таким образом, рейтинг по дисциплинам определяется по формуле

$$R_{\partial} = R_m + R_{л.р} + R_{акт}.$$

Оценка по каждой составляющей рейтинга выставляется по 10-балльной шкале. Знания по дисциплине считаются сформировавшимися при рейтинге по дисциплине не менее 19,5 баллов.

Контрольные вопросы

1. Технология машиностроения как наука и учебная дисциплина.
2. Изделие и его виды.
3. Теоретические основы базирования заготовок и изделий. Опорная точка, база, базирование, комплект баз, схема базирования.
4. Классификация баз в машиностроении.
5. Погрешность базирования и ее определение. Расчет погрешности базирования при установке вала в призму.
6. Общие рекомендации по выбору технологических баз. Принципы совмещения баз. Принципы единства технологических баз.
7. Общие понятия о производственном и технологическом процессах. Технологическая операция и ее элементы.
8. Классификация технологических процессов.
9. Размер программного задания. Характеристики технологического процесса.
10. Типы производств и их технологические характеристики.
11. Организационные формы и принципы построения технологических процессов.
12. Качество изделий. Виды и группы показателей качества изделий.
13. Точность в машиностроении, этапы и методы ее обеспечения.
14. Виды погрешностей по характеру их проявления.
15. Кривые распределения и оценка точности обработки на их основе.

16. Закон нормального распределения (закон Гауса). Определение количества годных заготовок и количества заготовок, попадающих в исправимый и неисправимый брак.

17. Точечные и точностные диаграммы протекания технологического процесса.

18. Расчет погрешности закрепления.

19. Погрешность установки заготовок и ее составляющие, допустимая погрешность установки.

20. Припуски на обработку (общие понятия и определения).

21. Факторы, влияющие на величину припусков.

22. Методы определения припусков. Расчет предельных значений припусков и операционных размеров.

23. Общие понятия о технологических размерных цепях, их разновидности. Уточнение понятий замыкающего и составляющих звеньев. Методика решения смешанной задачи.

24. Звенья- припуски в технологических размерных цепях.

25. Общие понятия о размерном анализе технологических процессов. Преобразование чертежей детали и заготовки. Построение размерных схем технологических процессов и выявление технологических размерных цепей.

26. Методы настройки технологической системы. Статистическая настройка.

27. Методы настройки технологической системы. Настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра.

28. Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального мерительного инструмента. Расчет настройки без учета переменных систематических погрешностей.

29. Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального мерительного инструмента. Расчет настройки с учетом переменных систематических погрешностей.

30. Общие понятия о жесткости технологической системы. Взаимозаменяемость остаточной и заданной глубин резания.

31. Определение погрешности выполняемого размера при обработке партии заготовки.

32. Определение степени уменьшения (копирования) погрешности формы, погрешности взаимного положения поверхностей и погрешностей размеров заготовки. Расчет общего коэффициента уменьшения погрешностей при обработке за несколько рабочих ходов.

33. Размерный износ режущего инструмента и его влияние на точность обработки.
34. Износ шлифовальных кругов. Пути снижения влияния размерного износа на точность обработки.
35. Тепловое состояние технологической системы. Влияние тепловых деформаций станка на точность обработки.
36. Влияние тепловых деформаций обрабатываемой заготовки и инструмента на точность обработки.
37. Качество поверхности. Геометрические параметры. Зависимость шероховатости от режимов резания.
38. Физико-механическое состояние поверхностного слоя. Влияние механической обработки на состояние поверхностного слоя детали.
39. Влияние шероховатости на эксплуатационные свойства деталей.
40. Влияние состояния поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей. Понятие о технологической наследственности.
41. Общие понятия о технологичности конструкции изделий.
42. Мероприятия по повышению технологичности конструкций изделий.
43. Требования к анализу технологичности конструкции детали.
44. Задачи и методы нормирования труда. Хронометраж и фотографии рабочего дня.
45. Классификация затрат рабочего времени. Структура нормы времени.
46. Методы расчета экономичности вариантов технологических процессов. Бухгалтерский и элементный методы подсчета себестоимости. Оценка экономической эффективности по приведенным затратам.
47. Зависимость производительности труда и себестоимости изделий от их количества и расходов на материалы.
48. Пути сокращения основного и вспомогательного времени в структуре штучного времени.
49. Автоматизация производственных процессов.
50. Сущность типизации технологических процессов и групповая обработка деталей.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

1.1. Цель преподавания дисциплины

Цель преподавания дисциплины заключается в том, чтобы привить студентам знания теоретических основ технологии машиностроения, в частности, теорий базирования и размерных цепей, расчета припуска и определения погрешности механической обработки, управления технологическими факторами для практического применения при построении и анализе технологических процессов изготовления изделий машиностроительного производства.

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны получить навыки и уметь применять на практике:

- терминологию в соответствии с действующими стандартами;
- теорию базирования заготовок в машиностроении;
- методику выбора единых технологических баз для осуществления технологического процесса;
- основы теории размерного анализа технологических процессов;
- методику отработки конструкций изделия на технологичность;
- методы расчетов технически и экономически обоснованных припусков на обработку;
- методы выявления технологических факторов и управления ими с целью обеспечения требуемого качества и наименьшей себестоимости изделий.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины

Название дисциплины	Раздел темы
1. Материаловедение	Свойства материалов и методы их обработки
2. Высшая математика	Теория вероятностей и математическая статистика
3. Теория резания	Весь курс
4. Теория механизмов, машин и манипуляторов	Уравновешивание масс и виброзащита машин
5. Нормирование точности и технические измерения	Весь курс
6. Станочное оборудование	Весь курс
7. Тепловые процессы в технологических системах	Весь курс
8. Режущий инструмент	Весь курс

2. Содержание дисциплины

2.1. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

Название темы	Содержание	Объем в часах
1	2	3
1. Введение	Машиностроение и его роль в ускорении технического прогресса. Задачи и основные направления развития машиностроения. Технология машиностроения как научная дисциплина. Цель и задачи учебной дисциплины. Технология машиностроения, ее связь с другими дисциплинами учебного плана.	2
2. Изделие и его виды. Основы базирования деталей и заготовок.	Изделие и его виды в машиностроении. Соединение деталей при сборке и установке заготовок на станках и в приспособлениях. Теоретические основы определения положения твердого тела в пространстве. Понятия о базировании и базах в машиностроении. Классификация баз в машиностроении. Погрешность базирования и ее расчет. Служебное назначение изделия.	6
3. Производственный и технологический процессы	Общие понятия о производственном и технологическом процессах. Классификация технологических процессов по ЕСТПП. Размер программного задания. Характеристики технологического процесса. Технологическая характеристика различных типов производств. Организационные формы и принципы построения технологических процессов.	4
4. Качество изделий	Показатели качества изделий. Точность в машиностроении. Три этапа обеспечения точности при выполнении технологической операции. Методы обеспечения точности размерных параметров при обработке резанием.	2
5. Статистические методы исследования качества изделий	Рассеяние параметров качества изделий. Виды факторов, порождающих рассеяние, по характеру их проявления. Кривые распределения и оценка точности на их основе. Точечные и точностные диаграммы и их применение для исследования точности протекания технологических процессов.	4
6. Погрешность установки заготовок и выбор технологических баз в процессе изготовления деталей	Включение заготовки при обработке в размерные и кинематические цепи технологической системы. Погрешность установки как сумма погрешностей базирования, положения и закрепления. Расчет погрешности закрепления. Погрешность положения заготовки, вызываемая неточностью приспособления. Суммирование погрешностей базирования, закрепления и положения заготовки, вызываемой неточностью приспособления. Принцип единства баз. Методика выбора комплекта единых технологических баз в технологическом процессе. Роль и значение первой операции. Общие рекомендации по использованию баз в технологическом процессе.	10
7. Припуски на механическую обработку	Понятие о припуске на механическую обработку. Методы расчета припусков на механическую обработку. Факторы, влияющие на величину припуска. Расчет операционных размеров и предельных значений припусков по методу Кована.	4

8. Размерный анализ технологических процессов	Общие понятия о технологических размерных цепях. Виды технологических размерных цепей. Назначение обоснованных допусков на размерные параметры. Методика выявления и суть расчета операционных размерных цепей. Общие понятия о размерном анализе технологических процессов. Роль и задачи размерного анализа при проектировании технологических процессов. Преобразование чертежа для выполнения размерного анализа. Звенья-припуски. Размерные схемы технологических процессов. Определение предельных и номинальных значений припусков и операционных размеров на основе размерного анализа.	10
9. Методы настройки технологической системы	Понятие о настройке и поднастройке технологической системы. Задачи настройки. Методы настройки. Статическая настройка. Настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра. Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального мерительного инструмента (с учетом и без учета переменных систематических погрешностей).	4
10. Погрешности, возникающие при обработке заготовки на станке	Факторы, влияющие на величину погрешностей при обработке заготовки на станке. Жесткость технологической системы. Влияние жесткости на точность размерных параметров деталей, обработанных на настроенных станках. Понятие о размерном износе режущего инструмента. Зависимость размерного износа режущего инструмента от пути и скорости резания. Источники выделения тепла в технологической системе. Распределение теплоты, выделяющейся в процессе резания. Влияние тепловых деформаций на точность обработки. Основные пути снижения влияния тепловых деформаций на точность обработки.	6
11. Качество поверхности и технические методы повышения надежности деталей машин	Общие понятия о качестве обработанной поверхности: искажение формы, волнистость, шероховатость поверхности, остаточные напряжения, физико-механическое состояние материала поверхностного слоя и его микроструктура. Механизм образования остаточных напряжений в поверхностном слое и влияние способов и режимов механической обработки на значения, знак и глубину распространения остаточных напряжений. Физическая сущность деформационного упрочнения металла в процессе пластической деформации. Влияние шероховатости, остаточных напряжений и отдельных характеристик состояния металла поверхностного слоя на основные эксплуатационные свойства деталей машин.	6
12. Технологичность конструкции изделия	Технологичность конструкций изделий как условие обеспечения высокой экономической эффективности технологических процессов. Основная задача отработки конструкции на технологичность. Общие правила и методика отработки конструкции на технологичность. Количественная оценка технологичности. Общие требования к технологичности конструкций деталей. Технологические требования к конструктивным элементам деталей.	4

13. Производительность и экономичность технологических процессов	Производительность труда. Мера труда и ее значение. Расчет расходов на зарплату. Техническая норма времени и техническая норма выработки. Техническое нормирование. Расчетно-аналитический метод нормирования. Критерии экономичности технологических процессов. Методы подсчета себестоимости единицы продукции и технологической операции. Технологическая себестоимость.	4
14. Технологические методы повышения производительности труда и снижения себестоимости изделий	Увеличение количества изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени. Использование унификации деталей и узлов. Сокращение расходов на материалы. Понятие о коэффициенте использования материала. Пути приближения качества заготовки к качеству готовых изделий. Получение отходов в наиболее ценном виде и их использование. Сокращение расходов на единицу продукции. Сокращение времени, затрачиваемого на выполнение операций за счет сокращения подготовительно-заключительного и штучного времени. Пути и средства сокращения основного технологического времени. Повышение качества заготовок. Сокращение длины пути рабочего хода инструмента. Совмещение переходов. Дифференцирование и концентрирование операций. Сокращение величин холостых ходов. Повышение режимов обработки. Автоматизация производственных процессов. Задачи, роль и значение автоматизации в современном машиностроении.	6
Всего в учебном году		72

2.2. Практические занятия, их содержание и объем в часах

Тема занятия	Содержание	Объем в часах
1	2	3
1. Разработка теоретических схем базирования заготовок	Разработка теоретических схем базирования (решение шести задач) с характеристикой комплекта баз по лишаемым степеням свободы и характеру проявления	4
2. Выбор комплекта единых технологических баз и схемы базирования на первой операции	Выбрать комплект единых технологических баз при организации технологического процесса изготовления детали, определить на основе размерных расчетов оптимальную схему базирования на первой операции.	8
3. Размерный анализ проектируемого технологического процесса	Преобразование чертежей детали и заготовки, построение размерной схемы и выявление технологических операционных размерных цепей	6
Всего за учебный год		18

2.3. Лабораторные занятия, их содержание и объем в часах

Наименование	Объем в часах
2	3
1. Исследование точности изготовления деталей методами математической статистики	4
2. Исследование взаимосвязи размерной точности смежных операций технологического процесса	4
3. Расчет и экспериментальное определение погрешности базирования заготовок на станках и в приспособлениях	4
4. Исследование влияния износа режущего инструмента на точность обработки заготовок	4
5. Жесткость технологической системы ЗИПС и ее влияние на точность обработки	4
6. Настройка металлорежущих станков на выполнение технологической операции	4
7. Расчет и экспериментальное определение нормы времени на выполнение станочной операции	4
8. Определение минимальных операционных припусков, допусков на операционные размеры и решение технологических операционных размерных цепей	8
Всего за учебный год	36

3. Учебно-методические материалы по дисциплине

3.1. Литература

Основная

1. Суслов, А.Г. Технология машиностроения: учебник / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2003 – 400 с.
2. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов / И.П. Филонов [и др.]; под общ. ред. И.П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
4. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985. – 496 с.
5. Балакшин, Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
6. Егоров, М.Е. Технология машиностроения / М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высш. шк., 1976. – 534 с.

7. Основы технологии машиностроения / под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977. – 336 с.
8. Проектирование технологий / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
9. Махаринский, Е.И. Основы технологии машиностроения: учебник / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов. – Минск: Выш. шк., 1997

Дополнительная

1. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
2. Ящерицын, П.И. Основы технологической механической обработки и сборки в машиностроении / П.И. Ящерицын. – Минск: Выш. шк., 1974. – 607 с.
3. Групповая обработка деталей / С.П. Митрофанов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1974.
4. Корсаков, В.С. Точность механической обработки / В.С. Корсаков. – М.: Машгиз, 1961.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. Д.М. Дальского, [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 912 с.
6. ГОСТ 2.101. Единая система конструкторской документации. Основные положения. 1968.
7. ГОСТ 21495. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. 1976.
8. ГОСТ 3.1109. Единая система технологической документации. 1982.
9. ГОСТ 15467. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. 1979.

3.2. Перечень наглядных и других пособий и методических материалов

1. Абрамов В.И. Методические указания к практическим занятиям «Базирование заготовок при выполнении технологического процесса изготовления деталей» по дисциплине «Технология машиностроения» для студентов специальности Т.03.01. – Новополоцк, 2001. – 28 с.

2. Абрамов В.И. Методические указания к практическим занятиям «Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей» по курсу «Основы технологии машиностроения» для студентов специальностей 1201 и 1202. – Новополоцк, 1990. – 28 с.

3. Абрамов В.И., Чемисов Б.П. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Исследование точности изготовления деталей методами математической статистики» курса «Технология машиностроения» для студентов специальности 1-36 01 01. – Новополоцк, 2003. – 15 с.

4. Абрамов В.И., Чемисов Б.П. Методические указания к лабораторной работе «Исследование взаимосвязи размерной точности смежных опе-

раций технологического процесса» курса «Основы технологии машиностроения» для студентов специальностей 1201 и 1202. – Новополоцк, 1988. – 13 с.

5. Абрамов В.И. Методические указания к лабораторной работе «Расчет и экспериментальное определение погрешности базирования заготовок на станках и в приспособлениях» курса «Основы технологии машиностроения» для студентов специальностей 1201 и 1202. – Новополоцк, 1988. – 18 с.

6. Абрамов В.И., Чемисов Б.П., Семенов В.И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Исследование влияния износа режущего инструмента на точность обработки заготовок» курса «Технология машиностроения» для студентов специальности 1-36 01 0.1. – Новополоцк, 2003. – 11 с.

7. Абрамов В.И., Чемисов Б.П., Семенов В.И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Жесткость технологической системы ЗИПС и ее влияние на точность обработки» курса «Технология машиностроения» для студентов специальности 1-36 01 01. – Новополоцк, 2003. – 14 с.

8. Абрамов В.И., Чемисов Б.П., Семенов В.И. Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе «Настройка металлорежущих станков на выполнение технологических операций» для студентов специальности 1-36 01 01. – Новополоцк, 2003. – 16 с.

9. Абрамов В.И. Методические указания к лабораторной работе «Расчет и экспериментальное определение нормы времени на выполнение станочной операции» по дисциплине «Технология машиностроения» для студентов специальности 0501. – Новополоцк, 1988.

10. Абрамов В.И. Методические указания и задания к лабораторной работе № 1 «Теоретические основы базирования заготовок и изделий в машиностроении» по курсу «Основы технологии машиностроения» для студентов-заочников специальностей 1201 и 1202. – Новополоцк, 1990.

11. Абрамов В.И. Методические указания и задания к лабораторной работе № 2 «Расчет технологических операционных цепей» по курсу «Основы технологии машиностроения» для студентов-заочников специальностей 1201 и 1202. – Новополоцк, 1990.

12. Комплект плакатов по теме «Размерный анализ технологических процессов».

13. Комплект плакатов по теме «Погрешность установки заготовок и выбор технологических баз в процессе изготовления деталей».

4. Учебно-методическая карта дисциплины

№ раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Литература	Формы контроля знаний	
		лекции	практические (семинары)	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение	4	1	1	1	ГОСТ 2.101, 2.1495	[2,3]	Опрос при самост. раб.
2	Виды изделий в машиностроении. Базирование и базы в машиностроении. Погрешность базирования. Понятие о служебном назначении изделия.	4	1	1	2	1, 5, 10 плакаты	[1,5]	Защита отчета по лаб. работе
3	Общие понятия о производственном и технологическом процессах. Классификация технол. процессов. Характеристики технологического процесса. Технологическая характеристика различных типов производства. Организационные формы и принципы построения технологических процессов.	4	1	2	1	ГОСТ 3.1109 плакаты	[1,2,7,9]	Самост. работа
4	Показатели качества изделий. Точность в машиностроении и методы ее обеспечения.	2	1	2	2	ГОСТ 15467, 13, образцы деталей	[1,2,3]	Защита отчета по лаб. работе
5	Виды погрешностей. Кривые распределения и оценка точности на их основе.	2	2					
5	Точечные и точностные диаграммы и их применение для исследования точности обработок.	2	2	3	2	3	[4]	Защита отчета по лаб. работе
6	Общие понятия о погрешности установки заготовок. Погрешность закрепления заготовок.	2				4, плакаты, приборы	[1,2]	

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Погрешность положения заготовки, вызываемая не точностью приспособления. Выбор технологических баз при организации технологического процесса механической обработки детали.	4	2	3	2	4, плакаты	[1,2]	Защита отчета по лаб. работе
6	-"-	4	2	4	2	4, плакаты		Защита отчета по лаб. работе
7	Общие понятия и определения. Методы определения припусков. Определения промежуточных и исходных размеров заготовки.	4	2	4	1	11, плакаты	[6]	Защита отчета по лаб. работе
8	Общие понятия о технологических размерных целях. Методика расчета технологических операционных размерных целей.	4	2	5	2	11, плакаты	[4]	Защита отчета по лаб. работе
8	Назначение припусков и допусков на операционные размеры применительно к размерному анализу технологических процессов. Методика построения размерных схем технологического процесса.	4	2	5	2	11, плакаты	[6]	Защита отчета по лаб. работе
8	Выявление операционных размерных целей и проверка размерной корректности тех. процесса.	2	2	6	2	2, 8, 11, 12, калибр	[4]	Защита отчета по лаб. работе
9	Общие понятия и определения. Статическая настройка. Настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра.	2						
9	Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального мерительного инструмента.	2	2	6	1	7, 8, измерительный инструмент	[1,2,3]	Защита отчета по лаб. работе
10	Жесткость технологической системы ЗИПС.	2						

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Размерный износ инструмента. Тепловые деформации технологии ческой системы ЗИПС	4	3	7	1	6	[1,2,3]	Защита отчета по лаб. работе
11	Геометрические параметры качества поверхности слоя. Физико-механическое состояние поверхности слоя. Влияние механической обработки на состояние поверхности слоя.	4	3	7	2	плакаты	[7]	Самост. работа
11	Влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин.	2	3	8	1	плакаты	[3]	Опрос при самост. работе
12	Общие понятия о технологичности изделия. Мероприятия по повышению технологичности.	2						
12	Мероприятия по повышению технологичности. Требования к анализу технологичности конструкции изделия.	2	3	8	2	плакаты	[6]	Защита
13	Основы технического нормирования.	2						
13	Методы расчета экономичности вариантов технологических процессов.	2	3	8	2	плакаты	[7]	Опрос при самост. работе
14	Общие понятия о методах повышения производительности труда. Влияние программы выпуска изделий и расходов на материалы	2						
14	Технологические основы повышения производительности труда. Пути сокращения основного времени. Мероприятия по сокращению вспомогательного и подготовительного-заключительного времени	4	3	8	2	9	[8]	Опрос при самост. работе

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ВВЕДЕНИЕ

В таких дисциплинах, как сопротивление материалов, теоретическая механика, теория машин и механизмов, детали машин, режущий инструмент, металлорежущие станки и др., рассматривались вопросы расчета деталей машин, конструирование узлов машин, правильного применения металлорежущего инструмента при обработке различных деталей и т.д.

При этом особое внимание уделялось вопросам обеспечения **качества и точности** машин.

Под **качеством** промышленной продукции понимается совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением (ГОСТ 15467).

Под **точностью** понимается степень соответствия параметров качества производимых изделий их заранее установленному эталону.

Качественное изменение предметов природы, осуществляемое человеком, получило название **технологического процесса**.

Осуществляя технологический процесс, человек ставит перед собой две основные задачи: 1) получить изделие, которое удовлетворяло бы его потребность; 2) затратить на его изготовление меньше труда.

Для выполнения каждого технологического процесса человек создает и использует различные средства труда, среди которых орудия производства играют решающую роль.

Потребности развивающегося машиностроительного производства вызвали появление новой технологической науки, получившей в дальнейшем название «Технология машиностроения».

Технология машиностроения – это наука об изготовлении машин требуемого качества в установленном производственной программой количестве и в заданные сроки при наименьших затратах живого и овеществленного труда.

Технология машиностроения как научная дисциплина возникла в 20-х годах двадцатого века в связи с быстрым ростом отечественного машиностроения. Ее развитие – заслуга широкого круга ученых, инженеров и новаторов производства. Формированию этой дисциплины способствовали труды русских ученых. Обобщение опыта и развития технологии машиностроения нашло отражение в капитальном труде профессора И.И. Тиме (1838-1920 гг.) «Основа машиностроения, организация машиностроительных фабрик в технологическом и экономическом отношении и производство работ», вышедшем в 1885 г. в 3-х томах. Труд профессора А.П. Гавриленко (1861-1914 гг.) «Технология металлов», обобщивший опыт разви-

тия технологии металлообработки, долгие годы был основным курсом, используя который училось несколько поколений русских инженеров.

В последующем технология машиностроения как наука прошла в своем развитии несколько этапов.

1-й этап, совпадающий с завершением периода восстановления и началом реконструкции промышленности страны (до 1929-1930 гг.) характеризуется накоплением отечественного и зарубежного производственного опыта изготовления машин. В отечественных и зарубежных технических журналах, каталогах и брошюрах публикуются описания процессов обработки различных деталей, применяемого оборудования и инструментов. Издаются первые руководящие и нормативные материалы ведомственных проектных организаций страны.

2-ой этап относится к периоду первых пятилеток до начала второй мировой войны (1930-1941 гг.) и характеризуется накоплением производственного опыта с проведением его обобщения и систематизации и началом разработки общих научных принципов построения технологических процессов.

К этому времени следует отнести начало формирования технологии машиностроения как науки в связи с опубликованием в 1933-1935 гг. первых систематизированных научных трудов советских профессоров: А.П.Соколовского, А.И. Каширина, В.М. Кована и А.Б. Яхина.

3-й этап, охватывающий годы второй мировой войны и послевоенного развития (1941-1970 гг.), отличается исключительно интенсивным развитием технологии машиностроения, разработкой новых технологических идей и формированием научных основ технологической науки (профессора А.П. Соколовский, В.М. Кован, А.Б. Яхин, В.А. Скраган, А.А. Маталин, И.М. Колесов и др.). В этот период начинается разработка проблемы организации поточных и автоматизированных технологических процессов обработки заготовок в серийном производстве. Систематизируются и обобщаются материалы по технологии сборки и разрабатываются ее научные основы. Совершенствуются различные методы обработки заготовок. Находят широкое применение методы объемной и поверхностной обработки пластическим деформированием, электрофизической и электрохимической обработкой.

4-й этап – с 1970 г. до настоящего времени. Его отличительной особенностью является широкое использование достижений фундаментальных и общинженерных наук для решения теоретических проблем и практических задач технологии машиностроения, дальнейшее развитие ее научных основ.

Технология машиностроения как учебная дисциплина имеет ряд особенностей, существенно отличающих ее от других специальных наук, изучаемых в вузах.

1. Технология машиностроения – наука прикладная, вызванная к жизни потребностями развивающейся промышленности.

Как писал один из ее основателей профессор А.П. Соколовский: учение о технологии родилось в цехе и не должно порывать с ним связи. В противном случае работа технолога станет академической и бесплодной.

2. Являясь прикладной наукой, технологии машиностроения, вместе с тем, имеет значительную теоретическую основу, включающую в себя: учение о типизации ТП и групповой обработке, о жесткости технологической системы, о точности процессов обработки, рассеянии параметров качества обрабатываемых заготовок, погрешностях технологической оснастки и оборудования, о припусках на обработку, о путях повышения производительности и экономичности технологических процессов.

3. Технология машиностроения является комплексной инженерной и научной дисциплиной, тесно связанной и широко использующей разработки многих учебных дисциплин, изучаемых в технических вузах.

Само определение технологии машиностроения как науки об изготовлении машин трактует ее как синтез технических проблем («изготовление машин требуемого качества»), организации производства («в установленном производственной программой количестве»), планирования («в заданные сроки») и экономики машиностроения («при наименьшей себестоимости»).

Чрезвычайно велика связь технологии машиностроения с такими дисциплинами, как теория резания; металлорежущие станки и инструменты; взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения; материаловедение и термическая обработка и другими. Рассмотрение технологических вопросов без использования этих наук вообще невозможно.

4. Как учебная дисциплина высшей школы технология машиностроения ограничивается рассмотрением вопросов механосборочного производства.

I – Теоретические основы технологии машиностроения.

II – Основы проектирования технологического процесса изготовления деталей машин.

III – Технология сборки машины.

1. Изделие и его виды. Основы базирования деталей и заготовок

1.1. Виды изделий

В технологии машиностроения решаются задачи, относящиеся к конечным этапам производства изделий, т.е. задачи, связанные с механической обработкой заготовок и сборкой изделий.

Согласно ГОСТ 2.101 **изделием** называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты.

Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций или с нанесенным покрытием, независимо от вида, толщины и назначения покрытия, или изготовленные с помощью сварки, пайки, склейки.

Сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, пайкой, сваркой и т.д.).

Комплекс – два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Комплект – два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, комплект инструмента).

ГОСТ 2.101 с конструктивных позиций предусматривает деление изделий на виды.

С позиций организации технологического процесса изготовления или ремонта изделия сборочная единица может состоять из деталей и узлов.

Под **узлом** понимается составная часть изделия, которая может быть собрана обособленно от других элементов изделия.

В современном машиностроении сборка подразделяется на общую и узловую. Объектом общей сборки является изделие, объектом узловой сборки являются его составные части. Элемент, с которого начинается сборка изделия (или его составной части), называется **базовым**.

По степени сложности различают узлы 1-го, 2-го и т.д. порядков.

Под узлом 1-го порядка понимается узел, в котором к базовой детали присоединены одна или несколько других деталей.

Под узлом 2-го порядка понимается узел, в котором к базовой детали присоединены одна или несколько деталей и хотя бы один узел 1-го порядка.

Сборочный комплект – это группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части (ГОСТ 3.1109).

Комплектуемое изделие – это изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем (компектуемыми изделиями могут быть детали и сборочные единицы) (ГОСТ 3.1109).

Сборочные единицы могут быть конструктивными и технологическими.

Конструктивная сборочная единица – это единица, спроектированная лишь по функциональному принципу, без учета особого значения условий независимой и самостоятельной сборки.

Технологическая сборочная единица – это сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями (ГОСТ 23887).

1.2. Базирование и базы в машиностроении

В процессе изготовления изделий возникают задачи соединения с требуемой точностью двух или большего количества деталей. Такие задачи возникают при сборке и регулировке сборочных единиц, при обработке заготовок на различном технологическом оборудовании, когда деталь необходимо установить с заданной точностью на столе станка или в приспособлении.

Аналогичные задачи приходится решать при установке режущего инструмента в шпинделе станка, борштанге, резцедержателе, в приспособлении, а также каждый раз, когда необходимо произвести измерение размера детали или заготовки при помощи любого измерительного инструмента или приспособления. Те же задачи возникают при ремонте изделий и их эксплуатации.

Во всех этих случаях инструментам, заготовкам, деталям, сборочным единицам и средствам измерения придают вполне определенное положение в пространстве относительно выбранной системы координат.

Согласно теоретической механике требуемое положение или движение твердого тела относительно выбранной системы координат определяется наложением геометрических или кинематических связей.

При наложении геометрических связей тело лишается трех перемещений вдоль координатных осей и трех поворотов вокруг этих осей, т.е. тело становится неподвижным в избранной системе координат.

Во втором случае связями обеспечивается заданное положение тела в системе координат в каждый рассматриваемый момент времени. Наложение двухсторонних геометрических связей достигается соприкосновением поверхностей тела с поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением сил и пар сил для обеспечения контакта между ними.

Тело, ограниченное реальными поверхностями, может контактировать с поверхностями тел, определяющими его положение, в общем случае, лишь по отдельным элементарным площадкам, условно считающимися точками контакта.

Пример построения системы $O_1X_1Y_1Z_1$ при контакте тел по реальным поверхностям представлен на рис. 1.1.

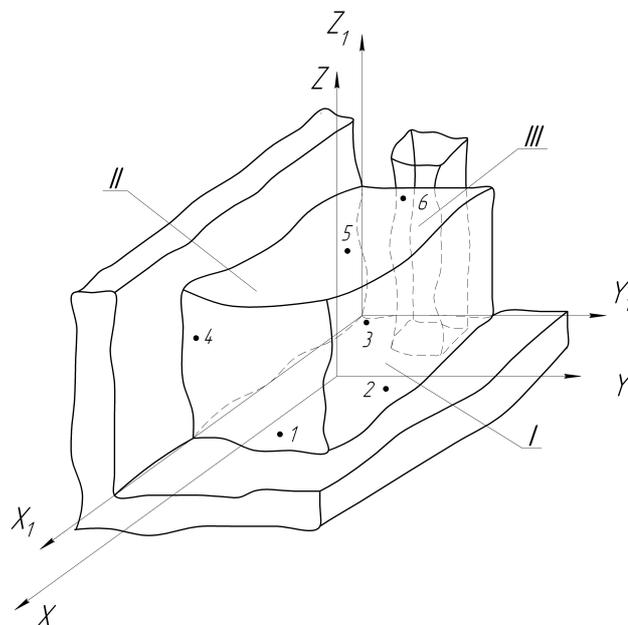


Рис. 1.1. Пример построения системы $O_1X_1Y_1Z_1$ при контакте тел по реальным поверхностям: I – установочная база; II – направляющая база; III – опорная база; 1 – 6 – точки контакта

Шесть связей, лишаящих тело движения в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых друг с другом тел в шести точках.

В случае идеализации формы поверхностей считается, что осуществление необходимых связей достигается контактом тел по поверхностям (геометрически правильным), а наличие реальных связей символизируется опорными точками, имеющими теоретический характер.

Опорная точка – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с избранной системой координат.

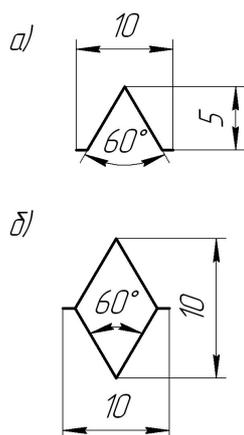


Рис. 1.2. Условное изображение опорных точек:
а – главный вид; б – вид сверху

ГОСТ 21495 предусматривает следующее условное изображение опорных точек.

Условное изображение опорных точек показано на рис. 1.2.

Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется **базированием**.

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

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия (рис. 1.3.).

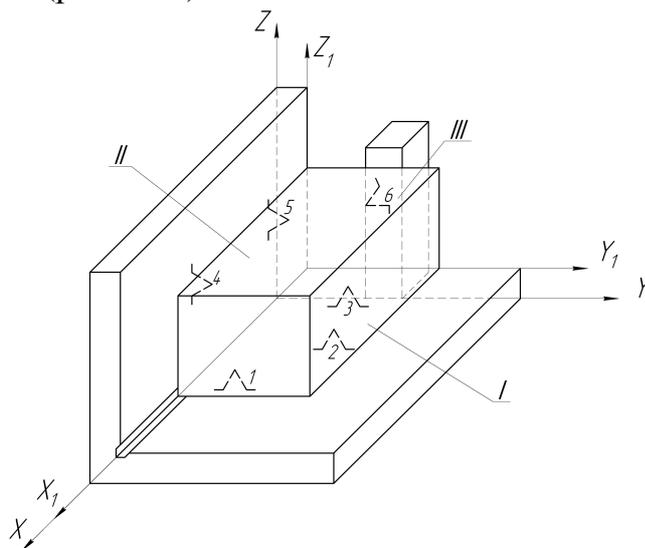


Рис. 1.3. Пример построения системы O_1, X_1, Y_1, Z_1 при контакте тел по идеализированным поверхностям: I – установочная база; II – направляющая база; III – опорная база; 1-6 – опорных точки

Следует иметь в виду, что в качестве баз могут выступать как реальные поверхности, так и воображаемые плоскости симметрии, оси, линии или точки их пересечения.

Схема базирования призматической детали представлена на рис. 1.4.

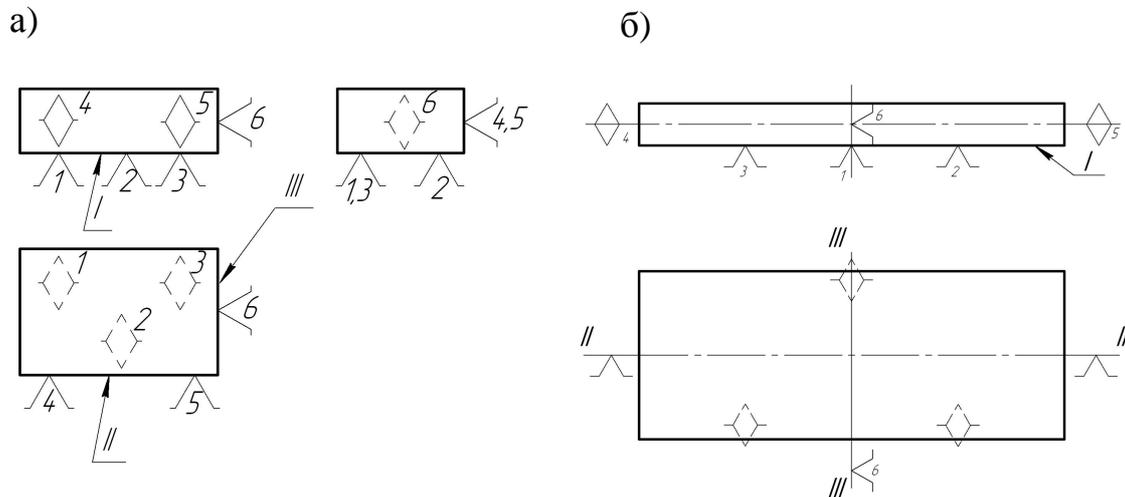


Рис. 1.4. Схема базирования призматической детали:
 а – по реальным поверхностям; б – по воображаемым осям;
 I, II, III – базы; 1-6 – опорные точки

Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия, называется **комплексом баз**.

Классификация баз

Базы в машиностроении классифицируются по 3-м признакам:

- по назначению;
- по лишаемым степеням свободы;
- по характеру проявления.

Схематически классификацию баз можно представить следующим образом.

<p>А. По назначению</p> <p>Конструкторская:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основная – вспомогательная <p>Технологическая</p> <p>Измерительная</p>	<p>Б. По лишаемым степеням свободы</p> <p>Установочная</p> <p>Направляющая</p> <p>Опорная</p> <p>Двойная направляющая</p> <p>Двойная опорная</p>	<p>В. По характеру проявления</p> <hr/> <p>Скрытая</p> <p>Явная</p>
--	---	--

По назначению:

1. Конструкторские:
 - основные;
 - вспомогательные.
2. Технологические.
3. Измерительные.

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

Основная база – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии (рис. 1.5).

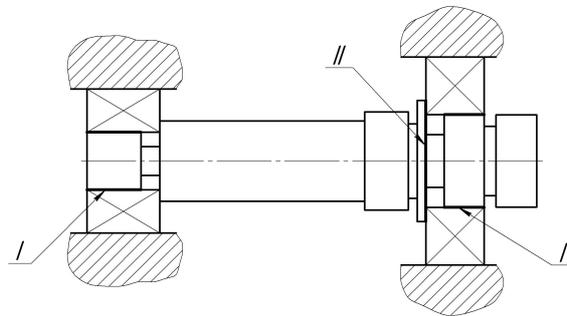


Рис. 1.5. Схема к определению к основной конструкторской базы:
I, II – основные базы вала

Вспомогательная база – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия (рис. 1.6).

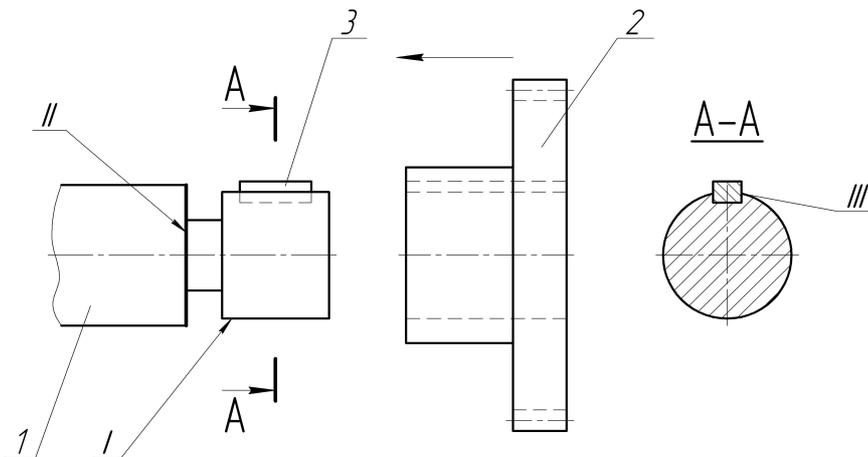


Рис. 1.6. Схема к определению вспомогательной конструкторской базы: I, II, III – один из комплектов вспомогательных баз вала со шпонкой; 1 – базовая деталь; 2 – присоединяемая деталь; 3 – шпонка

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (рис. 1.7).

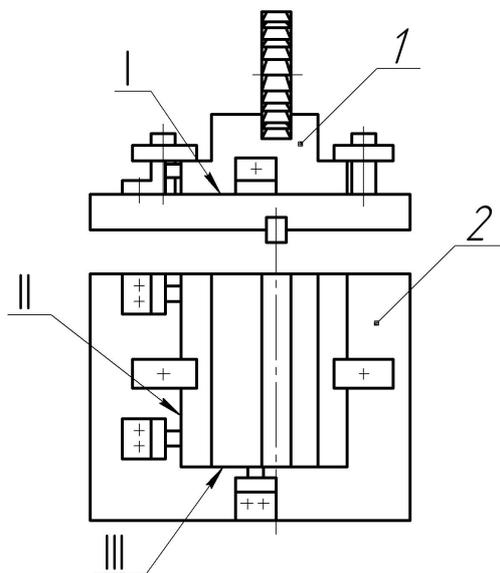


Рис. 1.7. Схема к определению технологической базы: I, II, III – комплект технологических баз, определяющих положение заготовки в приспособлении; 1 – заготовка; 2 – приспособление

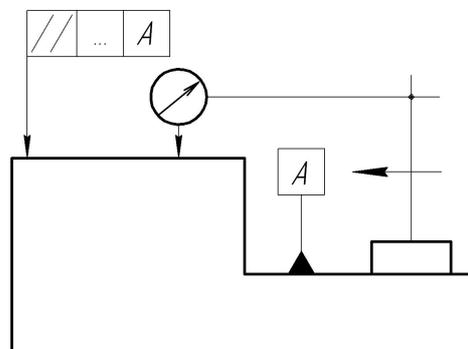
Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения (рис. 1.8).

По лишаемым степеням свободы (рис. 1.9):

1. Установочная.
2. Направляющая.
3. Опорная.
4. Двойная направляющая.
5. Двойная опорная.

Установочная база – база, лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей (см. рис. 1.9, I).

Направляющая база – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (см. рис. 1.9, II).



A – измерительная база детали

Рис. 1.8. Схема к определению измерительной базы

Опорная база – база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (см. рис. 1.9).

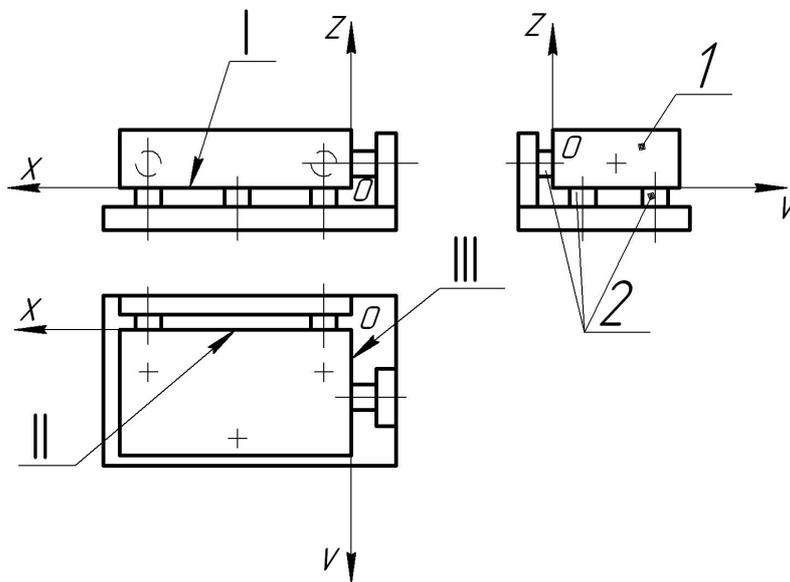


Рис. 1.9. Схема к определению баз по лишаемым степеням свободы:
 I – установочная база; II – направляющая база; III – опорная база; 1 – заготовки;
 2 – опоры приспособления

Двойная направляющая база – база, лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис. 1.10).

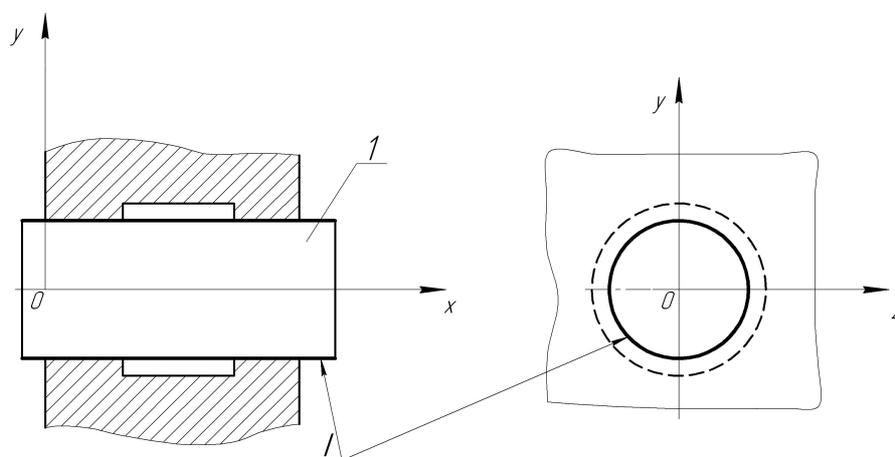


Рис. 1.10. Схема базирования с двойной направляющей базой:
 I – двойная направляющая база детали; 1 – деталь

Двойная опорная база – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей (рис. 1.11).

По характеру проявления:

1. Скрытая база.
2. Явная база

Скрытая база – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки (рис. 1.12).

Явная база – база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Смена баз – преднамеренная или случайная замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным.

Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек и далее по степени их уменьшения.

При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую, изображается одна опорная точка и около нее проставляют номера совмещенных точек.

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

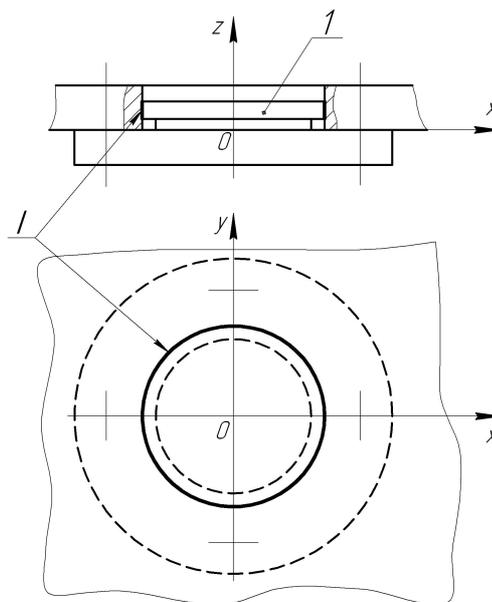


Рис. 1.11. Схема базирования с двойной опорной базой: I – двойная опорная база детали; 1 – деталь

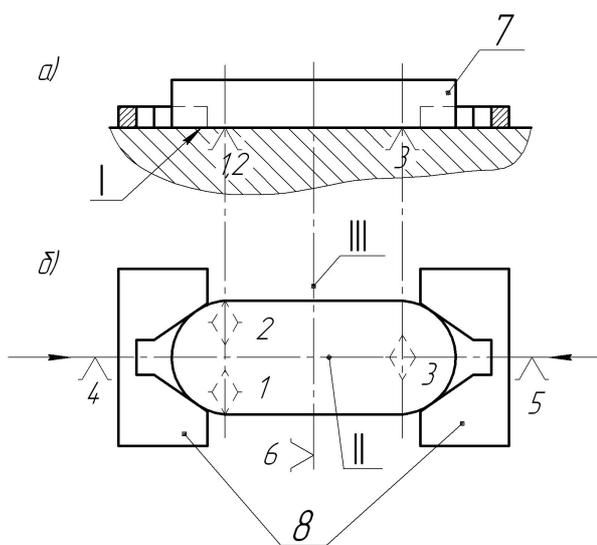


Рис. 1.12. Пример схемы базирования по скрытой базе:

I – установочная явная база; II – направляющая скрытая база; III – опорная скрытая база; 1-6 – опорные точки; 7 – заготовка; 8 – губки самоцентрирующего патрона

Наиболее распространенные схемы базирования представлены на рис 1.13 – 1.23.

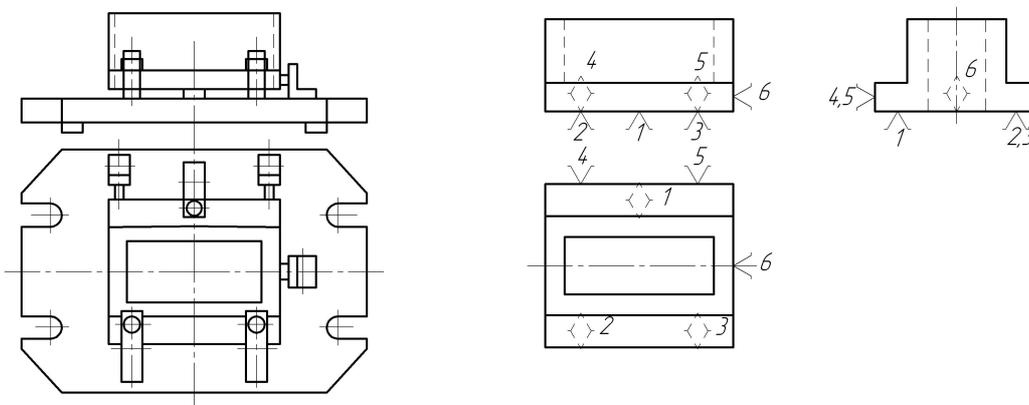


Рис. 1.13. Установка заготовки по плоскости основания и двум боковым сторонам:
1 – 6 – опорные точки

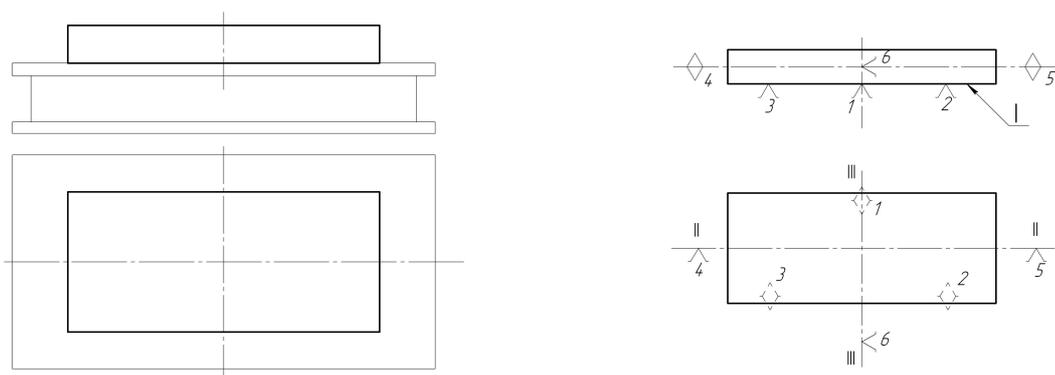


Рис. 1.14. Установка заготовки по плоскости (на магнитной плите):
1 – 6 – опорные точки

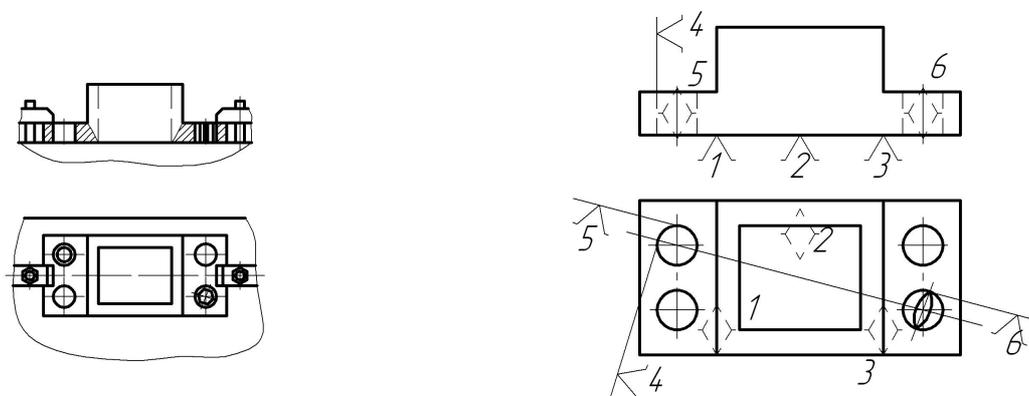


Рис. 1.15. Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям:
1 – 6 – опорные точки

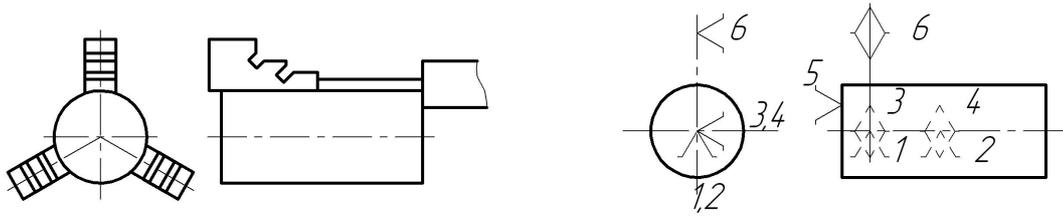


Рис. 1.16. Установка вала в трехкулачковом самоцентрирующем патроне:
1 – 6 – опорные точки

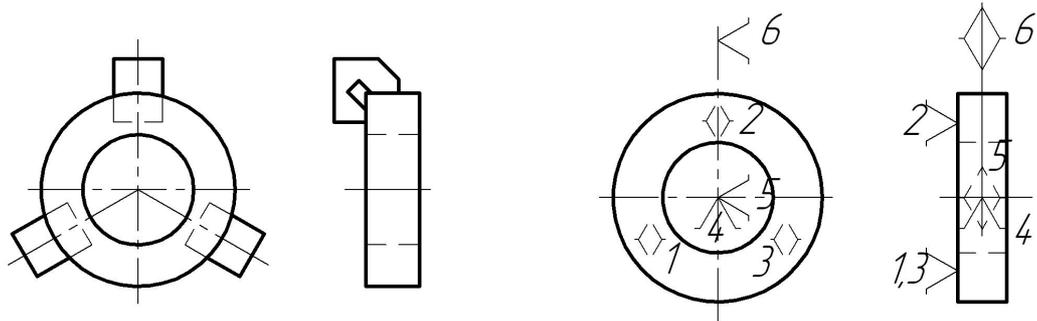


Рис. 1.17. Установка диска в трехкулачковом самоцентрирующем патроне:
1 – 6 – опорные точки

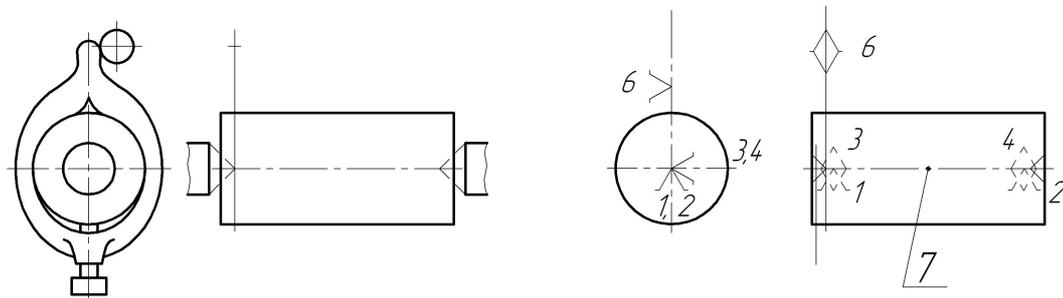


Рис. 1.18. Установка вала в центрах: 1 – 6 – опорные точки;
7 – общая ось центровых отверстий

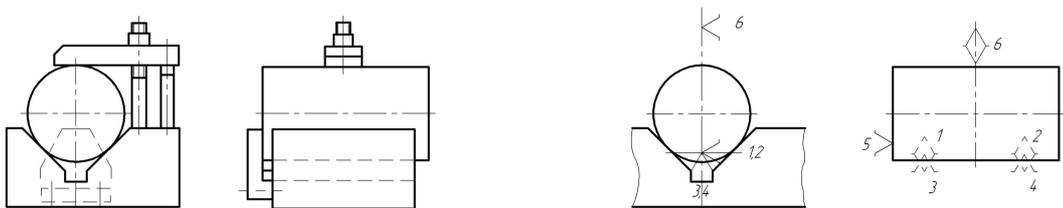


Рис. 1.19. Установка вала в призме: 1 – 6 – опорные точки

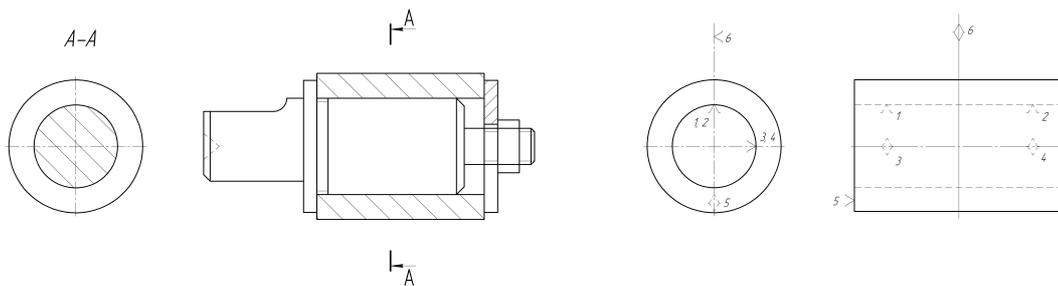


Рис. 1.20. Установка втулки на цилиндрической оправке (с зазором):
1 – 6 – опорные точки

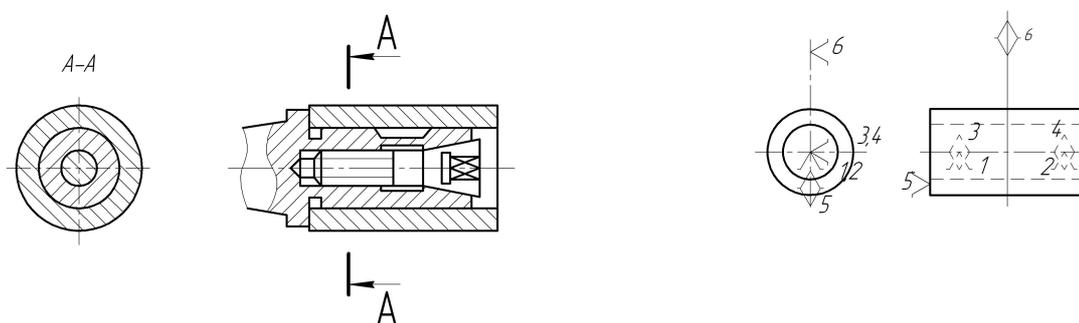


Рис. 1.21. Установка втулки на разжимной оправке (без зазора):
1 – 6 – опорные точки

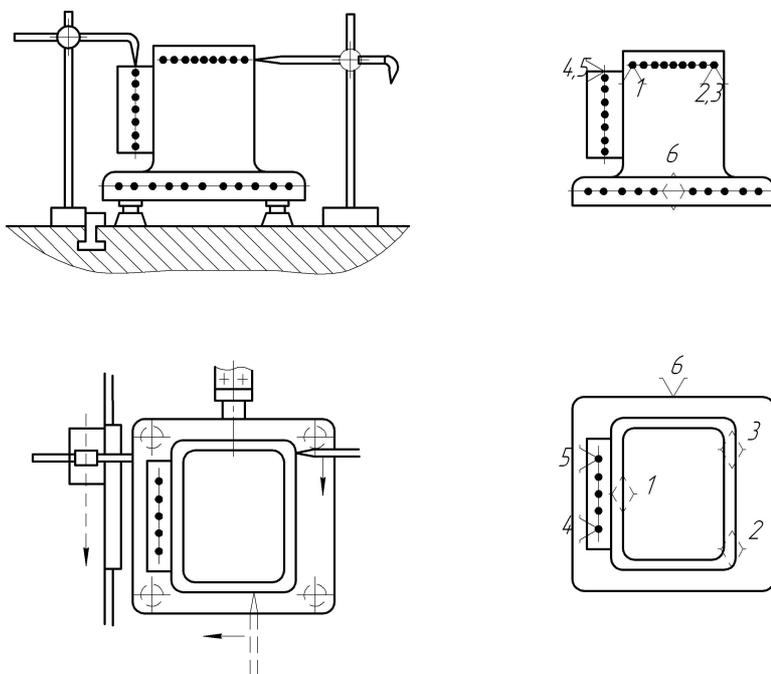


Рис. 1.22. Установка на станке заготовки корпусной детали с выверкой ее положения по разметочным рискам: 1 – 6 – опорные точки

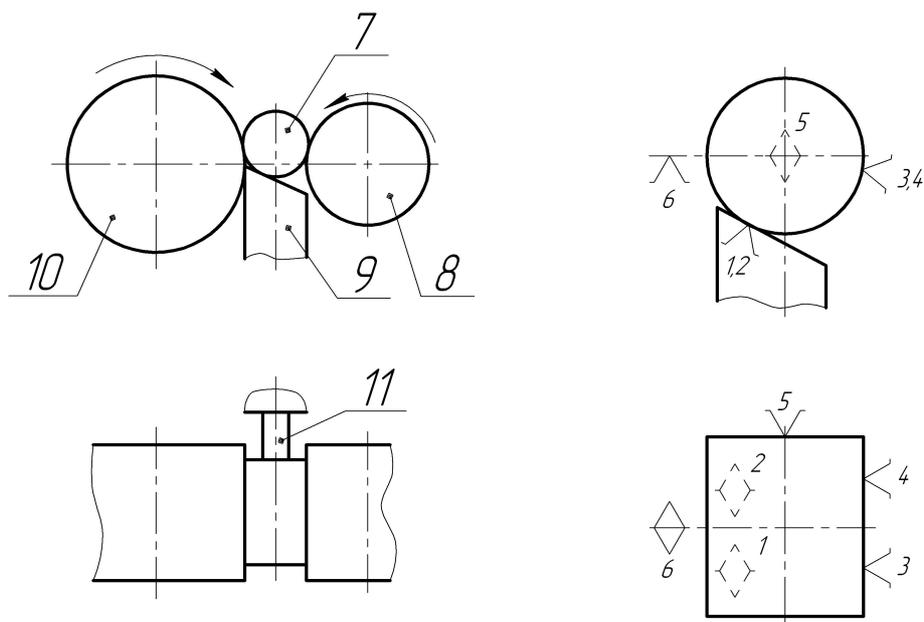


Рис. 1.23. Установка заготовки по обрабатываемой поверхности при бесцентровом врезном шлифовании: 1 – 6 – опорные точки; 7 – заготовка; 8 – ведущий круг; 9 – опоры; 10 – шлифующий круг; 11 – продольный

1.3. Погрешность базирования заготовок

При установке заготовки непосредственно на станке или в приспособлении для обработки достигаемая точность зависит от положения измерительной базы заготовки относительно режущего инструмента. Одной из причин неопределенности положения измерительной базы является **погрешность базирования**. Согласно ГОСТ 21495 под **погрешностью базирования** понимается отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Погрешность базирования (от несовмещения баз) Δ_{ϵ} возникает при не совмещении измерительной и технологической баз заготовки и определяется как предельное поле рассеяния ω_{δ} расстояний между измерительной и технологической базами в направлении выдерживаемого размера.

Из сказанного следует, что погрешность базирования (от не совмещения баз) равна нулю, если:

- 1) совмещены измерительная и технологическая базы, к чему всегда следует стремиться при проектировании технологических процессов;
- 2) размер получен мерным инструментом (например, ширина прямоугольного паза при фрезеровании трехсторонней дисковой или концевой фрезой за один проход и т.д.);

3) направление выдерживаемого размера перпендикулярно направлению размера, характеризующего расстояние между измерительной и технологической базами.

Значение погрешности (от не совмещения баз) базирования Δ_δ определяют соответствующими геометрическими расчетами или анализом размерных цепей, что в некоторых случаях обеспечивает более простое решение задачи. В общем случае погрешность (от не совмещения баз) базирования

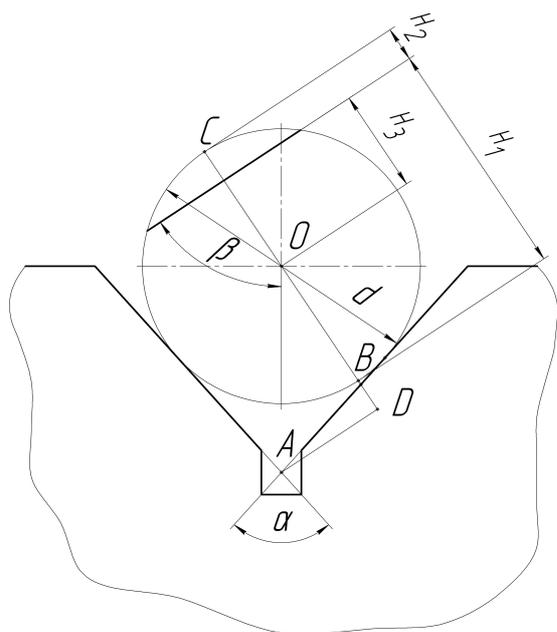


Рис. 1.24. Схема задания размеров в осевом сечении вала

следует определять исходя из пространственной схемы расположения заготовки. Однако для упрощения расчетов обычно ограничиваются рассмотрением смещений только в одной плоскости.

Например, при расположении плоскости в осевом сечении шейки вала возможны следующие варианты задания размера, определяющего ее положение: от нижней образующей (размер H_1); от верхней образующей (размер H_2); от оси шейки вала (размер H_3) (рис. 1.24).

Обработка подобных поверхностей часто осуществляется при установке вала в призму (в общем случае обрабатываемая поверхность может располагаться под некоторым углом β к оси призмы).

Технологической базой, определяющей точность выполнения указанных размеров, является линия схождения граней призмы (точка A на рис. 1.24), а измерительными базами для размеров H_1 , H_2 и H_3 являются соответственно нижняя образующая (точка B), верхняя образующая (точка C) и ось шейки вала (точка O). Технологическая и измерительная базы не совпадают и, следовательно, имеют место погрешности (от не совмещения баз) базирования при выполнении указанных размеров. Согласно общему правилу погрешности базирования на размеры H_1 , H_2 и H_3 равны соответственно проекциям допусков на замыкающие размеры между технологической и измерительными базами T_{AB} , T_{AC} и T_{AO} на направление этих размеров.

При выполнении размера H_1 погрешность базирования $\Delta_{\delta_{H_1}}$ равна проекции допуска T_{AB} на направление выполняемого размера, т.е. $\Delta_{\delta_{H_1}} = T_{BD}$.

В результате решения размерных цепей видно, что

$$T_{BD} = T_{OD} - \frac{T_d}{2}; \quad T_{OD} = T_{AO} \cdot \sin \beta; \quad T_{AO} = \frac{T_d}{2 \sin \alpha/2};$$

$$T_{OD} = \frac{T_d \sin \beta}{2 \sin \alpha/2}.$$

С учетом этих соотношений

$$\Delta_{\delta_{H_1}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2} - 1 \right). \quad (1.1)$$

Путем аналогичных рассуждений и решения соответствующих размерных цепей получим:

– погрешность (от не совмещения баз) базирования при выполнении размера H_2

$$\Delta_{\delta_{H_2}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2} + 1 \right); \quad (1.2)$$

– погрешность (от не совмещения баз) базирования при выполнении размера H_3

$$\Delta_{\delta_{H_3}} = \frac{T_d}{2} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \alpha/2}. \quad (1.3)$$

Чаще всего $\beta=90^\circ$ (плоскость на цилиндрической шейке вала расположена перпендикулярно оси призмы), в этом случае формулы (1), (2), (3) приобретают вид:

$$\Delta_{\delta_{H_1}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right). \quad (1.4)$$

$$\Delta_{\delta_{H_2}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right). \quad (1.5)$$

$$\Delta_{\delta_{H_3}} = \frac{T_d}{2 \sin \alpha/2}. \quad (1.6)$$

1.4. Понятия о служебном назначении изделия, об исполнительных и вспомогательных поверхностях

Каждое изделие создается для удовлетворения определенных потребностей человека, которые находят отражение в служебном назначении изделия.

Под служебным назначением изделия понимается максимально уточненная и четко сформулированная задача, для решения которой предназначено изделие.

Каждое изделие выполняет свое служебное назначение при помощи ряда поверхностей. Такие поверхности принято называть функциональными (исполнительными или рабочими).

По функциональному признаку все поверхности детали можно разделить на три вида:

1. Исполнительные.
2. Конструкторские базы:
 - основные;
 - вспомогательные.

3. Свободные (вспомогательные), т.е. поверхности, помогающие в сочетании с другими рассмотренными поверхностями придать детали конструктивные формы, требуемые ее служебным назначениям.

Поскольку основные конструкторские базы детали определяют ее положение относительно других деталей, к которым она присоединяется при работе в изделии, эти поверхности желательно принимать за «координатные» и по отношению к ним располагать все остальные, т.е. вспомогательные базы, исполнительные и свободные поверхности.

Одной из основных задач технологии машиностроения является экономичное получение деталей, имеющих требуемую точность размеров, взаимного расположения и геометрической формы поверхностей, требуемую их шероховатость и качество поверхностного слоя материала. Для этого исполнительные поверхности и поверхности основных и вспомогательных конструкторских баз деталей, как правило, подвергаются обработке, в то время, как свободные поверхности деталей, как правило, остаются необработанными.

Необходимость обработки свободных поверхностей возникает лишь в ряде случаев:

1. При изготовлении быстровращающихся деталей (уменьшение масс, облегчение динамической балансировки).

2. С целью избежания попадания грязи и окалины при работе внутри корпуса.
3. С целью повышения усталостной прочности.
4. С целью повышения коррозионной стойкости.
5. При использовании в качестве технологических баз (искусственно созданные базы).
6. Когда на массу детали установлен достаточно жесткий допуск.

2. Производственный и технологический процессы

2.1. Общие понятия о производственном и технологическом процессах

Производственный процесс представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий (ГОСТ 3.1109).

В состав производственного процесса включаются все действия по изготовлению продукции, контролю ее качества, хранению и перемещению на всех стадиях изготовления, организации снабжения и обслуживания рабочих мест и участков, управления всеми звеньями производства, а также все работы по технической подготовке производства.

В соответствии с ГОСТ 3.1109 **технологический процесс** – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Технологические процессы строятся по отдельным методам их выполнения (процессы механической обработки, сборки, литья, термической обработки и т.п.).

Технологический процесс составляет основную часть производственного процесса и выполняется на рабочих местах.

Рабочее место обычно представляет собой часть объема цеха, предназначенную для выполнения работы одним или группой рабочих. Здесь размещаются инструмент, приспособления, технологическое и подъемно-транспортное оборудование, стеллажи для хранения заготовок, деталей и сборочных единиц.

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (ГОСТ 3.1109). Применительно к условиям механосборочного производства это определение можно представить в следующем виде: **технологическая операция** – это часть технологического процесса, выполняемая **непрерывно** на одном рабочем месте над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими рабочими.

Условие непрерывности означает выполнение предусмотренной работы без перехода к обработке другого изделия.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяется трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы времени и расценки; задаются требуемые численность рабочих и количество оборудования, приспособлений и инструментов; определяется себестоимость обработки; производится календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков выполнения работ.

Кроме технологических операций в состав технологического процесса в ряде случаев включаются вспомогательные операции (транспортные, контрольные, маркировочные, моечные и т.п.), не изменяющие размеров, формы, внешнего вида или свойств обрабатываемого изделия, но необходимые для осуществления технологических операций.

Составными элементами технологической операции являются: установ, позиция, технологический и вспомогательный переходы, рабочий и вспомогательный ходы, прием.

Установ представляет собой часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемых сборочных единиц.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования, для выполнения определенной части операции.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Применительно к условиям механической обработки определение перехода можно уточнить следующей формулировкой: **технологический переход** представляет собой законченную часть технологической операции, выполняемую над одной или несколькими поверхностями заготовки, одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения или при автоматическом изменении режимов работы станка (например, изменение режимов в одном переходе на станках с ЧПУ).

Элементарный переход - часть технологического перехода, выполняемая одним инструментом, над одним участком поверхности обрабатываемой заготовки, за один рабочий ход без изменения режима работы станка.

Этим понятием удобно пользоваться при проектировании технологической операции и расчете основного времени обработки заготовок на станках с ЧПУ, когда внутри технологического перехода производятся изменения режимов работы станка. Например, при обработке фасонных контуров на станках с ЧПУ во многих случаях внутри перехода изменяется припуск на обработку или условия резания, что делает целесообразным введение в программу другой величины подачи на соответствующем участке обрабатываемого контура.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей предмета труда, но необходимые для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Вспомогательный ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимого для подготовки рабочего хода.

Прием – это законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

2.2. Классификация технологических процессов

В зависимости от условий производства и назначения проектируемого технологического процесса применяются различные виды технологических процессов. Вид технологического процесса определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группа однотипных или разнотипных изделий).

Единичный технологический процесс – это технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства (ГОСТ 3.1109).

Разработка единичных технологических процессов характерна для оригинальных изделий (деталей, сборочных единиц, не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, ранее изготовленными на предприятии).

Унифицированный технологический процесс – это технологический процесс, относящийся к группе изделий, характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков. Унифицированные технологические процессы подразделяются на типовые и групповые.

Унифицированные технологические процессы находят широкое применение в мелкосерийном, серийном и частично в крупносерийном производствах. Применение унифицированных технологических процессов зависит от наличия специализированных участков, рабочих мест, переналаживаемой технологической оснастки и оборудования.

Типовой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Типовой технологический процесс П характеризуется общностью содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы таких изделий и применяется как информационная основа для разработки **рабочего технологического процесса** и как рабочий технологический процесс при наличии всей необходимой информации для изготовления детали, а также служит базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Групповой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

В соответствии с этим определением групповой технологический процесс представляет собой процесс обработки заготовок различной конфигурации, состоящий из комплекса групповых технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах в последовательности технологического маршрута изготовления группы изделий. Групповая технологическая операция характеризуется общностью используемого оборудования, технологической оснастки и наладки (при допущении только незначительной подналадки средств группового оснащения).

Перспективный технологический процесс – это технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства достижения которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.

Рабочий технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по рабочей технологической и (или) конструкторской документации.

Рабочий технологический процесс разрабатывается только на уровне предприятия и применяется для изготовления или ремонта конкретного предмета производства.

Проектный технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по предварительному проекту технологической документации.

Временный технологический процесс – это технологический процесс, применяемый на предприятии в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия надлежащего оборудования или в связи с аварией до замены на более современный.

Стандартный технологический процесс – это технологический процесс, установленный стандартом.

Комплексный технологический процесс – это технологический процесс, в состав которого включаются не только технологические операции, но и операции перемещения, контроля и очистки обрабатываемых заготовок по ходу технологического процесса. Комплексный технологический процесс проектируется при создании автоматических линий и гибких производственных систем.

Схема классификаций технологического процесса приведена в [1, стр. 245, рис. 11.1].

2.3. Размер программного задания. Характеристики технологического процесса

Производственная программа выражается количеством изделий определенных наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого периода времени (год, квартал, месяц, смена) (ГОСТ 3.1109).

Подетальная производственная программа может быть определена по формуле:

$$W_i = Wm_i \left(1 + \frac{\beta_i}{100} \right), \quad (2.1)$$

где W_i – количество деталей, изготавливаемых за планируемый период; W – количество изделий, изготавливаемых за этот период; m_i – количество деталей в одном изделии; β_i – процент запасных частей.

Если предусматривается плановый процент брака α_i % (кузнечные и литейные цеха), то формула принимает вид

$$W_i = Wm_i \left(1 + \frac{\beta_i}{100} \right) \left(1 + \frac{\alpha_i}{100} \right). \quad (2.2)$$

Общее количество изделий или заготовок, изготавливаемое по неизменному чертежу, называется **величиной серии**.

Производственная партия – группа заготовок одного наименования, типоразмера и исполнения, запускаемая в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени.

Операционная партия – это производственная партия или ее часть, поступающая на рабочее место для выполнения технологической операции.

ГОСТ 3.1109 устанавливает следующие характеристики технологического процесса: такт выпуска, ритм выпуска и цикл технологической операции.

Такт выпуска представляет собой интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения.

Расчетный такт выпуска может быть подсчитан следующим образом:

$$T = \frac{60F_{\partial}}{N}, \quad (2.3)$$

где F_{∂} – фонд времени оборудования, ч/год; N – годовая программа, 1/год.

Ритм выпуска – количество изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени, т.е. ритм выпуска представляет собой величину обратную такту.

При проектировании технологического процесса желательно добиться его построения из одинаковых или кратных по трудоемкости операций с продолжительностью цикла, равной или кратной такту выпуска изделий. В этом случае возможна и целесообразна обработка заготовок на поточной линии.

Цикл технологической операции – это интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

2.4. Технологическая характеристика различных типов производства

Одним из основных принципов построения технологических процессов является **принцип совмещения технических, экономических и организационных задач**, решаемых в данных производственных условиях.

Проектируемый технологический процесс безусловно должен обеспечить выполнение всех требований к качеству и точности изделия, предусмотренных чертежом и техническими условиями при наименьших затратах труда и минимальной себестоимости, а также при изготовлении изделий в количествах и в сроки, установленные производственной программой.

Это может быть достигнуто при построении технологического процесса в полном соответствии с типом данного производства и его условиями.

В соответствии с ГОСТ 14.004 в зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий современное производство подразделяется на следующие типы: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство (ЕП) характеризуется широтой номенклатуры изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий.

На предприятиях ЕП количество выпускаемых изделий и размеры операционных партий заготовок исчисляются штуками и десятками штук; на рабочих местах выполняются различные операции, повторяющиеся не регулярно или не повторяющиеся совсем; используется универсальное оборудование, которое расстановливается в цехах по технологическим группам (токарный, фрезерный, сверлильный и т.д. участки); специальные приспособления и инструменты, как правило, не применяются (они создаются только в случае невозможности выполнения операции без специальной технологической оснастки); исходные заготовки простейшие (литье в землю, горячий прокат, поковки) с малой точностью и большими допусками; требуемая точность достигается методом пробных ходов и промеров с использованием разметки; взаимозаменяемость деталей и узлов во многих случаях отсутствует (соблюдается только для резьбовых поверхностей, для посадочных мест под подшипники качения и т.п.); широко применяется пригонка по месту; квалификация рабочих очень высокая, так как от нее в значительной мере зависит качество продукции; технологическая документация сокращенная и упрощенная; применяется опытно-статистическое нормирование труда.

Массовое производство – характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени (годы).

При этом используется специальное высокопроизводительное оборудование, которое располагается по поточному принципу (т.е. по ходу технологического процесса) и во многих случаях связывается транспортирующими устройствами и конвейерами с постами промежуточного автоматического контроля, а также промежуточными складами-накопителями заготовок, снабженными автоматическими перегружателями (роботами-манипуляторами), обеспечивающими смену заготовок на отдельных рабочих местах и пунктах контроля. Используются высокопроизводительные

многошпиндельные автоматы и полуавтоматы. Широко применяются автоматические линии и автоматические производственные системы (в том числе и управляемые ЭВМ при использовании станков с ЧПУ).

Значительное применение находит высокопроизводительная оснастка. Применяются инструменты из синтетических сверхтвердых материалов и алмазов, специального назначения (комбинированные и фасонные).

Широко используются точные индивидуальные заготовки (исходные) с минимальным припуском на механическую обработку (литье под давлением, горячая объемная штамповка, калибровка, чеканка и т.п.).

Требуемая точность достигается методами автоматического получения размеров на настроенных станках при обеспечении взаимозаменяемости обрабатываемых заготовок и собираемых узлов. Только в отдельных случаях применяется селективная сборка, обеспечивающая групповую взаимозаменяемость.

Средняя квалификация рабочих в современном массовом производстве значительно ниже, чем в серийном (имеются ввиду рабочие, выполняющие технологические операции). Наладчики станков имеют высокую квалификацию.

Дальнейшее развитие автоматизации приводит к уменьшению общего числа рабочих-операторов, и в перспективе полностью автоматизированные производства будут обслуживаться минимальным числом высококвалифицированных специалистов-наладчиков сложного оборудования (безлюдная технология).

Технологическая документация в массовом производстве разрабатывается самым детальным образом, технические нормы тщательно рассчитываются и подвергаются экспериментальной проверке.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии годовой программы или серии различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Серийное производство является основным типом современного машиностроительного производства, и предприятиями этого типа выпускается в настоящее время 75-80% всей продукции машиностроения страны. По всем технологическим и производственным характеристикам серийное производство занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством.

Объем выпуска предприятий серийного типа колеблется от десятков и сотен до тысяч и десятков тысяч регулярно повторяющихся изделий.

Используется универсальное, специализированное и частично специальное оборудование. Широко используются станки с ЧПУ, обрабатывающие центры (станки многоцелевого назначения) и находят применение гибкие автоматизированные системы станков с ЧПУ, связанных транспортирующими устройствами и управляемых от ЭВМ. Оборудование расставляется по технологическим группам с учетом направления основных грузопотоков цеха по предметно-замкнутым участкам. Используются групповые (переменно-поточные) автоматические линии. Технологическая оснастка в основном универсальная, однако, во многих случаях (особенно в крупносерийном производстве) создается высокопроизводительная специальная оснастка; при этом целесообразность ее создания должна быть предварительно обоснована технико-экономическим расчетом. Большое распространение имеет универсально-сборная, переналаживаемая технологическая оснастка.

В качестве исходных заготовок используется горячий и холодный прокат, литье в землю и под давлением, в кокиль и т.д.

Целесообразность применения того или иного вида и метода получения заготовки обосновывается технико-экономическим расчетом.

Требуемая точность достигается как методами автоматического получения размеров, так и методами пробных ходов и промеров с частичным применением разметки.

Средняя квалификация рабочих выше, чем в массовом производстве, но ниже, чем в единичном. Наряду с рабочими высокой квалификации, работающими на универсальном оборудовании и наладчиками, используются рабочие-операторы, работающие на настроенных станках.

В зависимости от выпуска обеспечивается полная взаимозаменяемость, неполная, групповая и т.д.

Подробность разработки технологической документации в значительной мере определяется объемом выпуска.

В зависимости от объема выпуска изделий характер технологических процессов **серийного** производства может изменяться в широких пределах, приближаясь к процессам массового (в крупносерийном) или единичного (в мелкосерийном) типа производства.

Правильное определение характера проектируемого технологического процесса и степени его технической оснащенности является очень сложной задачей, требующей от технолога понимания реальной производственной обстановки, ближайших перспектив развития предприятий и умения проводить технико-экономические расчеты.

В соответствии с ГОСТ 3.1108 тип производства характеризуется **коэффициентом закрепления операций**.

Значение коэффициента закрепления операций принимается для планового периода, равного одному месяцу, и определяется по формуле

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P}, \quad (2.4)$$

где O – число различных операций; P – число рабочих мест с различными операциями.

Общее число операций O по рассматриваемому производственному процессу отделения или участка цеха определяется суммированием различных операций $O_{р.м.}$, закрепленных за каждым рабочим местом.

В соответствии с ГОСТ, если

$1 \leq K_{з.о.} \leq 10$ – массовое и крупносерийное;

$10 < K_{з.о.} \leq 20$ – среднесерийное;

$20 < K_{з.о.} < 40$ – мелкосерийное.

В **единичном** производстве $K_{з.о.}$ не регламентируется.

3. Качество изделий

3.1. Показатели качества изделий

В соответствии с ГОСТ 15467 под **качеством** промышленной продукции понимается совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с назначением.

Качество изделия характеризуется системой показателей. Каждый из показателей (параметров) качества дает количественную характеристику, которая определяется служебным назначением изделия. Качество продукции регламентируется целым рядом ГОСТов.

Качество производимых изделий имеет большое народнохозяйственное значение. От него в значительной мере зависит экономическая эффективность использования техники в различных отраслях промышленности.

Качество изделий закладывается в их конструкцию при проектно-конструкторских разработках, обеспечивается на требуемом уровне в производстве и поддерживается в эксплуатации.

С позиций служебного назначения показатели качества изделий можно разделить на 3 вида: **расчетные, действительные и измеренные**.

Расчетные показатели качества закладываются в конструкцию изделия уже на стадии формулирования технического задания на его проектирование и определяются его служебным назначением.

Действительные показатели качества – это те, которыми обладает изделие после его изготовления и в процессе эксплуатации.

Измеренные показатели отличаются от действительных в связи с неизбежным наличием погрешностей измерения.

С этих позиций их можно разделить на 2 группы: **производственно-технологические и эксплуатационные**.

К наиболее важным относятся эксплуатационные показатели, так как изделие создается для того, чтобы оно максимально удовлетворяло потребности человека. Наиболее полно характеризует эту группу показателей качества такие, как **технический уровень, надежность, эргономические и эстетические показатели**.

Технический уровень (мощность, к.п.д., производительность, точность работы, степень автоматизации, экономичность и др.) определяет степень совершенства изделия. Его можно оценивать в абсолютных и относительных величинах. Эти показатели используют при сопоставлении качества производимых лучших отечественных и зарубежных образцов.

В соответствии с ГОСТ 27.002 под **надежностью** понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от служебного назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: **безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости**.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Эргономические и эстетические показатели объекта должны соответствовать санитарно-техническим нормам, установленным законодательством.

Производственно-технологические показатели характеризуют технологичность конструкции изделия.

Технологичность конструкции изделия характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных методов ее изготовления применительно к заданной программе выпуска и условиям производства.

3.2. Точность в машиностроении

Под точностью понимается степень соответствия параметров качества производимых изделий их заранее установленному эталону, т.е. точность характеризует единообразие показателей качества. Чем уже поле их разброса, тем точнее они выдерживаются.

Точность в машиностроении имеет большое значение для повышения эксплуатационных параметров качества изделий и построений технологических процессов их изготовления.

С повышением точности вырастает надежность изделий, а это в свою очередь сокращает затраты на их обслуживание и ремонт, сокращает простой. С повышением надежности изделий появляется возможность сокращения их выпуска для народного хозяйства и, соответственно, высвобождения производственных мощностей машиностроительных предприятий.

Однако, следует учитывать, что излишне высокие требования к точности параметров качества резко увеличивают затраты на изготовление изделий и мало повышают их функциональные качества.

При реализации технологического процесса изготовления изделия неизбежно влияние отдельных факторов процесса на формирование параметров качества, в результате чего достичь их абсолютно точно невозможно.

Различают точность выполнения **размеров, формы поверхностей и их взаимного расположения.**

Общая суммарная погрешность при выполнении технологической операции обработки заготовок резанием является следствием суммарного

влияния технологических факторов, действующих на трех основных этапах ее осуществления:

1. Установка заготовки - погрешность установки.
2. Настройка технологической системы заготовка – инструмент – приспособление – станок (ЗИПС) – погрешность настройки.
3. Непосредственная обработка заготовки - погрешности обработки, возникающие в результате упругих отжати в системе ЗИПС под действием сил резания, вызываемые размерным износом режущего инструмента, геометрической неточностью станков, неточностью изготовления режущего инструмента, тепловыми деформациями системы, действием остаточных напряжений в материале заготовки (их перераспределением), колебаниями твердости материала заготовок.

Погрешности в выполнении того или иного параметра качества, возникшие на предшествующих операциях, не могут быть полностью устранены на выполняемой операции технологического процесса (технологическая наследственность).

При выполнении любого технологического процесса должна обеспечиваться требуемая служебным назначением точность параметров качества изделия при возможно более высокой производительности и наименьшей себестоимости, т.е. должны работать с так называемой экономической точностью.

Следует отметить, что экономическая точность по мере совершенствования техники повышается. В справочной литературе приводятся таблицы экономической (среднестатистической) точности обработки. По ним можно определить каким из методов (или их сочетаний) можно экономично обеспечить требуемую точность параметров.

При обработке заготовок на металлорежущем оборудовании требуемую точность геометрических параметров качества можно обеспечить одним из двух принципиально отличных методов:

- 1) метод пробных ходов и промеров;
- 2) метод автоматического получения размеров.

Метод пробных ходов и промеров заключается в том, что к обрабатываемой поверхности заготовки, установленной на станке, подводят режущий инструмент и с короткого участка поверхности заготовки снимают пробную стружку. После этого станок останавливают, делают пробный замер полученного размера, определяют величину его отклонения от заданного по чертежу и вносят поправку в координату режущей кромки инструмента, влияющей на точность выполняемого размера и так далее до попадания размера в поле допуска.

Сущность метода автоматического получения размеров заключается в том, что требуемая точность геометрических параметров качества обеспечивается предварительной настройкой режущей кромки инструмента по координатам системы ЗИПС, влияющим на точность выполняемых параметров качества и в дальнейшем поддерживается при участии человека и (или) оборудования.

Этот метод может быть обеспечен при наличии следующих условий:

1. При механической кинематической связи.
2. При кинематической связи и участии оператора.
3. При адаптивных системах (приспосабливаемость в пределах партии).
4. При самооптимизирующихся системах.

4. Статистические методы исследования качества изделий

4.1. Виды погрешностей

Погрешности, возникающие при обработке деталей, сборки и контроле, можно разделить на три вида: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся и случайные.

Систематические постоянные погрешности не изменяются при обработке одной заготовки или нескольких партий заготовок. Они возникают под влиянием постоянно действующего фактора. Например, не перпендикулярности оси отверстия к базовой плоскости при сверлении из-за не перпендикулярности оси шпинделя к поверхности стола вертикально-сверлильного станка и т.д. Систематические постоянные погрешности могут быть выявлены пробными измерениями нескольких обработанных деталей и сведены к минимуму соответствующими технологическими мероприятиями.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически (например, погрешность, вызываемая размерным износом резца и т.д.). Знание закона применения этих погрешностей позволяет применять меры для их устранения или уменьшения при построении станочных операций.

Погрешность обработки партии деталей называется **случайной**, если в ходе обработки видимая закономерность изменения погрешностей отсутствует. Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества несвязанных между собой факторов. Определить заранее момент появления и точную величину этой погрешности для каждой кон-

кретной детали в партии не представляется возможным. Случайные погрешности могут быть непрерывными и дискретными. Непрерывная случайная погрешность имеет любые численные значения в границах определенного интервала. Например, погрешность положения заготовки на станке, погрешность, вызываемая упругими отжатиями системы ЗИПС под влиянием нестабильности сил резания. Дискретные случайные погрешности в технологии машиностроения встречаются редко. К ним можно, в частности, отнести погрешности регулирования при использовании устройств ступенчатого типа.

Причинная связь между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, иногда бывает известной (явной), а иногда не вполне известной. Например, с одной стороны, для конкретного случая обработки может быть выявлена зависимость упругих отжатий системы ЗИПС от величины снимаемого припуска, с другой стороны, факторы, вызывающие получение различных размеров диаметров отверстий, обработанных одной разверткой, являются пока полностью не выявленными.

Определить случайную погрешность для каждой детали в партии практически нельзя, тем не менее можно установить пределы изменения этой погрешности. При явно выраженной связи между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, пределы изменения случайной величины могут быть определены аналитическими расчетами. Например, погрешность базирования при данной схеме установки можно заранее вычислить, зная допуск на размер заготовки. При неявной (не выявленной) связи между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, пределы изменения случайной величины могут быть установлены на базе экспериментальных исследований. В процессе изучения явлений не выявленные ранее связи становятся явными.

4.2. Кривые распределения контролируемого параметра и оценка точности обработки на их основе

Для расширения возможности математического анализа проявления случайной погрешности строят кривые распределения контролируемого параметра. Кривые распределения строят следующим образом. Всю совокупность измерений исследуемой величины (например, какого-либо размера в партии заготовок, обрабатываемых при определенных условиях) разбивают на ряд групп. В каждую группу входят величины, результаты измерения которых находятся в пределах установленного интервала. Интервалы, число которых берут в пределах $7 \div 11$, откладывают по оси абсцисс, а число измерений, приходящееся на каждый интервал, откладывают

по оси ординат (рис. 4.1). После соединения нанесенных на график точек получаем ломаную линию, называемую полигоном распределения. На средние интервалы величины приходится большее число измерений. При увеличении числа деталей в партии, сужении интервалов и увеличении их числа, ломаная линия приближается к плавной.

Вместо абсолютного числа m деталей в каждом интервале по оси ординат чаще откладывают отношение этого числа к общему числу n деталей в партии; данное отношение называется **относительной частотой** или **частотью**.

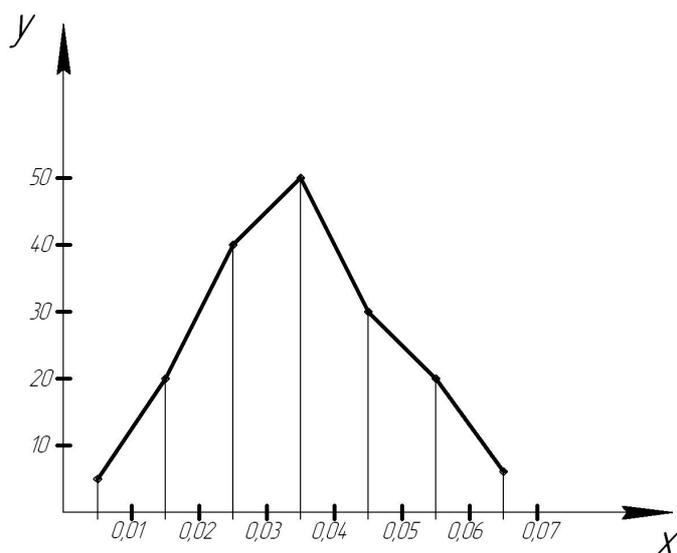


Рис. 4.1. Кривая распределения параметра y в интервале x

При построении кривых распределения нужно придерживаться **закона больших чисел**. Согласно этому закону при увеличении числа наблюдений над однородными явлениями частота появления какого либо события в прошлом приближается к вероятности появления его в будущем. Вероятность – отношение числа случаев, благоприятствующих данному событию, ко всему числу возможных случаев. Вер-

оятность достоверного события равна единице (100%), недостоверного – нулю.

В качестве приближенной меры точности исследуемого процесса обработки может служить поле рассеяния размера. Величину поля рассеяния можно брать по полигону распределения или по таблице измерения исследуемых значений. Чем уже поле рассеяния, тем точнее исследуемый процесс. Вид кривой распределения определяется числом и характером факторов, влияющих на исследуемую величину.

В технологии машиностроения размеры чаще распределяются по нормальному закону (закону Гауса). Кривая распределения по закону Гауса имеет симметричную форму и асимметрически приближается к оси абсцисс (рис. 4.2).

Нормальный закон распределения наблюдается в тех случаях, когда исследуемая величина является результатом действия большого числа различных факторов, причем все факторы по интенсивности своего влияния действуют одинаково. Этому закону подчиняются многие непрерывные

величины: размеры деталей, обработанных на настроенных станках; масса заготовок и деталей машин; высота микронеровностей; твердость и др.

Во всех перечисленных случаях наблюдаются лишь небольшие непостоянные во времени отклонения от нормального закона. Кривая Гауса выражается уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.1)$$

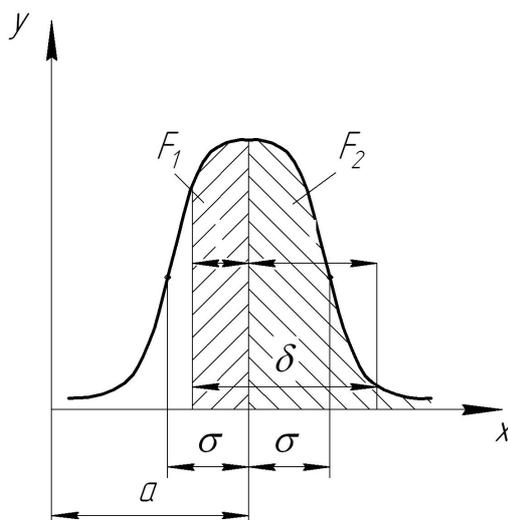


Рис. 4.2. Вид кривой распределения по закону Гауса

где σ – среднее квадратичное отклонение аргумента; e – основание натурального логарифма; a – значение абсциссы, при которой ордината y кривой достигает максимума.

Величина a является центром распределения (группирования) аргумента и в то же время его средней арифметической.

Закон Гауса двухпараметрический (параметры σ и a). Ордината вершины кривой при $x = a$:

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}. \quad (4.2)$$

Точки перегиба кривой лежат на расстоянии σ от ее оси симметрии. Их ординаты:

$$y = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}}.$$

Величина среднего квадратичного отклонения σ является мерой точности и характеризует форму кривой распределения. При больших значениях σ кривая получается пологой и поле рассеяния растет. При малых значениях σ точность исследуемого метода повышается и кривая получается сильно вытянутой вверх с малым полем рассеяния

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}; \quad x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i m_i, \quad (4.3)$$

где n – число произведенных измерений; m_i – частота; x_i – значение текущего измерения; x_{cp} – среднее арифметическое из произведенных измерений.

Число измерений n рекомендуется брать равным 50 и более. При этом погрешность определения σ равна $\pm 10\%$. Если $n = 25$, то погрешность определения σ возрастает до $\pm 15\%$. Для определения среднего арифметического с той же погрешностью число измерений можно брать в 5 раз меньше. При малом числе наблюдений (10÷15) вычисление σ связано с большой погрешностью. Поэтому в этом случае приближенную оценку точности можно производить, определяя поле рассеяния, т.е. разность между наибольшей и наименьшей измеряемыми величинами.

Пользуясь кривой распределения, можно найти вероятное количество годных деталей, на размер которых установлен определенный допуск.

Предположим, что поле допуска T установлено двумя размерами x_1 и x_2 границ этого допуска от центра группирования. Вероятное количество годных деталей определяется в этом случае отношением площади $F_1 + F_2$ к площади F , заключенной между кривой и осью абсцисс. С уменьшением допуска отношение площадей и вероятное количество годных деталей также уменьшаются. При значительном (безграничном) расширении допуска отношение площадей приближается к единице. В этом предельном случае все детали становятся годными. Математически это означает, что вероятность данного достоверного события равна единице.

Примем симметричное расположение кривой распределения относительно оси ординат. Тогда площадь левого заштрихованного участка (см. рис. 4.2.):

$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx . \quad (4.4)$$

Площадь правого заштрихованного участка:

$$F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx . \quad (4.5)$$

Эти интегралы обычно представляются в виде функции $\Phi(t)$ (функции Лапласа), причем $t = \frac{x}{\sigma}$:

$$\begin{aligned} F_1' &= 0,5\Phi(t_1), \\ F_2' &= 0,5\Phi(t_2). \end{aligned} \quad (4.6)$$

Величины F_1' и F_2' меньше единицы. Они выражают долю от всей площади между кривой Гауса и осью абсцисс, принимаемой за единицу.

При $t = \pm 3$ функция $\Phi = 0,9973$. Это значит, что из всей партии деталей, обработанных данным методом, только 0,27% выходит за пределы допуска $T = 6\sigma$.

Вычислив по данным наблюдений значение σ , можно охарактеризовать точность исследуемого технологического метода произведением 6σ .

В этом случае мы имеем практически 100% годность обрабатываемых заготовок, так как вероятный брак менее 0,3%. Величина 6σ является условной. При 7σ вероятный брак снижается незначительно. При 5σ он несколько возрастает. Правило «шести сигм» является достаточно простым, удобным и точным для практического пользования.

Прежде чем пользоваться указанной методикой, необходимо сопоставить эмпирическое распределение, предположительно принятое как нормальное с теоретическим. Для этого в одних и тех же координатах строятся эмпирический полигон и кривая нормального распределения.

Ординаты точек теоретической кривой определяют следующим образом:

$$Y_{н.р.} = C \cdot \varphi(t), \quad (4.7)$$

где $C = \frac{n}{z} \cdot \frac{\omega}{\sigma}$; n – общее количество наблюдений; z – количество интервалов; ω – поля рассеивания; σ – среднее квадратичное.

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (4.8)$$

где $t = \frac{x}{\sigma}$.

Используя функцию Лапласа для каждого интервала, определяют теоретические частоты.

Для количественного сопоставления эмпирического и теоретического распределений пользуются критерием согласия, например критерием Пирсона, который вычисляется по формуле

$$X^2 = \sum_{i=1}^z \frac{(m_i \cdot m_i')^2}{m_i}, \quad (4.9)$$

где z – число интервалов; m_i и m_i' – эмпирические и теоретические частоты; $X_{набл.}^2 < X_{кр.}(\alpha, k)$; $\alpha = 0,05$ – уровень значимости; k – число степеней свободы, $k = z - p - 1$; p – число параметров теоретического распределения.

Рассмотренный метод позволяет объективно оценить точность процесса обработки, выполняемого при определенных условиях.

При нахождении величины σ , характеризующей точность данного метода, необходимо при измерениях исключить влияние систематической

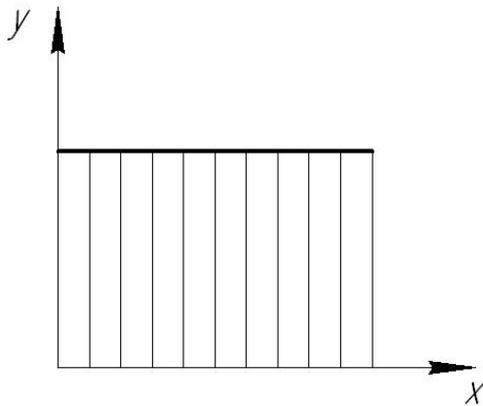


Рис. 4.3. Кривая распределения по закону равной вероятности

ошибки. Например, для исключения влияния погрешности формы цилиндрической поверхности, необходимо измерить диаметр у всех заготовок партии.

Кроме закона Гауса имеются и другие законы распределения.

Если на выполняемый размер влияет систематическая равномерно возрастающая погрешность (погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента, протекающего по закону прямой), то распределение происходит по закону равной вероятности.

Кривая распределения имеет вид прямоугольника (рис. 4.3).

Если на выполняемый размер влияет закономерно изменяющаяся погрешность, возрастающая сначала замедленно, а потом ускоренно, то распределение размеров происходит по закону треугольника (закону Симпсона) (рис. 4.4).

Это распределение может иметь место при совместном действии размерного износа режущего инструмента с сильно выраженной фазой начального износа и увеличении силы резания в конце стойкости инструмента в результате его прогрессирующего затупления.

Если выполняемый размер x изменяется в зависимости от времени обработки (числа обработанных деталей n) в результате тепловых де-

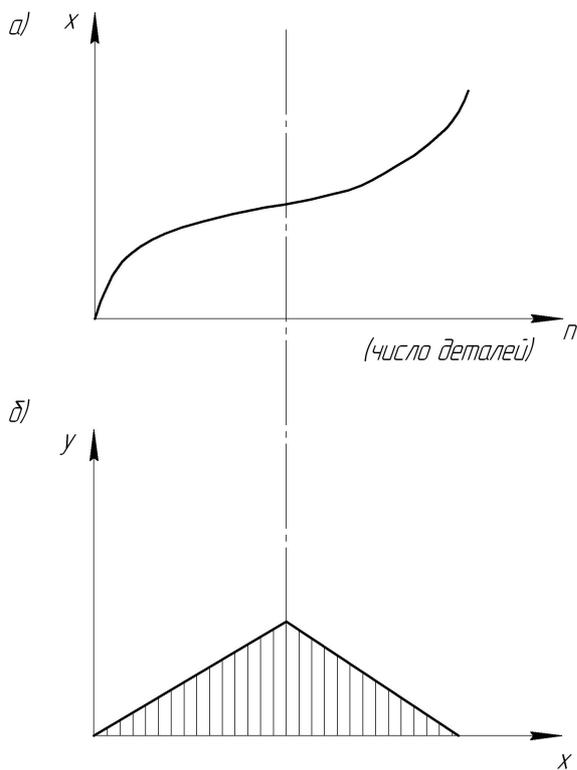


Рис. 4.4. Кривая распределения по закону треугольника: а – зависимость размера x от числа деталей n ; б – кривая распределения (закон Симпсона)

формаций технологической системы, то кривая распределения имеет вид, представленный на рис. 4.5.

При обработке заготовок методом пробных рабочих ходов инструмента кривая распределения действительных размеров получается несимметричной относительно поля допуска (рис. 4.6). Это обусловлено тем, что рабочий, производя пробные ходы и измерения каждой заготовки, стремится обеспечить наибольшее предельное значение выполняемого размера (используя проходную сторону предельного калибра).

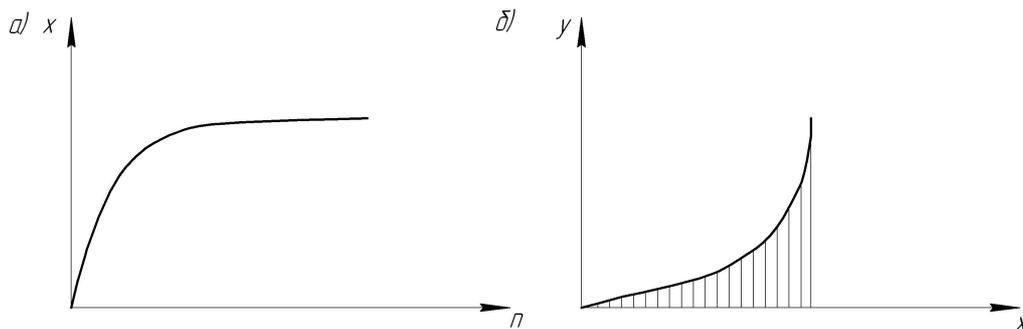


Рис. 4.5. Кривая распределения в результате тепловых деформаций технологической системы: *a* – зависимость размера x от числа деталей n ; *b* – кривая распределения

При этом методе получения размеров влияние закономерно изменяющихся и систематических постоянных погрешностей значительно уменьшается и часто полностью отсутствует. Закон распределения приближается к несимметричному закону Шарля.

Погрешности взаимного положения и погрешности формы поверхностей обработанных деталей являются положительными величинами и изменяются от нуля до определенного значения. Кривая распределения эксцентриситетов R ступенчатых цилиндрических деталей имеет несимметричную форму (рис. 4.7).

Деталей с нулевым эксцентриситетом нет, большая часть деталей имеет средний эксцентриситет; деталей с большим эксцентриситетом мало. Закону эксцентриситета (закону Релея)

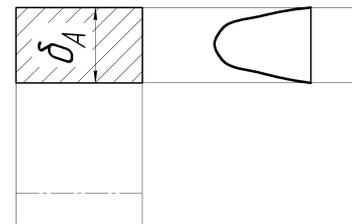


Рис. 4.6. Кривая распределения при обработке заготовок методом пробных проходов инструмента

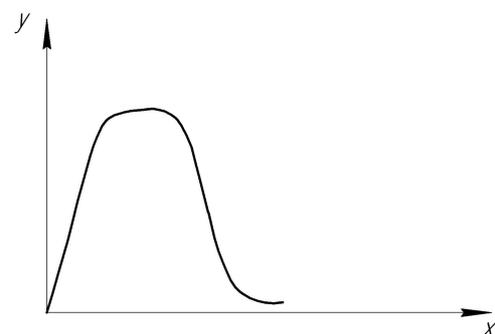


Рис. 4.7. Кривая распределения эксцентриситетов ступенчатых цилиндрических деталей (закон Релея)

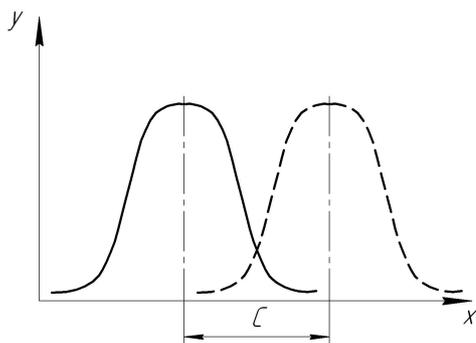


Рис. 4.8. Кривая распределения при систематически постоянной погрешности: C – величина систематической постоянной погрешности

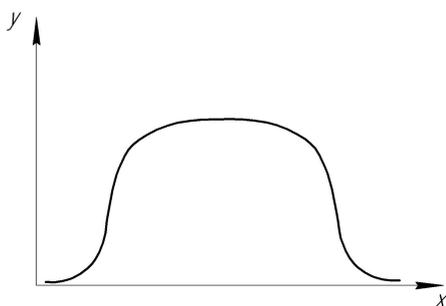


Рис. 4.9. Кривая распределения при случайных и систематических погрешностях

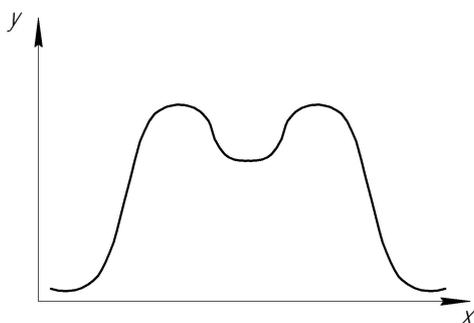


Рис. 4.10. Кривая распределения при обработке двух одинаковых партий заготовок при двух различных настройках станка

следует также распределение значений непараллельности и перпендикулярности двух поверхностей, не перпендикулярность оси детали к ее торцовой поверхности, разностенность полых деталей.

Этот закон однопараметрический. Среднее арифметическое значение x_{cp} эксцентриситетов R связано со средним квадратичным отклонением постоянным соотношением

$$x_{cp} = 1,92\sigma_R;$$

$$y = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e. \quad (4.10)$$

Систематическая постоянная погрешность не влияет на форму кривой распределения. Влияние этой погрешности выражается в том, что кривая распределения сдвигается на величину этой погрешности по оси абсцисс (рис. 4.8).

Если наряду со случайными погрешностями имеются и систематические закономерно изменяющиеся погрешности, то кривая распределения искажается (4.9). Например, когда на точность обработки помимо случайных погрешностей влияет размерный износ инструмента, кривая представляет собой композицию кривой Гауса и кривой равной вероятности.

Кривая распределения для двух одинаковых партий заготовок, обработка которых производилась при двух различных настройках станка, получается двухвершинной (рис. 4.10). Для нескольких настроек может получиться многовершинная кривая.

При большом количестве настроек кривая приобретает форму кривой нормального распределения, но с более широкой базой. Ширина базы увеличивается на величину погрешности настройки Δ_n . Распределение размеров заготовок, обрабатываемых на предварительно настроенных станках, близко к нормальному.

Метод кривых распределения позволяет объективно оценить точность выполнения данной технологической операции. Однако, он не учитывает последовательность обработки заготовок. Вся совокупность измерений рассматривается безотносительно к тому, какая деталь обработана раньше, какая позже. Кроме того, кривые распределения не позволяют определить причины, влияющие на результаты процесса. С помощью построения и анализа кривых распределения можно выявить систематическую постоянную погрешность, которая определяется величиной смещения центра группирования кривой для данной совокупности. Влияние закономерно изменяющихся погрешностей устанавливается по искажению формы кривой распределения. При интенсивном размерном износе режущего инструмента кривая Гауса искажается и принимает форму плосковершинной кривой. Если однако, по результатам измерений не строится кривая распределения, а непосредственно вычисляется среднее квадратичное отклонение, то систематические закономерно изменяющиеся погрешности не определяются от случайных. В этом случае возможности данного метода для выявления и устранения причин, обуславливающих те или иные погрешности, уменьшаются.

Для исследования точности обработки применяют точечные и точностные диаграммы.

Для построения точечной диаграммы по горизонтальной оси откладывают номера обрабатываемых заготовок в той последовательности, как они сходят со станка (рис. 4.11). По вертикальной оси в виде точек откладывают результаты измерения заготовок. Точечные диаграммы можно строить как для одной, так и для нескольких последовательно обрабатываемых партий заготовок.

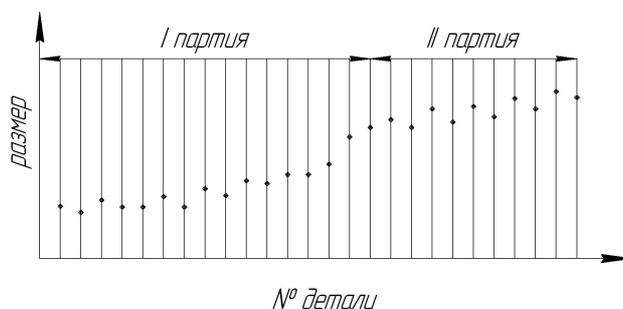


Рис. 4.11. Построение точечной диаграммы

Длину точечных диаграмм можно сократить, если по горизонтальной оси откладывать не номера заготовок, а номера групп заготовок, причем в каждую группу входит одинаковое количество последовательно снимаемых со станка заготовок (рис. 4.12).

Диаграмма, по вертикальной оси которой отложены средние арифметические значения размеров заготовок, входящих в каждую группу, более наглядно показывает тенденцию изменения выполняемых размеров с течением времени отчетливо наблюдается периодичность изменения размеров в результате износа режущего инструмента и периодически производимых поднастроек станка (рис. 4.13).

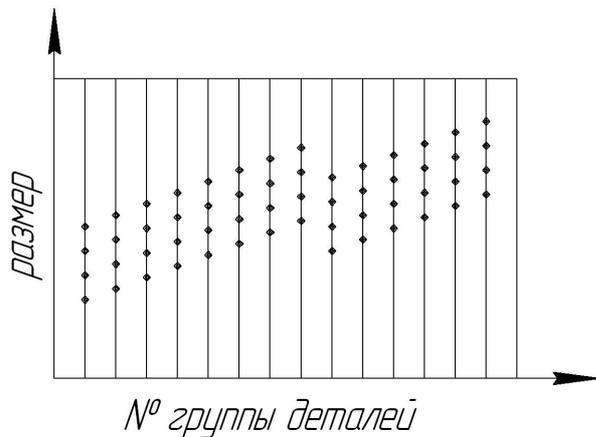


Рис. 4.12. Построение точечной диаграммы по номерам групп деталей

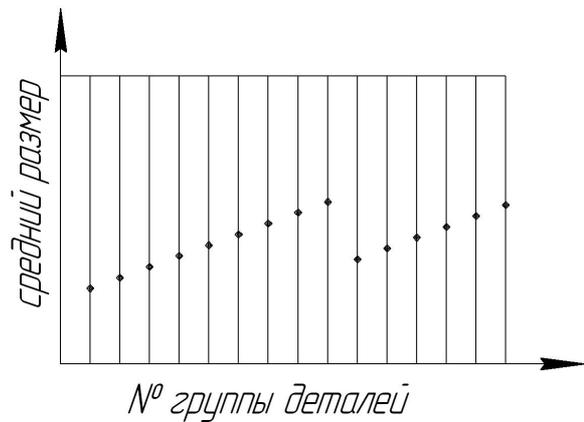


Рис. 4.13. Построение точечной диаграммы по среднему размеру заготовки

Точечные диаграммы стали шире использовать в связи с развитием и применением в промышленности статистического метода контроля продукции. В процессе изготовления деталей периодически измеряют 2÷10 деталей. Результаты измерений усредняют и наносят на специальную (контрольную) диаграмму. На этой диаграмме предусмотрены параллельные прямые \underline{a} , определяющие границы поля допуска, и прямые \underline{b} , определяющие поле рассеяния средних групповых значений, называемые контрольными прямыми (рис. 4.14). Место контрольных прямых находят на основе теоретических положений статистического контроля.

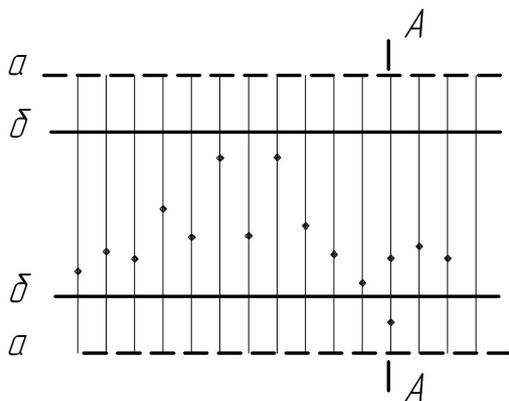


Рис. 4.14. Контрольная диаграмма

Результаты измерений усредняют и наносят на специальную (контрольную) диаграмму. На этой диаграмме предусмотрены параллельные прямые \underline{a} , определяющие границы поля допуска, и прямые \underline{b} , определяющие поле рассеяния средних групповых значений, называемые контрольными прямыми (рис. 4.14). Место контрольных прямых находят на основе теоретических положений статистического контроля.

Вначале процесс обработки протекает нормально и точки не выходят за пределы контрольных прямых. При контроле деталей группы A установлен выход размера за пределы контрольных границ. Это служит сигналом для поднастройки станка с помощью регулирования, смены инструмента или проверки положения упоров.

Механизм статистического контроля достигается применением комбинированных приборов, измеряющих размеры и фиксирующих их на контрольной ленте. Известны приборы, которые измеряют и усредняют результаты измерения суммирующим устройством с электрическими или пневматическими датчиками. На этих приборах последовательно или одновременно измеряют детали, входящие в группу. В автоматизированных производствах находят применение устройства, автоматически управляющие процессом обработки на основе результатов измерения и их преобразования в статистические характеристики.

Применение статистического контроля предупреждает брак, так как контролируется не вся совокупность уже изготовленных деталей (как при обычных способах контроля), а правильность выполнения самого технологического процесса. При обнаружении отклонений своевременно применяют меры для их устранения. При статистическом контроле значительно сокращается число контролеров, так как выборочной проверке подвергают только 5÷10 % продукции.

Точечные диаграммы могут быть преобразованы в точностные. Последние позволяют более четко выявить влияние систематических закономерно изменяющихся погрешностей на общую погрешность обработки. Для каждой группы последовательно обработанных деталей находят среднее арифметическое x_{cp} и среднее квадратичное σ отклонения, а также предельные верхнее $\xi_{в}$ и нижнее $\xi_{н}$ отклонения от среднего арифметического (разность этих отклонений есть поле рассеяния W для каждой группы) (рис. 4.15).

Число деталей в каждой группе рекомендуется брать равным 25 и больше, если обрабатывается большая партия заготовок (более 300). При партии, например 300 заготовок, число групп составляет 12.

Если размер партии исчисляется несколькими тысячами штук, то измерять детали нужно в порядке их изготовления, но группы берут не подряд, а через равное число не измеряемых деталей.

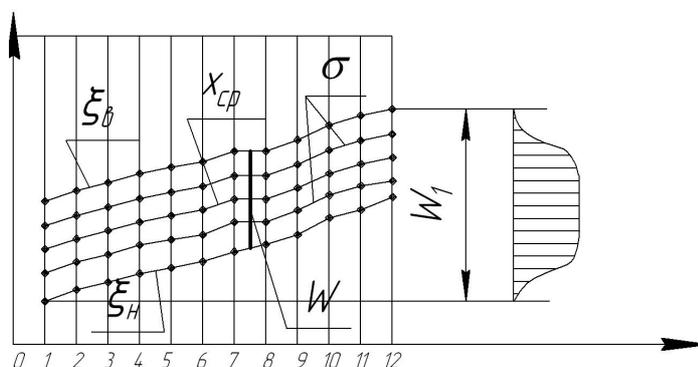


Рис. 4.15. Точностная диаграмма

Соединяя полученные точки для x_{cp} , σ , ξ_v и ξ_n ломаными линиями, получаем характеристику изменения этих величин во времени протекания исследуемого процесса обработки. Скачки, вызванные сменой или подналадкой режущего инструмента (или другими причинами), учитывают при проведении наблюдений по нескольким партиям путем совмещения границы ближайшей группы с местом скачка. Поле рассеяния W размеров в пределах одной группы значительно меньше поля рассеяния W_1 всей совокупности деталей.

Если распределение размеров в пределах одной группы отвечает нормальному закону, то для всей совокупности деталей оно может отличаться от нормального закона из-за большего или меньшего влияния систематической закономерно изменяющейся погрешности. Например, при изменении x_{cp} по закону прямой (при размерном износе инструмента) распределение размеров деталей во всей совокупности будет характеризоваться плосковершинной кривой.

Точностные диаграммы позволяют оценить технологические процессы во времени их протекания по устойчивости и стабильности признаков качества производимой продукции. Устойчивость характеризует во времени постоянство величины x_{cp} , а стабильность – постоянство поля рассеяния W . Объективную оценку устойчивости и стабильности производят, сопоставляя амплитуды изменения величин x_{cp} и W с полем допуска T и средним размером по требованию чертежа детали. Устойчивость и стабильность технологического процесса считают достаточной, если амплитуда изменения указанных величин меньше $(0,4 \div 0,5) T$. В отдельных случаях требования к устойчивости и стабильности могут быть выше.

5. Погрешность установки заготовок и выбор технологических баз в процессе изготовления деталей

5.1. Погрешность установки заготовок

В соответствии с ГОСТ 21495 под установкой понимается процесс базирования и закрепления заготовки или изделия.

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

Под **погрешностью установки** понимается отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого.

В современной учебной и справочной литературе трактуется, что погрешность установки Δ , как одна из составляющих общей погрешности выполняемого размера, состоит из погрешности базирования Δ_b , погреш-

ности закрепления Δ_z и погрешности положения заготовки Δ_{np} , вызываемого неточностью приспособления.

Погрешность базирования рассмотрена выше. Рассмотрим другие составляющие погрешности установки.

Погрешность закрепления заготовки

Погрешностью закрепления называется разность между наибольшей и наименьшей величинами проекции смещения измерительной базы на направление выполняемого размера в результате приложения к заготовке сил зажима

$$\Delta_z = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha, \quad (5.1)$$

где α – угол между направлением выполняемого размера и направлением смещения измерительной базы.

Для партии заготовок эта погрешность равна нулю, если смещение хотя и велико, но постоянно; в этом случае положение поля допуска выполняемого размера может быть скорректировано настройкой станка.

Измерительная база заготовки смещается в результате деформации звеньев цепи: заготовка, установочные элементы и корпус приспособления, через которую передается сила закрепления. В этой цепи наибольшие перемещения наблюдаются в стыке заготовка – установочные элементы. В остальных звеньях при рациональной конструкции приспособления перемещения малы и их можно не учитывать.

Зависимость контактных деформаций для стыков заготовка – установочные элементы выражается в общем виде нелинейным законом

$$y = CQ^n,$$

где C – коэффициент, характеризующий вид контакта, материал заготовки, шероховатость и структуру поверхностного слоя. Для партии заготовок при данной схеме установки этот коэффициент изменяется от C_{\min} до C_{\max} ; Q – сила, действующая на установочные элементы; n – степенной показатель меньше единицы.

В зажимных устройствах приспособлений сила закрепления при обработке партии заготовок колеблется от Q_{\min} до Q_{\max} , изменяя контактные деформации (рис. 5.1).

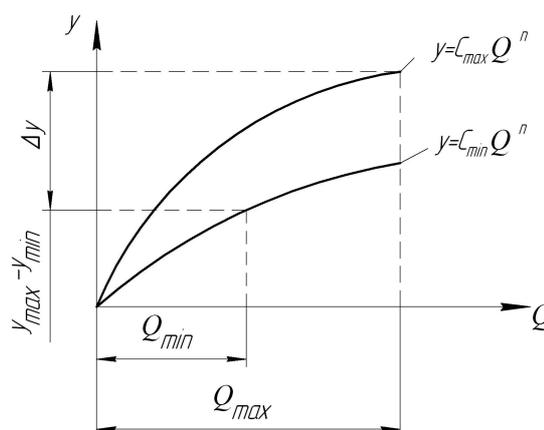


Рис. 5.1. Зависимость контактных деформаций от силы, действующей на установочные элементы

Величину погрешности закрепления как функцию непостоянства зажимной силы можно определить следующим образом

$$\Delta_3' = C(Q_{\max}^n - Q_{\min}^n) \cos \alpha. \quad (5.2)$$

Обозначим отношение

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = K - \text{коэффициент непостоянства сил зажима и примем величину } Q_{cp} \text{ за расчетную}$$

$$Q = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2}; \quad Q_{\max} = KQ_{\min}, \quad (5.3)$$

отсюда $Q_{\min} = \frac{2Q}{K+1}; \quad Q_{\max} = \frac{2KQ}{K+1}.$

Подставляя эти выражения в исходную формулу, получим

$$\Delta_3' = 2 \underbrace{\frac{n^{k^n-1}}{(k+1)^n}}_{A''} C Q^n \cos \alpha = A C Q^n \cos \alpha. \quad (5.4)$$

При использовании пневматических, гидравлических, магнитных зажимных механизмов наблюдается незначительное колебание зажимной силы

$$K \rightarrow 1 \text{ и } \Delta_3' \rightarrow 0.$$

Для зажимных устройств с ручным приводом $K \approx 1,3$.

Принимая силу зажима постоянной можно получить погрешность закрепления, как функцию неоднородности шероховатости и твердости поверхностного слоя заготовок в партии

$$\Delta_3'' = (C_{\max} - C_{\min}) Q \cos \alpha. \quad (5.5)$$

Опыты показали, что разброс экспериментальных точек при постоянной силе Q составляет $\pm 10\%$ от среднего значения. Поэтому для этих условий приближенно можно записать

$$\Delta_3'' = 0,2 C Q^n \cos \alpha. \quad (5.6)$$

Величина Δ_3' и Δ_3'' представляют собой поле рассеяния случайных погрешностей. Полагая, что распределение их подчиняется нормальному закону, получим общую погрешность закрепления при установке заготовки непосредственно на станке

$$\Delta_3 = \sqrt{(\Delta_3')^2 + (\Delta_3'')^2}. \quad (5.7)$$

При закреплении заготовки в приспособлении наблюдаются упругие отжатия его узлов, что вызывает дополнительное смещение заготовки и дополнительную погрешность закрепления Δ_3''' . Учитывая, что вид и условия контакта в сопряжениях приспособления не меняются, эту составляющую можно определить, как и Δ_3' .

Поскольку составляющие Δ_3' и Δ_3''' имеют общую природу возникновения они суммируются между собой арифметически и полная погрешность закрепления при установке заготовки в приспособлении определится по закону квадратного корня

$$\Delta_3 = \sqrt{(\Delta_3' + \Delta_3''')^2 + (\Delta_3'')^2}. \quad (5.8)$$

Из полученных зависимостей следует, что $\Delta_3 = 0$ при однородном качестве базовых поверхностей заготовок и при использовании устройств, обеспечивающих постоянную силу зажима, а также в том случае, когда смещение заготовок под влиянием силы зажима происходит перпендикулярно к направлению выдерживаемого размера.

Погрешность закрепления, как и погрешность базирования, не влияет на точность выполнения диаметральных размеров; размеров, связывающих обрабатываемые за одну установку одним инструментом (инструментальной наладкой) поверхности, а также не влияет на точность формы обрабатываемых поверхностей.

Погрешность положения заготовки вызываемая неточностью приспособления

Эта погрешность определяется ошибками изготовления и сборки установочных элементов Δ_{yc} приспособления, их износом Δ_u , а также ошибками базирования и фиксации приспособления на станке Δ_c .

Составляющая Δ_{yc} характеризует неточность положения установленных элементов приспособления. При использовании одного приспособления эта составляющая представляет собой систематическую постоянную погрешность. Ее можно устранить соответствующей настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособлений – дублеров, приспособлений – спутников), а также многоместных приспособлений эта погрешность является случайной величиной, не может быть компенсирована настройкой станка и входит полностью в Δ_{np} .

При изготовлении приспособлений погрешность Δ_{yc} в зависимости от их размеров и назначения находится в пределах 0,01...0,05 мм. Для прецизионных приспособлений она менее 0,01 мм.

Составляющая Δ_u характеризует изменение положения контактных поверхностей установочных элементов в результате их изнашивания при эксплуатации приспособления.

Интенсивность изнашивания установочных элементов зависит от их конструкции и размеров, материала и массы заготовки, состояния ее базовой поверхности, а также от условия установки заготовки в приспособление и снятие ее. Исходя из требуемой точности установки, износ опор регламентируют заранее рассчитанной величиной.

Износ контролируется при плановой периодической проверке приспособления. Если износ достиг предельно допустимой величины, то приспособление ремонтируют путем замены опор. При обработке заготовок средних размеров по 8...10 квалитетам точности величина Δ_u обычно не превышает 0,015 мм. Для уменьшения износа опоры выполняют из закаленной стали. Нередко их хромируют или наплавляют твердым сплавом, что уменьшает износ соответственно в 3 и 10 раз.

Составляющая Δ_c возникает в результате смещения и перекосов корпуса приспособления на столе, планшайбе или шпинделе станка. В массовом производстве при однократном закреплении приспособления на станке эту величину с помощью выверки доводят до требуемого минимума; она постоянна в течение эксплуатации приспособления и может быть устранена (компенсирована) настройкой станка. В серийном производстве приспособления многократно периодически переустанавливаются на станках и величина Δ_c при этом является некомпенсированной случайной величиной, изменяющейся в определенных пределах. Применением направляющих элементов (шпонок для Т-образных пазов стола, цилиндрических и конических поясков, фиксаторов, штифтов) и рациональном назначении зазоров в их сопряжениях величину Δ_c можно уменьшить до 0,01 мм и менее.

В проектных технологических расчетах величины Δ_{yc} , Δ_u и Δ_c можно рассматривать как поля рассеяния случайных величин, распределение которых в первом приближении можно принять по нормальному закону и их суммирование проводить по закону квадратного корня

$$\Delta_{np} = \sqrt{\Delta_{yc}^2 + \Delta_u^2 + \Delta_c^2}. \quad (5.9)$$

Аналогичным образом определится и погрешность установки

$$\Delta = \sqrt{\Delta_o^2 + \Delta_z^2 + \Delta_{np}^2} . \quad (5.10)$$

Выбор схемы установки заготовки следует производить, сопоставляя полученную для данного случая погрешность установки Δ_z с допустимой погрешностью $[\Delta]$, которую находят из выражения технологического допуска выполняемого размера на данной операции.

$$\Delta \leq [\Delta]$$

$$T_T = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta H^2 + \Delta^2 + 3\Delta u^2 + 3\Delta T^2} + \sum \Delta \Phi , \quad (5.11)$$

где Δ_y – погрешность выполняемого размера, вызываемая упругими отжатами элементов технологической системы под влиянием нестабильности сил резания; ΔH – погрешность настройки станка; Δu – погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента; ΔT – погрешность обработки, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы; $\sum \Delta \Phi$ – суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности в результате геометрических погрешностей станка и деформаций заготовки при ее закреплении из-за неравномерных упругих отжатий технологической системы в различных сечениях заготовки.

Отсюда допустимая погрешность установки

$$[\Delta] = \sqrt{(T_T - \sum \Delta \Phi)^2 - \Delta_y^2 - \Delta H^2 - 3\Delta u^2 - 3\Delta T^2} . \quad (5.12)$$

5.2. Выбор технологических баз

Обоснование последовательности обработки поверхностей детали и выбор технологических баз тесно связаны между собой и требуют комплексного решения.

Последовательность обработки поверхностей детали устанавливается после изучения и анализа служебного назначения детали, функций, которые надлежит исполнять ее поверхностям, и размерных связей между конструктивными элементами, вытекающих из служебного назначения детали.

При установлении последовательности обработки поверхностей детали и решении вопросов базирования заготовки при выполнении технологического процесса рекомендуется выявить исполнительные поверхности детали, ее основные и вспомогательные конструкторские базы, свободные

поверхности; выявить размерные связи, при помощи которых определяется относительное положение конструктивных элементов.

Необходимо выявить конструктивные элементы, относительно которых задано и наиболее точно установлено положение других конструктивных элементов детали. В целях достижения требуемой точности детали именно эти конструктивные элементы следует использовать в качестве технологических баз на большинстве операций технологического процесса, если они в достаточной мере отвечают требованиям к технологическим базам и если невозможно обработать деталь полностью за одну установку.

Чаще всего положение большинства поверхностей задается относительно основных конструкторских баз детали. Поэтому, как правило, в качестве технологических баз следует выбирать основные конструкторские базы детали, стремясь сохранить принцип единства баз в технологическом процессе. Отступление от этого принципа может быть вызвано тем, что положение большинства поверхностей детали задано не относительно основных конструкторских баз, а относительно каких-то других поверхностей, например, вспомогательных конструкторских баз, или тем, что габариты и протяженность основных конструкторских баз недостаточны для использования их в качестве технологических баз. Бывают случаи, когда основные конструкторские базы детали физически неудобно использовать в качестве технологических баз, и технологические базы приходится создавать искусственно.

Чертежи сложных корпусных деталей, как правило, имеют большой формат, значительное число видов, разрезов, сечений и множество размерных связей между конструктивными элементами. При этом затруднен анализ чертежа с целью выбора комплекта единых технологических баз.

Значительное сокращение трудоемкости данной работы может быть достигнуто при анализе размерных связей между конструктивными элементами детали с использованием ее модели в виде графа размерных связей.

Суть данной методики можно пояснить на следующем примере. Необходимо определить комплект единых технологических баз (КЕТБ) при изготовлении детали, эскиз которой приведен на рис. 5.2.

Для построения модели чертежа детали в виде графа размерных связей на проекциях чертежа детали проводят оси системы координат, произвольно связанной с деталью (чаще всего по плоскостям и осям симметрии, по другим характерным для детали линиям и плоскостям), номеруют все поверхности и другие конструктивные элементы детали (см. рис. 5.2).

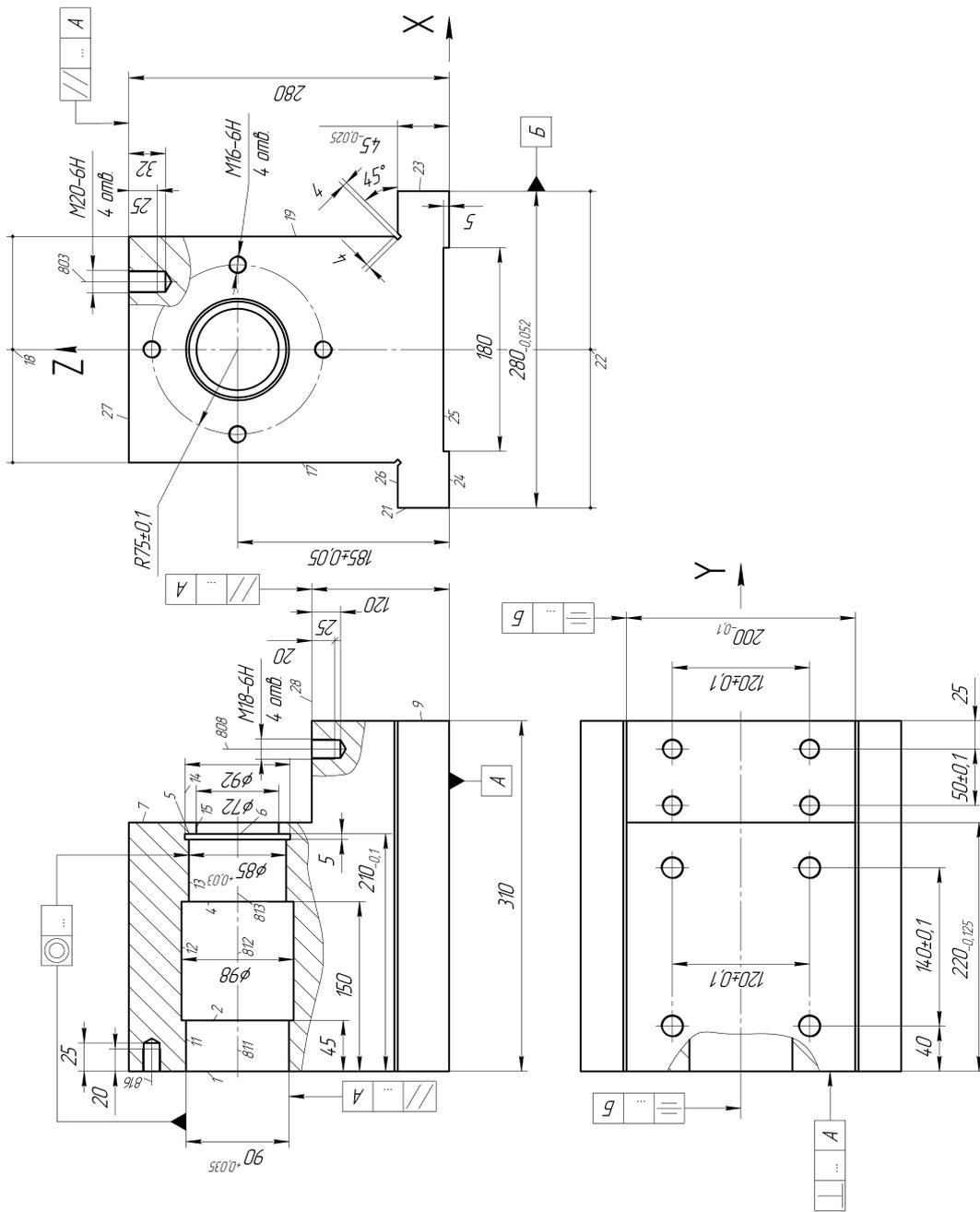


Рис. 5.2. Эскиз детали для определения комплекта единых технологических баз

На практике при изготовлении корпусных деталей наиболее часто применяют две схемы базирования:

- 1) по трем плоскостям, образующим координатный угол;
- 2) по плоскости и двум отверстиям с посадкой на установочные пальцы приспособления.

Указанные схемы базирования корпусных деталей наиболее полно обеспечивают в технологическом процессе соблюдение принципа единства баз и дают возможность использовать все преимущества координатного метода достижения точности. Однако при этом необходимо иметь в виду, что цепные размеры будут получаться уже не непосредственно от технологических баз, а более сложным путем, и что необходим пересчет допусков с построением соответствующих размерных цепей.

Имея в виду все преимущества принципа единства технологических баз, к его соблюдению все же надо подходить осмотрительно. Если требуется обеспечить высокую точность каких-либо цепных размеров, то возможен отход от единых технологических баз с тем, чтобы обеспечить требуемую точность размеров прямым путем. В качестве технологических баз в таких случаях используются непосредственно те поверхности детали, от которых заданы цепные размеры, т.е. используется принцип совмещения измерительных и технологических баз.

Решив вопрос о технологических базах для большинства операций технологического процесса, необходимо решить следующую задачу: выбрать технологические базы для обработки детали на первой или первых операциях, на которых должны быть созданы поверхности детали, намеченные в качестве технологических баз для последующих операций. Обычно бывает несколько вариантов решения этой задачи. Для того, чтобы избрать из них более предпочтительный, необходимо провести анализ различных вариантов базирования заготовки и заранее определить возможные последствия сделанного выбора.

Проведение анализа начинается с выявления и четкой формулировки задач, которые надо решить при обработке заготовки на первой операции, а именно:

- обеспечить точность размеров, связывающих обработанные поверхности с поверхностями, остающимися необработанными;
- целесообразно распределять припуск между поверхностями, подлежащими обработке.

Кроме того, нужно учитывать такой критерий, как конструктивные особенности приспособлений, которые потребуются для реализации сопоставляемых вариантов базирования.

Результаты решения этих задач могут обнаружиться не на первой операции, а на последующих операциях выполняемого технологического процесса. Следовательно, избрав для решения одну из задач, необходимо найти то место в технологическом процессе, где намеченное базирование заготовки на первой операции проявится с интересующей нас стороны. Идя от этого этапа технологического процесса к началу обработки заготовки, а если надо, то и к технологическому процессу получения и чертежу заготовки, необходимо проанализировать путь решения задачи и оценить результаты этого решения.

Анализ вариантов базирования заготовки проводится с помощью технологических размерных цепей, вскрывающих связь операций в формировании точности образующегося размера детали.

Выявление такого рода размерных цепей рекомендуется начинать с операции, на которой завершается решение рассматриваемой задачи. При этом может оказаться, что:

а) задача обеспечения точности размера решается в пределах этой операции (в тех случаях, когда в качестве одной из технологических баз используется поверхность, от которой задан размер), в этом случае точность выдерживаемого размера достигается с помощью размерной цепи системы ЗИПС этой операции;

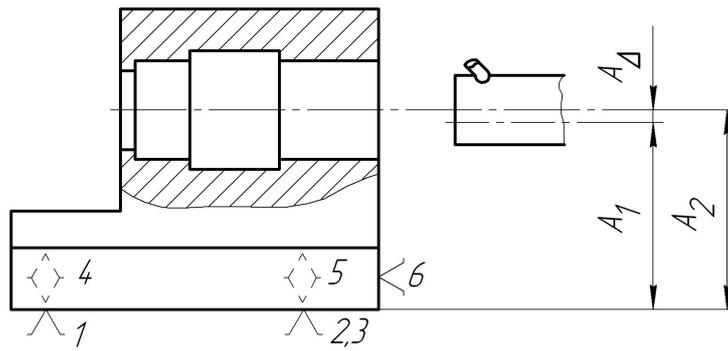
б) выдерживаемый размер будет являться замыкающим звеном размерной цепи (чаще трехзвенной), в которой одним из составляющих звеньев является расстояние (поворот) между конечным положением режущего инструмента и технологической базой заготовки, а другим составляющим звеном – размер, получаемый на одной из предшествующих операций.

При выполнении размера как замыкающего звена размерной цепи, возникающей на предшествующей операции, можно встретить случай *а*, либо случай *б*. Рассмотрение размерных связей завершается операцией, на которой операционный размер получается как замыкающее звено системы ЗИПС.

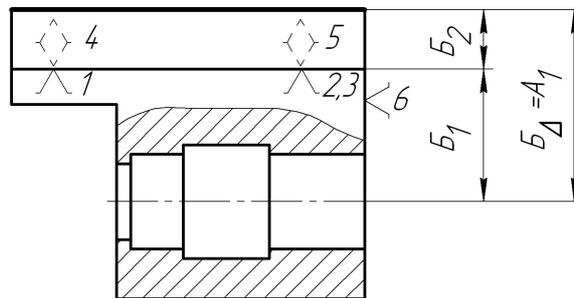
При проведении анализа базирования заготовки на первой операции необходимо учитывать тот факт, что варианта, дающего наилучшее решение одновременно всех задач, не существует.

В одном варианте более удачно решаются одни задачи, но менее удачно – другие. Во втором, третьем и т.д. вариантах будут получены совсем другие результаты. Это вынуждает рассмотреть в каждом из вариантов базирования возможно большее количество задач и найти им всем наиболее приемлемое решение (рис. 5.4).

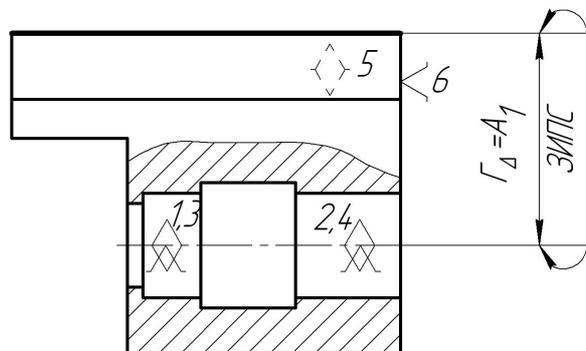
а)



б)



в)



г)

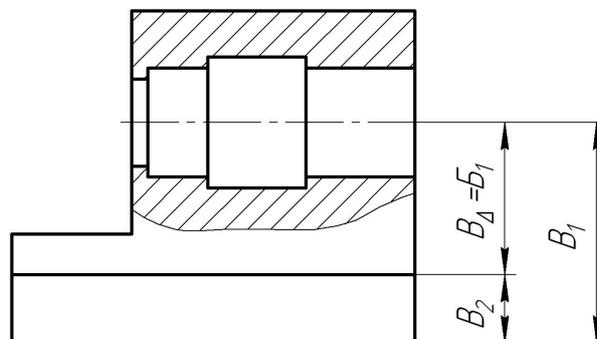


Рис. 5.4. Эскиз заготовки и схемы базирования:
a – расточная операция; *б, в* – варианты базирования на первой операции; *г* – заготовка

6. Припуски на механическую обработку

6.1. Общие понятия и определения

Общим припуском на обработку Z_0 называется слой материала, который необходимо удалить с заготовки на всех операциях для получения окончательно обработанной поверхности детали с требуемыми параметрами качества. Слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении отдельной операции (перехода) называется **операционным припуском**.

Установление оптимальных припусков на обработку имеет большое технико-экономическое значение.

Припуск измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности. Для тел вращения он задается на диаметр. При обработке плоскостей припуск может задаваться на сторону.

Так как операционные размеры не могут выполняться абсолютно точно, то фактическая величина припуска колеблется в каких-то пределах. В связи с этим различают номинальный (расчетный), минимальный и максимальный припуски.

Рассмотрим схему расположения припусков и допусков при обработке вала за две операции: точение и шлифование (рис. 6.1).

Примем обозначение буквой Z припуска на сторону, а на диаметр – $2Z$.

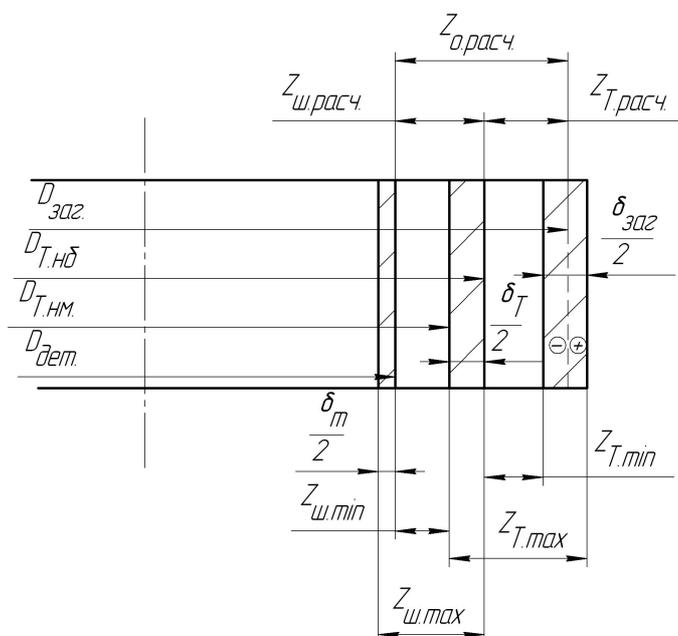


Рис. 6.1. Схема расположения припусков и допусков при обработке вала за две операции

Как видно из приведенной схемы, **общий расчетный** (номинальный) припуск $2Z_{0расч.}$ представляет собой разность номинальных размеров заготовки и готовой детали:

$$2Z_{0расч.} = D_{заг} - D_{дет}. \quad (6.1)$$

В то же время он равен сумме расчетных (номинальных) припусков на отдельные операции, а именно:

$$2Z_{0расч.} = \sum_1^n 2Z_{iрасч.}, \quad (6.2)$$

где $2Z_{iрасч.}$ – расчетный (номинальный) припуск на отдельную операцию; n – общее число операций.

В дальнейшем всем факторам, возникающим на предшествующей операции, будет присваиваться индекс $i - 1$, а на последующем – индекс i .

Минимальный операционный припуск $2Z_{imin}$ представляет собой разность наименьшего предельного размера детали на предшествующей операции (переходе) и наибольшего предельного размера на выполняемой операции.

Максимальный операционный припуск $2Z_{imax}$ представляет собой разность наибольшего предельного размера детали на предшествующей операции и наименьшего предельного размера на выполняемой операции.

Следовательно,

$$2Z_{imax} = 2Z_{imin} + T_{i-1} + T_i, \quad (6.3)$$

где T_{i-1} и $+T_i$ – допуски на предшествующей и выполняемой операции.

Расчетный (номинальный) припуск на операцию $2Z_{iрасч.}$ представляет собой разность номинальных размеров детали до и после обработки на данной операции, т.е.

$$2Z_{iрасч.} = 2Z_{imin} + T_{i-1}. \quad (6.4)$$

Для определения величины расчетного припуска на первой операции обработки заготовки, имеющей симметричное расположение поля допуска, учитывается лишь часть допуска, идущая от номинала в «тело» (т.е. минусовая часть допуска заготовки).

Как видно из последней формулы увеличение допуска T_{i-1} на предшествующей операции вызывает увеличение припуска на последующую операцию.

6.2. Факторы, влияющие на величину припуска

Величина припусков на обработку и допуски на размеры заготовок зависят от ряда факторов, степень влияния которых различна. К числу основных факторов относятся следующие:

1. Материал заготовки.
2. Конфигурация и размеры заготовки.
3. Вид заготовки и способ ее изготовления.
4. Требования к механической обработке, предъявляемые техническими условиями к параметрам качества.

Материал заготовки. У заготовок, получаемых литьем, поверхностный слой имеет твердую корку. Для нормальной работы лезвийного режущего инструмента необходимо, чтобы глубина резания была больше толщины корки отливки; исходя из этого требования и должен быть назначен припуск. Толщина корки может быть различной, она зависит от материала, размеров отливки и способов литья; для отливок из серого чугуна от 1 до 2 мм; для стальных отливок – от 1 до 3 мм.

При изготовлении поковок на них образуется слой окалины, который при дальнейшей механической обработке сильно увеличивает износ инструмента, поэтому глубина слоя обработки должна быть больше толщины слоя окалины.

Поверхностный слой у штамповок обезуглероживается и при обработке его необходимо удалить.

Конфигурация и размеры заготовок

Заготовки сложной конфигурации получить свободной ковкой затруднительно, поэтому для упрощения формы заготовки иногда оказывается необходимым увеличить припуск.

При изготовлении крупных отливок необходимо считаться с усадкой и назначать для них увеличенные припуски.

Вид заготовки и способ ее изготовления

В зависимости от вида заготовки и способа ее изготовления величина припуска и допуска на размер заготовки различны. Так для литья заготовки, изготовленной ручной формовкой, припуск больше, чем в отливке машинной формовки; припуск в отливке, полученной в земляную форму, больше, чем в заготовке, отлитой в кокель, и т.д.

Требования к механической обработке

В соответствии с требованиями к шероховатости поверхности и точности размеров детали принимается тот или иной способ обработки. Для

каждой механической операции необходимо оставить тот или иной припуск, снимаемый режущим инструментом за один или несколько ходов. Следовательно, общий припуск находится в зависимости от способов механической обработки, требующихся для изготовления детали по техническим условиям.

Следует иметь в виду, что при термической обработке деталь несколько деформируется и размеры ее изменяются; в связи с этим нужно увеличивать припуск на механическую обработку.

6.3. Методы определения припусков

Различают следующие методы определения припусков:

1. Опытно-статический.
2. Расчетно-аналитический.

Опытно-статический метод

При этом методе общие и промежуточные припуски берут по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов. Недостаток этого метода заключается в том, что припуски назначают без учета конкретных условий построения технологических процессов. Так общие припуски назначают без учета маршрута обработки данной поверхности, а промежуточные без учета схемы установки и погрешностей предшествующей обработки. Опытно-статические припуски во многих случаях завышены, так как они ориентированы на условия обработки, при которых припуск должен быть наибольшим во избежание брака.

Расчетно-аналитический метод

Этот метод разработан доктором технических наук В.М. Кованом. Согласно этому методу промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе. Данный метод определения припусков основан на учете конкретных условий выполнения технологического процесса обработки. Он выявляет возможности экономии материала и снижения трудоемкости механической обработки при проектировании новых и анализе существующих технологических процессов.

Минимальный промежуточный припуск определяют следующие факторы:

1. Высота микронеровностей Rz_{i-1} , полученная на смежном предшествующем переходе обработки данной поверхности. При выполнении первой операции механической обработки эту величину выбирают по исходной заготовке. При выполнении второй операции нужно снять неровности, полученные на первой операции и т.д. Величина Rz_{i-1} зависит от метода, режимов и условий выполнения предшествующей обработки.

2. Состояние и глубина T_{i-1} поверхностного слоя, полученные на смежном предшествующем переходе (как правило, только дефектного). Этот слой отличен от основного металла. Он подлежит полному или частичному удалению на выполняемом переходе. У отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки, наружная зона которого нередко имеет следы формовочной смеси. Для создания благоприятных условий работы режущего инструмента этот слой полностью снимают на первом переходе обработки данной поверхности. Многие детали машин (например, распределительные валы автомобильных двигателей) отливают с отбеленным поверхностным слоем. При последующей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости детали. У стальных поковок и штамповок заготовок поверхностный слой имеет обезуглероженную зону, которая должна быть полностью удалена, так как она снижает предел выносливости детали.

В результате обработки резанием в поверхностном слое возникает зона наклепа. При последующей обработке эту зону желательно сохранить, так как она повышает износостойкость детали и способствует снижению шероховатости поверхности при последующей обработке. После поверхностной закалки слой детали также желательно в максимальной степени сохранить, так как его ценные свойства быстро снижаются с увеличением снимаемого припуска.

3. Пространственные отклонения ρ_{i-1} расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки.

К пространственным отклонениям относятся несоосность наружной (установочной) поверхности и растачиваемого отверстия заготовок втулок, дисков и гильз; несоосность обтачиваемых ступеней базовым шейкам или линии центровых гнезд заготовок ступенчатых валов; неперпендикулярность торцовой поверхности оси базовой цилиндрической поверхности заготовки; непараллельность обрабатываемой и базовой поверхностей заготовок корпусных деталей и другие погрешности взаимного расположения обрабатываемых и базовых элементов.

В состав пространственных отклонений на первой операции также входит величина коробления обрабатываемой заготовки.

4. Погрешность установки Δ_i , возникающая на выполняемом переходе. Общий минимальный промежуточный припуск определяют суммированием величин Rz_{i-1} , T_{i-1} , ρ_{i-1} и Δ_i .

Отклонение размеров и погрешность формы (овальность, бочкообразность, седлообразность поверхностей вращения, вогнутость и выпуклость поверхностей и др.) обрабатываемой поверхности величиной минимального промежуточного припуска не учитываются. Это обусловлено тем, что минимальные припуски при обработке наружных поверхностей отсчитывают от наименьшего предельного размера заготовки, а при обработке внутренних поверхностей – от ее наибольшего предельного размера.

Пространственные отклонения и погрешности установки представляют собой векторы, так как они имеют не только величину, но и направление. Их суммируют по правилу сложения векторов. При обработке плоских поверхностей имеем коллинарные векторы ρ_{i-1} и Δ_i :

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\Delta}_i| = \rho_{i-1} + \Delta_i. \quad (6.5)$$

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения векторы ρ_{i-1} и Δ_i могут принимать любое угловое положение, предвидеть заранее которое не представляется возможным. Наиболее вероятное суммарное значение этих векторов определяется их сложением по правилу квадратного корня

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\Delta}_i| = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \Delta_i^2}. \quad (6.6)$$

В некоторых случаях пространственное отклонение равно сумме нескольких (двум или даже трем) составляющих, каждая из которых представляет вектор. Например, смещение оси одной из средних шеек ступенчатого вала может быть следствием смещения оси центровых отверстий, несоосности данной шейки крайним шейкам, на базе которых производили центровку, а также искривления оси заготовки.

В этом случае

$$\rho_i = |\bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2 + \bar{\rho}_3| = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \rho_3^2}. \quad (6.7)$$

С учетом вышеизложенного получим следующие расчетные структурные формулы для определения минимального промежуточного припуска на обработку:

припуск на сторону при последовательной обработке противоположных или отдельно расположенных поверхностей

$$Z_{i_{\min}} = (Rz_{i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \Delta_i); \quad (6.8)$$

припуск на две стороны при параллельной обработке противоположных поверхностей

$$2Z_{i_{\min}} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \Delta_i)]; \quad (6.9)$$

припуск на диаметр при обработке наружных или внутренних поверхностей вращения

$$2Z_{i_{\min}} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \Delta_i^2}]. \quad (6.10)$$

На основе приведенных общих структурных формул могут быть получены частные расчетные формулы для конкретных случаев обработки. В этих формулах в зависимости от условий выполнения операции исключают те или иные составляющие.

Например, при обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность установки может быть принятой равной нулю. Припуск на диаметр в этом случае

$$2Z_{i_{\min}} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \rho_{i-1}]. \quad (6.11)$$

При развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещение и увод оси не устраняются, а погрешности установки при этом нет. Припуск

$$2Z_{i_{\min}} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1}).$$

При суперфинишировании и полировании цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности, т.е.

$$2Z_{i_{\min}} = 2Rz_{i-1}.$$

Промежуточные припуски рассчитывают после детального выяснения условий и особенностей выполнения технологических процессов получения заготовки и последующей обработки резанием. Припуск не должен быть меньше той глубины резания, при которой работа нормально заточенной режущей кромкой инструмента становится неустойчивой. Например, остро заточенный резец может снимать стружку толщиной около 5 мкм. Однако, через короткое время кромка затупляется, и резец снимает стружку с минимальной толщиной около 10÷20 мкм.

Предельные промежуточные и исходные размеры заготовки

На основе расчета промежуточных припусков определяют предельные размеры заготовки по всем технологическим переходам.

При обработке за один рабочий ход на предварительно настроенном станке в результате упругих отжати́й элементов технологической системы происходит изменение размеров заготовки. Оно заключается в том, что при обработке заготовки с наименьшим предельным размером a_{\min} выдерживаемый размер b_{\min} также получается наименьшим, а при обработке заготовки с наибольшим предельным размером a_{\max} , выдерживаемый размер b_{\max} получается наибольшим. В этих условиях минимальный промежуточный припуск

$$Z_{i_{\min}} = a_{\min} - b_{\min} ; \quad (6.12)$$

наибольший припуск

$$Z_{i_{\max}} = a_{\max} - b_{\max} . \quad (6.13)$$

Учитывая, что $a_{\max} = a_{\min} + T_a$ и $b_{\max} = b_{\min} + T_b$, получим

$$Z_{i_{\max}} = a_{\min} + T_a - T_b - b_{\min} . \quad (6.14)$$

Припуски, а также предельные, промежуточные и исходные размеры заготовки удобно рассчитывать, заполняя специальную карту. Методика расчета приведена в методических пособиях к курсовому и дипломному проектированию и в справочниках технолога машиностроителя (см. рабочую программу по дисциплине).

7. Размерный анализ технологических процессов

7.1. Общие понятия о технологических размерных цепях

Под размерным анализом технологических процессов (РАТП) понимаются способы выявления связей размерных параметров качества детали при ее изготовлении и расчет этих параметров путем решения технологических размерных цепей (РЦ).

Для осуществления РАТП необходимо уметь:

1. Анализировать взаимосвязи размерных параметров в процессе обработки заготовки до получения готовой детали.
2. Определять минимально необходимый припуск на обработку.

Размерный анализ технологических процессов базируется на основных положениях теории размерных цепей и методах их расчета, регламентируемых ГОСТами.

В зависимости от назначения размерные цепи (как и базы в машиностроении) подразделяются на:

- 1) конструкторские;
- 2) технологические;
- 3) измерительные.

Технологические размерные цепи в зависимости от решаемых задач можно подразделить на:

- 1) размерные цепи системы ЗИПС;
- 2) операционные цепи.

Размерные цепи системы ЗИПС применяются для установления взаимосвязей размерных параметров заготовки, приспособления, инструментов и станков в процессе выполнения отдельно взятых технологических операций.

Операционные размерные цепи представляют собой совокупность размеров (или других размерных параметров), образующих замкнутый контур и определяющих связь между операционными размерами (или другими параметрами) на различных стадиях обработки.

Точно также как и конструкторские, технологические РЦ в зависимости от вида и расположения звеньев в пространстве подразделяются на **линейные и угловые, плоские и пространственные**.

Размерные цепи для случаев, когда должна быть обеспечена 100% годность деталей, рассчитываются по методу максимума – минимума. В тех случаях, когда экономически оправдан риск выхода за пределы допуска величины замыкающего звена у части изделий, РЦ могут рассчитываться вероятностным методом.

Для операционных размерных цепей необходимо уточнение понятий замыкающего и составляющего звеньев, определения которых приведены в ГОСТ 16319.

Указанные определения, являясь верными по своей сути, при решении операционных РЦ не дают в ряде случаев конкретных указаний, позволяющих причислить то или иное звено к категории составляющих или замыкающих. ГОСТ практически отождествляет понятия замыкающего и исходного звена. В операционных РЦ наиболее часто замыкающим звеном оказывается припуск, который не является исходным звеном, так как он не диктует исходных требований, предъявляемых к другим звеньям.

В связи с этим можно дать следующие определения.

Размеры обрабатываемых поверхностей детали, которые в операционных картах предписаны к обязательному исполнению в пределах заданных допусков, являются **составляющими звеньями** операционной РЦ.

Размер обрабатываемой поверхности детали, который получается в результате выполнения составляющих звеньев, называется **замыкающим звеном** операционной РЦ.

В операционных размерных цепях решаются задачи по определению номиналов размеров и отклонений, при которых в результате выполнения всего технологического процесса деталь будет полностью соответствовать требованиям чертежа по всем точностным параметрам, а также другие задачи.

Номинальный размер A_{Δ} замыкающего звена размерной цепи, состоящей из m звеньев, включая замыкающее, может быть найден из уравнения, называемого уравнением номиналов:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i, \quad (7.1)$$

где ξ_i – передаточное отношение – величина, характеризующая влияние погрешности составлявшего звена на замыкающее; i – порядковый номер звена.

Для линейных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения равны:

$\xi_i = 1$ (увеличивающие звенья),

$\xi_i = -1$ (уменьшающие звенья).

Уравнение координаты середины поля допуска замыкающего звена аналогично уравнению номиналов:

$$\Delta_{0_{\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0_i}, \quad (7.2)$$

где $\Delta_{0_{\Delta}}$ – координата середины поля допуска замыкающего звена; Δ_{0_i} – координата середины поля допуска i -го звена.

Координата середины поля допуска определяет положение поля допуска относительно номинального размера. Значение ее для составляющего звена может быть определено по формуле

$$\Delta_{0_i} = \frac{\Delta_{B_i} + \Delta_{H_i}}{2}, \quad (7.3)$$

где Δ_{B_i} , Δ_{H_i} – верхнее и нижнее отклонения i -го звена.

Поля рассеяния замыкающего звена при расчете по методу максимума-минимума можно найти из уравнения

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \omega_i, \quad (7.4)$$

где ω_i – поле рассеяния i -го звена.

Условимся называть уравнение (7.4) уравнением погрешностей, так как при решении технологических размерных цепей часто приходится под ω понимать допуск, погрешность или регламентированное колебание замыкающего или составляющих звеньев.

При вероятностном методе расчета уравнение погрешностей имеет вид

$$\omega_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 \omega_i^2}, \quad (7.5)$$

где t_{Δ} – коэффициент риска; λ_{Δ} – относительное среднее квадратическое отклонение (безразмерный коэффициент).

При распределении по закону Гауса $t_{\Delta} = 3$; $\lambda_{\Delta} = \frac{1}{3}$.

При размерном анализе технологических процессов решаются операционные размерные цепи. Эта разновидность технологических цепей отличается от описанных в ГОСТ 16319, ГОСТ 16320 постановкой задачи и методикой расчета. Методику построения и расчета операционной размерной цепи можно пояснить на одном из самых простых примеров взаимосвязи размерных параметров смежных операций при фрезеровании плоскости за один рабочий ход, настроенным на размер инструментом (рис. 7.1).

На рис. 7.2 показан контур операционной размерной цепи, связывающей размер заготовки до начала обработки A_n (предшествующий размер), размер после обработки A_b (выполняемый размер) и припуск на обработку Z .

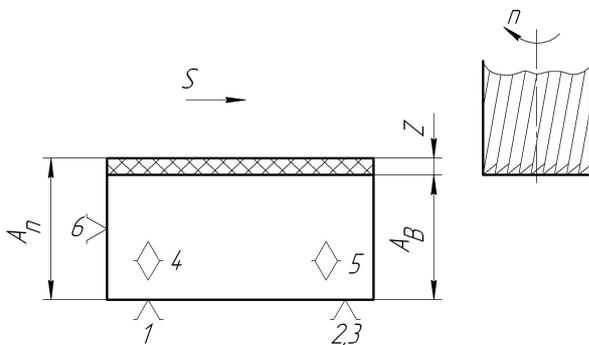


Рис. 7.1. Операционный эскиз с размерными связями

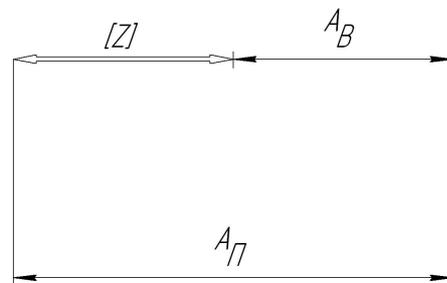


Рис. 7.2. Контур операционной размерной цепи

Выполняемый размер является чертежным, либо определяется из предыдущей операционной размерной цепи (подобной рассматриваемой). Обычно известны его номинал $A_{B_{ном}}$ и предельные отклонения $\Delta_{B_{AB}}$, $\Delta_{H_{AB}}$ или координата середины поля допуска $\Delta_{O_{AB}}$ и поле допуска (регламентированное колебание ω_{AB}).

Предшествующий размер на любой из операций технологического процесса является размером заготовки, поступающей на данную операцию.

В предельном случае (для первой операции) это будет размер исходной заготовки, поступающей на механическую обработку. У звена A_{II} надлежит определить $A_{IIком}$ путем решения размерной цепи. Допуск размера $\omega_{A_{II}}$ и предельные отклонения $\Delta_{B_{A_{II}}}$, $\Delta_{H_{A_{II}}}$ назначаются из технологических соображений в соответствии с возможностями выбранного оборудования. Следовательно, может быть найдена и координата середины поля допуска $\Delta_{O_{A_{II}}}$. Замыкающим звеном в рассматриваемой цепи является припуск Z , размер A_{II} является увеличивающим составляющим звеном, а размер A_B уменьшающим.

Такая задача не отвечает определению ни прямой, ни обратной задачи по ГОСТ 16319, так как в ней неизвестными величинами выступают параметры как замыкающего, так и составляющего звеньев.

Приведем методику решения этой задачи. Сначала из уравнения координат середины полей допусков находят координату середины поля колебания замыкающего звена:

$$\Delta_{O_Z} = \Delta_{O_{A_{II}}} - \Delta_{O_{A_B}} . \quad (7.6)$$

Затем из уравнения погрешностей определяют поле колебания замыкающего звена

$$\omega_z = \omega_{A_B} + \omega_{A_{II}} . \quad (7.7)$$

Номинальный размер замыкающего звена вычисляют по формуле

$$Z_{ном} = Z_{min} - \Delta_{O_z} + \frac{\omega_z}{2} . \quad (7.8)$$

Тогда появляется возможность найти номинал A_{II} из уравнения номиналов

$$A_{II} = Z_{ном} + A_B . \quad (7.9)$$

Следует отметить, что данная методика применяется довольно часто, хотя и не исчерпывает всех случаев, встречающихся при расчете технологических размерных цепей.

В ряде случаев при расчете технологических размерных цепей по методу максимума-минимума оказывается удобным пользоваться формулами, устанавливающими взаимосвязь максимального A_{Δ}^{\max} и минимального A_{Δ}^{\min} значений замыкающего звена с максимальными и минимальными значениями составляющих звеньев

$$\left. \begin{aligned} A_{\Delta}^{\max} &= \overline{\sum} A_i^{\max} - \overline{\sum} A_i^{\min} \\ A_{\Delta}^{\min} &= \overline{\sum} A_i^{\min} - \overline{\sum} A_i^{\max} \end{aligned} \right\}, \quad (7.10)$$

где $\overline{\sum} A_i^{\max}$ и $\overline{\sum} A_i^{\min}$ – соответственно суммы максимальных и минимальных значений увеличивающих звеньев; $\overline{\sum} A_i^{\max}$ и $\overline{\sum} A_i^{\min}$ – соответственно суммы максимальных и минимальных значений уменьшающих звеньев.

Размерный анализ проводится после предварительного выбора варианта технологического процесса, т.е. предполагается, что он прошел стадию логической оценки и признан пригодным для дальнейшей проработки. Перед началом анализа рекомендуется оформить рассматриваемый вариант в виде операционных эскизов с указанием технологических баз, размерных линий, допусков размеров и технических требований расположения поверхностей, шероховатости поверхностей, типа применяемого оборудования.

Проведение размерного анализа технологического процесса начинается с параллельного выполнения следующих видов работ: построения размерных схем технологического процесса, назначения допусков на размеры исходной заготовки и размеры переходов, назначения минимально необходимой величины припуска на технологические переходы.

7.2. Назначение допусков

Назначение допусков на размеры исходной заготовки не представляет трудностей и осуществляется в соответствии с принятым видом и методом получения заготовки.

При назначении допусков на размеры технологических переходов должно соблюдаться следующее условие:

$$T_{A_{on}} \geq \omega_{A_{cm}}, \quad (7.11)$$

где $T_{A_{on}}$ – задаваемый допуск на размер A технологической операции; $\omega_{A_{cm}}$ – погрешность размера A , которая может возникнуть на данной операции при нормальном состоянии технологической системы (статистическая точность обработки).

При использовании данного правила назначения допусков на операционные размеры могут иметь место два случая:

1. $T_{A_{on}} = \omega_{A_{cm}}$. Этот случай наиболее простой. По таблицам статистической (экономической) точности, содержащимся в справочной литературе, допуск на операционный размер назначают равным статистической точности $\omega_{A_{cm}}$.

2. $T_{A_{on}} > \omega_{A_{cm}}$. Этот случай возникает более часто и может диктоваться экономическими и технологическими соображениями.

При расширении допусков стоимость операции может уменьшаться. Это происходит вследствие того, что более широкие допуски обеспечивают возможность работы на повышенных режимах, меньшие затраты времени на наладку станка, менее частые его подналадки, переточки инструмента, меньшую квалификацию рабочих и т.д. Однако расширение допуска на какой-либо операции приводит к увеличению средних припусков и, как следствие, к увеличению размеров заготовки и ее стоимости.

Таблицы точности составлены на основании сбора статистических данных в производственных условиях. При их составлении анализировались данные только таких операций, когда технологические базы и поверхности, от которых осуществляется настройка совпадают с измерительными базами (погрешность от несовпадения баз $\Delta_\delta = 0$) и когда обрабатываемые поверхности имели минимальные пространственные отклонения ($\rho_u \approx 0$).

Из сказанного выше следует, что допуски на размеры переходов должны назначаться с учетом выполнения технологической операции в конкретных условиях и в общем случае должно удовлетворяться равенство

$$T_{A_{on}} = \omega_{A_{cm}} + \Delta_\delta + \rho_u. \quad (7.12)$$

Причем, в ряде случаев, в равенстве (7.12) вместо погрешности базирования Δ_δ целесообразно учитывать погрешность установки Δ , определяемую суммой погрешности базирования и закрепления.

7.3. Припуски на обработку

На практике широко используют методику В.М. Кована определения величины минимально необходимого припуска и расчета размеров на технологические переходы. В соответствии с этой методикой величина минимально-необходимого припуска на i -тый переход определяется по формуле

$$Z_{i_{\min}} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_i, \quad (7.13)$$

где $R_{z_{i-1}}$ – высота микронеровностей обрабатываемой поверхности, образованная на смежном предшествующем переходе; T_{i-1} – глубина дефектно-

го слоя, созданного на смежном предшествующем переходе; ρ_{i-1} – величина пространственных отклонений во взаимном расположении обрабатываемой поверхности и технологической базы на данном переходе, возникшая на смежном предшествующем переходе; Δ_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Формула (7.13) справедлива для способа расчета размеров на технологические переходы, предложенного профессором В.М. Кованом. При проведении размерного анализа величину минимально необходимого припуска $Z_{i_{\min}}$ следует определять по формуле

$$Z_{i_{\min}} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1}, \quad (7.14)$$

так как прочие составляющие (ρ_{i-1} , Δ_i), в отличие от методики В.М. Кована, учитываются отдельно.

Как отмечалось ранее, в технологических размерных цепях припуск на обработку чаще всего является замыкающим звеном. Исключение составляет случай, когда осуществляется обработка незамкнутой поверхности, являющейся технологической базой на данной операции. В этом случае припуск Z перестает зависеть от размера предшествующей обработки A_n и размера, получаемого на выполняемой обработке A_6 ; он зависит только от точности установки режущего инструмента относительно технологической базы. Следовательно, припуск приобретает значение составлявшего звена. Величина A_6 , наоборот, становится зависимой от A_n и Z , и ее колебание ω_{A_6} будет складываться из колебаний T_{A_n} и T_Z . Иными словами, звено A_6 является замыкающим. Так как звено Z является составляющим, то допуск T_Z на него может быть найден как для звена - размера в соответствии с формулой (7.12).

При установлении минимального припуска иногда бывает возможным с целью экономии материалы и повышения эффективности технологического процесса в целом принять его отрицательным.

Операционный припуск на механическую обработку, это разность расстояний между эквидистантными поверхностями, полученными на предыдущей и выполняемой операции.

1. Повторная обработка не диктуется необходимостью изменения шероховатости и качества поверхностного слоя.

Иногда возникает необходимость вести обработку в два прохода, оставляя качество поверхности таким же, каким оно получилось на предыдущей обработке. Такой вариант возникает тогда, когда точность размера не обеспечивается предыдущей обработкой. В этом случае минимально необходимый припуск следует принять отрицательным.

Величина отрицательного припуска может быть принята равной допуску на выполняемый размер.

В технологической операции, рассчитанной с использованием отрицательного припуска Z_{\min} у некоторых деталей режущий инструмент будет проходить у обрабатываемой поверхности, не касаясь ее, с зазором, равным Z_{\min} .

Такой прием расчета Z_{\min} обеспечивает уменьшение размеров заготовки и уменьшение средних и максимальных припусков на обработку.

2. В технологический процесс введена дополнительная черновая операция.

При использовании заготовок с широкими допусками колебания припуска на какую-либо поверхность могут оказаться большими.

Для устранения перегрузки режущего инструмента вводят дополнительную предварительную операцию или черновой рабочий ход. Для предварительной операции расчетное значение Z_{\min} может быть также принято отрицательным и равным по величине допуску на размер этой операции: $Z_{\min} = -T_{AB}$.

Использование такого приема при расчете позволяет уменьшить номинальный размер заготовки на величину Z_{\min} . При этом на поле операционного эскиза дается примечание, что чернота на обрабатываемой поверхности допускается. При последующей обработке этой поверхности чернота будет удалена, но для этого в значение Z_{\min} последующей операции должны быть включены R_z и T , которые имели место у черновой поверхности.

Пример построения размерных цепей, их выявление и проверка размерной корректности ТП рассмотрены в методических указаниях к практическим занятиям.

8. Методы настройки технологической системы

Для осуществления технологической операции прежде всего необходимо произвести наладку (настройку) системы ЗИПС.

Наладкой (настройкой) называется процесс подготовки технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции (ГОСТ 3.1109).

В тех случаях, когда требуемая точность достигается методом автоматического получения размеров на настроенных станках, основной задачей настройки является обеспечение точности взаимного расположения элементов технологической системы ЗИПС, определяющих требуемую

траекторию перемещения режущих кромок инструментов относительно образующихся в процессе обработки на данной операции поверхностей заготовки. Эта задача, решение которой в значительной мере определяет точность обработки, является наиболее сложной и ответственной, требующей проведения специальных расчетов.

В настоящее время применяются следующие методы настройки технологической системы: статическая настройка, настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра и настройка с помощью универсального измерительного инструмента по пробным заготовкам.

Статическая настройка

Метод статической настройки заключается в установке режущих инструментов по различным калибрам и эталонам на неподвижном станке.

Для сокращения времени настройки установка инструмента производится по детали – эталону или специальному калибру, которые располагаются на станке вместо обрабатываемой заготовки. Инструмент доводится до соприкосновения с поверхностью калибра и закрепляется. Одновременно устанавливаются соответствующие упоры.

При статической настройке в связи с деформациями в упругой технологической системе, зависящими от действия сил резания, температурного режима системы и других факторов, размер обрабатываемой заготовки оказывается больше (для охватываемой поверхности) или меньше (для охватывающей поверхности) требуемого.

Для компенсации изменения фактических размеров обрабатываемых заготовок установочные калибры или эталонные детали при статической настройке изготавливаются с отступлением от чертежа заготовки на величину некоторой поправки $\Delta_{нопр}$. В этом случае расчетный настроечный размер L_H установочного калибра определяется по формуле

$$L_H^{расч} = L_H^{заг} \pm \Delta_{нопр}. \quad (8.1)$$

Здесь $L_H^{заг}$ – размер заготовки, который должен быть фактически получен после обработки, когда настройка системы ведется посередине поля допуска заготовки,

$$L_H^{заг} = (L_{min} + L_{max}) / 2,$$

где L_{min} и L_{max} – соответственно наименьший и наибольший предельные размеры заготовки после выполнения операции.

$$\Delta_{nonp} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3, \quad (8.2)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – составляющие поправки, учитывающие соответственно упругие отжатия под действием силы резания, образующиеся в результате резания, шероховатость поверхности заготовки и величину зазора в подшипниках шпинделя.

В формуле (8.1) знак «минус» принимается для случая обработки охватываемой поверхности, а знак «плюс» – для охватывающей поверхности.

При односторонней обработке имеем:

$$\Delta_1 = P_y / j. \quad (8.3)$$

При двухсторонней обработке (обработке тел вращения) значение Δ_1 , найденное по формуле (8.3), удваивается.

В связи с тем, что установка режущей кромки инструмента по калибру осуществляется соприкосновением ее вершины с калибром и при обработке поверхности заготовки положение вершины режущего инструмента определяет положение впадин микронеровностей, а измерение размера заготовки производится по выступам неровностей, измеренный размер оказывается больше размера калибра на величину

$$\Delta_2 = R_z, \quad (8.4)$$

где R_z – высота микронеровностей.

При двухсторонней обработке значение R_z удваивается.

При односторонней обработке поправка Δ_3 равна половине диаметрального зазора в сопряжении шпинделя с подшипником (принимается, что шпиндель, нагруженный усилием резания, смещается от заготовки в направлении по нормали к обрабатываемой поверхности) и зависит от типа и марки станка. При двухсторонней обработке эта величина удваивается. Для токарных станков обычной точности Δ_3 принимается равной 0,04 мм, для станков повышенной точности $\Delta_3 = 0,02$ мм.

Статическая настройка обычно не создает условий для получения точности заготовок выше 9-10 квалитета точности.

Это приводит к необходимости дополнять статическую настройку динамической настройкой, проводя добавочное регулирование положения инструмента и упоров при обработке первых заготовок партии.

Настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра

Статическую настройку с помощью рабочего калибра нельзя считать удовлетворительной, так как даже в наиболее благоприятном случае, когда допуск на обработку значительно превосходит поле рассеяния, нет гаран-

тии того, что значительная часть заготовок партии не окажется за пределами установленного допуска, т.е. будет браком. Кривая рассеяния, к которой принадлежит размер пробной заготовки, может занимать внутри поля допуска различные положения и при изготовлении одной пробной заготовки нельзя определить, какому участку поля рассеяния она соответствует.

Это можно пояснить на рис 8.1.

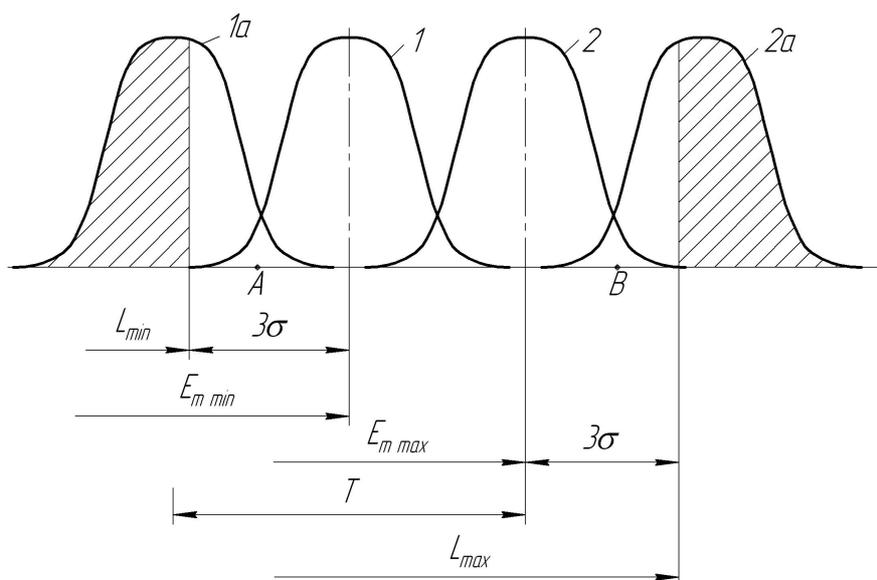


Рис. 8.1. Кривые рассеяния размера при настройке по пробным заготовкам

Точки *A* и *B* могут принадлежать кривым 1 и 2, расположение которых исключает опасность брака, но могут также относиться и к кривым 1*a* и 2*a* в значительной части выходящими за пределы допуска и связанными с появлением большого количества брака (заштрихованные участки).

При увеличении числа пробных заготовок вероятность появления значительного числа бракованных заготовок снижается, однако, опасность появления брака не устраняется.

Для исключения опасности появления брака в случае, когда поле допуска превышает поле рассеяния, т.е. $\omega < T$, необходимо с помощью настройки обеспечить расположение кривой фактического распределения размеров внутри поля допуска с таким расчетом, чтобы ее центр группирования отстоял от предельных размеров не менее, чем 3σ . Методом настройки станков по рабочим калибрам при небольшом числе пробных заготовок эту задачу решить нельзя.

Более рациональным является метод настройки с помощью универсальных измерительных инструментов по суженным допускам.

Настройка по пробным заготовкам с помощью универсального измерительного инструмента

Сущность этого метода настройки заключается в том, что установка режущих инструментов и упоров станка производится на определенный рабочий настроечный размер L_n , а правильность настройки устанавливается обработкой некоторого количества m пробных заготовок. Настройка признается правильной, если среднее арифметическое размеров пробных заготовок находится в пределах некоторого допуска T_n на настройку. Задачей настройки в этом случае является определение поля допуска настройки T_n .

Теоретическими предпосылками этого метода настройки, предложенного проф. А.Б. Яхиным, являются следующие положения теории вероятностей:

Если имеется некоторая совокупность (партии) заготовок, распределение размеров которых подчиняется закону нормального распределения Гаусса со средним квадратичным σ , и если эту совокупность заготовок разделить на группы по m штук и определить среднее арифметическое значение размеров внутри каждой из этих групп, то распределение размеров групповых средних $L^{гп.ср.}$ тоже будет подчиняться закону Гаусса со средним квадратичным

$$\sigma_1 = \sigma / \sqrt{m}. \quad (8.5)$$

При этом центр группирования групповых средних совпадает с центром группирования размеров всей партии заготовок (рис. 8.2).

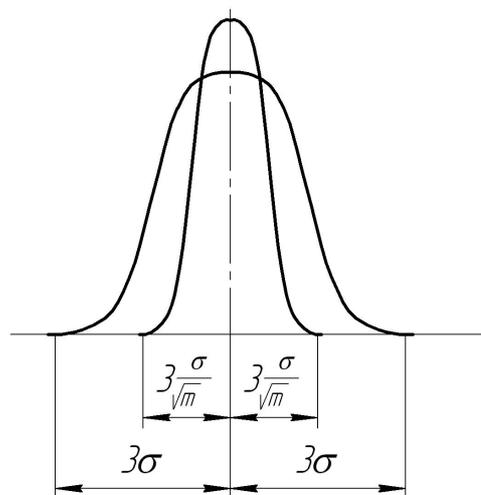


Рис. 8.2. Кривая распределения размера при настройке с помощью универсального измерительного инструмента

Пренебрегая износом инструмента, можно считать, что среднее арифметическое размеров m пробных заготовок может отличаться от среднего арифметического всей совокупности (партии) заготовок не более, чем $3\sigma/\sqrt{m}$.

Расчет настройки без учета переменных систематических погрешностей

Если центр группирования размеров пробных заготовок располагается по отношению к предельным размерам партии заготовок ближе, чем на расстоянии 3σ (точка М на рис. 8.3, а), то часть общей кривой рассеяния размеров обрабатываемой партии заготовок может выйти за пределы допуска и возникает опасность появления брака

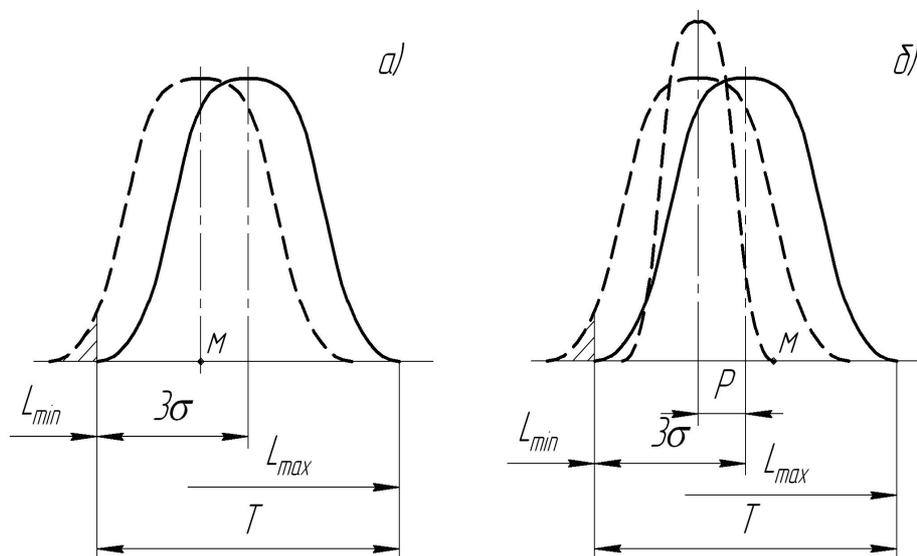


Рис. 8.3. Кривая распределения размеров пробных заготовок с центром их группирования меньше (а) и больше (б) расстояния 3σ

Даже если это расстояние несколько больше (точка М на рис. 8.3, б), то брак обрабатываемых заготовок возможен, так как точка М может принадлежать кривой групповых средних, центр группирования которых (а, следовательно, и центр группирования размеров всей партии заготовок) смещен на величину P влево от требуемого положения кривой, исключая возможность брака.

Условие правильной настройки, исключающей опасность брака, графически можно изобразить, как показано на рис. 8.4.

Брак является невозможным только в том случае, когда минимальный размер групповых средних пробных заготовок, определяющий положение точки M , $L_{\min}^{gp.sp.} \geq L_{\min} + 3\sigma + 3\sigma/\sqrt{m}$.

По данным проф. А.Б. Яхина количество пробных заготовок может быть принято от двух до восьми. Дальнейшее увеличение их неэффективно.

В соответствии с тем, что условие обработки заготовок без брака при отсутствии влияния систематических закономерно изменяющихся погрешностей имеет вид $\omega_m < T$ (ω_m – возможное поле рассеяния выполняемого размера для партии заготовок), с учетом уравнения (8.6) его можно представить в виде формулы

$$6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) + T_n < T. \quad (8.8)$$

Необходимо отметить, что введенная в выражения (8.6) и (8.8) величина допуска настройки T_n не совпадает с погрешностью настройки $\Delta_n = \omega_n$, рассчитываемой по формуле

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2 + \omega_{смещ}^2}, \quad (8.9)$$

где $\omega_{рег}$ – погрешность регулирования положения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки (принимается равной цене деления регулировочного устройства или предельной погрешности мерительного инструмента с помощью которого регулируют положение режущего инструмента); $\omega_{изм}$ – погрешность измерения пробных заготовок (принимается равной погрешности используемого измерительного инструмента); $\omega_{смещ}$ – величина смещения центра группирования групповых средних, которая определяется формулой

$$\omega_{смещ} = \omega_m / \sqrt{m} = 6\sigma / \sqrt{m}. \quad (8.10)$$

Из предыдущего рисунка видно, что погрешность настройки определяет расстояние между крайними допустимыми положениями вершин кривых рассеяния при настройке.

Допуск T_n настройки представляет собой разрешенное колебание значений групповых средних, вызываемое погрешностями регулирования и измерения, и является частью общей погрешности настройки.

В зависимости от погрешностей регулирования и измерения допуск настройки можно определять по формуле

$$T_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2}. \quad (8.11)$$

Рассмотренный метод настройки применяется при обработке точных заготовок, когда поле допуска незначительно превышает рассеяние размеров, что делает невозможным предусмотреть заранее компенсацию переменных систематических погрешностей обработки (например, износ инст-

румента). Этот метод приемлем также при обработке заготовок, когда износ инструмента незначителен (например, при алмазной обработке цветных сплавов), а также при обработке небольших партий заготовок, когда износ инструмента не может оказать серьезного влияния на потерю точности обработки.

При этом настроечный размер определяется по формуле

$$L_H = \frac{L_{\min} + L_{\max}}{2} \pm 0,5T_H . \quad (8.12)$$

Расчет настройки с учетом переменных систематических погрешностей

В процессе обработки крупных партий заготовок, сопровождаемой интенсивным износом режущего инструмента, при настройке возникает задача наиболее рационального расположения кривой рассеяния в поле допуска с целью использования значительной части этого поля для компенсации переменных систематических погрешностей обработки. Таким образом, удастся увеличить срок работы станка без поднастройки, а, следовательно, и повысить производительность.

Рассмотрим схему рациональной настройки станка для обеспечения требуемой точности охватываемого размера (рис. 8.5).

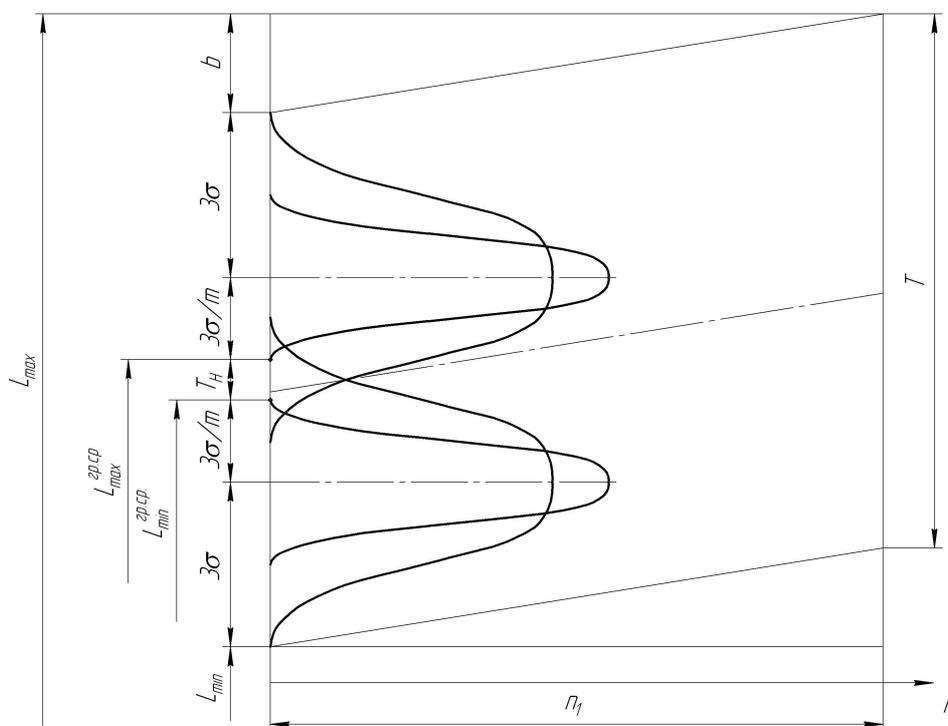


Рис. 8.5. Схема кривых распределения размера при рациональной настройке станка

Из рисунка видно, что некоторая часть T_n общего поля допуска T используется для компенсации погрешности настройки. Вторая часть общего поля допуска предназначена для компенсации случайных погрешностей, вызывающих рассеяние размеров. Остальная часть b поля допуска используется для компенсации погрешностей, порождаемых совокупным действием закономерно изменяющихся систематических факторов.

При такой настройке, очевидно, нельзя определять настроечный групповой средний размер по величине среднего арифметического, а необходимо вычислить его по значениям предельных размеров.

Во избежание получения при обработке размера, выходящего за нижнюю границу поля допуска, необходимо, чтобы минимальное значение группового среднего размера удовлетворяло выражению

$$L_{\min}^{sp.cp.} = L_{\min} + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}). \quad (8.13)$$

При наличии существенного влияния переменных систематических погрешностей, уменьшающих размеры охватываемых поверхностей заготовок (например, значительное удлинение резца от нагрева в начальный период резания), в формулу (8.13) необходимо дополнительно ввести возможную величину погрешности a , т.е.

$$L_{\min}^{sp.cp.} = L_{\min} + a + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}). \quad (8.14)$$

В большом числе случаев обработки заготовок (особенно при наличии охлаждения) значение a ничтожно мало и расчет наименьшего настроечного размера производится по формуле (8.13).

Формула для подсчета максимального значения группового среднего размера (с учетом части допуска b , используемой для компенсации переменных систематических погрешностей) имеет вид

$$L_{\max}^{sp.cp.} = L_{\max} - b - 3\sigma(1 - 1/\sqrt{m}). \quad (8.15)$$

Допуск на настройку определяется разностью предельных значений групповых средних размеров и после преобразований формул (8.13) и (8.15) приводится к виду

$$T_n = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) - b. \quad (8.16)$$

Полученная формула (8.16) отличается от выражения (8.6) тем, что при учете переменных систематических погрешностей допуск настройки T_n уменьшается на величину b , предназначенную для компенсации влияния этих погрешностей на точность выполняемого размера.

9. Погрешности при обработке заготовки на станке

9.1. Жесткость технологической системы заготовка – инструмент – приспособление – станок

При обработке заготовок на металлорежущих станках силы резания, силы зажима и другие воздействуют на детали станка, обрабатываемую заготовку, приспособление и режущий инструмент, вследствие чего происходит их деформирование, изменение стыковых зазоров, изменение положения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемых поверхностей детали (отжим); размеры обрабатываемой детали изменяются, появляются отклонения от правильной геометрической формы.

Деформации упругой системы ЗИПС, возникающие от действия системы сил, являются одним из источников погрешностей обработки [4, с. 60...78].

Понятие жесткости применительно к станкам и их узлам было введено в 1936 г. К.В. Войтиновым, который первым начал исследования в этой области. По его определению под жесткостью понимается «способность узла сопротивляться появлению других отжатий».

В настоящее время **под жесткостью** упругой системы понимают ее способность оказывать сопротивление действия сил, стремящихся ее деформировать.

Жесткость определяется отношением действующей силы к деформации, вызываемой этой силой. На точность обрабатываемой поверхности больше всего влияет составляющая сил резания, направленная по нормали к этой поверхности. Под жесткостью какого-либо элемента технологической системы (например, шпиндельного узла станка) понимают отношение составляющей P_y силы резания к смещению y данного элемента по нормали к обрабатываемой поверхности:

$$Y = \frac{P_y}{y}, \left(\frac{\text{кгс}}{\text{мм}} \right) \text{ или } \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}} \right). \quad (9.1)$$

Упругие свойства элемента технологической системы можно также характеризовать его **податливостью**, которая представляет собой величину, обратную жесткости. Она определяется отношением перемещения к силе:

$$\omega = \frac{1}{y} = \frac{Y}{P_y}. \quad (9.2)$$

В общем случае

$$\omega_{зunc} = \omega_з + \omega_u + \omega_n + \omega_c, \quad (9.3)$$

где $\omega_з$ – податливость заготовки; ω_u – податливость инструмента; ω_n – податливость приспособления; ω_c – податливость станка.

С увеличением жесткости повышается точность обработки. Увеличение жесткости достигается уменьшением числа стыков в конструкциях станков и приспособлений; предварительной затяжкой неподвижных стыков с помощью резьбовых и клиновых креплений, а также созданием натяга в подшипниках качения шпиндельных узлов; тщательной пригонкой сопряженных поверхностей и уменьшением зазоров; сокращением длины консоли, высоты или вылета элементов технологической системы и увеличением размеров их опорной поверхности; использованием дополнительных опор, люнетов и направляющих скалок для заготовок и инструментов.

Для повышения точности обрабатываемых поверхностей важно не только увеличивать жесткость элементов технологической системы, но и уменьшить ее неравномерность в различных сечениях и направлениях. При определении упругих отжатий элементов технологической системы силу резания рассчитывают по формулам теории резания, а жесткость находят экспериментально в статическом состоянии. Сила резания непостоянна по значению. При установившемся режиме резания она может мгновенно (скачкообразно) изменяться от некоторого максимального до минимального значения, что обуславливается характером стружкообразования и непостоянством снимаемого припуска. Амплитуда колебаний силы резания достигает 0, 1 ее номинальной величины. Точка приложения силы резания непрерывно перемещается по поверхности обрабатываемой заготовки, поэтому сила резания имеет не статический, а динамический характер.

При технологических расчетах упругих отжатий силу резания следует умножать на коэффициент динамичности k . При черновой обработке $k = 1,2 \div 1,4$, а при чистовой $k = 1,0 \div 1,2$, причем меньшие значения соответствуют безвибрационной обработке.

Жесткости суппортов, столов и кареток не зависят от режимов резания и представляют собой постоянную величину. Лишь жесткость шпинделей, смонтированных на подшипниках скольжения, с увеличением частоты вращения несколько повышаются. Это обусловлено действием масляного клина и наличием гироскопического эффекта вращающихся масс.

В процессе обработки упругие перемещения (отжатия) заготовки и режущего инструмента нарушают установленную наладкой станка закономерность их относительного движения.

Рассмотрим упругие отжатия системы ЗИПС на примере обтачивания заготовки (рис. 9.1). До начала обработки путем настройки станка устанавливают заданную глубину резания $t_{зад}$.

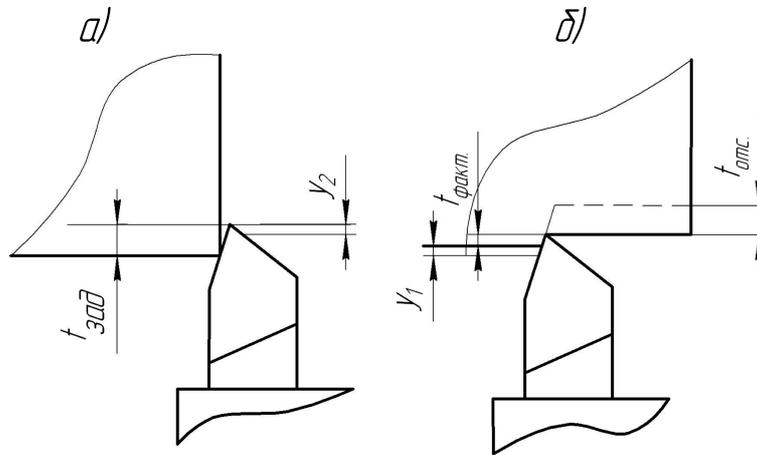


Рис. 9.1. Схема к определению упругих отжатий инструмента (а) и заготовки (б)

В процессе обработки заготовка упруго отжимается на величину Y_1 , а инструмент на величину Y_2 . В результате этого заданная глубина резания уменьшается до значения $t_{факт}$. Для отдельных сечений можно записать

$$Y_1 + Y_2 = t_{зад} - t_{факт}; \quad (9.4)$$

$$Y_1 = \frac{P_y}{y_{заг}}; \quad Y_2 = \frac{P_y}{y_{инс}},$$

где $y_{заг}$ – жесткость системы заготовка – приспособление – узел станка, на котором при обработке закрепляют заготовку; $y_{инс}$ – жесткость системы инструмент – приспособление (для крепления инструмента) – узел станка, на котором закрепляют инструмент.

Радиальная составляющая силы резания

$$P_y = C_y S^{y_p} t_{факт}^{x_p} HB^n.$$

Обозначив величину $C_y S^{y_p} HB^n$ через C , запишем: $P_y = C t_{факт}^{x_p}$.

Подставляя развернутые выражения для Y_1 , Y_2 и P_y в равенство (9.4), получим

$$\left(\frac{C}{y_{заг}} + \frac{C}{y_{инс}} \right) t_{факт}^{x_p} + t_{факт} = t_{зад}.$$

При дробном показателе x_p точного решения этого уравнения относительно $t_{факт}$ нет. Пренебрегая влиянием упругих отжатий заготовки и инструмента на силу резания и обозначая $t_{зад} - t_{факт} = t_{ост}$, получим приближенное решение

$$t_{ост} = Ct_{зад}^{x_p} \left(\frac{1}{y_{заг}} + \frac{1}{y_{инс}} \right). \quad (9.5)$$

Здесь выражение в скобках представляет собой податливость технологической системы. Используя полученную формулу, можно решать некоторые задачи, связанные с точностью механической обработки.

Определение погрешности выполняемого размера при обработке партии заготовок

Зная разность между наибольшей и наименьшей величинами $t_{зад}$ или поле допуска на размер заготовок, можно получить соответствующее поле рассеяния выполняемого размера как разность между наибольшей и наименьшей величинами $t_{ост}$. Обозначим поле рассеяния выполняемого размера в данном сечении Δy .

Тогда $\Delta y = t_{ост.max} - t_{ост.min}$.

Используя выражение (9.2), получим значение

$$\Delta y = C(t_{зад.max}^{x_p} - t_{зад.min}^{x_p}) \left(\frac{1}{y_{заг}} + \frac{1}{y_{инс}} \right). \quad (9.6)$$

Жесткости $y_{заг}$ и $y_{инс}$ принимают в направлении заданного размера. Формула (9.3) пригодна для условия, когда $C = const$. В действительности при обработке партии заготовок их твердость изменяется от HB_{max} до HB_{min} . Кроме того, в процессе резания происходит прогрессирующее затупление режущей кромки инструмента, в связи с чем сила резания к концу его стойкости возрастает.

Таким образом,

$$C_{max} = C_{y_{max}} S^{y_p} HB_{max}^n ;$$

$$C_{min} = C_{y_{min}} S^{y_p} HB_{min}^n .$$

При определении $C_{y_{min}}$ нужно ориентироваться на работу вновь заточенным инструментом. При определении $C_{y_{max}}$ учитывают возрастание силы резания от допустимого отклонения параметров заточки. С учетом изложенного на основе формулы (9.3)

$$\Delta y = (C_{\max} t_{\text{зад. max}}^{x_p} - C_{\min} t_{\text{зад. min}}^{x_p}) \left(\frac{1}{y_{\text{заг}}} + \frac{1}{y_{\text{инс}}} \right). \quad (9.7)$$

Принимая во внимание нестабильность жесткости технологической системы, величину Δy нужно определять в тех сечениях, где жесткость минимальна.

Определение погрешности формы обрабатываемой поверхности индивидуальной заготовки

Выражая $y_{\text{заг}}$ (для некоторых частных случаев $y_{\text{инс}}$) как функцию размеров заготовки, можно вычислить погрешность формы обрабатываемой поверхности в результате изменения жесткости технологической системы на различных участках заготовки.

Принимая при обработке индивидуальной заготовки величины $t_{\text{зад}}$ и C постоянными, но максимальными по своим значениям, найдем наибольшую погрешность формы обрабатываемой поверхности

$$\begin{aligned} \Delta \phi &= t_{\text{ост. max}} - t_{\text{ост. min}} = \\ &= C_{\max} t_{\text{зад. max}}^{x_p} \left[\left(\frac{1}{y_{\text{заг. min}}} + \frac{1}{y_{\text{инс. min}}} \right) - \left(\frac{1}{y_{\text{заг. max}}} + \frac{1}{y_{\text{инс. max}}} \right) \right]. \quad (9.8) \end{aligned}$$

Погрешность формы обрабатываемой поверхности уменьшается при выравнивании жесткости технологической системы в различных сечениях заготовки.

Определение степени уменьшения (копирования) погрешности формы, погрешности взаимного положения поверхностей и погрешностей размеров заготовки

В условиях упругой технологической системы погрешности, получаемые на предшествующем технологическом переходе, не могут быть полностью устранены на выполняемом переходе. С увеличением жесткости элементов технологической системы остаточные погрешности обрабатываемой заготовки уменьшаются. При постоянной жесткости технологической системы в различных сечениях обрабатываемой заготовки и показатели степени при глубине резания, равном единице, происходит копирование первичных погрешностей заготовки в уменьшенном виде. Если, например, форма поверхности заготовки искажена, то после обработки величина искажения уменьшается, а вид искажения остается подобный. Предположим, что заготовка, из которой за один рабочий ход получают деталь длиной l , имеет конусообразность (рис. 9.2).

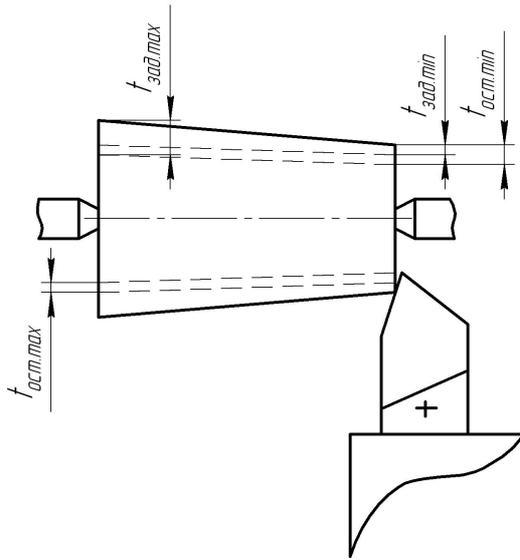


Рис. 9.2. Схема к определению степени уменьшения погрешности формы

Величина конусообразности

$$i_{заг} = \frac{2}{l}(t_{зад.маx} - t_{зад.мин}).$$

В результате непрерывно изменяющихся отжатый технологической системы из-за переменной глубины резания на детали появляется остаточная конусообразность

$$i_{дем} = \frac{2}{l}(t_{ост.маx} - t_{ост.мин}).$$

Коэффициент уменьшения погрешности формы для данного случая

$$K_y = \frac{i_{дем}}{i_{заг}} = \frac{t_{ост.маx} - t_{ост.мин}}{t_{зад.маx} - t_{зад.мин}}. \quad (9.9)$$

При погрешностях взаимного положения поверхностей заготовки первичные погрешности тоже копируются. В качестве примера рассмотрим точение торца заготовки, неперпендикулярного оси ее базовой шейки (рис. 9.3).

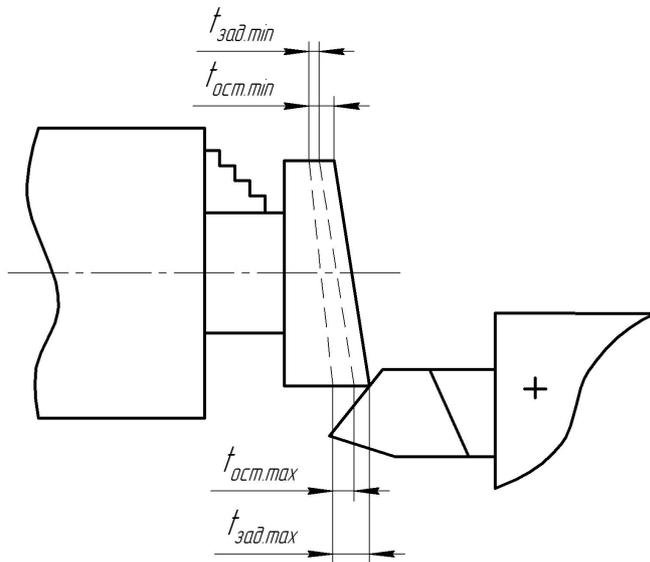


Рис. 9.3. Схема к определению степени уменьшения погрешности взаимного положения поверхностей

После обработки за один ход торец останется плоским, а угол его перекося уменьшится. Если торцовое биение до обработки равно $t_{зад.маx} - t_{зад.мин}$, то после обработки оно будет $t_{ост.маx} - t_{ост.мин}$.

Коэффициент уменьшения погрешности находят по формуле (9.9).

В условиях переменной жесткости технологической системы при обработке заготовки с геометрически правильной формой поверхности и постоянной величиной припуска величина $t_{ост}$ не будет стабильной из-за непрерывного изменения жесткости системы на различных участках заготовки. В этом случае форма обрабатываемой поверх-

ной поверхности и постоянной величиной припуска величина $t_{ост}$ не будет стабильной из-за непрерывного изменения жесткости системы на различных участках заготовки. В этом случае форма обрабатываемой поверх-

ности искажается. При наличии погрешностей формы заготовки и дробном показателе степени при глубине резания происходит дополнительное искажение формы обработанной поверхности. Тем не менее, погрешности обработанной заготовки при достаточно большой жесткости технологической системы могут быть в несколько раз уменьшены по сравнению с погрешностями заготовки. В реальных условиях происходит не копирование, а последовательное уменьшение погрешностей в процессе обработки.

$$\text{Коэффициент уменьшения погрешностей } K_y = \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}},$$

где $\Delta_{\text{дет}}$ – погрешность обработанной поверхности детали; $\Delta_{\text{заг}}$ – погрешность заготовки.

Величину этого коэффициента при выдерживании размера в случае обработки партии заготовок можно найти по формуле (9.9), приняв

$$\Delta_{\text{заг}} = t_{\text{зад. max}} - t_{\text{зад. min}};$$

$$\Delta_{\text{дет}} = t_{\text{ост. max}} - t_{\text{ост. min}};$$

$$K_y = \frac{C_{\text{max}}(t_{\text{зад. max}}^{x_p} - t_{\text{зад. min}}^{x_p}) \left(\frac{1}{y_{\text{заг}}} + \frac{1}{y_{\text{инс}}} \right)}{t_{\text{зад. max}} - t_{\text{зад. min}}}.$$

При обработке за несколько рабочих ходов общий коэффициент уменьшения погрешностей

$$K_{0y} = K_{1y} \cdot K_{2y} \dots K_{ny},$$

где n – число рабочих ходов; $K_{1y}, K_{2y} \dots$ – коэффициенты уменьшения погрешностей, полученные на отдельных рабочих ходах.

Коэффициент уменьшения погрешностей всегда меньше единицы, поэтому при большом числе рабочих ходов величина K_{0y} получается малой.

Рассмотрим обработку поверхности заготовки за несколько (n) рабочих ходов на одном станке, приняв $x_p = 1$ (обычно $0,9 < x_p < 1$). Согласно определению, общий коэффициент уменьшения погрешностей

$$K_{0y} = \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}} = \frac{\Delta_{\text{дет}}}{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}},$$

где Z_{max} и Z_{min} – наибольший и наименьший припуски на все рабочие ходы обработки поверхностей партии заготовок.

В то же время

$$K_{0y} = \frac{\Delta_{заг1}}{\Delta_{заг}} \cdot \frac{\Delta_{заг2}}{\Delta_{заг1}} \dots \frac{\Delta_{загn}}{\Delta_{загn-1}}.$$

Здесь

$$\Delta_{заг1} = C \left(\frac{1}{y_{заг}} + \frac{1}{y_{инс}} \right) \left[\left(\frac{Z_{\min}}{n} + \delta_{заг} \right) - \frac{Z_{\min}}{n} \right] = A \delta_{заг},$$

где $\delta_{заг}$ – допуск на размер заготовки,

$$A = C \left(\frac{1}{y_{заг}} + \frac{1}{y_{инс}} \right);$$

$$\Delta_{заг2} = A \Delta_{заг1} = A^2 \delta_{заг};$$

$$\Delta_{загn} = A^n \delta_{заг}.$$

Приняв во внимание, что в приведенных выше выражениях

$$\Delta_{загn} = \Delta_{дет} = C^n \left(\frac{1}{y_{заг}} + \frac{1}{y_{инс}} \right)^n \delta_{заг}, \quad (9.10)$$

используя выражение (9.7), можно найти:

1) необходимую жесткость технологической системы, если задано число рабочих ходов n , допуск на размер заготовки $\delta_{заг}$ и допустимая погрешность обработки детали $\Delta_{дет}$;

2) число рабочих ходов, если известна жесткость технологической системы, допуск на размер заготовки и допустимая погрешность обработки детали.

Анализ формул (9.7), (9.8) и (9.9) позволяет сделать следующие выводы.

При обработке партии заготовок на предварительно настроенном станке точность выдерживаемых размеров возрастает: с увеличением жесткости технологической системы, т.е. с уменьшением суммы $\frac{1}{y_{заг}} + \frac{1}{y_{инс}}$ в формуле (9.7); с повышением точности выполнения исходных заготовок, т.е. с уменьшением разности $t_{зад.макс} - t_{зад.мин}$; с повышением однородности механических свойств материала заготовки и стабильности условий выполняемой обработки, т.е. с уменьшением разности $C_{макс} - C_{мин}$.

При обработке индивидуальной заготовки на предварительно настроенном станке (или методом автоматического получения размера) воз-

никающая погрешность формы обрабатываемой поверхности может быть уменьшена в результате выравнивания жесткости технологической системы, т.е. уменьшения выражения в квадратных скобках в формуле (9.8); уменьшения снимаемого припуска, т.е. глубины $t_{зад}$ (это, в частности, можно получить при обработке за несколько рабочих ходов), а также уменьшения силы резания вследствие улучшения геометрических параметров и качества заточки режущего инструмента, а в отдельных случаях и уменьшения подачи. Учитывая копирование, следует повышать точность формы обрабатываемой поверхности заготовки.

Для уменьшения погрешностей взаимного положения поверхностей детали нужно повышать жесткость технологической системы, точность выполнения заготовки (в результате чего уменьшается разность $t_{зад.max}^{x_p} - t_{зад.min}^{x_p}$), а также уменьшать силу резания.

Погрешность формы и взаимного положения обрабатываемых поверхностей заготовки уменьшают и другими способами.

Для уменьшения погрешностей взаимного положения поверхностей детали нужно повышать жесткость технологической системы, точность выполнения заготовки (в результате чего уменьшается разность $t_{зад.max}^{x_p} - t_{зад.min}^{x_p}$), а также уменьшать силу резания.

Погрешность формы и взаимного положения обрабатываемых поверхностей заготовки уменьшают и другими способами. Погрешность формы можно уменьшить обработкой с непрерывно изменяющейся подачей. По мере приближения режущего инструмента к участку с наибольшей жесткостью подача увеличивается. В результате этого можно получить постоянные значения t_{ocm} по всей обрабатываемой поверхности. Изменение подачи в функции пути должно происходить по такому закону, чтобы упругие отжатия (при постоянном припуске) были постоянны. При точении, например, гладкого вала, консольно закрепленного в патроне, закон изменения подачи по длине заготовки можно найти из выражения

$$t_{ocm} = \frac{Py l^3}{3EY} = \frac{C_y t_{зад}^{x_p} S^{Y_p} HB^n l^3}{3EY} = \text{const}.$$

Отсчитывая l от места закрепления заготовки (при достаточной жесткости шпиндельного узла), получим

$$S = Y_p \sqrt{\frac{3EY t_{ocm}}{C_y t_{зад}^{x_p} l^3 HB^n}}.$$

Обработка с переменной подачей не только уменьшает погрешность формы поверхности, но и сокращает время ее обработки. Непрерывное изменение подачи в станках по заданному закону может быть обеспечено с помощью механических, гидравлических или иных устройств.

Точность обрабатываемых поверхностей и производительность обработки повышаются при применении адаптивных устройств управления технологическими системами. При непостоянстве припуска или твердости материала заготовок эти устройства самонастраиваются автоматически, изменяя режим обработки.

На станках с программным управлением точность формы можно повысить, применяя предискажение траектории движения режущего инструмента, записываемое на программноноситель. Так, при точении тонкого вала в центрах продольную подачу резца следует осуществлять не по прямой, а по вогнутой линии, компенсирующей возникающую бочкообразность обработанной поверхности.

Изучение закона образования погрешностей формы и большие возможности станков с программным управлением позволяют полностью или в значительной степени устранить эти погрешности.

На основе зависимости (10.4) можно получить расчетные формулы для различных случаев одноинструментальной обработки. При выводе этих формул обобщенные значения $\frac{1}{y_{заг}}$ и $\frac{1}{y_{инс}}$ необходимо выразить через конкретные величины жесткостей элементов данной технологической системы.

В качестве примера рассмотрим обработку гладкого вала в центрах токарного станка. Для любого поперечного сечения обрабатываемой заготовки

$$t_{ост} = t_{зад} - t_{фак} = y_1 + y_2 + y_3,$$

где y_1 – смещение заготовки, вызываемое упругими отжатиями передней и задней бабок; y_2 – прогиб заготовки в месте приложения силы P_y ; y_3 – упругие отжатия суппорта.

По аналогии с перемещением жесткой балки на двух упругих опорах будем иметь

$$y_1 = \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{y_{н.б.}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{y_{з.б.}},$$

где x – расстояние от переднего центра до рассматриваемого сечения; l – длина заготовки; $y_{н.б.}$ – жесткость передней бабки; $y_{з.б.}$ – жесткость задней бабки;

$$y_2 = \frac{P_y x^2 (l-x)^2}{3Eyl}; \quad y_3 = \frac{P_y}{y_{cyn.}}$$

Учитывая, что $P_y = Ct_{зад}^{x_p}$, окончательно получим

$$t_{ocm} = Ct_{зад}^{x_p} \left[\frac{(1-\frac{x}{l})^2}{y_{н.б.}} + \frac{(\frac{x}{l})^2}{y_{з.б.}} + \frac{x^2(l-x)^2}{3Eyl} + \frac{1}{y_{cyn.}} \right].$$

Три первых слагаемых в квадратных скобках представляют собой развернутое выражение величины $\frac{1}{y_{заг}}$, а слагаемое $\frac{1}{y_{cyn.}}$ – величину $\frac{1}{y_{инс}}$.

Погрешности обработки t_{ocm} , полученные по этому уравнению для различных сечений заготовки, отсчитывают от заданной теоретической образующей обработанной поверхности. При малой жесткости заготовки третий член в квадратных скобках относительно велик. В этом случае форма обработанной поверхности получается бочкообразной. При большой жесткости заготовки этот член мал. Если обработка производится на станке с пониженной жесткостью, то форма обработанной поверхности получается корсетной. При большой жесткости передней бабки и малой жесткости задней образующая обточенного жесткого вала имеет утолщение с одной стороны.

9.2. Размерный износ инструмента

В процессе обработки вследствие действия целого ряда факторов (сил трения, вибрации, сил резания, температуры, свойств смазочно-охлаждающей жидкости, материала инструмента и обрабатываемой детали и т.д.) происходит изнашивание инструмента.

Размерный износ инструмента определяют в направлении по нормали к обрабатываемой поверхности или умножением ширины фаски h на тангенс заднего угла $u = htg\alpha$ (рис. 9.4).

Размерный износ строго не подчиняется линейному закону (рис. 9.5).

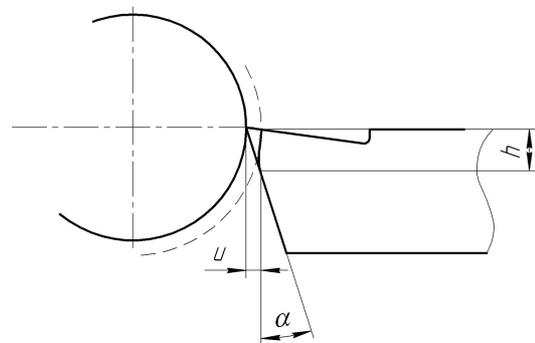


Рис. 9.4. Схема к определению размерного износа инструмента

Первый непродолжительный период работы режущего инструмента сопровождается повышенным размерным износом (участок I). Износ на этом участке получил название начального износа u_H . Его интенсивность, в основном, зависит от степени шероховатости поверхности инструмента, соприкасающейся с поверхностью детали, получаемой в процессе ее обработки.

После окончания периода начального изнашивания происходит нормальное изнашивание, характеризуемое почти пропорциональным возрастанием

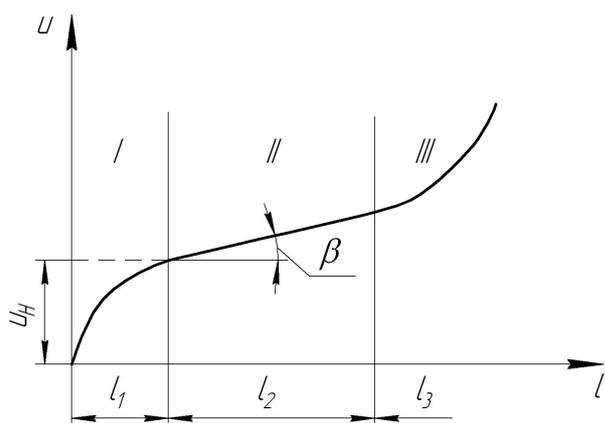


Рис. 9.5. Зависимость размерного износа от пути резания

размерного износа от пути резания (участок II). Наконец, третий участок кривой характеризуется быстрым изнашиванием инструмента, приводящий нередко к его разрушению. Обычно в конце участка нормального изнашивания прибегают к смене инструмента.

С точки зрения достижения требуемой точности обработки деталей наиболее целесообразным является использование участка

кривой нормального изнашивания инструмента, угол наклона касательной к кривой характеризует интенсивность изнашивания. Интенсивность размерного износа принято называть относительным (удельным) износом u_0 :

$$u_0 = \operatorname{tg} \beta = \frac{u_2}{l_2} \text{ (мкм/м),}$$

где u_2 – размерный износ за время основного периода работы инструмента; l_2 – путь резания, соответствующий этому же периоду работы инструмента.

Для сокращения величины начального износа осуществляют доводку режущих кромок инструмента в процессе его изготовления или переточки. В ряде случаев опытные наладчики осуществляют «доводку» режущих кромок, например, резцов даже после их установки и закрепления на станке абразивными брусками вручную.

Относительный износ зависит от метода обработки, материалов заготовки и режущего инструмента, режимов резания и геометрических параметров режущего инструмента. С повышением твердости материала заготовки относительный износ возрастает. Глубина резания слабо влияет на

относительный износ, а задний угол режущего инструмента – сильнее (с уменьшением заднего угла относительный износ возрастает). Наибольшее влияние на размерную стойкость инструмента оказывает скорость резания и ее колебания. В ряде случаев существенное, а иногда и решающее, значение оказывают вибрации, возникающие в системе ЗИПС, а также колебания силы резания, возникающие вследствие ряда причин, основными из которых являются колебания припуска на обработку и свойств материала заготовки.

Размерная стойкость инструмента больше всего зависит от качества материала режущего инструмента, его однородности и от стабильности качества изготовления инструмента.

Трение и изнашивание режущего инструмента имеют следующие особенности: трущиеся поверхности непрерывно обновляются и, следовательно, продукты изнашивания удаляются из зоны трения, давление и температура на контактных площадках задних и передних поверхностей весьма высокие.

Указанные особенности приводят к наличию значительных сил молекулярного сцепления между трущимися поверхностями, что вызывает явление адгезии – слипания или сваривания на контактных поверхностях. Слипшиеся частицы обрабатываемого материала с материалом инструмента при дальнейшем относительном движении трущейся пары подвергаются воздействию стружки или поверхности резания и удаляются, отрывая при этом с поверхности инструмента частицы режущего материала.

Изнашивание инструмента при значительных температурах контакта сопровождается явлением диффузии – взаимного растворения материалов трущихся тел; в частности, диффузия углерода материала инструмента в обрабатываемый материал приводит к обезуглероживанию рабочих поверхностей инструмента и этим ускоряет износ. Процесс износа также сопровождается окислением. Образование на трущихся поверхностях пленок окислов препятствует адгезии и в результате этого снижает износ.

На износ оказывает также влияние адсорбция, так как прочность поверхностных слоев инструмента в связи с адсорбцией на них газовых сред (в частности, воздуха) понижается. Зная величину начального износа u_n и интенсивность износа u_0 , можно определить размерный износ на длине пути резания L (в мм)

$$\Delta u = u_n + \frac{u_0 L}{10^6}. \quad (9.11)$$

Приняв за основу формулу (10.8), можно представить ее в следующем виде для различных методов обработки:

при продольном точении

$$\Delta u = u_n + \frac{u_0 \pi d l}{10^9 S}, \quad (9.12)$$

где d и l – соответственно диаметр и длина обрабатываемой поверхности (мм); S – подача (мм/об).

При строгании

$$\Delta u = u_n + \frac{u_0 l B}{10^6 S}.$$

Здесь l и B – длина и ширина обрабатываемой поверхности (мм); S – подача (мм/дв. ход).

При протягивании партии заготовок

$$\Delta u = u_n + u_0 \frac{\ln}{10^6},$$

где l – длина протягиваемого отверстия (мм); n – количество заготовок в партии.

При обработке заготовок больших размеров размерный износ режущего инструмента искажает форму их поверхностей. Если обтачивают длинный вал большого диаметра, то по мере перемещения резца от задней бабки к передней диаметр обрабатываемой поверхности непрерывно возрастает и поверхность получается конической. Появление конусности также наблюдается при растачивании глубоких отверстий.

При обработке партии небольших заготовок искажение формы поверхностей невелико. Размерный износ инструмента в этом случае проявляется в непрерывном увеличении размеров обрабатываемых заготовок в партии. При обтачивании партии валиков диаметр последнего валика увеличивается на $2\Delta u$.

Уменьшить влияние размерного износа на точность обработки резанием можно периодической подналадкой станка за время стойкости инструмента. Этот метод может быть применен для резцов, фрез и других инструментов, допускающих корректировку настроечного размера изменением расстояния между заготовкой и режущей кромкой инструмента, а также для инструментов, имеющих регулировку (раздвижные развертки, борштанги).

При обтачивании, растачивании и строгании больших поверхностей небольшой размерный износ имеют резцы с широкой режущей кромкой.

Они работают с большими подачами, поэтому путь резца в металле, а, следовательно, и размерный износ инструмента малы. При обтачивании с поперечной подачей достижимая точность диаметров зависит не только от размерного износа резца, но и от наростообразования на его режущей кромке. Последнее уменьшает влияние размерного износа, но его действие не регулярно из-за периодического возникновения и удаления нароста в процессе обработки.

При обработке заготовок методом пробных ходов от размерного износа зависит только точность формы обрабатываемой поверхности.

При обработке заготовок на настроенных станках размерный износ режущего инструмента можно контролировать проверкой заготовок методами измерений их размеров или средствами статистического контроля. Размерный износ проявляется в непрерывном увеличении выполняемого размера. Подналадчивая или меняя режущий инструмент, можно регламентировать влияние размерного износа на точность обрабатываемой поверхности. Таким образом, точность в определенной мере зависит от субъективного фактора.

Применение автоматических подналадчиков в значительной мере уменьшает влияние размерного износа режущего инструмента на точность обрабатываемой поверхности.

Приращение Δu радиальных размеров обрабатываемых заготовок в результате размерного износа инструмента можно уменьшить, ограничивая размерный износ линией $\alpha-\alpha$; расстояние между осью абсцисс и линией $\alpha-\alpha$ равно некоторой части допуска β на выполняемый размер (рис. 9.6). Если размеры обрабатываемой заготовки выходят за установленный предел, то подналадчик автоматически включается и корректирует положение режущего инструмента (работа подналадчика характеризуется вертикальными участками пилообразной линии).

Прогрессирующий износ и затупление режущего инструмента вызывают также увеличение радиальной составляющей силы резания. За период стойкости инструмента силы P_y может возрасти в 1,5÷2,0 раза. При

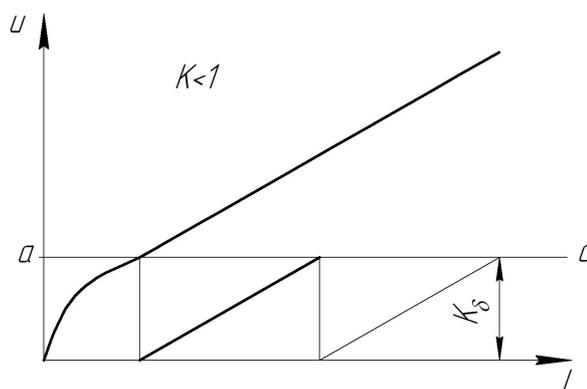


Рис. 9.6. Схема к корректировке радиального размера обрабатываемой заготовки по кривой зависимости износа инструмента от пути вершин

больших значениях P_y и пониженных жесткостях технологической системы погрешности обработки, вызванные возрастанием радиальной составляющей силы резания, могут быть сопоставимы по величине с погрешностями в результате размерного износа инструмента.

При абразивной обработке на точность влияет размерный износ шлифовальных кругов. В процессе обработки шлифовальные круги могут работать с затуплением и самозатачиванием. В первом случае затупившиеся зерна не отделяются и поры круга забиваются стружкой; износ круга при этом сравнительно мал. Для восстановления режущих свойств шлифовальный круг правят, срезая тонкий наружный слой. Во втором случае затупленные зерна силами резания вырываются из связки круга. При этом режущая поверхность круга непрерывно обновляется, так как в работу вступают новые незатупленные зерна. Работа с самозатачиванием связана с большим износом круга. При этом круг также правят для восстановления геометрической формы, так как он изнашивается неравномерно. Интенсивность износа шлифовального круга зависит от его диаметра. Круги большого диаметра, применяемые при наружном круглом шлифовании, изнашиваются медленнее, чем круги, используемые при внутреннем шлифовании. Если при наружном круглом шлифовании круги правят через 15÷20 мин, то на внутришлифовальных станках, работающих по автоматическому циклу, его правят перед каждым чистовым ходом.

Обработку заготовок на круглошлифовальных и внутришлифовальных станках производят методом пробных измерений. В этом случае износ круга не влияет на точность выполняемых размеров. При использовании индикаторных скоб для измерения размеров заготовки в процессе обработки, а также средств активного контроля влияние износа круга также исключено. Приблизительно износ круга можно определить по объему удаляемого металла с обрабатываемых заготовок.

На объем материала круга, теряемого при его износе, приходится в среднем 20 объемов удаляемого металла. На основе этого соотношения размерный износ Δu (на радиус) шлифовального круга можно рассчитывать следующим образом. Обозначим F – площадь шлифуемой поверхности, мм²; z – снимаемый припуск, мм; n – число деталей в партии; F_k – рабочая площадь поверхности шлифовального круга, мм².

Тогда

$$\frac{Fzn}{20} = \Delta u F_k, \quad \text{откуда} \quad \Delta u = \frac{Fzn}{20F_k}.$$

В соответствии с изложенными основными путями сокращения влияния размерного износа инструмента на точность обработки, являются:

- 1) повышение стабильности качества изготовления инструмента;
- 2) повышение доводки его режущих кромок для сокращения величины начального размерного износа;
- 3) стабилизация сил резания;
- 4) сокращение вибрации в системе ЗИПС;
- 5) выбор наиболее экономичных режимов обработки;
- 6) своевременная смена инструмента для его переточки;
- 7) правильный выбор и применение смазывающе-охлаждающих жидкостей;
- 8) своевременная компенсация размерного износа инструмента путем поднастройки размерных цепей системы ЗИПС;
- 9) правильная установка и закрепление инструмента с учетом изменения его геометрии при возникновении силы резания и упругих перемещений.

9.3. Тепловые деформации технологической системы

В процессе механической обработки происходит нагрев технологической системы, а при перерывах в работе – ее охлаждение. Источниками нагрева являются: тепло, образующееся в зоне резания, тепло, выделяющееся в узлах станка из-за потерь на трение, а также тепло от внешних источников.

Тепловое состояние системы может быть стационарным и нестационарным. При стационарном тепловом состоянии наблюдается тепловое равновесие системы – подвод тепла количественно равен его потерям. В этом случае температура отдельных звеньев технологической системы постоянна во времени. К условиям стационарного теплового состояния приближаются процессы обработки небольших заготовок на станках, прошедших период предварительного разогрева теплом, возникающим от трения и отводимого из зоны резания смазочно-охлаждающей жидкостью. Нестационарное тепловое состояние наблюдается в период пуска станка после его длительной остановки.

Тепло, образующееся в зоне резания, в значительной своей части, уходит в стружку. Часть его уходит через режущий инструмент, изменяя его температуру, и, следовательно, размеры и относительное положение.

Часть тепла удаляется в окружающую среду через обрабатываемую заготовку, нагревая и деформируя ее.

Тепло, образующееся от работы трения в станке, изменяет температуру его деталей и, тем самым, их относительное движение и положение при работе в станке.

Все вместе взятое, порождает температурные деформации системы ЗИПС, удельное влияние которых среди других составляющих погрешности обработки бывает различно.

По мере уменьшения допусков на обрабатываемые поверхности детали и увеличения режимов обработки влияние температурных деформаций возрастает. Это, в первую очередь, относится к обработке шлифованием и другим отделочным операциям.

Тепло, образующееся в зоне резания, не только порождает температурные деформации системы ЗИПС, но и оказывает существенное влияние на стойкость режущего инструмента, а следовательно, на производительность обработки.

Если говорить не о системе в целом, а об отдельной заготовке, то всякий процесс можно считать нестационарным, если выделяющееся при резании тепло заметно нагревает заготовку.

Точный учет всех выделений и потерь тепла сложен. Для упрощения задачи по выявлению влияния тепловых деформаций на точность механической обработки можно рассматривать два периода в работе станка: от начала пуска станка до получения теплового равновесия системы – период нестационарного теплового состояния; далее до окончания обработки – период стационарного теплового состояния.

Рассмотрим отдельно характер нагрева, тепловые деформации отдельных элементов технологической системы и их влияние на точность обработки.

Тепловые деформации станка

Нагрев станины, корпусных и других деталей станков происходит в результате потерь на трение в механизмах, гидроприводах и электроустройствах. Большое количество тепла передается этим деталям смазочно-охлаждающей жидкостью, отводящей тепло из зоны резания, а также от встроенных электродвигателей. Тепло передается также из внешней среды, окружающей станок.

Станины нагреваются в большинстве случаев неравномерно, что обусловлено нерациональным с точки зрения тепловых деформаций расположением электродвигателей, электронасосов, резервуаров для масла и

охлаждающей жидкости и других источников тепловыделения. Разность температуры отдельных элементов станины может достигать 10°C. В этих условиях правильная форма станины и положение основных элементов станка нарушаются. При разработке новых конструкций станков необходимо добиваться выравнивания температурного поля станины и их лучшего охлаждения.

Одним из основных источников образования тепла в станке является шпиндельная бабка. Температура в различных точках корпуса бабки изменяется в пределах 10÷50 °С. Наиболее высокая температура наблюдается в местах расположения подшипников шпинделя и подшипников быстроходных валов. Температура валов и шпинделей на 30÷40% выше средней температуры корпусных деталей, в которых они смонтированы. При большой длине шпинделя необходимо считаться с его осевым перемещением в результате нагрева, что влияет на точность обрабатываемых поверхностей. Если фиксация шпинделя от осевого перемещения осуществляется у заднего подшипника, то при длине L и разности температур между корпусом и шпинделем Δt перемещение патрона в осевом направлении может быть определено по формуле

$$\Delta L = \alpha L \Delta t ,$$

где α – коэффициент теплового расширения материала шпинделя.

Например, при $L = 800$ мм, $\Delta t = 10$ °С и $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{°C}}$ получим $\Delta L = 0,1$ мм.

Найденная величина может вызвать значительную погрешность выполняемого размера заготовки, обрабатываемой на настроенном станке, если ее не компенсировать периодическими подналадками станка.

Нагрев шпиндельных бабок изменяет положение оси шпинделя. Например, шпиндель передней бабки токарного станка может сместиться в вертикальной и горизонтальной плоскостях на несколько сотых долей миллиметра. Даже при небольших частотах вращения оборотов это смещение может достигать до 0,05 мм в вертикальной и до 0,011 мм в горизонтальной плоскостях.

Точность обработанной заготовки зависит от удлинения винтов подачи из-за нагрева. Длина винта влияет на точность перемещений бабки шлифовальных станков. В неудачных конструкциях, где длина рабочего участка винта велика, погрешность может достигать 0,03÷0,05 мм. Нагрев ходового винта резьбошлифовального станка на 1÷3°C может вызывать появление погрешности шага, достигающей до 0,008 мм на длине винта 450 мм.

Приведенные выше примеры показывают, что температурные деформации станков оказываются во многих случаях соизмеримыми с допусками на обрабатываемые поверхности детали. Поэтому приходится предпринимать ряд мер для стабилизации температурных деформаций, которые позволяют в ряде случаев уменьшить их влияние на точность выполняемого размера обрабатываемой поверхности детали.

Основными мерами являются:

1. Поддержание температуры воздуха в помещениях в требуемых пределах, например, при обработке точных деталей на координатно-расточных станках температура в помещении поддерживается на уровне $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и даже в еще более узких пределах.

2. Дополнительное охлаждение или подогрев стенок станины или корпусных деталей для сокращения температурных деформаций. Например, у прецизионных резьбонарезных станков вводится охлаждение шпинделя и кареток путем пропускания через специально сделанные каналы охлаждающей жидкости требуемой температуры.

3. Предварительный разогрев станков до температуры, при которой создается устойчивое тепловое равновесие. Разогрев может осуществляться путем работы станка: на холостом ходу, на несколько форсированных режимах или путем искусственного нагрева.

4. Исключение длительных перерывов в работе станка, в течение которых он может заметно изменить температуру.

5. Применение СОЖ.

Тепловые деформации обрабатываемых заготовок

Кроме тепловых деформаций станка на точность обрабатываемых поверхностей влияют также тепловые деформации обрабатываемых заготовок, нагрев которых происходит в результате выделения тепла в процессе резания. Основная часть тепла аккумулируется в стружке; в обрабатываемую заготовку чаще всего переходит незначительная часть тепла (при точении, фрезеровании, строгании, наружном протягивании). При сверлении большая часть тепла остается в заготовке.

Во время токарной обработки в стружку уходит $50 \div 85\%$ тепла, а при высоких скоростях резания свыше 90% ; $10 \div 40\%$ тепла переходит в резец; $3 \div 9\%$ остается в заготовке и около 1% рассеивается в окружающей среде. При сверлении в стружку уходит 28% тепла; 14% переходит в сверло; 55% остается в заготовке и 3% уходит в окружающую среду.

При охлаждении стальных заготовок ее тепловые деформации незначительны и их влияние на точность обрабатываемой поверхности можно не учитывать.

Обработку заготовок из серого чугуна, бронзы и других материалов производят без охлаждения. В этом случае тепловые деформации будут большими.

Тепловые деформации заготовки определяют, считая ее температурное поле постоянным, что будет справедливо, если поверхность заготовки обрабатывать за несколько рабочих ходов, за несколько последовательно выполняемых переходов, а также несколькими режущими инструментами.

Средняя температура нагрева заготовки

$$t = \frac{Q}{c\rho v},$$

где Q – полученное заготовкой тепло резания; c – удельная теплоемкость материала заготовки; ρ – плотность материала заготовки; v – объем заготовки.

Тепловое расширение (деформация) в направлении линейного размера L : $\Delta L = \alpha Lt$.

У большинства обрабатываемых поверхностей деталей производится постепенная обработка отдельных участков одной поверхности или одновременно нескольких поверхностей. Из-за этого, источник тепла, образующийся в зоне резания, непрерывно (например, при точении, сверлении) или с перерывами (при строгании) перемещается по обрабатываемой поверхности детали. Это обстоятельство вызывает неравномерный нагрев обрабатываемой поверхности детали, и как правило, не только изменение ее размеров, но и геометрической формы.

Расчеты температурного поля в этом случае трудоемки и связаны с решением дифференциальных уравнений второго порядка.

Искажение геометрической формы происходит от того, что заготовка, нагреваясь в процессе обработки, искажает свою форму из-за невозможности свободного расширения вследствие ее закрепления. Поэтому заготовка обрабатывается в деформированном состоянии. После охлаждения она, естественно, приобретает погрешность вследствие деформаций во время охлаждения.

Расчеты показывают, что температурные деформации деталей соизмеримы в ряде случаев с допусками на их обработку. Например, температурная деформация чугунной станины высотой 600 мм при длине 2000 мм доходит до 0,01 мм на 1 м при разности температуры по высоте станины в $2,4^{\circ}\text{C}$. Эта величина соизмерима с допуском на отклонение от прямолинейности станин точных станков.

Тепловые деформации ржущего инструмента

Несмотря на то, что при обработке резанием в инструмент переходит сравнительно небольшая доля образующегося тела, инструмент во многих случаях все же подвержен интенсивному нагреву. Температура рабочей поверхности резцов из быстрорежущей стали $700\div 800^\circ\text{C}$. С отдалением от зоны резания температура стержня резца заметно снижается.

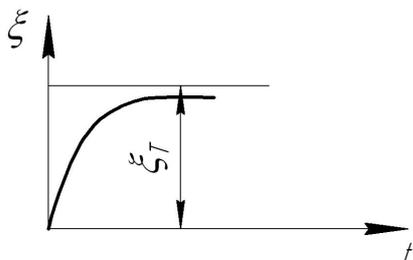


Рис. 9.7. Зависимость удлинения резца от времени обработки: ξ_T – удлинение резца при тепловом равновесии

В начале резания наблюдается быстрое повышение температуры резца. Затем ее рост замедляется и через непродолжительное время достигается состояния теплового равновесия. Характерная зависимость удлинения ξ консольной части резца от времени резания представлена в виде графика на рис. 9.7

При обычных условиях работы удлинение резца может достигать $30\div 50$ мкм.

Нагрев, а, следовательно, и удлинение резца растут с увеличением подачи, глубины и скорости резания; резец удлиняется также с повышением предела прочности (твердости по Бринеллю) материала заготовки.

Во время перерывов в работе, длительность которых равна промежутку между основными временами обработки t_0 выполняемых операций, резец охлаждается.

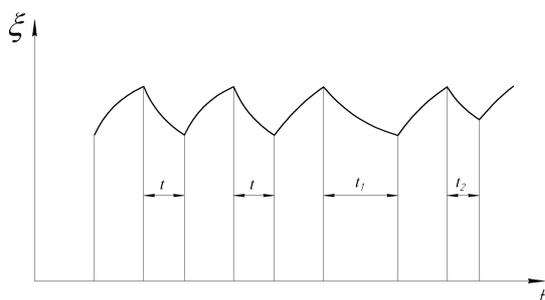


Рис. 9.8. Зависимость удлинения резца от времени обработки при изготовлении партии деталей

Изменение длины резца при изготовлении партии деталей графически представлено на рис. 9.8

Если работа протекает ритмично, то перерывы t процесса резания одинаковы и деформации резца постоянны для всех заготовок. При отсутствии ритмичности ($t \neq t_1, t_1 \neq t_2$) деформации резца различны. В этом случае рассеяние размеров заготовок в партии будет большим.

При обработке крупной заготовки тепловые деформации резца могут вызвать погрешность формы обрабатываемой поверхности.

10. Качество поверхностей и основы технологических методов повышения надежности деталей машин

Под качеством поверхности детали (заготовки) понимают состояние ее поверхностного слоя как результат механического или какого-то другого воздействия на него в ходе последовательно выполняемых операций технологического процесса.

Различают геометрические и физико-механические параметры качества поверхностей деталей.

Геометрические параметры

Геометрические параметры реальной поверхности характеризуются погрешностями формы (макрогеометрические), волнистостью и шероховатостью поверхности.

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине.

По ГОСТ 2789 установлено шесть параметров шероховатости поверхности: Ra , Rz , $Rmax$, Sm , S и t_p .

Среднее арифметическое отклонение профиля определяется из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l :

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad (10.1)$$

или приближенно

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (10.2)$$

где y – отклонение профиля, определяемое расстоянием между точкой и базовой линией и измеренное по нормали, проведенной к средней линии через эту точку; n – число выбранных точек на базовой длине.

Высота неровностей профиля по десяти точкам определяется суммой средник абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины (рис. 10.1):

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 H_{i \max} + \sum_{i=1}^5 H_{i \min} \right), \quad (10.3)$$

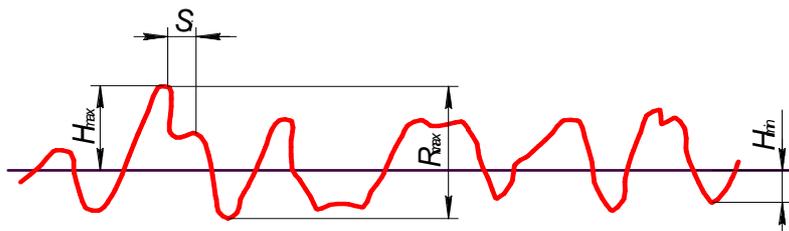


Рис. 10.1. Схема к определению шероховатости поверхности

Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины представляет собой наибольшую высоту R_{max} неровностей профиля.

Отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля, называется шагом неровностей профиля. Средний шаг неровностей профиля Sm – это среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг местных выступов профиля S - это среднее значение шагов выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины.

Опорная длина профиля η_p определяется суммой длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины:

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i . \quad (10.4)$$

Для сопоставления размеров опорных поверхностей, обработанных различными методами, удобно пользоваться понятием относительной опорной длины профиля t_p , определяемой отношением опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} . \quad (10.5)$$

Стандарт распространяется на шероховатость поверхностей со следующими интервалами числовых значений параметров: $Ra = 100 \div 0,008$ мкм; $Rz = R_{max} = 1600 \div 0,025$ мкм; $S = Sm = 12,5 \div 0,002$ мм; $t_p = 90 \div 10\%$ при $p = 90 \div 5\%$ от R_{max} ; $l = 25 \div 0,01$ мм.

При необходимости устанавливают требования к направлению неровностей поверхности: параллельное, перпендикулярное, перекрещивающееся, произвольное, кругообразное, радиальное.

Требования к шероховатости устанавливают по одному или нескольким параметрам путем указания их числовых значений (наибольшего, номинального или диапазона значений) и значений базовой длины, на которой происходит определение параметра.

Кроме указанных в стандарте параметров шероховатости, в инженерных расчетах часто используют такие параметры, как среднее квадратическое отклонение профиля в пределах базовой длины

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \quad (10.6)$$

и высоту наибольшего профиля R_p – расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины.

Под волнистостью поверхности понимается совокупность периодически чередующихся неровностей с относительно большим шагом, превышающим принимаемую при оценке шероховатости базовую длину.

Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностью формы.

Критерием для разграничения шероховатости, волнистости и погрешности формы служит отношение шага к высоте неровностей. Для шероховатости $l/H < 50$; для волнистости $l/H = 50 \dots 1000$; для макрогеометрии $l/H > 1000$. Меньшие значения приведенных отношений лежат в области больших высот неровностей.

Форма и размеры микронеровностей, измеренные в различных направлениях, обработанной поверхности оказываются различными. Эти показатели, измеренные вдоль главного движения резания характеризуют продольную шероховатость поверхности, а измеренные в направлении движения подачи – поперечную шероховатость.

Чаще всего величина поперечной шероховатости больше, чем продольной. Это объясняется тем, что на профиль и величину поперечной шероховатости наибольшее влияние оказывают геометрия режущей кромки инструмента и величина подачи, а на профиль и величину продольной шероховатости – физические явления процесса резания.

Оценку шероховатости поверхности заготовки обычно производят на основании измерения поперечной шероховатости. При некоторых видах обработки (торцовое фрезерование, доводка) продольная и поперечная шероховатости имеют одинаковые значения и могут измеряться в обоих направлениях.

Высота и форма неровностей, а также характер расположения и направление обработочных рисок зависят от вида и режима обработки; условий охлаждения и смазки инструмента; химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала; конструкции, геометрии и стойкости инструмента; типа и состояния используемого оборудования, вспомогательного инструмента и приспособлений.

Возникновение неровностей вследствие геометрических причин принято трактовать как копирование на обрабатываемой поверхности траектории движения и формы режущих лезвий.

В различных условиях обработки пластические и упругие деформации обрабатываемого материала и вибрация искажают форму микронеров-

ностей, нарушают их закономерное распределение на поверхности и в значительной мере увеличивают их высоту. В ряде случаев пластические деформации и вибрации вызывают появление продольной шероховатости, достигающей значительных размеров, и иногда продольная шероховатость может превысить поперечную.

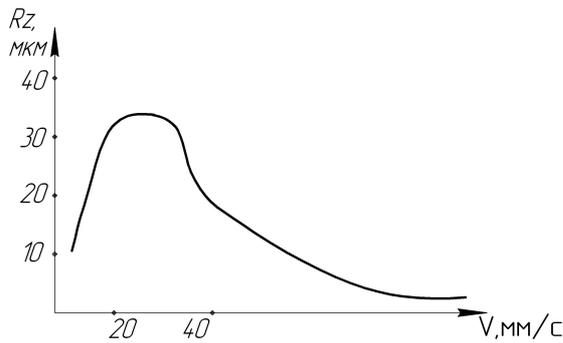


Рис. 10.2. Зависимость высоты неровностей от скорости резания

Скорость резания в значительной мере влияет на высоту микронеровностей (рис. 10.2).

В зоне малых скоростей ($v = 2 \dots 5$ м/мин), при которых нарост не образуется, размеры микронеровностей незначительны. С увеличением скоростей размеры неровностей возрастают, достигая при $20 \dots 40$ м/мин наибольшего значения, что объясняется явлением наростообразования. При дальнейшем увеличении скорости нарост уменьшается и понижается высота неровностей. В зоне скоростей $v > 70$ м/мин., при которых нарост не образуется, шероховатость наименьшая.

Подача по-разному влияет на шероховатость поверхности при разных методах обработки (рис. 10.3).

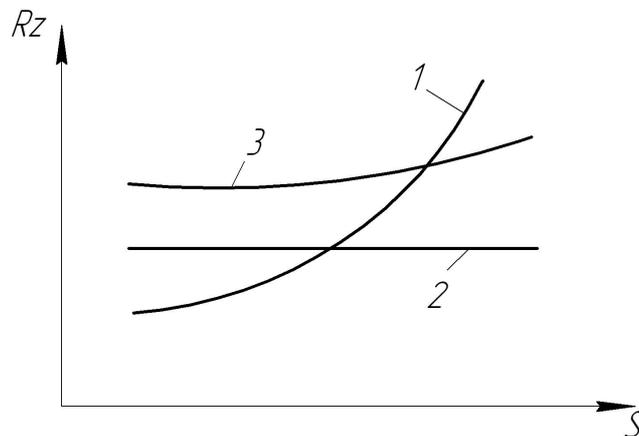


Рис. 10.3. Зависимость высоты неровностей от подачи при различных методах обработки: 1 – при точении стандартными проходными резцами ($\phi = 45^\circ$, $r =$ до 2 мм); 2 – при точении резцами с широкой режущей кромкой; 3 – при сверлении и зенкеровании, торцовом и цилиндрическом фрезеровании

Глубина резания не оказывает заметного влияния на шероховатость поверхности.

Физико-механическое состояние поверхностного слоя

Поверхностный слой металла включает в себя наружную поверхность, имеющую непосредственный контакт с внешней средой (граничный слой), и нижний слой металла, отличающийся от основной части (сердцевины) металла своим строением, механическими, физическими и химическими свойствами.

Граничный слой

При идеально правильной структуре каждый атом, расположенный внутри металла, во всех направлениях подвергается воздействию силовых полей окружающих его атомов и находится поэтому в состоянии подвижного устойчивого равновесия. Атомы, расположенные на поверхности, имеют связи только с соседними и нижележащими атомами и находятся поэтому в неуравновешенном состоянии. В результате этого граничный слой, включающий в себя примерно два ряда атомов, обладает запасом свободной поверхностной энергии.

Вследствие своей повышенной активности поверхность твердого тела неизбежно адсорбирует элементы окружающей среды и, как правило, бывает покрыта слоем адсорбированных газов, паров воды и жиров, часть осаждающихся прямо из воздуха.

Адсорбированные слои смазки, особенно поверхностно-активной, оказывают значительное влияние на величину поверхностной энергии, на процесс пластической деформации и прочность металла.

Поверхность, в особенности трещины и выходящие наружу межзерновые граничные прослойки являются как бы воротами, через которые чужеродные атомы проникают в твердое тело. Воздействие окружающей среды приводит к возникновению на поверхности различных химических соединений, наиболее типичным представителем которых являются различные оксиды.

Поверхностный слой

Ниже граничного слоя, покрытого пленкой жиров, водяных паров, адсорбированных пленок и окислов, обычно располагается **слой сильно деформированного и упрочненного металла.**

У металлов, находящихся в ненапряженном и отожженном состоянии, ниже слоя окисных пленок располагается основная поликристаллическая структура, состоящая из более или менее равновесных кристаллических зерен неправильной формы (обычно с размерами от 0,01 до 1,0 мм), связанных межзерновой прослойкой.

Межзерновая прослойка имеет искаженную кристаллическую решетку с дислоцированными атомами основного материала и примесей, ин-

тенсивно накапливающихся у границ зерен. Прослойка имеет разрыхленное строение с ослабленными силами сцепления и повышенной энергией атомов.

При нагреве межзеренные прослойки быстрее, чем внутренние зоны зерен приходят в вязкое состояние и по ним происходит скольжение, а иногда отрыв.

В кристаллах всегда существуют атомы, обладающие энергией, превосходящей среднее значение энергии соседних атомов, и способные поэтому преодолеть созданный последними потенциальный барьер, покинуть свои места равновесия в узлах решетки, создавая в них пустоты (вакансии), и занять новые места в междоузлиях решетки (дислоцированные атомы) или в вакансиях других кристаллических ячеек. Беспорядочное движение атомов вокруг вакансий приводит к появлению в свободных местах решетки какого-нибудь другого атома, что приводит к исчезновению данной вакансии и появлению новой.

Сдвигообразование в кристалле, развивающееся под действием внешней силы, в основном представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения и выход их на поверхность кристалла.

В связи с тем, что пластическая деформация представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения с их выходом на поверхность кристалла, возникновение всевозможных препятствий, затрудняющих движение дислокаций, вызывает упрочнение поликристалла.

К числу подобных препятствий, прежде всего, относятся другие дислокации, имеющиеся в кристалле, так как преодоление сил отталкивания одноименных дислокаций и точек пересечения различных дислокаций требует затрат дополнительной энергии. В связи с этим увеличение общего числа дислокаций (т.е. повышение плотности дислокаций), происходящее в связи с их генерированием в процессе пластической деформации, сопровождается деформационным упрочнением.

Деформационное упрочнение (наклеп) металла, обрабатываемого резанием, обкаткой роликами и шариками, дробеструйным наклепом, чеканкой и другими механическими способами упрочняющей технологии, в значительной степени основано на увеличении плотности дислокаций.

Дефекты решетки оказывают на сопротивление кристалла деформации двоякое действие. Способствуя образованию дислокаций, они ослабляют кристалл. С другой стороны, они упрочняют его, так как препятствуют свободному перемещению дислокаций.

При этом некоторой плотности дислокаций ρ_m соответствует минимальное сопротивление материала деформации (рис. 10.4).

Уменьшение ρ по сравнению с ρ_m приводит к повышению прочности, так как приближает структуру к идеальной. Увеличение числа дефектов по сравнению с ρ_m также вызывает повышение прочности вследствие увеличения сопротивления перемещению дислокаций. Все методы упрочнения, применяемые в настоящее время (наклеп, легирование, термообработка) соответствуют правой пологой ветви кривой.

Значительно более заманчивым является использование левой ветви этой кривой, отвечающей получению бездефектных кристаллов.

В этом направлении сделаны пока еще только первые шаги, т.е. получены тонкие нитевидные кристаллы (так называемые «усы») обладающие почти идеальной внутренней структурой. Толщина усов колеблется обычно от 0,05 до 2 мкм, длина от 2 до 10 мм. Замечательным свойством таких кристаллов является исключительно высокая прочность, близкая к теоретической величине. Так, у нитевидных кристаллов железа предел прочности оказывается равным 13360 МПа (1336 кгс/мм²), в то время как в обычном состоянии 300 МПа (30 кгс/мм²). У меди – 3000 МПа (302 кгс/мм²) против 260 МПа (26 кгс/мм²).

Деформационное упрочнение металла в связи с его пластической деформацией в большой мере зависит от напряженного состояния металла в субмикроскопической (т.е. в объеме кристаллической решетки) и в микроскопической областях. Практически вся накопленная в результате пластической деформации металла энергия сохраняется в нем в виде искажений кристаллической решетки, имеющих масштабы атомных размеров – **напряжения третьего рода.**

Напряжения второго рода уравниваются в пределах отдельных зерен поликристалла, состоящих из отдельных блоков мозаики или состоящих из различно ориентированных кристаллов с правильным строением атомной решетки. В результате пластической деформации металла поверхностного слоя при механической обработке, фазовых превращений металла и вследствие тепловых воздействий в этом слое макроскопические

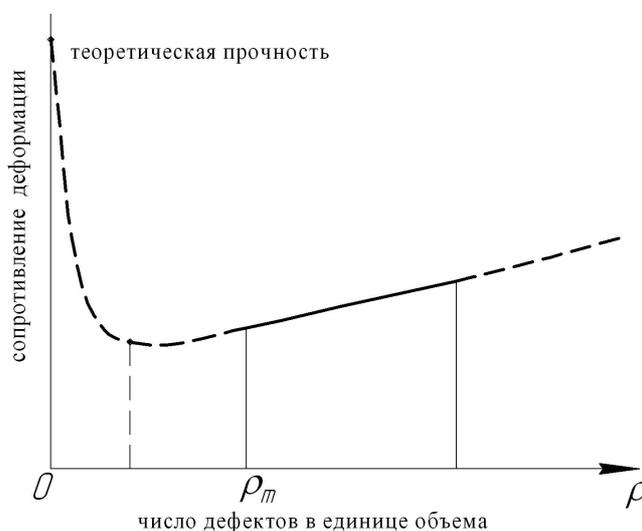


Рис. 10.4. Зависимость сопротивления деформации от плотности дислокации

остаточные напряжения (остаточные **напряжения первого рода**), уравновешивающиеся в пределах областей, размеры которых одного порядка с размерами тела. Они вызваны неоднородностью силового, температурного или материального полей внутри тела.

Влияние механической обработки на состояние поверхностного слоя заготовки

При обработке заготовок резанием под действием прилагаемых сил в металле поверхностного слоя происходит пластическая деформация, сопровождающаяся его деформационным упрочнением (наклепом). Интенсивность и глубина распространения наклепа возрастает с увеличением сил и продолжительности их воздействия и с повышением степени пластической деформации металла поверхностного слоя.

Одновременно с упрочнением под влиянием нагрева зоны резания в металле поверхностного слоя протекает разупрочнение, возвращающее металл в его первоначальное не наклепанное состояние. Конечное состояние металла поверхностного слоя определяется соотношением скоростей протекания процессов упрочнения и разупрочнения, зависящими от преобладания действия в зоне резания силового и теплового факторов.

Степень и глубина распространения наклепа изменяется в зависимости от вида и режима механической обработки и геометрии режущего инструмента.

Всякое изменение режима резания, вызывающее увеличение сил резания и степени пластической деформации, ведет к повышению степени наклепа. Рост продолжительности воздействия сил резания приводит к увеличению глубины распространения наклепа. Изменение режимов обработки, приводящее к возрастанию количества теплоты в зоне резания и продолжительности теплового воздействия инструмента на металл зоны резания, усиливает интенсивность разупрочнения, снимающего наклеп поверхностного слоя.

В процессе обработки точением наклеп поверхностного слоя повышается при увеличении подачи и глубины резания, с увеличением радиуса закругления режущего лезвия и при переходе от положительных передних углов резца к отрицательным.

Влияние скорости резания чаще всего проявляется через изменение теплового воздействия и продолжительности воздействия сил и нагрева на металл поверхностного слоя. Для металлов, не претерпевающих при резании структурных изменений, при повышении скорости резания следует ожидать снижение наклепа вследствие снижения продолжительности воздействия деформирующих сил на металл, что должно привести к умень-

шению глубины наклепа, а также в результате интенсификации трения и выделения теплоты в зоне резания, ускоряющей протекание процесса разупрочнения.

Общие закономерности возникновения наклепа сохраняются и при абразивной обработке.

Влияние шероховатости и состояния поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин

Влияние шероховатости поверхности

Трение и изнашивание деталей в значительной степени связаны с высотой и формой неровностей поверхности, и направлением штрихов обработки.

В период приработки трущихся поверхностей их контакт происходит по вершинам неровностей. В результате этого фактическая поверхность соприкосновения составляет лишь небольшой процент от расчетной, поэтому в местах фактического контакта по вершинам неровностей возникают большие давления, часто превышающие предел текучести и даже предел прочности трущихся металлов.

Под действием этих давлений при неподвижных поверхностях в точках контакта происходит упругое сжатие и пластическое деформирование смятия неровностей, а при взаимном перемещении поверхностей – срез, отламывание и пластический сдвиг вершин неровностей, приводящие к интенсивному начальному износу трущихся деталей и увеличению зазоров трущейся пары.

Повышенному начальному износу в некоторых случаях способствуют возникновение в точках контакта высоких мгновенных температур и срыв окисной пленки, покрывающей металлы, что сопровождается молекулярным сцеплением трущихся материалов и образованием узлов схватывания.

С уменьшением шероховатости трущихся поверхностей увеличивается фактическая поверхность их контакта, а, следовательно, снижаются давления.

В период приработки шероховатость трущихся поверхностей может уменьшаться или увеличиваться до некоторого оптимального значения, которые различно для разных условий трения (рис. 10.5).

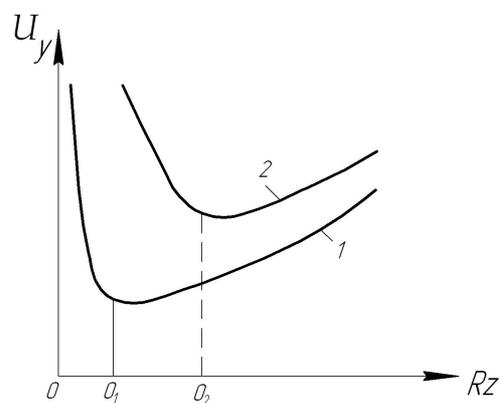


Рис. 10.5. Зависимость износа от шероховатости поверхности:
1 – легкие условия работы;
2 – тяжелые условия работы

Задачей конструктора является назначение шероховатости трущихся поверхностей, соответствующей ее оптимальному значению, при котором износ и коэффициент трения при данных условиях являются минимальными.

Влияние направления неровностей на износостойкость различно в разных условиях трения и при разных размерах неровностей (рис. 10.6).

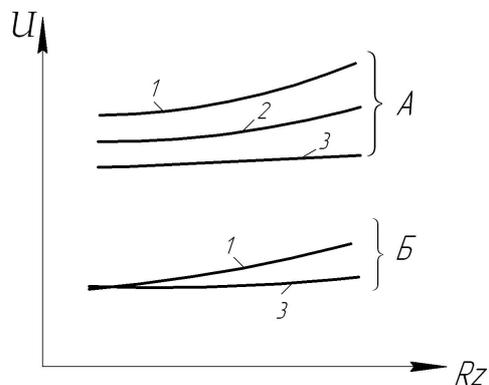


Рис. 10.6. Зависимость износа от шероховатости поверхности:
 А – граничное трение; Б – жидкостное;
 1 – направление неровностей у обоих трущихся тел перпендикулярно скорости скольжения; 2 – направление неровностей одной детали перпендикулярно, а другой – параллельно скорости скольжения; 3 – направление неровностей обеих поверхностей параллельно скорости скольжения

Прочность соединений с натягом непосредственно связана с высотой микронеровностей. С увеличением шероховатости прочность прессовых соединений снижается.

Усталостная прочность деталей зависит от шероховатости их поверхностей (концентрация напряжений, субмикроскопические нарушения сплошности и т.д.).

Параметры шероховатости поверхностей оказывают влияние и на другие важные эксплуатационные свойства деталей (прочность при ударной нагрузке, контактная жесткость, коррозионная стойкость, отражательная способность и др.).

Влияние состояния поверхностного слоя

Повышению износостойкости деталей в большинстве случаев способствует предварительное упрочнение металла поверхностного слоя, которое уменьшает смятие и истирание поверхностей при наличии их непосредственного контакта, и взаимное внедрение поверхностных слоев, возникающее при их механическом и молекулярном взаимодействии. Упрочнение увеличивает диффузию кислорода воздуха в металл поверхностного слоя, создавая в нем твердые химические соединения FeO , Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , характерные для окислительного изнашивания, протекающего с наименьшей интенсивностью, а также препятствует развитию совместной пластической деформации металлов трущихся деталей, вызывающей холодную сварку – **схватывание**, которая является наиболее интенсивным видом изнашивания.

Положительное влияние наклепа на износостойкость трущихся поверхностей проявляется только до определенной степени первоначального наклепа. Если при предварительной обработке трущейся поверхности степень пластической деформации поверхностного слоя превосходит определенное для данного металла значение, то в металле начинается процесс его разрыхления (разрыв межатомных связей по плоскостям скольжения и субмикроскопические нарушения сплошности металла), происходящий одновременно с продолжающимся процессом упрочнения. Это явление называется переклепом.

При дальнейшем увеличении нагружения металла переупрочненные и охрупченные зоны металла отслаиваются от его основной массы; начинаются шелушения и ускоренный износ металла.

Усталостная прочность деталей в значительной степени зависит от упрочнения (наклепа) металла поверхностного слоя. Упрочнение металла до определенных пределов уменьшает амплитуду циклической пластической деформации и предотвращает возникновение субмикроскопических нарушений сплошности (разрыхления), порождающих развитие усталостных трещин.

Кроме того, создание упрочненного наклепанного слоя препятствует росту существующих и возникновению новых усталостных трещин. Такой слой может значительно нейтрализовать вредное влияние наружных дефектов и шероховатости поверхности.

Наклеп и остаточные напряжения поверхностного слоя могут стать одной из причин коррозионного растрескивания стали при ее длительном статистическом нагружении в коррозионных средах.

Это можно объяснить следующим образом. Пластическая деформация и наклеп поверхностного слоя протекают в различно ориентированных зернах неодинакового состава с разной интенсивностью; ферритные зерна деформируются интенсивнее перлитных. Это вызывает неравномерное повышение энергии и различное изменение электродного потенциала. Более наклепанные ферритные зерна становятся анодами, а менее наклепанные перлитные зерна – катодами. По тем же причинам оказывается различным и искажение атомной решетки в разных кристаллических зернах.

Наиболее активными участками металла во взаимодействии с внешними средами являются зоны плоскостей сдвигов и места выходов дислокаций на поверхность. В этих зонах убыстряется адсорбция и развиваются коррозионные и диффузионные процессы. В результате этого холоднодеформированная мягкая сталь может поглощать в 100 раз больше водорода, чем отожженная.

Остаточные напряжения поверхностного слоя, созданные в ходе выполнения технологического процесса не влияют на износ деталей в парах трения.

В самом начале процесса трения остаточные напряжения снимаются под действием протекающих пластических деформаций, не успевая оказать какого-либо влияния на процесс изнашивания. Одновременно в поверхностном слое в результате трения возникают остаточные напряжения сжатия, которые зависят от условий трения и пластических свойств трущихся металлов и не зависят от величины и знака остаточных напряжений, созданных предшествующей обработкой и существовавших в поверхностном слое до начала трения.

Технологическая наследственность

Изменение видов и режимов механической обработки оказывает воздействие на отдельные характеристики состояния поверхностного слоя, а соответственно и на эксплуатационные свойства деталей. В этом смысле уместно говорить о существовании технологической наследственности состояния поверхностного слоя и при определяемых им эксплуатационных свойствах деталей от отдельных технологических операций и всего технологического процесса их изготовления.

Технологической наследственностью называется перенесение на готовое изделие в процессе его обработки погрешностей, механических и физико-химических свойств исходной заготовки.

Технологическая наследственность зависит не только от вида и режимов обработки, применяемых на чистовых операциях. Она может проявиться в процессе эксплуатации как результат воздействия тех или иных элементов состояния поверхностного слоя, созданных при черновой обработке поверхностей детали.

11. Технологичность конструкции изделия

11.1. Общие понятия

Технологичность конструкции изделия характеризуется его соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов его изготовления применительно к заданной программе выпуска и условиям производства. Конструкцию изделия, в котором эти возможности полностью учтены, называют **технологичной**.

Оценку технологичности изделия по сравнению с другим (лучшим образцом) производят, сопоставляя трудоемкость их изготовления, себестоимость и материалоемкость. Дополнительную оценку производят по степени унификации марок материала, унификации и нормализации элементов изделия, рациональности расчленения его на конструктивные и технологические элементы, достигнутому уровню взаимозаменяемости элементов изделия, конструктивной преемственности оригинальных деталей и составных частей изделия, коэффициентом среднего качества точности и шероховатости поверхностей деталей изделия, возможности автоматизации его изготовления. Выбор показателей технологичности производят с учетом требований ГОСТ 14.201.

Технологичность конструкции изделия понятие относительное, оно меняется вместе с развитием производства и технологии и для разных типов производства и даже для различных по характеру и уровню технологий предприятий, принадлежащих к одному типу производства, это понятие неодинаково. Так, например, на предприятиях единичного производства, применяющих станки с ЧПУ, требования к технологичности конструкции отличаются от требований, предъявляемым к таким же деталям, обрабатываемым на универсальных станках. С развитием технологии изготовления требования к технологичности конструкции изменяются, поэтому само представление о технологичности также претерпевает изменения.

Технологичность конструкции изделия – понятие комплексное. Ее нельзя рассматривать изолированно без взаимной связи и условий выполнения заготовительных процессов, процессов механической обработки, сборки и контроля. Отработанная на технологичность конструкция заготовки не должна усложнять последующую механическую обработку. В то же время отработку на технологичность конструкции заготовки следует производить с учетом возможного снижения трудоемкости и себестоимости изготовления изделия в целом.

Улучшением технологичности конструкции можно увеличить выпуск продукции при тех же средствах производства. Трудоемкость изготовления изделия нередко удается сократить на 15...20%, а себестоимость – на 5...10%.

11.2. Мероприятия по повышению технологичности конструкций

Конструкция изделия может быть признана технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление этого изделия. Повышение технологичности конструкции изделия предусматривает

проведение комплекса различных мероприятий, к числу которых относятся следующие:

1. Уменьшение общего количества звеньев в кинематической схеме изделия.

Уменьшение трудоемкости изготовления изделия при этом достигается не только за счет сокращения в нем числа деталей (что само по себе очевидно, так как трудоемкость обычно пропорциональна числу деталей) и упрощения сборки, но также благодаря снижению требований к точности деталей, входящих в расчетные размерные цепи изделия.

2. Создание конфигурации деталей и подбор их материалов, позволяющих применение наиболее совершенных исходных заготовок, сокращающих объем механической обработки (точное и кокильное литье, литье под давлением, жидкая штамповка, объемная штамповка, холодная штамповка различных видов и т.д.).

3. Простановка размеров на чертежах с учетом требований их механической обработки и сборки, позволяющая обеспечивать точность методом автоматического получения размеров на настроенных станках, автоматах и полуавтоматах, и обеспечивать принципы единства технологических баз и совмещения конструкторских, измерительных и технологических баз.

4. Упрощение конфигурации отдельных деталей, предельно возможное расширение допусков на изготовление и снижение требований к шероховатости обрабатываемых поверхностей с целью уменьшения объема и облегчения механической обработки.

5. Создание конфигурации деталей, позволяющей применение наиболее совершенных и производительных методов механической обработки (многолезцовая обработка; обработка фасонным и комбинированным инструментом; накатывание и вихревое нарезание резьб; применение агрегатных и специальных станков и автоматов; поточных и автоматических линий).

Упрощение конфигурации деталей с целью унификации режущего инструмента и создания более благоприятных условий его работы, а также для облегчения и уменьшения объема механической обработки.

6. Проведение нормализации и унификации деталей и сварочных единиц выпускаемых изделий, являющихся предпосылками типизации технологических процессов, унификации режущего и мерительных инструментов, а также внедрения групповой обработки.

7. Создание конструкции изделия, позволяющей проведение операционной сборки по принципам полной или частичной взаимозаменяемости, что является одним из основных условий организации поточной сборки.

Наружные поверхности вращения

Ступенчатые поверхности должны иметь наименьший перепад диаметров. Не рекомендуется делать кольцевые канавки на торцах, особенно со стороны стержня, и выступы, не вписывающиеся в правильный геометрический контур поперечного сечения детали. Рекомендуется заменять переходные поверхности фасками. В местах сопряжения точных поверхностей необходимо предусматривать выход инструмента (рис. 11.1).

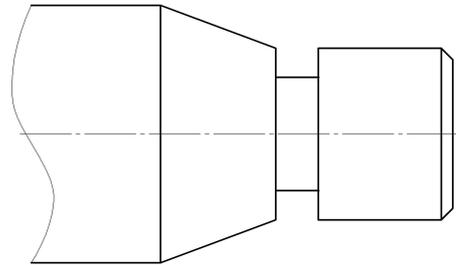


Рис. 11.1. Пример технологичности наружных поверхностей вращения

Отверстия

Желательно предусматривать сквозные отверстия, так как обрабатывать их легче, чем глухие (рис. 11.2). Ось отверстия должна располагаться от вертикальной стенки на расстоянии

$$A \geq \frac{D}{2} + r,$$

и для отверстий под соединительные болты на расстоянии

$$A \geq \frac{D_r}{2} + r,$$

где D_r – диаметр описанной окружности головки болта.

Расстояние между отверстиями назначают с учетом возможности применения многошпиндельных сверлильных головок. Во избежание поломки сверл при сверлении поверхности на входе и выходе инструмента должны быть перпендикулярны оси отверстия (рис. 11.3).

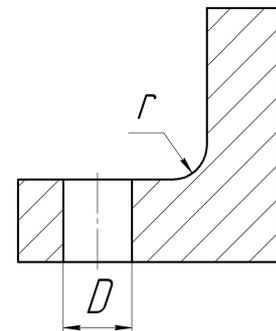


Рис. 11.2. Пример технологичности отверстий

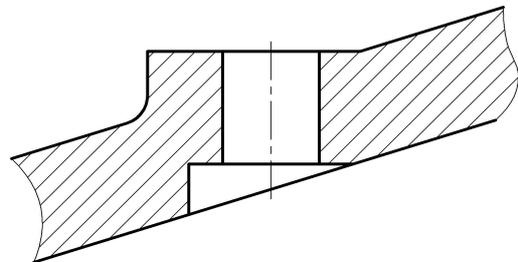


Рис. 11.3. Пример технологичности отверстий

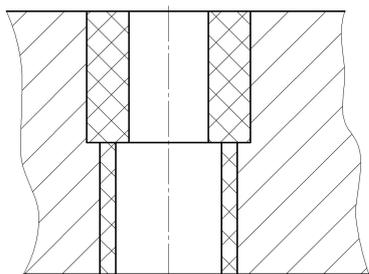


Рис. 11.4. Пример технологичности ступенчатых отверстий

Для одновременной обработки нескольких отверстий, расположенных на одной оси, рекомендуется последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предшествующего отверстия (рис. 11.4)

У дна точных глухих отверстий необходимо предусматривать канавку для выхода инструмента. Нужно избегать отверстий с непараллельными осями (рис. 11.5).

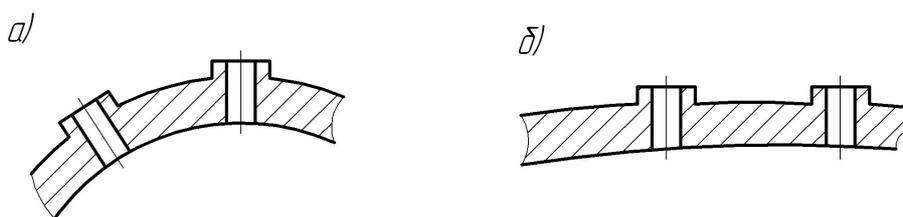


Рис. 11.5. Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) отверстий

Цекование торцов отверстий лучше заменять точением или фрезерованием (рис. 11.6).

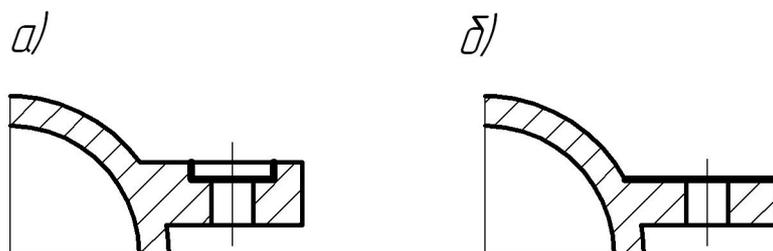


Рис. 12.6. Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) торцов отверстий

Рекомендуется избегать растачивания канавок в отверстиях на сверлильных и агрегатных станках; вместо выточек рекомендуют литые выемки глубиной $t \geq 1 \div 1,5$ мм (рис. 11.7).

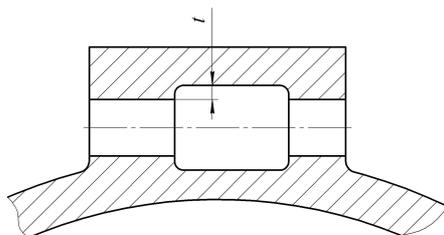


Рис. 12.7. Пример технологичных отверстий

Резьба

В резьбовом отверстии рекомендуется делать заходную фаску. При сквозных резьбовых отверстиях улучшаются условия работы режущего инструмента. При нарезании резьбы метчиком в глухом отверстии без канавки, а также при нарезании резьбы на концах валиков должен предусматриваться сбеги резьбы. При резьбофрезеровании канавки для выхода фрезы необязательны. Резьба должна быть нормализована для всех производимых изделий. Следует избегать применение резьбы малого диаметра (до 6 мм) в крупных деталях из-за частой поломки метчиков.

Плоские поверхности

Ширину поверхностей необходимо увязывать с нормальным рядом диаметров торцовых или длин цилиндрических фрез. Предпочтительна обработка поверхностей напроход, при этом бобышки и платики следует располагать на одном уровне (рис. 11.8).

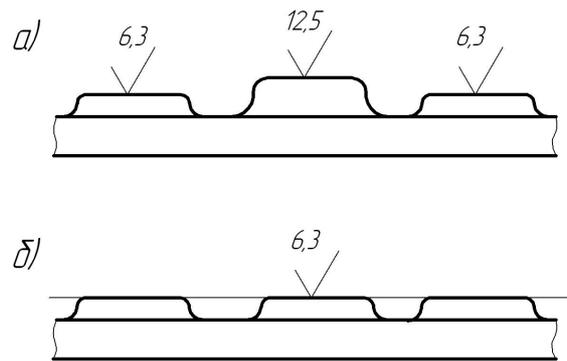


Рис. 11.8. Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) плоских поверхностей

Не следует обрабатывать внутренние поверхности корпусных деталей.

Пазы и уступы

Пазы и уступы должны по возможности допускать обработку на проход; переходная часть паза должна соответствовать радиусу дисковой фрезы (рис. 11.9). Глубину и ширину пазов и уступов выбирают в соответствии с размерами нормальных пазовых фрез. Предпочтительны пазы и уступы, обрабатываемые дисковыми, а не концевыми фрезами. Радиусы закругления у гнезд и выемок должны быть одинаковыми по всему контуру обрабатываемой поверхности и соответствовать размерам нормальных пазовых фрез.

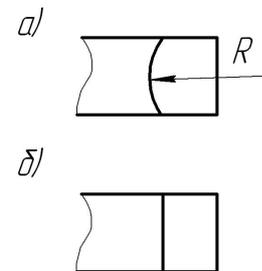


Рис. 11.9. Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) плоских поверхностей

11.3. Требования к анализу технологичности конструкции детали

В процессе конструирования деталей может быть предложен ряд равнозначных решений с позиций соответствия их конструкций служебному назначению, но при этом их технологичность будет различной.

Целью анализа является выявление недостатков конструкции по сведениям, содержащимся в чертежах и технических требованиях, а также возможное улучшение технологичности рассматриваемой конструкции.

Перед проектированием технологического процесса первоначально проводится только качественный анализ, включающий технологический контроль чертежа и технологический анализ конструкции (ГОСТ 14.201; ГОСТ 14.202; ГОСТ 14.204).

При технологическом контроле чертежа необходимо установить достаточность и правильность сведений чертежа для экономичного изготовления детали при заданной программе выпуска и в соответствии с ее служебным назначением (достаточность проекций, видов, разрезов и сечений; правильность простановки размеров с необходимыми допусками, шероховатости поверхностей, допускаемых отклонений от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей). Анализируя правильность простановки размеров, необходимо учитывать размерные связи между конструкторскими и измерительными базами и требования по взаимному расположению исполнительных поверхностей детали, ее основных и вспомогательных конструкторских баз.

Основные задачи, решаемые при технологическом анализе конструкции детали, сводятся к возможному уменьшению трудоемкости, металлоемкости и себестоимости изготовления детали без ущерба для ее служебного назначения.

Анализ целесообразно проводить в следующей последовательности:

1. Оценить возможные виды и методы получения заготовки, материал детали с позиции его обрабатываемости.
2. Оценить технологичность отдельных конструктивных элементов детали.
3. Установить возможность применения высокопроизводительных методов обработки всех конструктивных элементов с требуемой точностью геометрических и физических параметров качества, учитывая при этом требования чертежа по применению термической обработки или других методов упрочняющей технологии.
4. Выявить возможные комплекты технологических баз, использование которых в технологическом процессе позволяет при минимуме за-

трат обеспечить требуемую точность линейных размеров, формы и взаимного расположения, исполнительных поверхностей и поверхностей, являющихся основными и вспомогательными конструкторскими базами. При этом следует оценивать возможность соблюдения в технологическом процессе принципов совмещения баз и единства технологических баз. (Все рассуждения необходимо сопровождать схемами базирования).

5. Оценить возможность построения технологического процесса по принципам концентрации и дифференциации операций.

В завершении анализа должны быть высказаны соображения по возможному изменению конструкции детали с целью повышения ее технологичности.

12. Производительность и экономическая эффективность технологических процессов

12.1. Основы технического нормирования

Техническое нормирование представляет собой установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (ГОСТ 3.1109). При этом под производственными ресурсами понимаются энергия, сырье, материалы, инструмент, рабочее время и т.д.

Особенно важной задачей, решаемой при проектировании технологических процессов, является задача технического нормирования рабочего времени, т.е. нормирование труда.

Задачи и методы нормирования труда

Определение меры труда и соответствующего вознаграждения является одной из основных задач нормирования. Нормирование труда осуществляется методами технического нормирования и опытно-статистического нормирования.

Техническое нормирование труда – это совокупность методов и приемов по выявлению резервов рабочего времени и улучшение организации труда на предприятии, установление правильной меры труда (т.е. определение нормы времени) и в конечном счете – повышение производительности труда и увеличение объема производства.

При техническом нормировании труда технологическая операция разлагается на элементы машинные, машинно-ручные и ручные, на переходы, хода и приемы. При этом каждый элемент подвергается анализу, как в отдельности, так и в сочетании со смежными элементами. Перед расчетом нормы времени производится изучение и анализ структуры нормируемой операции с целью ее улучшения путем:

- 1) исключения из состава операции лишних приемов и движений, без которых работа может быть успешно выполнена;
- 2) сокращения пути движений рук, ног и корпуса рабочего; замены утомительных приемов работы более легкими;
- 3) освобождения рабочего от выполнения подсобных работ по подноске материалов, инструментов, заготовок и по заточке инструмента;
- 4) применения многоместных приспособлений;
- 5) установления рациональных режимов резания;
- 6) использования опыта передовиков по сокращению затрат вспомогательного времени.

Норма времени, определенная аналитическим методом, называется технически обоснованной нормой или просто технической нормой. Технически обоснованная норма – это время, необходимое для выполнения единицы работы, установленное расчетом исходя из рационального использования в данных условиях производства труда рабочего (живого труда) и орудий труда (овеществленного труда) с учетом передового производственного опыта.

Технические нормы служат основой для определения требуемого количества и загрузки, оборудования, производственной мощности участков и цехов, расчета основных показателей по труду и заработной плате, а также являются основой оперативного (календарного) планирования.

Технически обоснованные нормы могут быть освоены всеми рабочими данной специальности и квалификации, овладевшими трудовыми приемами, технологией и режимами работы, положенными в основу расчета этих норм. С развитием техники, технологии и организации производства, с ростом энерговооруженности рабочего и повышением его культурного уровня нормы времени должны корректироваться в сторону их снижения с учетом растущей производительности труда.

Опытно-статистический метод нормирования, применяемый в условиях единичного и мелкосерийного производств, в отличие от технического нормирования не предполагает аналитического расчета трудоемкости отдельных элементов выполняемой работы и их суммирования. Норма времени устанавливается на всю операцию в целом путем сравнения с нормами и фактической трудоемкостью выполнения аналогичной работы. Статистические данные о фактической трудоемкости аналогичных операций и личный опыт нормировщиков и мастеров являются основой этого метода нормирования. Эти нормы не имеют под собой технической и расчетной базы и, как правило, являются заниженными и не отве-

чают задачам поиска резервов производства и повышения производительности труда.

В отличие от опытно-статистических норм технические нормы:

1) предусматривают использование передового производственного опыта; они определяют производительность труда выше среднего достигнутого уровня и являются поэтому прогрессивными;

2) при аналитическом методе нормирования исключается появление неоправданно высокой или чрезмерно низкой оплаты труда;

3) введение объективных и технически обоснованных расчетных норм устраняет конфликты и споры о правильности норм, имеющие место при опытно-статистическом нормировании.

Для корректировки технически обоснованных норм и разработки нормативов осуществляют изучение затрат рабочего времени наблюдением. Различают два основных способа изучения рабочего времени наблюдением: **хронометраж и фотографию рабочего дня.**

С помощью **хронометража** изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции для установления их нормальной продолжительности, а также для разработки на этой основе нормативов, используемых при расчете технических норм времени.

Фотографией рабочего дня называют наблюдения с последовательным измерением всех затрат рабочего времени в течение одной или нескольких смен. Основное назначение фотографии рабочего дня – определение потерь рабочего времени, установление времени на обслуживание рабочего места и перерывы.

12.2. Структура затрат рабочего времени

Затраты рабочего времени в течение рабочего времени подразделяются на **нормируемые и ненормируемые.**

К **нормируемым** относятся затраты, необходимые для выполнения заданной работы и потому подлежащие включению в состав нормы времени.

К **ненормируемым** затратам рабочего времени относятся затраты, которые не включаются в состав нормы, (потери вследствие выполнения рабочим случайной непроизводительной работы, такой, как хождение за мастером, наладчиком, документацией, инструментами, транспортными средствами, материалами и т.п.; перерывы в работе по организационным и техническим причинам, связанные с простоем в ожидании работы, крана,

подсобного рабочего, с простоями из-за отсутствия электроэнергии и т.п.; потери по вине рабочего в связи с опозданиями и преждевременным уходом с рабочего места, посторонними разговорами и т.п.).

Нормируемые затраты рабочего времени делятся на **подготовительно-заключительное время, оперативное время, время обслуживания рабочего места и время перерывов на отдых и личные потребности рабочего.**

Норма подготовительно-заключительного времени $T_{п.з.}$ – это норма времени на подготовку рабочих и средств производства к выполнению технологической операции и приведение их в первоначальное состояние после обработки партии заготовок на данной операции. Норма подготовительно-заключительного времени включает в себя затраты времени на подготовку к заданной работе и выполнение действий, связанных с ее окончанием. Она предусматривает затраты времени на:

- 1) получение материалов, инструментов, приспособлений, технологической документации и наряда на работу;
- 2) ознакомление с работой, технологической документацией, чертежом, получение необходимого инструмента;
- 3) установку инструментов, приспособлений, наладку оборудования на соответствующий режим работы;
- 4) снятие приспособлений и инструмента;
- 5) сдачу готовой продукции, остатков материала, приспособлений, инструмента, технологической документации и наряда.

Подготовительно-заключительное время затрачивается один раз на всю партию обрабатываемых изделий, изготавливаемых без перерыва по данному рабочему наряду и не зависит от числа изделий в партии.

Норма оперативного времени $T_{оп}$ – это норма времени на выполнение технологической операции, состоящая из суммы норм основного времени T_o и вспомогательного времени $T_в$, т.е.

$$T_{оп} = T_o + T_в. \quad (12.1)$$

Затраты оперативного времени на выполнение технологической операции повторяются с каждой единицей изделия.

Норма основного времени T_o – это норма времени на достижение непосредственной цели данной технологической операции или перехода по качественному изменению предмета труда. Основное время T_o представляет собой время, в течение которого осуществляется изменение размеров и форма заготовки, внешнего вида и шероховатости поверхности, состояния поверхностного слоя или взаимного расположения отдельных частей сбор-

ной единицы и их крепления и т.п. Основное время может быть машинным, машинно-ручным и ручным.

При станочных работах основное время определяется отношением величины пути, пройденного обрабатывающим инструментом, к его минутной подаче.

$$T_o = T_m = \frac{L_i}{S_{мин}}, \quad (12.2)$$

где i – число рабочих ходов;

$$L = l + l_1 + l_2 + l_{дон},$$

где l – длина обрабатываемой поверхности; l_1 – величина врезания инструмента; l_2 – величина перебега (схода) инструмента; $l_{дон}$ – дополнительная величина рабочего хода инструмента, связанная с его безударным врезанием или необходимостью снятия пробных стружек при обеспечении точности методом пробных ходов.

Из этой общей формулы могут быть получены частные формулы для различных способов резания в зависимости от их кинематики.

Норма вспомогательного времени T_e представляет собой норму времени на осуществление действий, создающих возможность выполнения основной работы, являющейся целью технологической операции или перехода, и повторяющихся с каждым изделием (установка и снятие изделия, перемещение стола или суппорта, подвод и отвод инструмента, пуск и выключение станка, промеры изделия, смена инструмента или его переустановка).

Вспомогательное время бывает ручным, механизированным (установка и снятие изделия краном и другими механизмами) и машинным (автоматический ускоренный обратный ход суппорта или стола). Вспомогательное время определяется суммированием его составляющих элементов, приведенных в таблицах нормативов по техническому нормированию (время на установку и снятие заготовки; время, связанное с переходом; время, связанное с управлением станком и время на контрольные измерения).

Время обслуживания рабочего места $T_{обс}$ представляет собой часть штучного времени, затрачиваемую исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ним и рабочим местом. В условиях массового производства, машинных и автоматизированных операций время обслуживания рабочего места подразделяется на время технического и время организационного обслуживания.

Время технического обслуживания $T_{тех}$ – это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом (оборудованием) в течение данной конкретной

работы (смена затупившихся инструментов, регулировка инструментов и подналадка оборудования, сметание стружки и т.п.). Время технического обслуживания определяется в процентах к основному времени.

Время организационного обслуживания $T_{орг}$ – это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом в течение рабочей смены (время на раскладку и уборку инструмента в начале и конце смены, время на осмотр и опробывание оборудования, время на его смазку и чистку и т.п.). Время организационного обслуживания определяется в процентах к оперативному времени.

Время на личные потребности $T_{отд}$ – это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и на отдых. Оно предусматривается для всех видов работ (кроме непрерывных) и определяется в процентах к оперативному времени. Обычно это время не превосходит 2% от продолжительности рабочей смены. На работах физически тяжелых, особенно утомительных, отличающихся большим грузооборотом или производимых ускоренным темпом, кроме того, предусматривается дополнительное время на перерывы для отдыха.

Структура нормы времени

Технически обоснованная норма времени состоит из нормы подготовительно-заключительного времени на партию обрабатываемых изделий и нормы штучного времени, т.е.

$$T_{ш.-к.} = T_{ш.} + T_{п.-з.} / n, \quad (12.3)$$

где $T_{ш.-к.}$ – норма штучно-калькуляционного времени (норма времени); $T_{ш.}$ – норма штучного времени; $T_{п.-з.}$ – норма подготовительно-заключительного времени на партию обрабатываемых заготовок; n – количество заготовок в обрабатываемой партии.

Норма штучного времени – это норма времени на выполнение объема работы, равной единице нормирования.

Штучное время может быть определено как интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции.

При техническом нормировании норма штучного времени $T_{ш.}$ подсчитывается по формуле

$$T_{ш.} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{отд}; \quad T_o + T_v = T_{он}; \quad T_{обс} = T_{мех} + T_{орг}.$$

В условиях массового производства нормируется $T_{ш.}$, а в условиях единичного и серийного производства – $T_{ш.-к.}$

В связи с тем, что в единичном и серийном производствах время на обслуживание рабочего места не подразделяется на время организационного и технического обслуживания, и также как и время на отдых и личные потребности рабочего, исчисляется в процентах от оперативного времени, формула для подсчета штучного времени упрощается и приобретает вид

$$T_{ш} = (T_o + T_в)(1 + \frac{K}{100}), \quad (12.4)$$

где K – процент оперативного времени на обслуживание рабочего места, на отдых и личные потребности рабочего.

Норма затрат рабочего времени может быть выражена количеством продукции, изготовленной в единицу времени. В этом случае она называется нормой выработки.

12.3. Методы расчета себестоимости вариантов технологических процессов

Сопоставление себестоимости вариантов технологических процессов во многих случаях производится путем сравнения себестоимости обработки заготовок, отражающей затраты живого и овеществленного труда. Существуют два принципиально отличных метода определения себестоимости: бухгалтерский и элементный.

Бухгалтерский метод

Широко распространен метод определения себестоимости обработки партии заготовок по формуле

$$C = A \cdot n + B, \quad (12.5)$$

где C – себестоимость партии заготовок; A – текущие затраты, т.е. затраты, повторяющиеся при изготовлении каждой отдельной заготовки; n – количество заготовок в партии, шт.; B – единовременные затраты, т.е. затраты, которые производятся один раз на все количество заготовок или периодически на определенную их партию.

Себестоимость обработки одной заготовки в этом случае определяется по формуле

$$C_{заг} = A + B/n, \quad (12.6)$$

Как видно из графика (рис. 12.1) с увеличением количества заготовок себестоимость их обработки снижается по гиперболической зависимости (даже при сохранении неизменного технологического процесса и связанных с ним единовременных и текущих затрат). Однако, это справедливо до определенного предела.

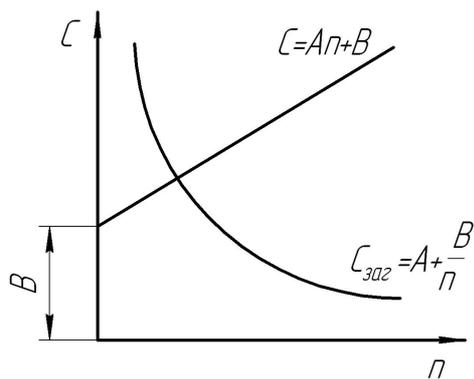


Рис. 12.1. Зависимость себестоимости обработки от количества заготовок в партии

По мере увеличения партии заготовок до некоторого значения n_1 это количество уже не может быть изготовлено при данном варианте технологического процесса в установленный срок, поэтому потребуется введения дополнительной единицы оборудования с соответствующим увеличением единовременных расходов B . Это придает графикам зависимости себестоимости от количества изготавливаемых заготовок ступенчатый характер (рис. 12.2).

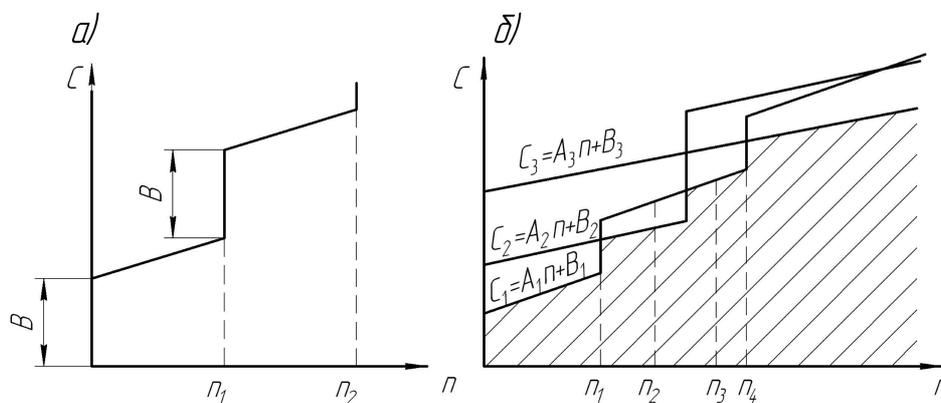


Рис. 12.2. Зависимость себестоимости обработки от количества заготовок в партии при его увеличении до n_2 (а) и n_4 (б)

В состав единовременных затрат B , входящих в формулы (12.5) и (12.6), включаются затраты на приобретение специальных станков, приспособлений и инструментов, а также на наладку станков. Текущие затраты A включают в себя: стоимость исходной заготовки $C_{заг}$; затраты на заработную плату основных рабочих $C_з$ и все цеховые расходы, связанные с амортизацией и ремонтом оборудования, содержанием зданий; затраты на электроэнергию; затраты на нормальный режущий, мерительный и вспомогательный инструмент и универсальные приспособления; затраты на заработную плату инженерно-технических работников, управленческого и обслуживающего персонала, а также на заработную плату вспомогательных рабочих цеха (инструментальная группа, ремонтники и т.п.). Цеховые расходы принято при калькулировании себестоимости определять в процентах от заработной платы основных рабочих цеха.

Таким образом, текущие затраты можно найти по формуле

$$A = C_{заг} + C_3 \left(1 + \frac{P}{100}\right), \quad (12.7)$$

где P – сумма всех цеховых расходов, выраженная в процентах от заработной платы основных рабочих (процент накладных расходов).

Процент накладных расходов определяется при бухгалтерском методе по отчетным данным работы цеха и колеблется в зависимости от условий производства (серийность, оснащенность цеха, его размеры, степень автоматизации, организационная структура и т.п.) от 150 до 800%.

Изложенный метод расчета себестоимости обработки прост и нагляден. Однако, принятый при этом способ выражения цеховых расходов в процентах от заработной платы основных рабочих (процент накладных расходов) не дает возможности учесть разницу в расходах по эксплуатации и амортизации оборудования и универсальной оснастки, различной по сложности и размерам. При расчете по этому методу более производительные технологические процессы оказываются более экономически эффективными даже в случаях применения очень сложных и дорогих универсальных оборудования и технологической оснастки.

Для сопоставления себестоимости технологических процессов (вариантов) бухгалтерский метод не пригоден.

Элементный метод

Наиболее точным методом расчета себестоимости вариантов технологических процессов при их сопоставлении является элементный метод или метод прямого расчета всех составляющих себестоимости.

В отдельных случаях при расчете можно не учитывать затраты, которые во всех сравниваемых вариантах остаются постоянными, и определять себестоимость только по затратам, зависящим от сравниваемых технологических процессов. Такая неполная себестоимость, включающая в себя только затраты, обусловленные вариантом технологического процесса, называется технологической себестоимостью C_T .

В общем случае полная технологическая себестоимость соответствует цеховой себестоимости и складывается из следующих элементов:

$$C_T = C_3 + C_{з.н} + C_9 + C_6 + C_{реж} + C_M + C_a + C_p + C_{II} + C_{III} + C_o + C_{исх.заг}, \quad (12.8)$$

где C_3 – заработная плата основных рабочих с начислениями; $C_{з.н}$ – заработная плата наладчиков с начислениями; C_9 – затраты на силовую электроэнергию; C_6 – затраты на вспомогательные материалы (смазочно-

обтирочные материалы и смазочно-охлаждающие жидкости); $C_{рез}$ – затраты на амортизацию, заточку и ремонт универсального и специального режущего инструмента; C_m – затраты на амортизацию и ремонт универсального и специального измерительного инструмента; C_a – затраты на амортизацию оборудования; C_{II} – затраты на амортизацию и ремонт универсальных и специальных приспособлений; C_{III} – затраты на амортизацию, ремонт, отопление, освещение и уборку производственного помещения; C_o – затраты на общие цеховые расходы (заработная плата вспомогательных рабочих, инженерно-технических работников и служащих цеха с соответствующими начислениями; расходы по ремонту и амортизации общего вспомогательного оборудования и инвентаря цеха; расходы по охране труда и др.); $C_{исх.заг.}$ – стоимость исходной заготовки (включая стоимость ее изготовления и материала за вычетом стоимости реализуемых отходов стружки).

Элементный метод расчета себестоимости является основным методом сопоставления технологических процессов во всех ответственных случаях, особенно в условиях массового и крупносерийного производства. В менее ответственных случаях, а также при расчетах технологической себестоимости для серийного и мелкосерийного производств этот метод применяется с учетом укрупненных нормативов затрат.

Расчет технологической себестоимости в этом случае производится также по формуле (12.8), однако, отдельные слагаемые себестоимости находят не прямым расчетом по точным формулам, а по соответствующим нормативным таблицам затрат, отнесенным к часу или минуте работы станка.

Оценка экономической эффективности по приведенным затратам

Оценка экономической эффективности вариантов по технологической себестоимости и производительности обработки в большинстве случаев бывает достаточно объективной, особенно когда затраты на технологическую оснастку и специальное оборудование этих вариантов различаются незначительно.

Когда один из вариантов предусматривает приобретение дорогостоящего специального оборудования или специализированной оснастки, сравнение вариантов только по технологической себестоимости и трудоемкости обработки может оказаться недостаточным. Целесообразность дополнительных затрат на оснащение технологического процесса можно оп-

ределить с помощью коэффициента экономической эффективности капитальных вложений

$$E = (C_1 - C_2)/(K_2 - K_1), \quad (12.9)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость годового выпуска заготовок по первому и второму вариантам; $K_2 - K_1$ – капитальные затраты, связанные с осуществлением первого и второго вариантов технологического процесса.

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений E выражает годовую экономию на себестоимость заготовок, связанную с применением нового оборудования и оснастки, на один рубль капитальных вложений.

Для определения экономической целесообразности введения новой техники в различных отраслях промышленности установлен нормативный коэффициент экономической эффективности E , который определяет минимальную величину годовой экономии на себестоимости продукции на один рубль дополнительных капитальных затрат (для машиностроения $E = 0,2$ руб. в год на один рубль капитальных вложений).

Экономическая целесообразность дополнительных капитальных вложений может быть определена путем сравнения расчетного E и нормативного E_n коэффициентов экономической эффективности согласно неравенству

$$E = (C_1 - C_2)/(K_2 - K_1) \geq E_n. \quad (12.10)$$

При сравнении экономичности различных вариантов вновь проектируемых технологических процессов, требующих значительных капитальных вложений, целесообразно подсчитать так называемые приведенные затраты

$$Z_{пр} = C_{заг}q + E_n K, \quad (12.11)$$

где $Z_{пр}$ – приведенные затраты на осуществление годового выпуска заготовок; $C_{заг}$ – себестоимость изготовления одной заготовки; q – годовой выпуск заготовок; K – капитальные вложения на осуществление данного варианта технологического процесса.

Из формулы (12.11) следует, что приведенные затраты складываются из себестоимости годового выпуска ($C = C_{заг}q$) и нормативной годовой экономии, которая должна быть получена в данной отрасли промышленности при рациональном использовании капитальных вложений ($E_n K$).

Лучшим признается вариант с минимальными приведенными затратами.

13. Технологические методы повышения производительности труда и снижения себестоимости изделий

Повышение технико-экономической эффективности технологических процессов неразрывно связано с увеличением производительности труда. Мероприятия по увеличению производительности труда неизбежно приводят к перераспределению доли **живого и овеществленного труда** в структуре себестоимости единицы продукции в сторону увеличения доли овеществленного труда.

Различают **технологические и организационно-технические** методы повышения производительности труда. Основными из них являются технологические, а организационно-технические методы как бы дополняют технологические и применяются лишь тогда, когда возможности последних недостаточны или уже исчерпаны.

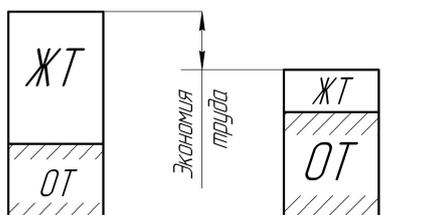


Рис. 13.1. Схема, поясняющая общий принцип повышения производительности труда

Общий принцип повышения производительности труда заключается в том, что применяя более совершенное оборудование, т.е. увеличивая затраты овеществленного труда (ОТ), получают большую, чем это увеличение, экономию живого труда (ЖТ), измеряемого технической нормой времени на выполнение операции и квалификацией труда (рис. 13.1).

Из этого принципа следует, что всякое уменьшение нормы времени означает повышение производительности труда.

13.1. Снижение себестоимости изделий путем регулирования их количества

Наиболее существенное влияние на снижение себестоимости изделий оказывает количество изделий данной модели, подлежащих изготовлению: а) в единицу времени (смену, месяц, год); б) в течение возможно более длительного времени по неизменным чертежам.

Количество изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени, определяется потребностями народного хозяйства. Длительность выпуска изделий или, другими словами, общее количество изделий, изготовленных по неизменным чертежам, зависит от морального износа изделий.

Под моральным износом понимается потеря изделием возможности экономического выполнения своего служебного назначения по сравнению с

новым, более совершенным изделием, обладающим более высокими технико-экономическими показателями.

Чем лучше в конструкции изделия отражены современные достижения, тенденции и перспективы развития науки и техники, тем выше его технико-экономические показатели, тем, при прочих равных условиях меньше будет его моральный износ, тем дольше во времени, а следовательно, и в большем количестве, такое изделие будет выпускаться без изменений.

С увеличением количества выпускаемых изделий меняется структура себестоимости изделия вследствие уменьшения доли затрат живого труда и увеличения доли затрат овеществленного труда при одновременном снижении их суммы. Объясняется это тем, что с увеличением количества изделий, подлежащих изготовлению, возрастает возможность использования более дорогого, но и более производительного оборудования, инструмента и другой технологической оснастки, способствующих сокращению трудоемкости изготовления изделия.

13.2. Сокращение расходов на материалы

Расходы на материалы, затрачиваемые на изготовление единицы продукции, подсчитываются по формуле

$$M = \sum_{i=1}^{\rho} G_{1_i} q_{1_i} - \sum_{i=1}^{\rho} G_{2_i} q_{2_i}, \quad (13.1)$$

где G_{1_i} – масса материала каждой марки, расходуемого на изготовление единицы продукции; q_{1_i} – стоимость 1 кг материала соответствующей марки; G_{2_i} – масса реализуемых отходов каждой марки; q_{2_i} – стоимость 1 кг отходов; ρ – количество марок материалов, расходуемых на изготовление единицы продукции.

Из данной формулы следует, что основными путями сокращения расходов на материалы являются:

- 1) сокращение массы материалов, расходуемых на изготовление одного изделия;
- 2) использование, по возможности, более дешевых материалов;
- 3) получение отходов материалов в наиболее ценном виде с целью последующего использования их для изготовления других изделий, т.е. увеличение q_{2_i} .

Для суждения о рациональности использования материалов служит коэффициент использования материала η_m , представляющей собой отношение массы материала готового изделия g_2 к массе материала g_1 , затрачиваемого на его изготовление:

$$\eta_m = \frac{g_2}{g_1}. \quad (13.2)$$

13.3. Технологические основы увеличения производительности труда

Анализ формулы затрат времени на выполнение операции технологического процесса показывает пути повышения производительности труда рабочего.

Доля подготовительно-заключительного времени, приходящаяся на обработку одной заготовки, уменьшается с увеличением количества заготовок в партии, что может быть достигнуто двумя путями:

- 1) увеличением одинаковых заготовок в партии;
- 2) увеличением количества заготовок за счет обработки заготовок различных деталей, близких по служебному назначению и по конструкции, размерам, материалу, техническим условиям и т.д.

Штучное время может быть сокращено главным образом за счет основного и вспомогательного времени, составляющих наибольшую долю среди других слагаемых.

Пути сокращения основного времени

Анализ формулы

$$T_0 = T_m = \frac{(L_0 + l_1 + l_2)i}{nS} \quad (13.3)$$

показывает, что сокращение основного технологического времени, если оно является машинным, может производиться путем: 1) сокращения пути относительного перемещения режущего инструмента и обрабатываемой поверхности по направлению подачи $(L_0 + l_1 + l_2)$; 2) сокращения числа ходов i ; 3) обработки каждой детали с оптимальными режимами; 4) совмещения переходов во времени.

Сокращение пути относительного движения режущего инструмента и обрабатываемой поверхности заготовки может осуществляться за счет уменьшения размеров врезания l_1 и выхода l_2 режущего инструмента.

Например, при обработке поверхности торцевой фрезой (рис. 13.2), увеличение диаметра фрезы при неизменной глубине резания уменьшает размер врезания l_1 режущего инструмента.

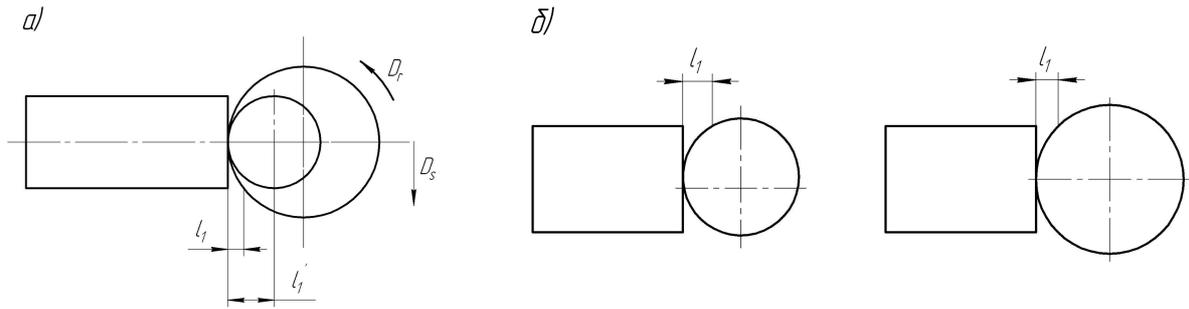


Рис. 13.2. Схема фрезерования поверхности торцовой фрезой с различными диаметрами (а) и изменением размера врезания (б)

Обработка нескольких последовательно установленных деталей также способствует сокращению пути врезания и выхода инструмента, приходящегося на одну деталь, особенно если они установлены вплотную одна к другой.

Наибольшее значение сокращения пути врезания и выхода режущего инструмента имеет при обработке коротких поверхностей.

Наибольший эффект получается при сокращении длины пути рабочего хода инструмента за счет обработки каждой из поверхностей одновременно несколькими инструментами. Наиболее часто этот способ находит применение на многолезцовых токарных и револьверных станках и автоматах (рис. 13.3).

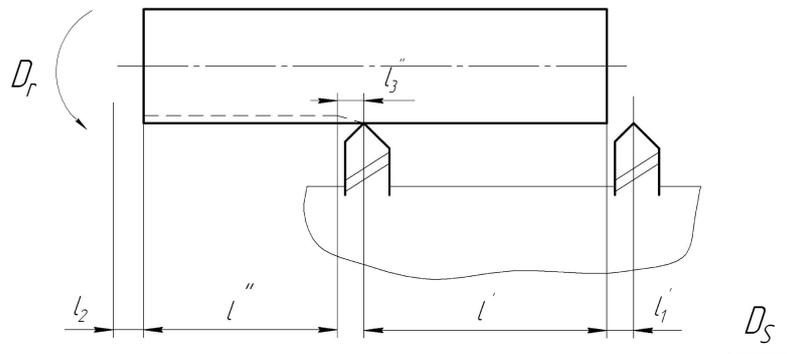


Рис. 13.3. Схема обработки цилиндрической поверхности детали двумя резцами

Один из недостатков этого метода состоит в том, что в месте стыка участков остается ступень из-за различной погрешности динамической настройки.

Сокращение числа ходов i позволяет уменьшить машинное время. Достичь сокращения числа проходов можно уменьшением припусков на обработку путем приближения заготовки к размерам и форме готовой де-

тали. Другим средством уменьшения числа ходов является обработка поверхностей деталей на технологическом оборудовании, позволяющем автоматически управлять упругими перемещениями.

Управление упругими перемещениями позволяет получить меньшую величину поля рассеяния, порождаемого совокупным действием отклонений припуска на обработку и твердости материала заготовки. Следовательно, для достижения требуемой точности обрабатываемой заготовки потребуется меньшее число проходов. Увеличение точности обработки на одной из операций позволяет, как правило, сократить количество проходов или увеличить режимы обработки на последующих операциях и, следовательно, выполнить их более производительно.

Увеличение режимов обработки является одним из основных средств сокращения машинного времени. Выбор режимов резания тесно связан с требуемой точностью обрабатываемой заготовки. Упругие перемещения технологической системы, порождающие в значительной мере погрешности обработки и особенно недостаточная жесткость обрабатываемых заготовок лимитируют допускаемую при обработке силу резания, а тем самым и величину подачи при всех прочих равных условиях. Величина скорости резания лимитируется размерной стойкостью режущего инструмента и количеством образующегося тепла, порождающего температурные деформации технологической системы.

Таким образом, установление режимов обработки должно основываться исходя из экономичного достижения требуемой точности заготовки (размеров и качества поверхностей).

Совмещением переходов можно в значительной мере сократить как основное, так и вспомогательное время.

В общем случае у заготовки необходимо обработать несколько одинаковых или различных поверхностей, расположенных на одной или нескольких сторонах заготовки. Обработку поверхностей можно выполнять **последовательно, одновременно и комбинированно**.

При последовательной обработке поверхностей заготовки сократить основное время можно только путем сокращения его слагаемых. При одновременной обработке всех поверхностей заготовки основное время будет равно времени, затрачиваемому на выполнение наиболее продолжительного перехода. (Примеры обработки с использованием многоинструментальных наладок, многошпиндельных головок, многошпиндельных станков).

Совмещение переходов, связанных со сменой обрабатываемой заготовки, с основным технологическим временем может осуществляться раз-

лично («маятниковая» обработка, использование поворотных столов, карусельнофрезерные и барабаннофрезерные станки и т.п.)

Совмещение переходов, связанных с измерением обрабатываемых заготовок, осуществляется обычно или с помощью приспособлений или измерительных устройств, позволяющих осуществлять измерения во время обработки или путем использования средств активного контроля.

Пути сокращения вспомогательного времени

Удельный вес вспомогательного времени в штучном и его абсолютная величина при обработке заготовок на некоторых видах оборудования достигает значительных величин, довольно часто превосходящих в несколько раз основное технологическое время. Увеличение режимов обработки, особенно скорости резания, при использовании основных видов режущего инструмента, оснащенного пластинами твердого сплава, керамики, эльбора и т.п., а также внедрение нового, более быстроходного и мощного оборудования, способствует дальнейшему возрастанию доли вспомогательного времени. Это может стать помехой на пути дальнейшего внедрения высокопроизводительного оборудования и повышения производительности труда. Действительно, при незначительной доле в штучном времени машинного дальнейшего уменьшения последнего уже не дает значительного эффекта. Отсюда следует, что сокращение вспомогательного времени является во многих случаях одним из решающих факторов дальнейшего увеличения производительности труда. Сокращение вспомогательного времени осуществляется двумя путями: непосредственным сокращением времени, затрачиваемого при выполнении технологического процесса на вспомогательные приемы, и частичным или полным совмещением затрат времени вспомогательных приемов с основным технологическим временем. Наибольший эффект дает одновременное использование обоих этих путей.

Непосредственное сокращение вспомогательного времени осуществляется

- 1) уменьшением времени, расходуемого на замену одних обрабатываемых заготовок другими: путем использования приспособлений, обеспечивающих требуемую схему базирования при контакте заготовок с установочными элементами, и путем сокращения времени закрепления при смене заготовок, автоматизации смены обрабатываемых заготовок и др.;

- 2) уменьшением времени, затрачиваемого на управление оборудованием и приспособлениями, путем упрощения управления, его механизации и автоматизации;

3) уменьшением времени, затрачиваемого на контроль за ходом выполнения технологического процесса, путем правильного выбора методов и средств измерения, механизацией и автоматизацией контроля;

4) комплексной автоматизацией технологического процесса.

Совместная обработка заготовок

При увеличении количества заготовок прибегают к их совместной обработке с целью увеличения производительности оборудования и труда.

При совместной обработке заготовки могут устанавливаться и обрабатываться последовательно, параллельно и комбинированно (рис. 13.4)

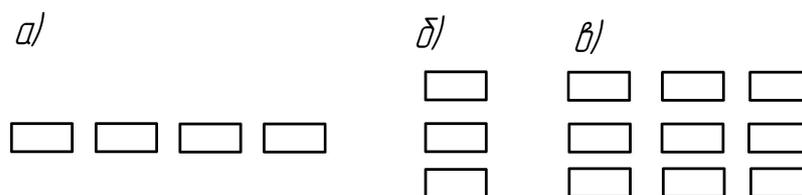


Рис. 13.4. Схема обработки заготовок при последовательной (а), параллельной (б) и комбинированной (в) установке

При всех прочих равных условиях обработка заготовок, установленных параллельно, дает наибольший эффект с точки зрения сокращения основного технологического времени.

Для увеличения производительности труда при обработке заготовок в небольших количествах используется одновременная обработка различных заготовок, обработка заготовок с «перекладкой» или совместно та и другая.

Использование совмещения переходов и совместной обработки заготовок

При увеличении количества заготовок, подлежащих обработке, становится экономичным одновременное использование совмещения переходов и совместной обработки заготовок. Как правило, для этого создается высокопроизводительное оборудование в виде многошпиндельных полуавтоматов и автоматов, агрегатных многошпиндельных и многопозиционных станков, автоматических линий, роторных линий.

13.4. Автоматизация производственных процессов

Одним из основных направлений автоматизации серийного производства является расширение использования станков с ЧПУ, экономическая эффективность которых проявляется уже при обработке сравнительно

небольших партий (20...40 шт.) заготовок. Однако в условиях единичного производства в большинстве случаев сохраняются экономические преимущества универсального оборудования с ручным управлением.

Применение станков с ЧПУ, отличающихся от обычных наличием автоматического цикла вспомогательных движений и возможностью декодирования числового и буквенного кодов в рабочие и вспомогательные движения, явилось первой стадией автоматизации. Достижения в технологии микроэлектроники позволили осуществить компьютеризацию программного управления (системы CNC) и оказали большое влияние на надежность, уменьшение габаритов и стоимость систем ЧПУ.

В некоторых станках с оперативной системой управления (ОСУ) предусмотрена возможность устранения трудоемкой предварительной настройки инструментов на размер, которая заменяется введением в систему необходимой коррекции, учитывающей смещение положения инструмента относительно требуемого и соответствующее позиционирование инструмента. Крупным преимуществом станков с оперативным управлением является возможность редактирования (устранения ошибок и внесение исправлений) программ непосредственно на рабочем месте.

Применение станков с оперативным управлением может быть экономически эффективным при обработке отдельных единичных заготовок и всегда эффективно при обработке партий в три-четыре штуки и более.

На второй стадии автоматизируются периферийные функции станков с ЧПУ: смены инструмента и заготовок, измерения и, наконец, удаления производственных отходов. Выпуск и внедрение в производство таких станков значительно изменили теорию и практику использования станков с ЧПУ в качестве средств производства. Если ранее они применялись для автоматизации и улучшения условий труда на отдельных операциях, то теперь служат базой **третьей ступени автоматизации** – создания гибких производственных систем (ГПС).

В соответствии с ГОСТ 26228 гибкая производственная система – это совокупность или отдельная единица технологического оборудования и системы обеспечения его функционирования в автоматическом режиме, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

По организационной структуре гибкие производственные системы формируются в виде гибких производственных модулей (ГПМ), гибких автоматических линий (ГАЛ) и участков (ГАУ), а также в виде гибких автоматизированных цехов (ГАЦ), производств (ГАП) и заводов (ГАЗ).

Первая система с прямым управлением от ЭВМ (система DNC) была изготовлена в 1967 г. фирмой «Уайт Сандстрэнд».

С середины 70-х годов резко активизировались исследования по проблемам развития и применения ГПС. В Японии, ФРГ, США, Великобритании и других странах были созданы национальные проекты по реализации гибкой безлюдной технологии в серийном производстве.

13.5. Типизация технологических процессов

Трудности проектирования технологического процесса обусловлены прежде всего большим числом возможных решений каждой технологической задачи. Для одной и той же детали при одинаковой производственной программе может быть разработано несколько вариантов технологических процессов. В зависимости от опыта технического персонала и местных производственных условий эти варианты часто отличаются друг от друга маршрутом и содержанием операций, являясь иногда равноценными по технико-экономической эффективности.

При сравнительно малом времени, отводимом на разработку процесса, возможность подкрепления принимаемых решений объективными технико-экономическими расчетами ограничена. Разрабатывая процесс, технолог вынужден в значительной мере руководствоваться своим опытом, а среди разработанных на одну и ту же деталь процессов разными технологиями наиболее целесообразного может и не оказаться.

На разработку однотипных технологических процессов в отдельности затрачивается много времени и средств, так как работа технологов многократно повторяется.

Идея типизации технологических процессов была выдвинута в конце 30-х годов проф. А.П. Соколовским, давшим следующее общее определение термина «типизация»: «Типизацией технологических процессов называем такое направление в деле изучения и построения технологии, которое заключается в классификации технологических процессов изготовления деталей машин и их элементов и затем в комплексном решении всех задач, возникающих при осуществлении процессов каждой классификационной группы».

В основе этой идеи лежит общее соображение о том, что затраты на проектирование процесса могут быть тем большими, чем большее количество деталей изготавливается по этому процессу.

Первым этапом типизации является классификация заготовок деталей машин.

Признаками для классификации заготовок являются:

- конфигурация заготовки;
- ее размеры;
- точность обработки и качество обрабатываемых поверхностей;
- материал заготовки.

В основу построения технологической классификации заготовок проф. А.П. Соколовский принимает классы, которые, в свою очередь, подразделяются на подклассы, группы и подгруппы.

Классом заготовки называется совокупность заготовок, характеризующихся общностью технологических задач, решаемых в условиях определенной конфигурации этих заготовок. По классификации А.П. Соколовского предусмотрено 14 классов (валы, втулки, диски, эксцентриковые заготовки, крестовины, рычаги, плиты, угольники, бабки, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали).

При этом указывается, что к этой классификации, имеющей общий машиностроительный характер, целесообразно добавлять новые классы заготовок, характерные для отдельных отраслей промышленности.

Разбивка классов на подклассы, группы и подгруппы заканчивается типом.

Под **типом** подразумевается совокупность заготовок одного класса, имеющих в определенных производственных условиях одинаковый маршрут типовых операций. При этом типовая технологическая операция характеризуется единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Таким образом, под **типом** понимается совокупность заготовок, имеющих план операций, осуществляемый в основном одинаковыми способами (однородное оборудование, одинаковое качество установов, приспособлений и инструментов).

Практически к одному типу относятся заготовки, для которых можно составить общую карту типового процесса. В пределах типа допускаются некоторые отклонения в порядке обработки. Возможно исключение или добавление некоторых (нехарактерных) переходов и даже операций, например, сверления неточных отверстий.

Вне зависимости от конкретной системы классификации на первом этапе выявляется группа деталей, обладающих минимумом отличительных признаков.

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый план (маршрут) операций, осуществляемых на однородном оборудовании с применением однотипных приспособлений и инструментов.

Разработка классификаций деталей сочетается с унификацией и нормализацией их конструкций. Это позволяет применять при их изготовлении более прогрессивную технологию, а также сократить номенклатуру оборудования и оснастки.

Следующим этапом типизации является разработка принципиально общего технологического процесса с установлением типовых последовательностей и содержания операций, типовых схем базирования и типовых конструкций оснастки. Если детали достаточно полно унифицированы, то на них составляют одну технологическую карту с нормами времени. При меньшей степени унификации разрабатывают как обязательный образец принципиальный технологический процесс, на базе которого составляют технологические процессы для конкретных деталей.

Разработка типовых технологических процессов – задача отраслевых НИИ и крупных заводов.

Технологу, пользующемуся типовым технологическим процессом при разработке процесса на заданную деталь, остается лишь в той мере изменить типовой, в какой это требуют особенности детали и конкретные условия, отличающиеся от предусмотренных в типовом процессе.

Процесс на заданную деталь будет разработан быстро, но окажется на столь же высоком уровне, как и всесторонне обоснованный типовой процесс.

Групповые технологические процессы

В серийном производстве на каждом рабочем месте выполняют несколько операций. Переход от одной к другой операции вызывает простои оборудования при его переналадке. Однако, при соответствующем построении технологических процессов и проведении соответствующих организационных мероприятий в серийном производстве осуществимы **принципы поточно-массового** производства. Это достигается применением групповых технологических процессов, выполняемых на групповых поточных линиях.

Групповой технологический процесс представляет собой единый технологический процесс, разработанный на некоторую группу специально подобранных деталей.

Для создания такого процесса, как и при разработке типового технологического процесса, группу деталей заменяют одной «комплексной» деталью, содержащей все поверхности каждой из деталей, входящих в груп-

пу (рис. 13.5). Комплексная деталь может быть реальной деталью группы или воображаемой. Процесс, разработанный на комплексную деталь, пригоден для любой детали группы, но только при его выполнении (с целью получения этой детали), нужно пропускать (т.е. не выполнять) те операции или переходы, которые не требуются для этой детали.

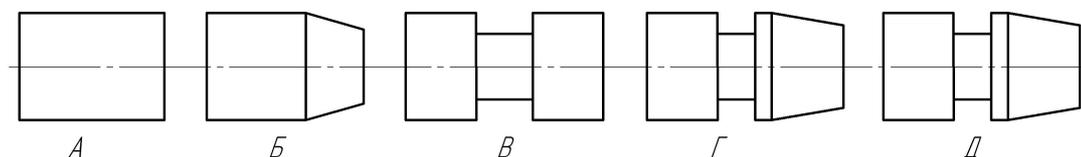


Рис. 13.5. Пример группы деталей *А, Б, В, Г* и замены ее одной комплексной деталью *Д*

Деталь *Д* является комплексной для данной группы, поскольку у нее имеются все поверхности других деталей группы.

Технологический процесс комплексной детали дает следующие возможности:

1). Если заданная точность всех поверхностей, помеченных одинаковыми цифрами, одинакова, то план обработки (последовательность операций и переходов) комплексной детали может служить планом обработки для любой из остальных деталей группы (с пропуском ненужных операций или переходов).

2). Если помеченные одинаковыми цифрами поверхности одинаковы по своим размерам, то для любой из деталей группы не требуется иных мерных инструментов или иной установки инструментов на выполняемые размеры, кроме тех, что необходимы для комплексной детали. Иначе говоря, любую из деталей группы можно изготовить без переналадки станка на выполняемые размеры.

3). Если линейные размеры поверхностей, помеченных одинаковыми цифрами, одинаковы, то любую из деталей можно изготовить без переналадки станка на продольные размеры.

В таком наиболее выгодном случае все детали группы можно было бы изготовить вовсе без какой-либо переналадки станка.

В производственном отношении это равноценно увеличению серийности выпуска комплексной детали. Если в силу малого заданного выпуска каждой отдельной детали станок не может быть загружен только одной деталью, то теперь загрузка его увеличится и может приблизиться к полной загрузке станка во времени, т.е. за станком можно будет закрепить обработку одной этой группы из n деталей, используя его без переналадок. Условия эксплуатации станут такими же, как в массовом производстве с той лишь разницей, что он будет занят не одной деталью, а группой деталей.

В рассмотренном случае детали обрабатывались в одну операцию. Эти же принципы осуществимы и при необходимости разделения технологического процесса на ряд операций.

При этом, обеспечив для всех потребных станков столь высокую загрузку, чтобы не было необходимости догружать их другими операциями, можно получить поточную линию.

Разница по сравнению с условиями массового производства будет лишь в том, что эта линия будет многопредметной, групповой.

Однако, детали, изготовленные по групповому технологическому процессу, это хотя и сходные, но все же разные детали.

Поэтому вовсе исключить какую-либо переналадку станков при выполнении группового процесса удастся только в некоторых особо благоприятных случаях. Высокая степень концентрации операций в любом процессе, тем более в групповом, оправдываются, прежде всего, при условии автоматического получения размеров. Для этого необходимы определенные приспособления для детали и постоянная или быстро восстанавливаемая наладка инструментов на размер. Проще всего переналадка исключается на станках, конструкция которых специально рассчитана на многопереходные операции (револьверные, многорезцовые автоматы и т.п.).

В случае, когда необходимы разные приспособления для деталей, входящих в группу, или невозможно связать со станком нужное количество инструментов, для уменьшения времени на переналадку применяют особые средства. К ним относятся быстро переналаживаемые с детали на деталь (групповые) приспособления, многоместные приспособления для инструментов, специальные станки и т.п.

Новым методом проектирования технологических процессов является метод, основанный на модульном принципе их построения [9-12]. Используя идеи создания типовых и групповых техпроцессов, этот метод предусматривает два принципиально новых положения:

- 1) независимость технологических процессов от конкретных условий каждого предприятия;
- 2) независимость классификации деталей от технологических признаков.

Для реализации такого подхода необходимо разрабатывать унифицированные процессы, которые, с одной стороны, будут учитывать имеющиеся в машиностроении технологические средства, а с другой – учитывать последние достижения науки и техники. Устранение противоречий, заложенных в этом подходе, достигается путем приспособления технологии к изделию и классификации изделий по служебному назначению. В ка-

честве объекта классификации принято сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения законченной служебной функции детали, названных модулем поверхностей. Модули поверхностей деталей, получившие название конструкторских, разделяются на три класса: рабочие, базирующие и связующие. Классы в свою очередь делятся на подклассы, в которые входят соответственно совокупности поверхностей простой и сложной формы, далее каждый подкласс делится на две группы: по характеру геометрии поверхностей и по характеру функций, выполняемых поверхностями. Модули поверхностей также объединяются в группу, характеризующуюся изготовлением по одному технологическому процессу, и называются интегральным модулем поверхностей.

Номенклатура типов модульных поверхностей ограничена 26 наименованиями, что открывает широкие возможности для типизации и унификации технологического обеспечения их изготовления. Однако нет полной уверенности; что предлагаемая номенклатура охватывает все возможные сочетания поверхностей. Тем более что зачастую подразделить поверхности на базирующие, рабочие и связующие бывает довольно затруднительно. Например, для шпинделя или вала станка, устанавливаемого на гидродинамических или гидростатических опорах базирующие и рабочие поверхности могут совпадать, а связующие - служить рабочими. Кроме того, вводимый комплект конструкторских баз из 24 наименований дополняется комплектом технологических баз, например, для приспособлений в количестве 14 наименований, что резко увеличивает общее количество базирующих поверхностей и затрудняет их выбор.

Организация производственных процессов для модульных технологий осуществляется по поточной форме, согласно которой заготовки сначала поступают в отделение формирования партий, где из них образуют партии в соответствии со специализацией станков. Партий будет столько, сколько у детали интегральных модульных поверхностей, а значит, будет такое же количество переформирований деталей из партии в партию и движений партий на специальные станки. Такая схема организации производства представляется довольно сложной и трудоемкой.

В модульном производстве станки должны создаваться для определенной технологии и быть сборно-разборными, а приспособления, инструментальная наладка и контрольно-измерительные средства должны иметь типаж основных элементов с учетом интегральных модулей и модулей поверхностей. Однако в настоящее время таких конструкций не существует, это дело будущего.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Структура курсовой работы

Целью курсовой работы является закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков по вопросам базирования и размерному анализу технологических процессов изготовления деталей машин.

Содержание курсовой работы

1. Базирование заготовок на станках и в приспособлениях

Содержание работы включает в себя решение двух типов задач (3 задачи первого и 3 задачи второго типов):

1.1. Разработать теоретическую схему базирования, обеспечивающую получение указанных на операционных эскизах заготовки линейных и угловых размеров наикротчайшим путем (принцип совмещения баз). Изобразить систему координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы лишают заготовку. Охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

1.2. По данной схеме установки заготовки в приспособлении изобразить теоретическую схему базирования, которая при этом реализуется. Изобразить систему координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы лишают заготовку. Охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

2. Размерный анализ технологического процесса изготовления детали

В соответствии с индивидуальным заданием, содержащим одну из проекций эскиза детали с указанием размерных параметров и предложенному варианту технологического процесса их получения необходимо изобразить размерную схему технологического процесса, назначить допуски на размеры исходной заготовки и размеры переходов, назначить минимально необходимые величины припусков на технологические переходы.

Выявить образующиеся технологические операционные размерные цепи по предложенному варианту технологического процесса и решить их по всем параметрам.

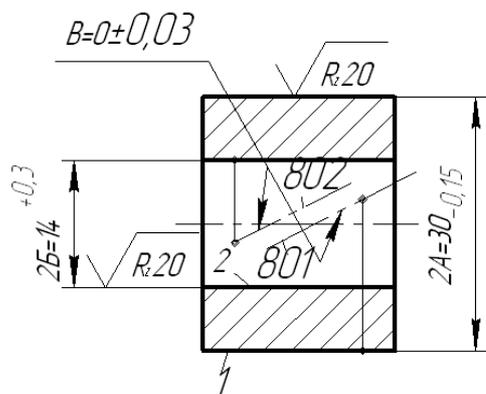
ПРИЛОЖЕНИЕ

ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

ВТУЛКА

(заготовка – стальной круглый прокат).

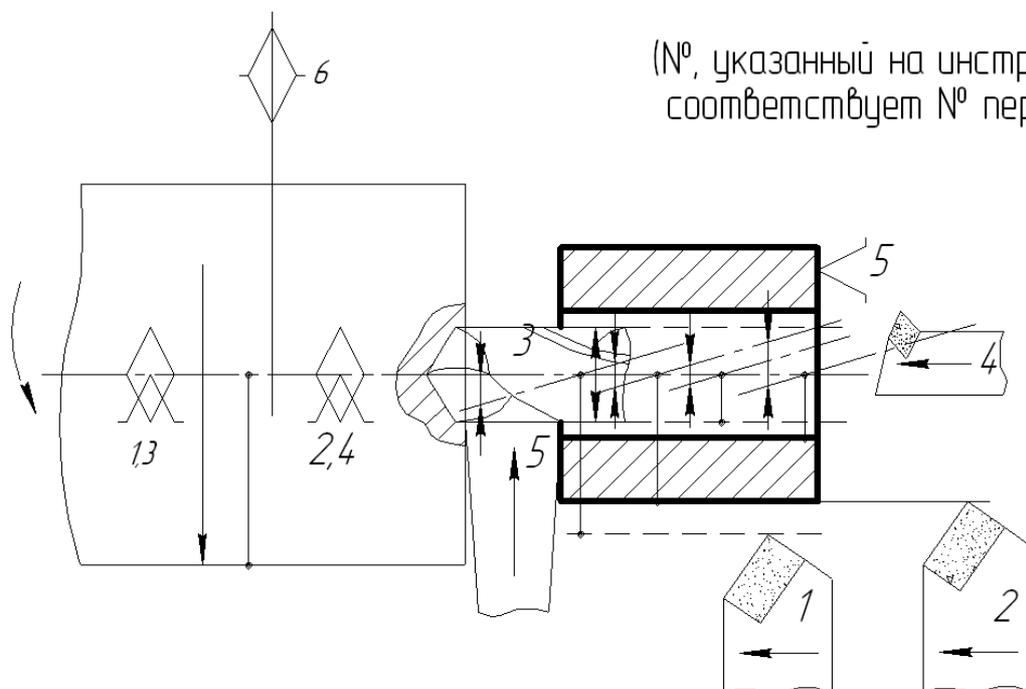


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 005. Токарно-револьверна

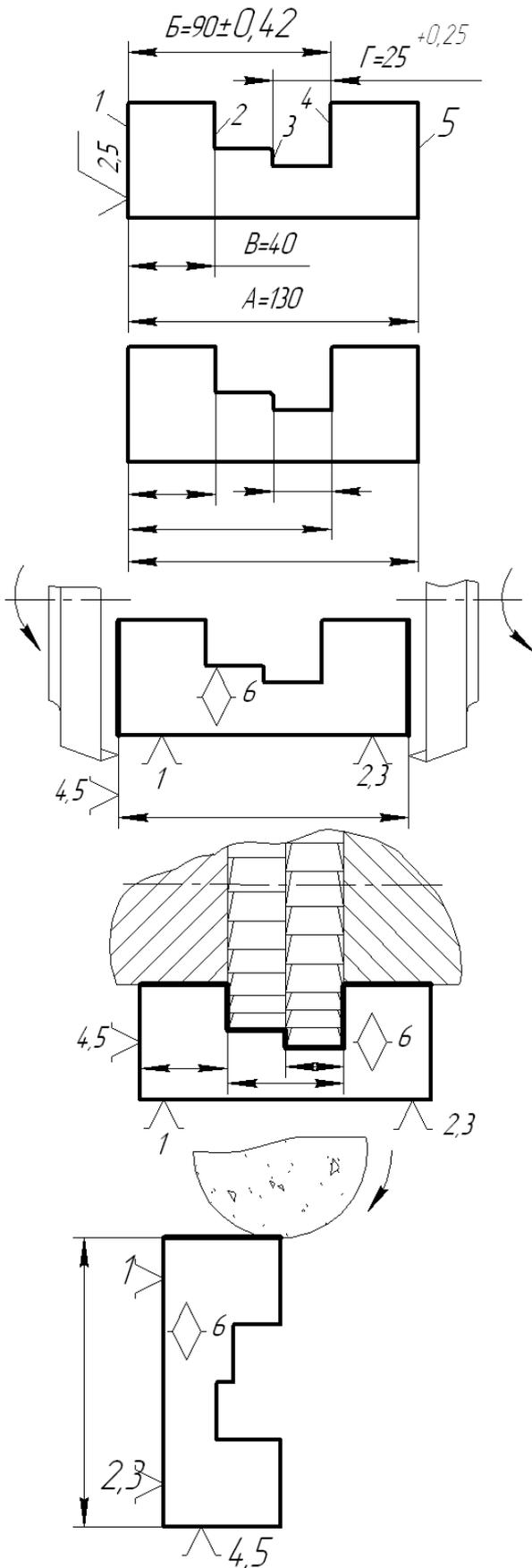
1. Обточить пруток начерно
2. Обточить пруток начисто
3. Сверлить отверстие
4. Расточить отверстие
5. Отрезать заготовку

(№, указанный на инструменте, соответствует № перехода)



ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№2



ПОЛЗУН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная паковка)

Операция 005.

Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1 и 5
одновременно

Операция 010.

Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2,3 и 4
набором фрез.

Операция 015.

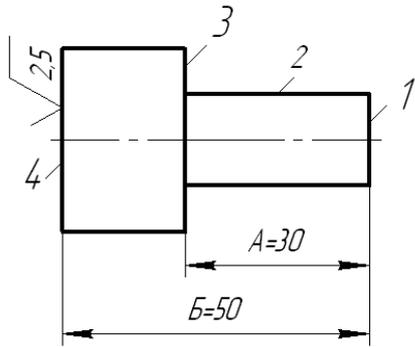
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№3

ПАЛЕЦ

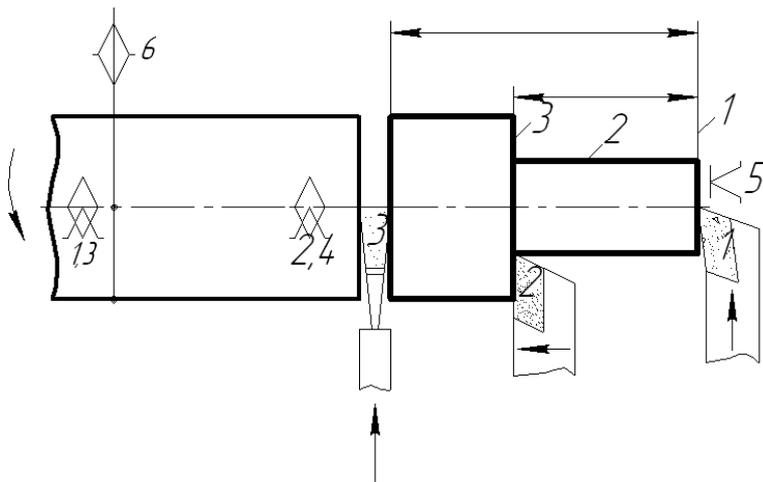
(заготовка – стальной
круглый прокат)



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

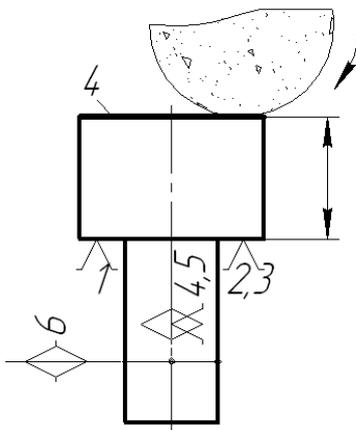
Операция 005. Токарно-винторезная.

1. Подрезать торец 1.
2. Точить поверхность 2.
с подрезкой торца 3.
3. Отрезать заготовку.

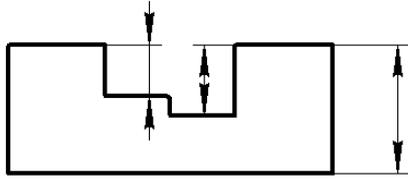
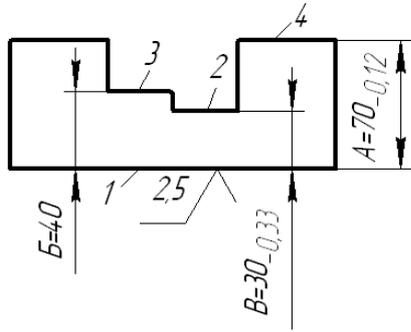


Операция 010. Плоскошлифовальная

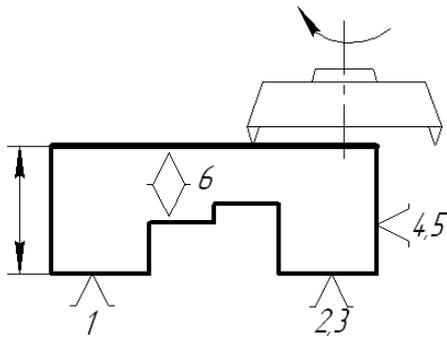
1. Шлифовать пов. 4



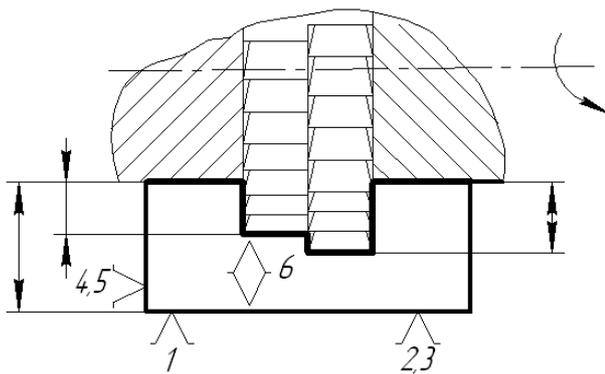
ВКЛАДЫШ



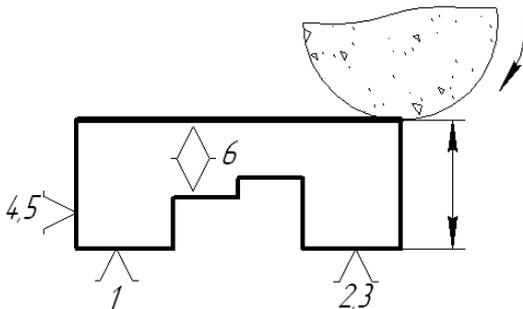
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1



Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2,3 и 4
набором фрез.

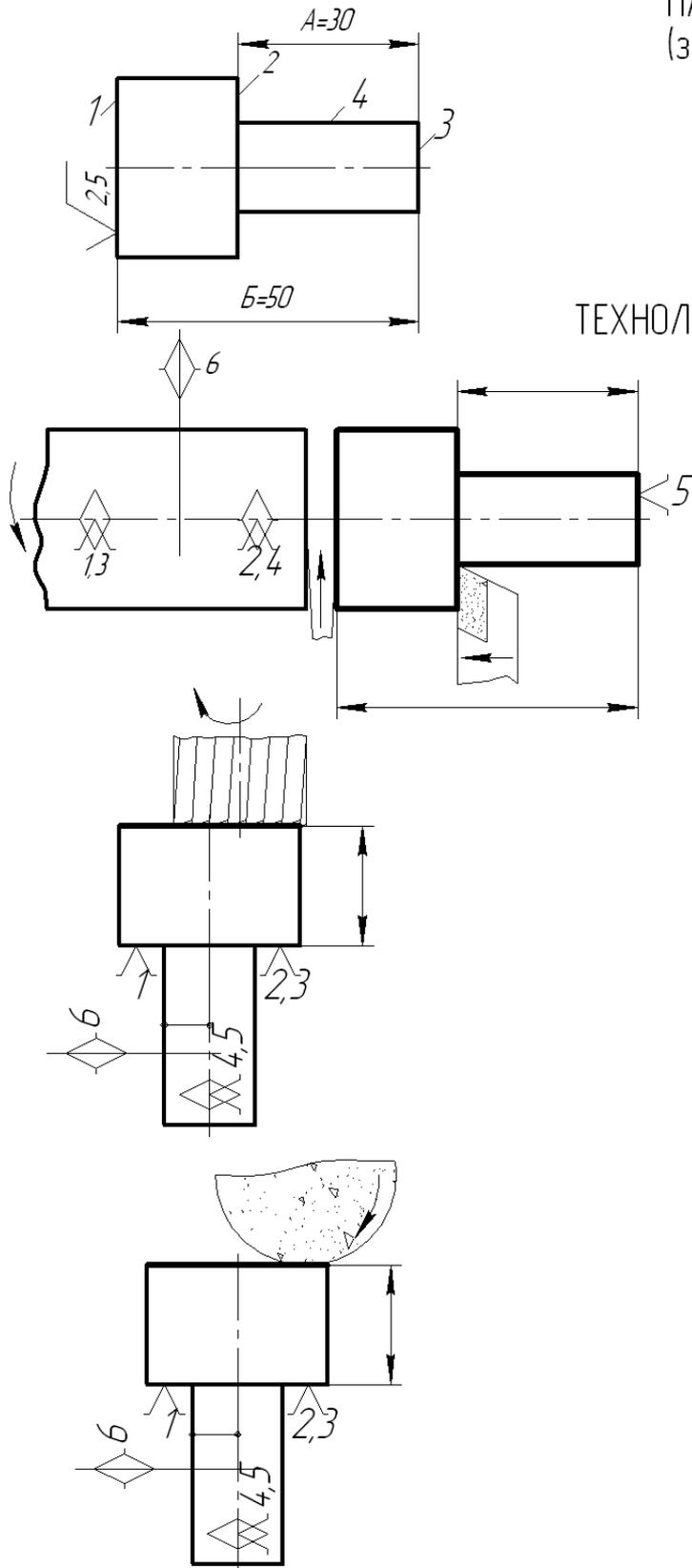


Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№5

ПАЛЕЦ
(заготовка – стальной круглый прокат)

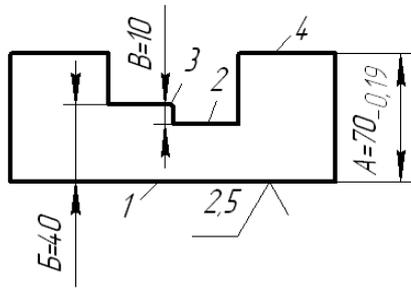


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 005. Токарная
1. Точить поверхность 4.
с подрезкой торца 2.
2. Отрезать заготовку.

Операция 010.
Вертикально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1

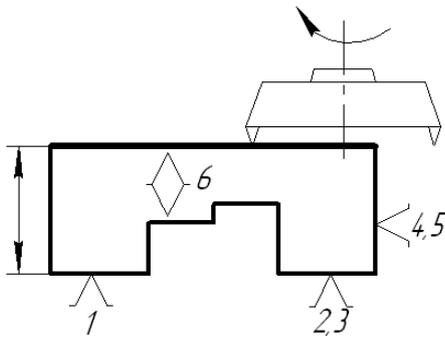
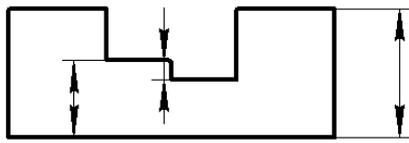
Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1



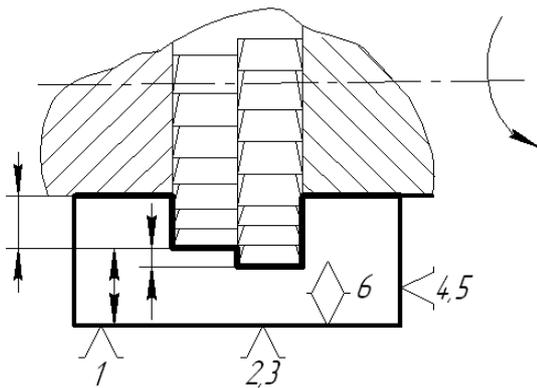
ПО/ЛЗУН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

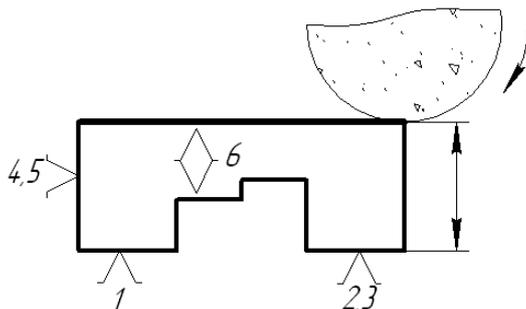
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – отливка из чугуна)



Операция 005.
Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1



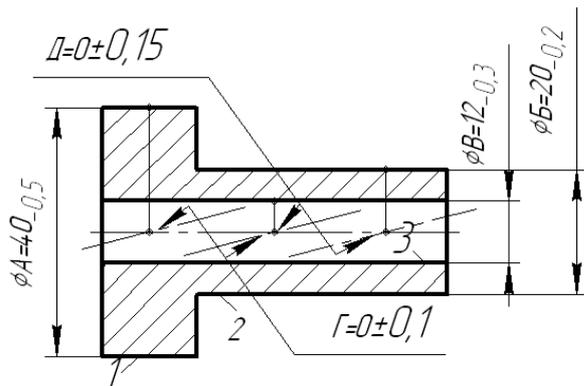
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2,3 и 4
набором фрез.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

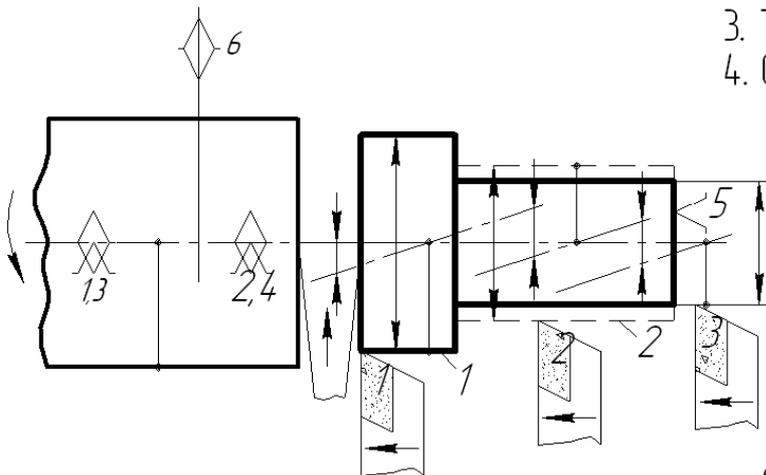
ВТУЛКА

(заготовка – стальной круглый прокат)



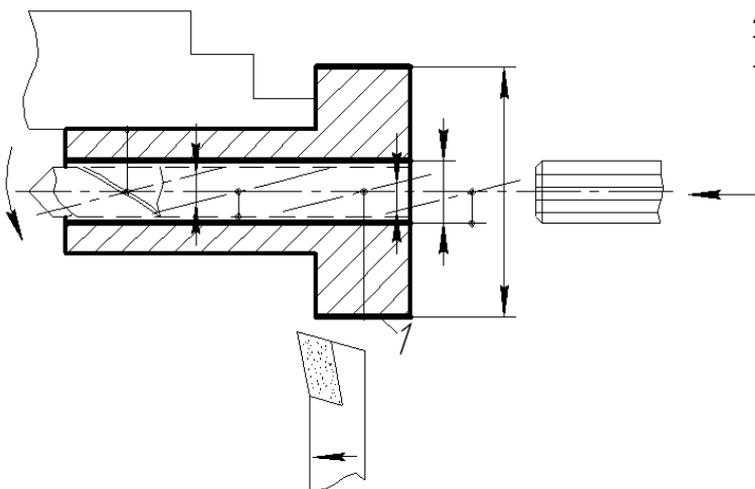
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

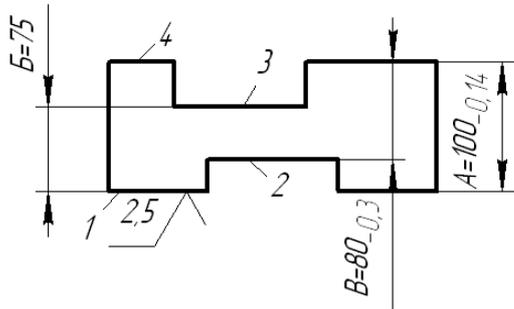
- Операция 005. Токарная
1. Точить пов. 1 начерно
 2. Точить пов. 2 начерно
 3. Точить пов. 2 начисто
 4. Отрезать заготовку



Операция 010. Токарная.

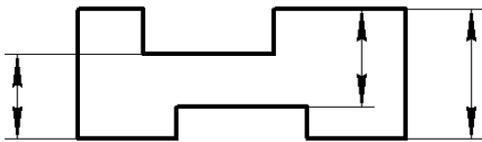
1. Точить пов. 1 начисто
2. Сверлить отверстие
3. Развернуть отверстие



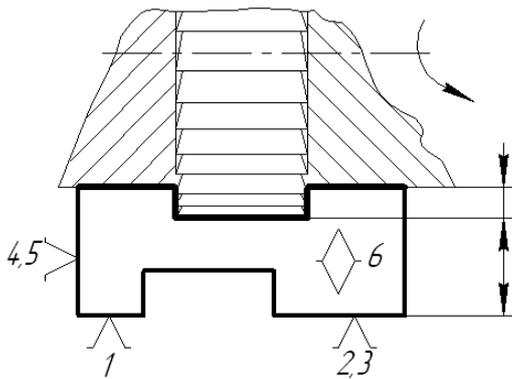


ВКЛАДЫШ

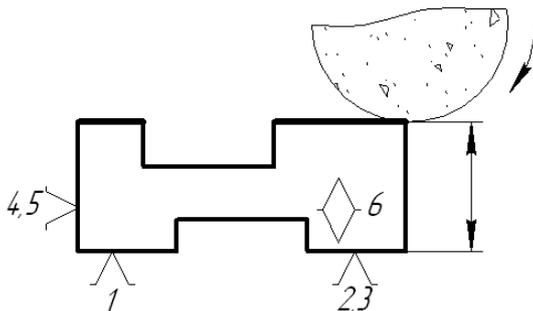
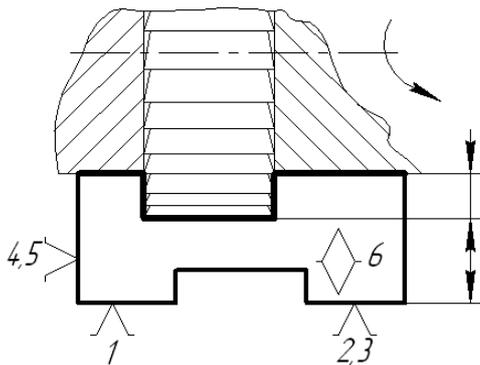
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1 и 2
набором фрез.



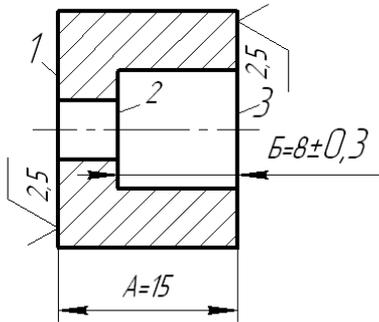
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 4
набором фрез.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

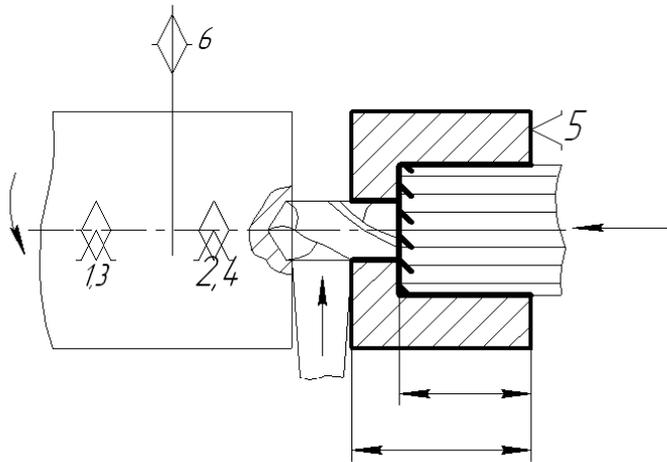
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№9

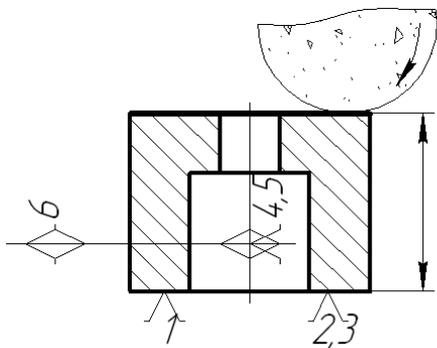


ВТУЛКА
(заготовка – стальной круглый прокат).

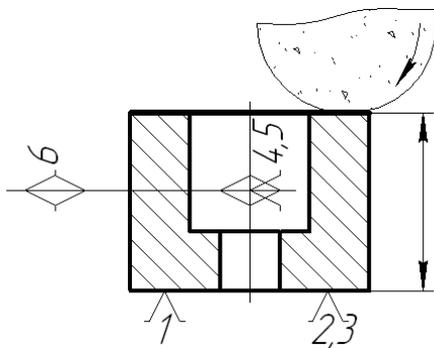
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:



Операция 005.
Токарно-револьверная.
1. Сверлить отверстие с одновременным зенкованием торца 2.



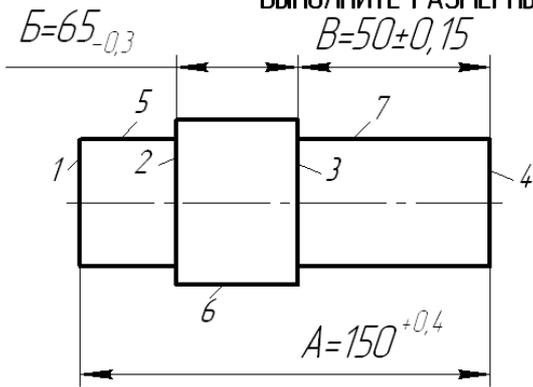
Операция 010.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать торец 1.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать торец 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

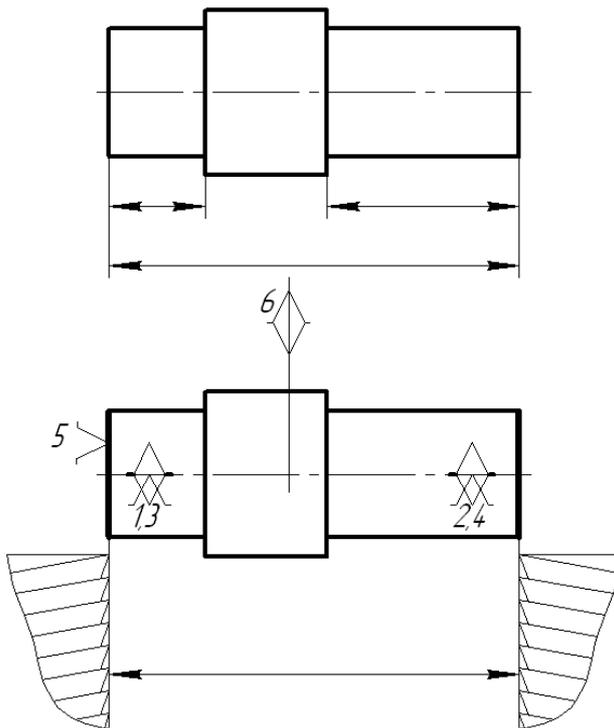
№10



ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

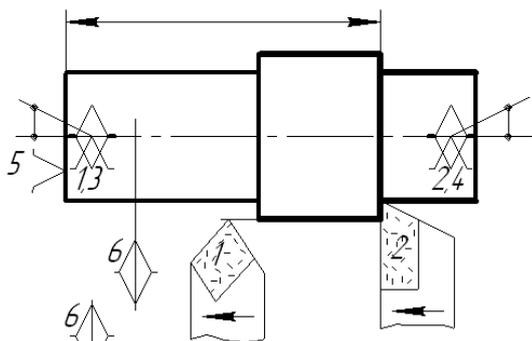
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.

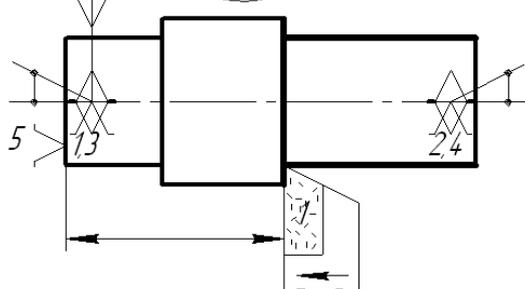
Фрезерно-центровальная.

1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.



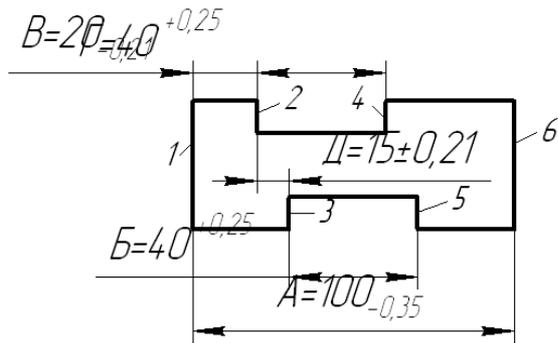
Операция 010. Токарная.

1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.



Операция 015. Токарная.

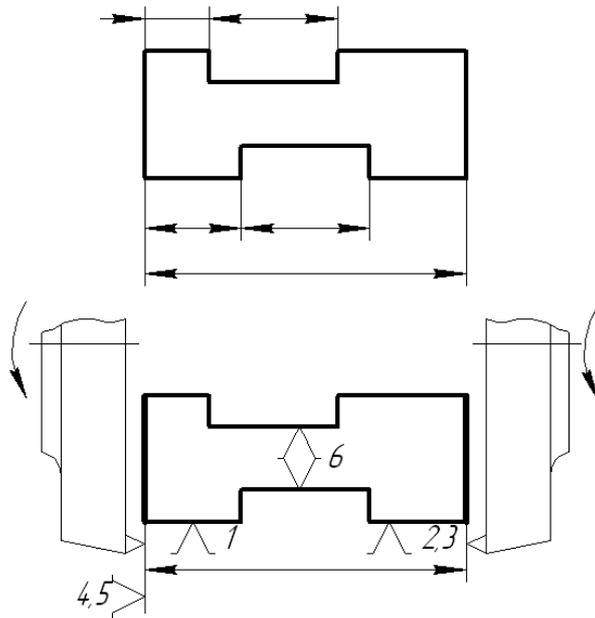
1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.



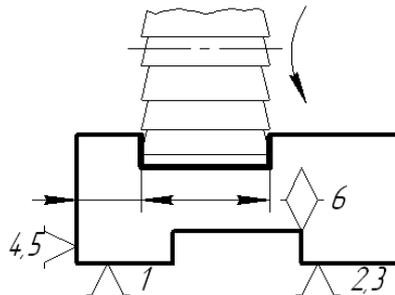
ПОЛЗУН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

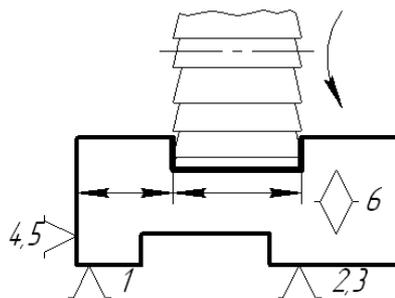
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 6
одновременно.



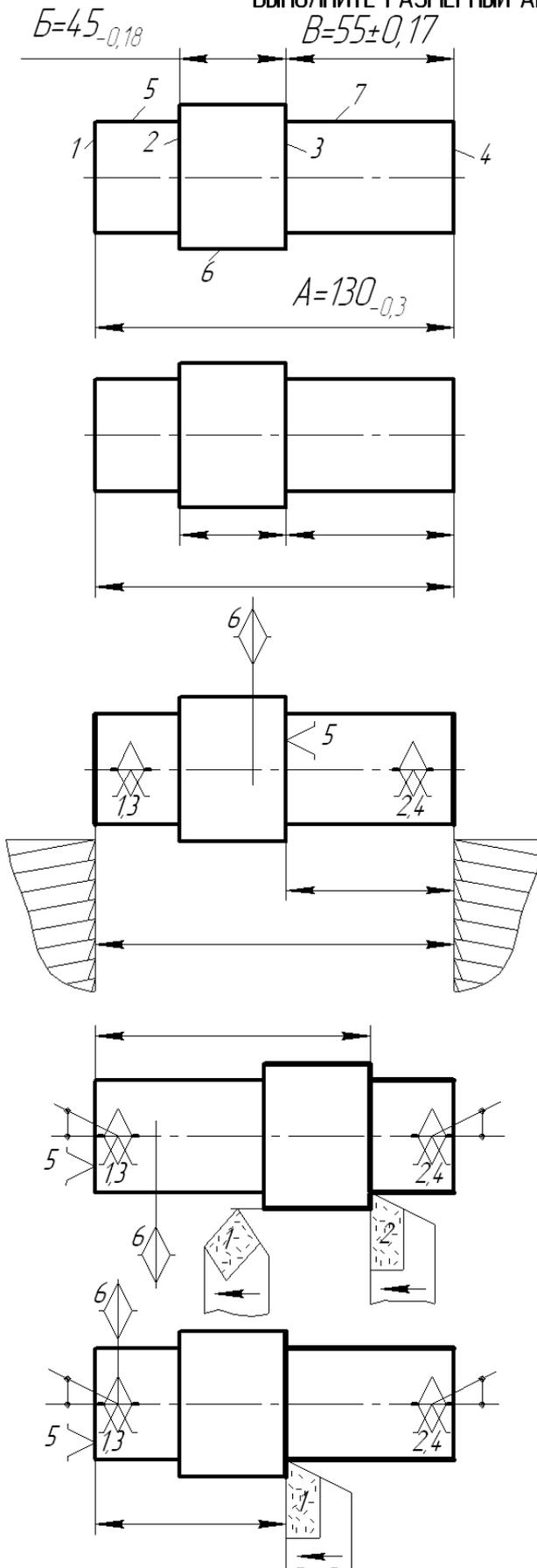
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2 и 4
одновременно.



Операция 015.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 5
одновременно.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№12



ось

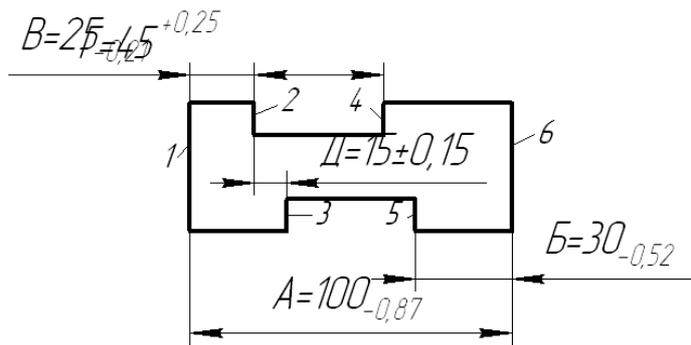
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)

Операция 005.
Фрезерно-центровальная.
1. Фрезеровать торцы 1 и 4
одновременно.

Операция 010. Токарная.
1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5
с подрезкой торца 2.

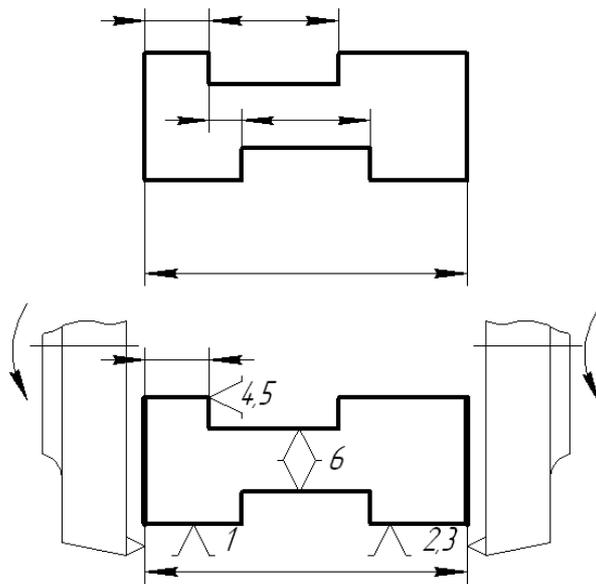
Операция 015. Токарная.
1. Точить пов. 7
с подрезкой торца 3.



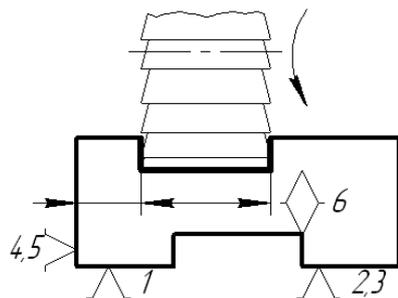
ПОЛЗУН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

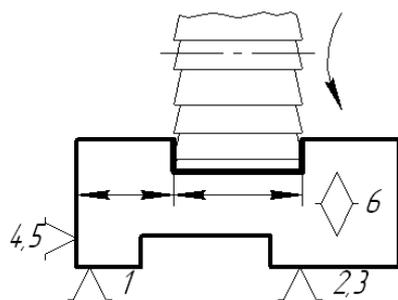
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – отливка из чугуна)



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 6
одновременно.



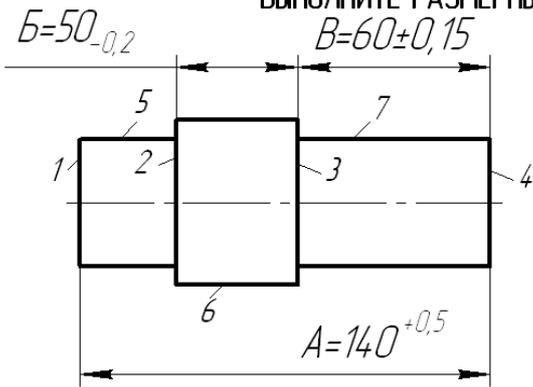
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2 и 4
одновременно.



Операция 015.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 5
одновременно.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

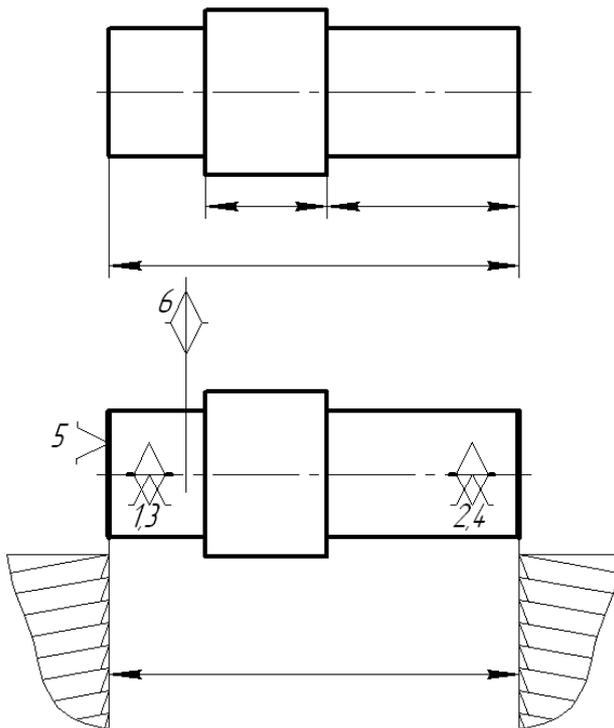
№14



ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

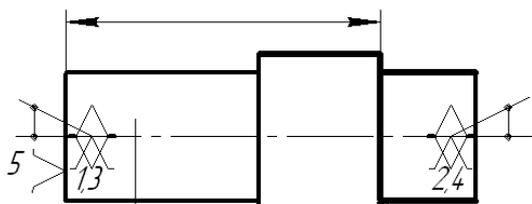
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.

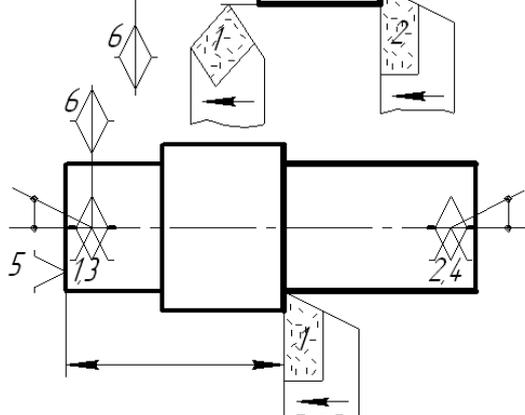
Фрезерно-центровальная.

1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.



Операция 010. Токарная.

1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.

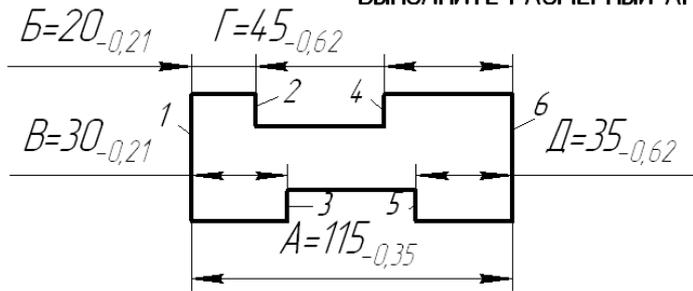


Операция 015. Токарная.

1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№15



ВКЛАДЫШ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

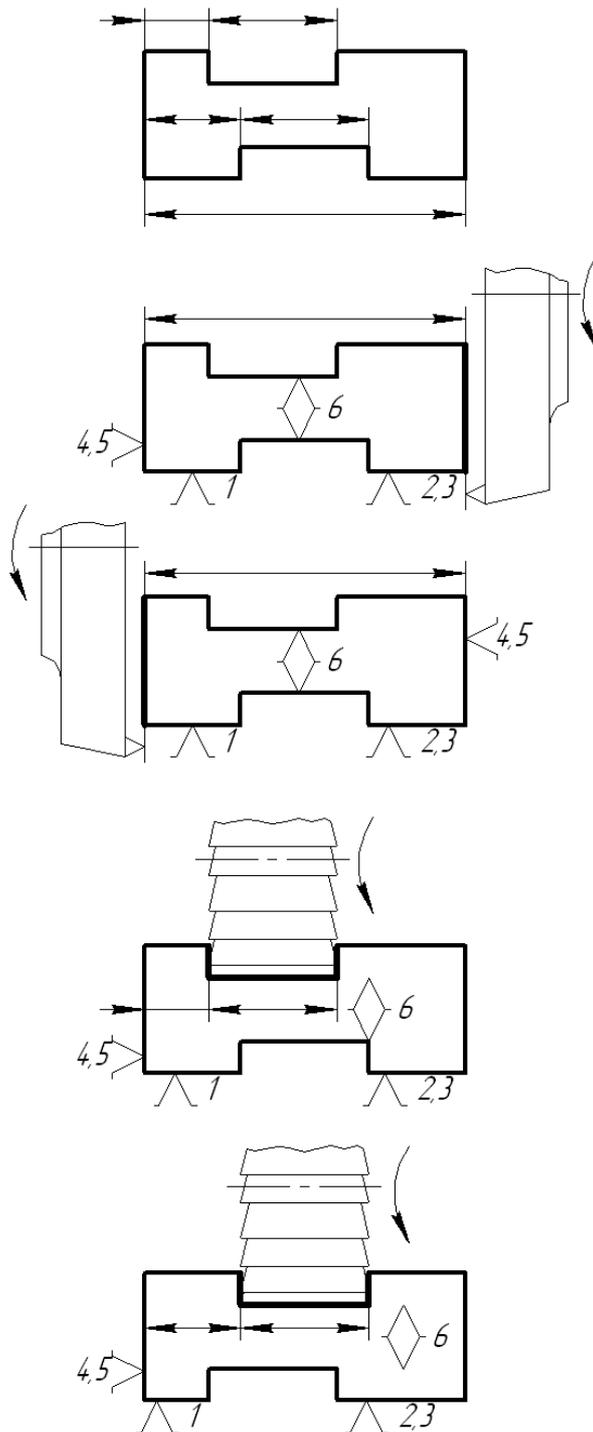
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)

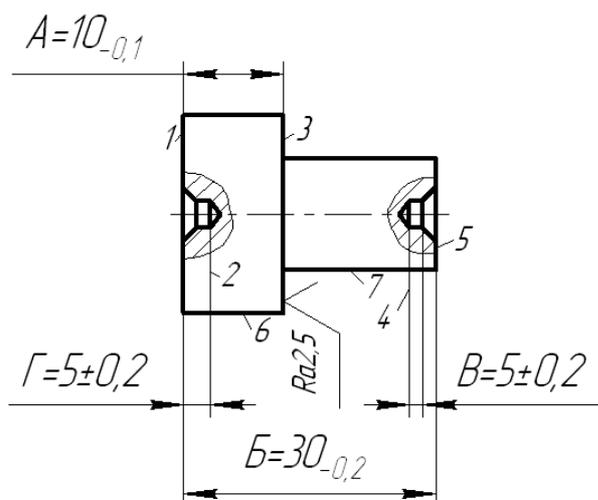
Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 6.

Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1.

Операция 015.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2 и 4
одновременно.

Операция 020.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 5
одновременно.





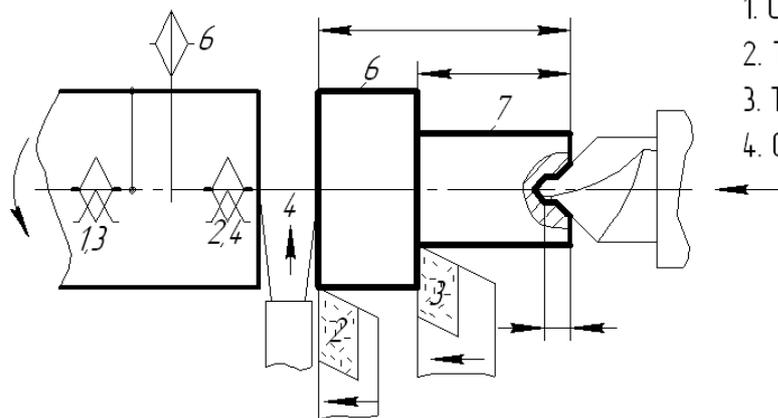
ПАЛЕЦ

(заготовка – стальной круглый прокат)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

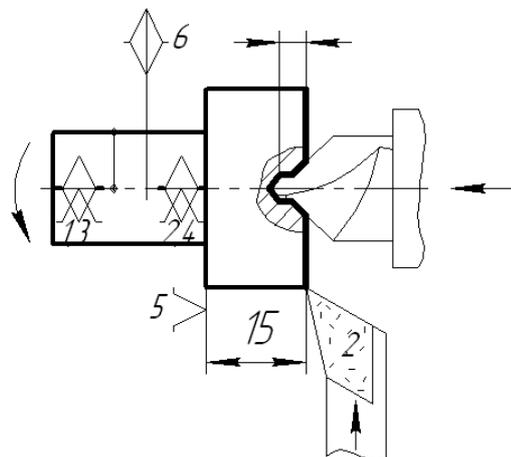
Операция 005. Токарная.

1. Сверлить центровое отверстие.
2. Точить пов. 6.
3. Точить пов. 7.
4. Отрезать заготовку.



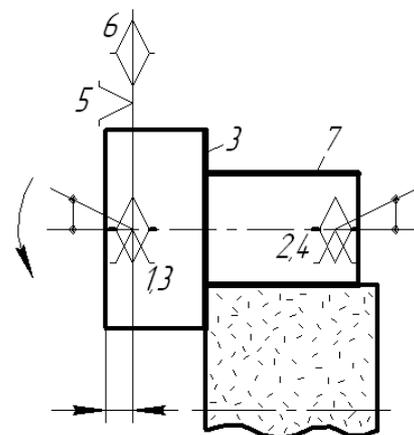
Операция 010. Токарная.

1. Сверлить центровое отверстие.
2. Подрезать торец 1.



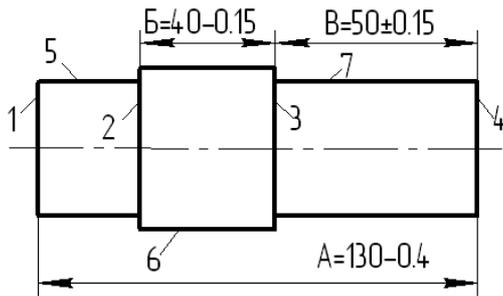
Операция 015. Кругло-шлифовальная.

1. Шлифовать пов.7 с одновременной шлифовкой торца 3.



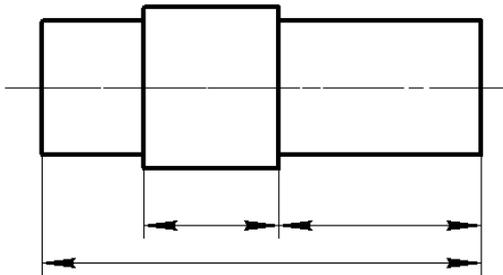
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№17

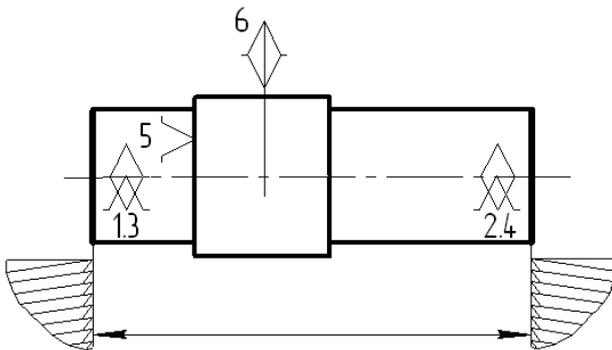


ось

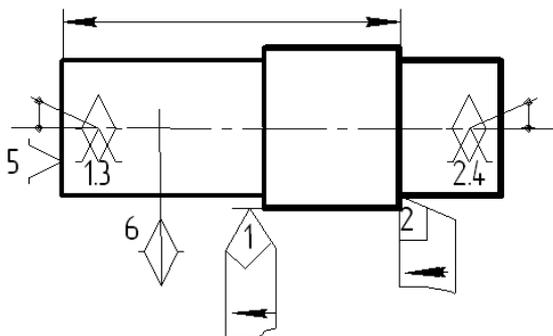
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:



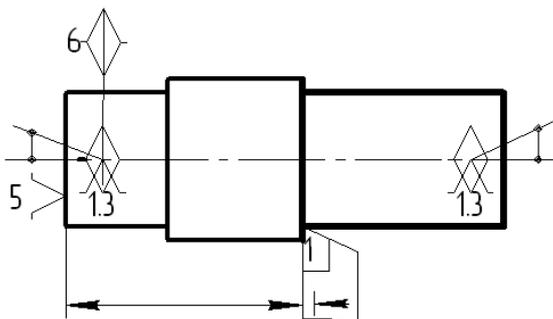
Операция 000. Заготовительная.
(заготовка – стальная поковка).



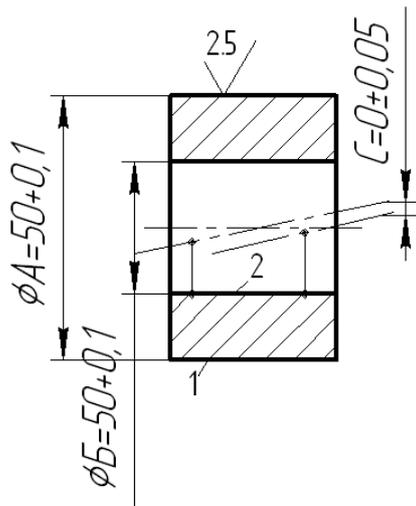
Операция 005.
Фзерно-центровальная.
1.Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.



Операция 010. Токарная.
1.Точить пов. 6.
2.Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.



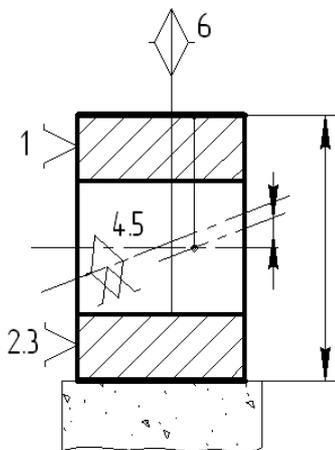
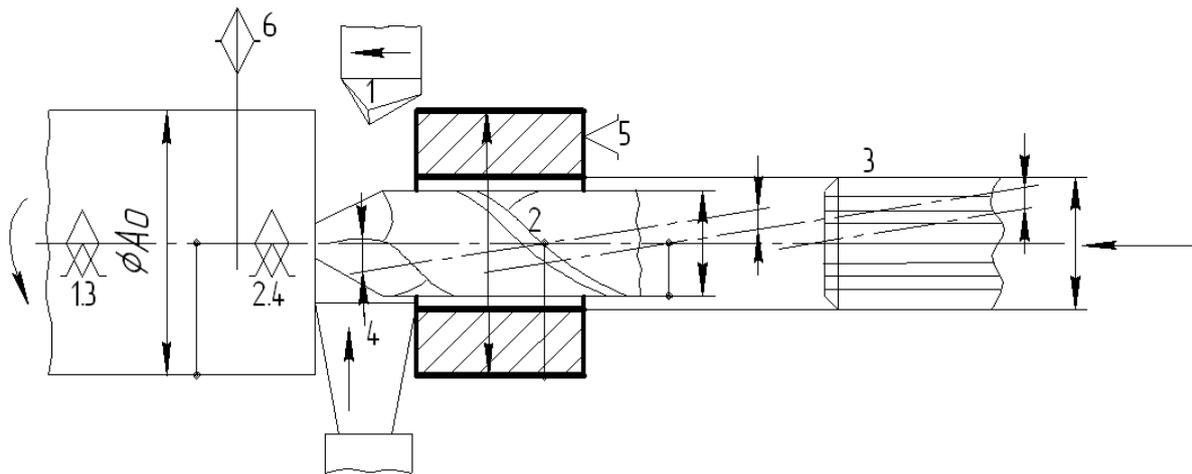
Операция 015. Токарная.
1.Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.



ВТУЛКА (ЗАГОТОВКА – СТАЛЬНОЙ КРУГЛЫЙ ПРОКАТ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

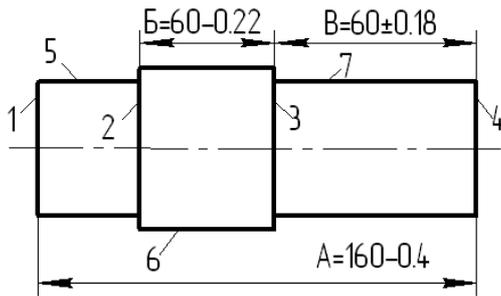
- Операция 005. Токарно – револьверная
- 1.Обточить пруток
 - 2.Сверлить отверстие
 - 3.Развернуть отверстие
 - 4.Отрезать заготовку



- Операция 010.
Круглошлифовальная.
- 1.Шлифовать наружную поверхность.

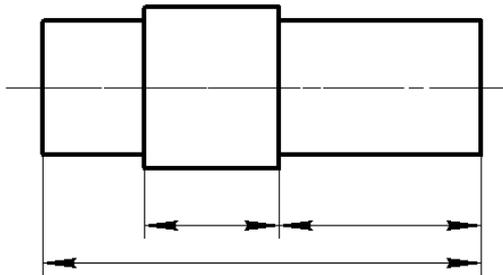
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№19

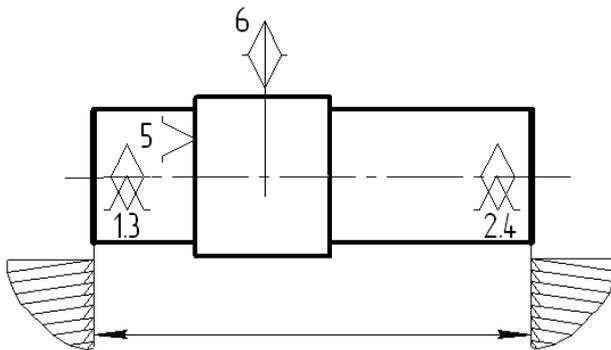


ось

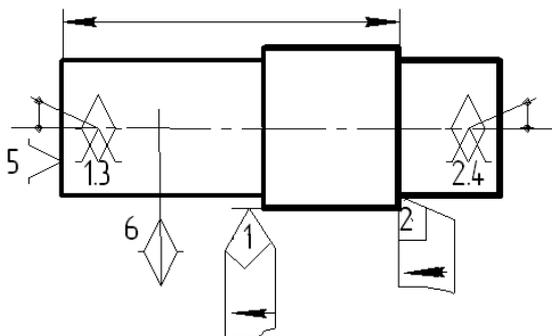
ТЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:



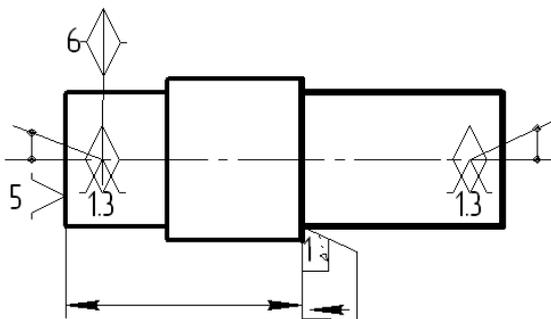
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Фзерно-центровальная.
1.Фрезеровать торцы 1 и 4одно-
временно.



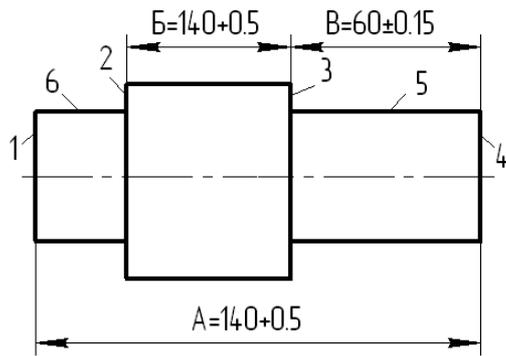
Операция 010. Токарная.
1.Точить пов. 6.
2.Точить пов. 5 с подрезкой
торца 2.



Операция 015. Токарная.
1.Точить пов. 7 с подрезкой
торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№20

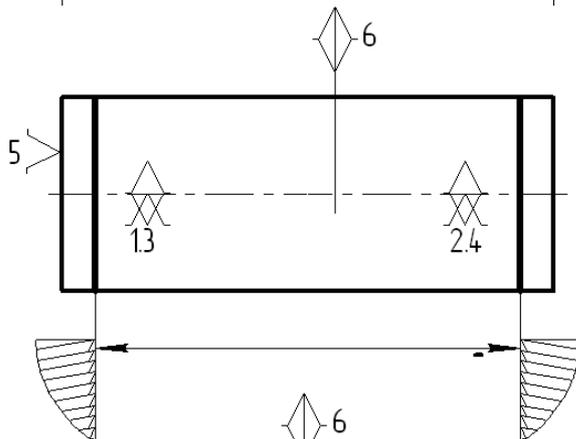
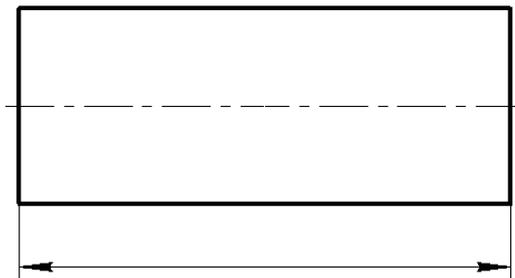


ОСЬ (заготовка – стальной круглый прут).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

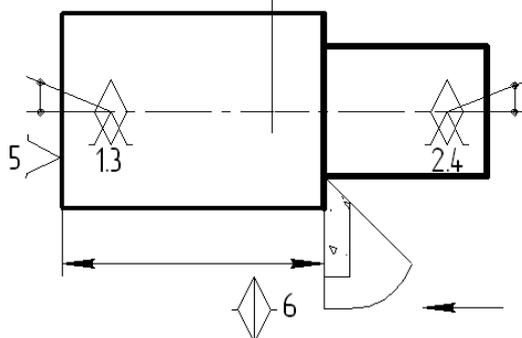
Операция 005. Отрезная.

1. Отрезать заготовку из прутка.



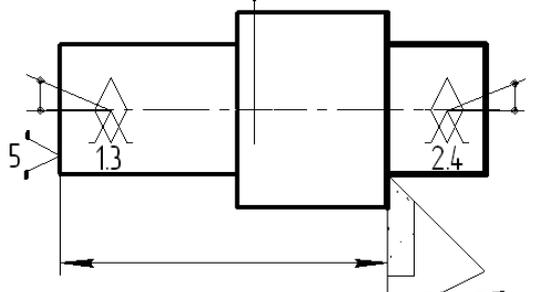
Операция 010. Фрезерно-центровальная.

1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.



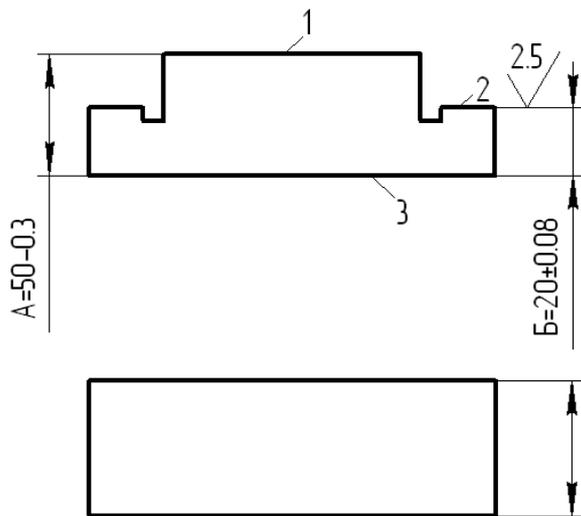
Операция 015. Токарная.

1. Точить пов. 5 с подрезкой торца 3.



Операция 020. Токарная.

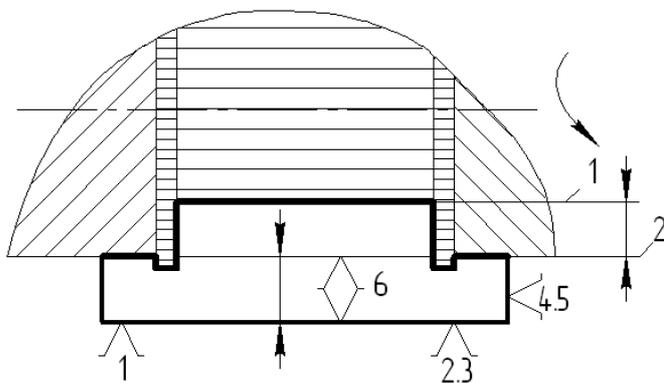
1. Точить пов. 6 с подрезкой торца 2.



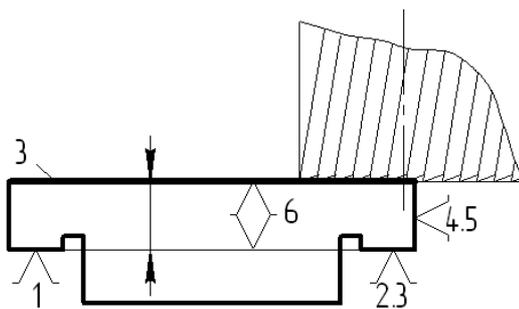
ПОЛЗУН (заготовка-стальной лист)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

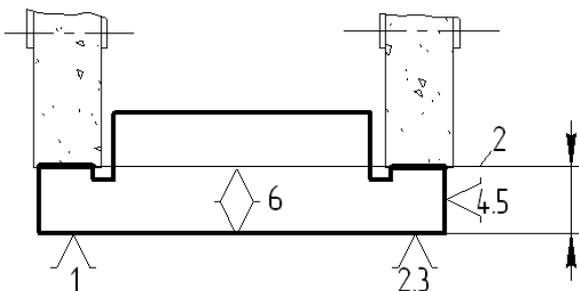
Операция 000. Заготовительная.
1. Вырезать заготовку из листа.



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 2 набором фрез.



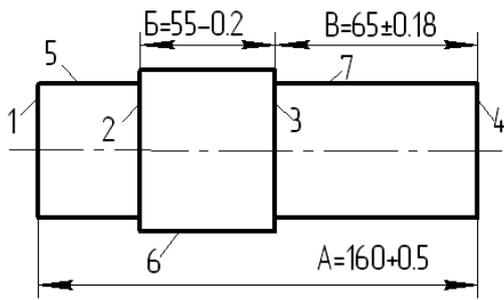
Операция 010.
Вертикально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3.



Операция 015. Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 2.

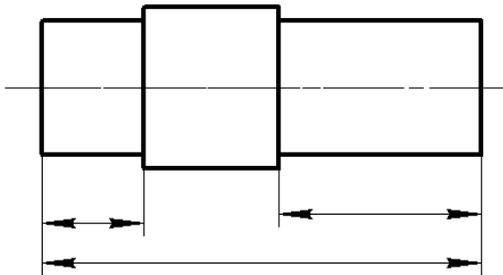
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№22

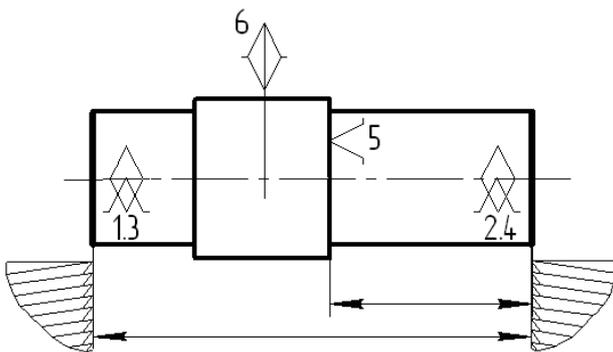


ось

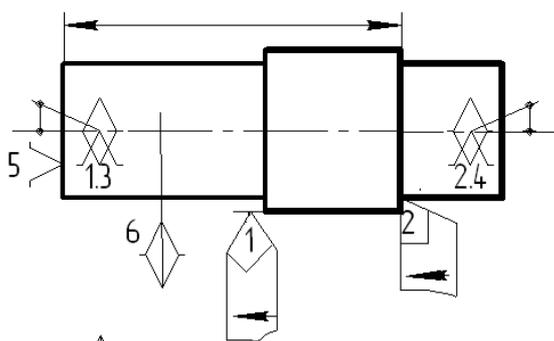
ТЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:



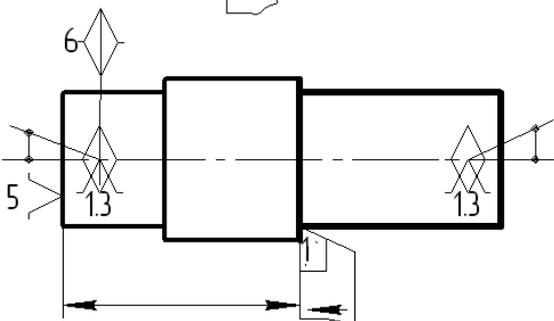
Операция 000. Заготовительная.
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Фзерно-центровальная.
1.Фрезеровать торцы 1 и 4одно-
временно.



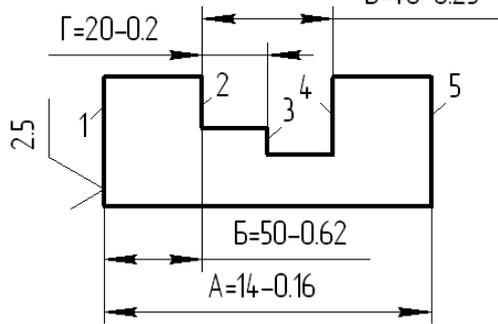
Операция 010. Токарная.
1.Точить пов. 6.
2.Точить пов. 5 с подрезкой
торца 2.



Операция 015. Токарная.
1.Точить пов. 7 с подрезкой
торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА
 $B=40-0.25$

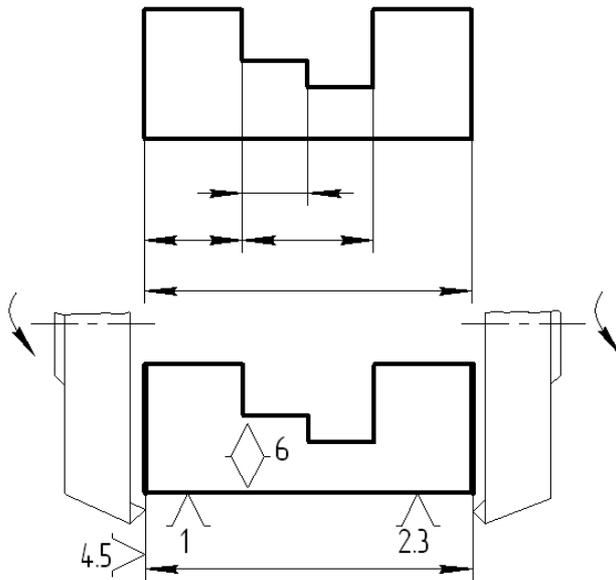
№23



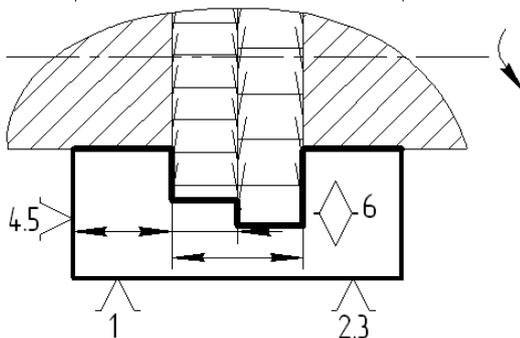
ПО/ЗУН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

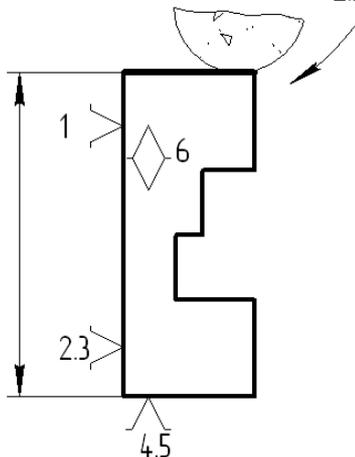
Операция 000. Заготовительная.
 (заготовка-отливка из чугуна).



Операция 005.
 Горизонтально-фрезерная.
 1.Фрезеровать пов. 2,3 и 4 набором фрез.



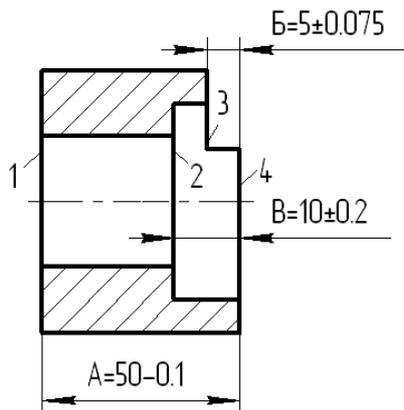
Операция 010.
 Горизонтально-фрезерная.
 1.Фрезеровать пов.1 и 5 одновременно.



Операция 015.
 Плоскошлифовальная.
 1.Шлифовать пов. 1.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

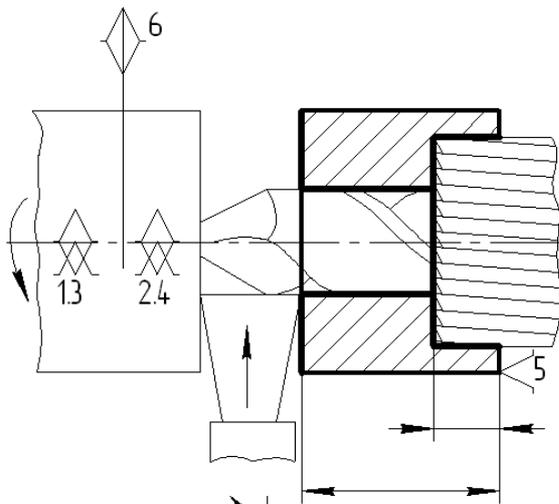
№24



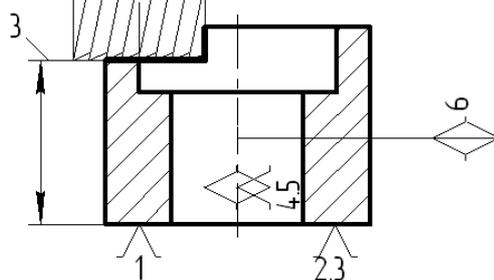
ВТУЛКА (ЗАГОТОВКА – СТАЛЬНОЙ КРУГ ЛЫЙ ПРОКАТ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

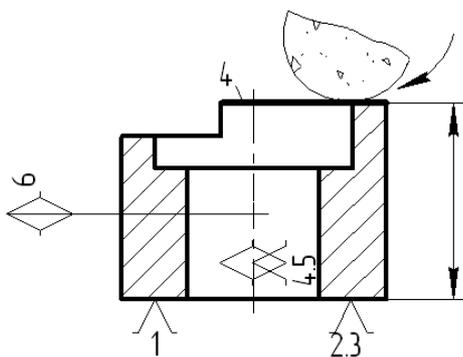
Операция 005. Токарно – револьверная.
 1.Сверлить отверстие с одновременным
 зенкерованием торца 2.
 2.Отрезать заготовку.



Операция 010.
 Вертикально-фрезерная.
 1.Фрезеровать пов.3.



Операция 015.
 Плоскошлифовальная.
 1.Шлифовать торец 4.



Учебное издание

ПОПОК Николай Николаевич
АБРАМОВ Владимир Иванович

ОСНОВЫ
ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебно-методический комплекс
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»
и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного
производства»

В авторской редакции

Компьютерная верстка и техническое редактирование *Т.В. Булах*

Дизайн обложки *В.А. Виноградовой*

Подписано в печать 07.10.2009. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная
Ризография. Усл. печ. л. 11,14. Уч.-изд. л. 10,7. Тираж 99 экз. Заказ 1671

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009 ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29