

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

А.В. Гропянов, Н.Н. Ситов, М.Н. Жукова

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Учебно-методическое пособие
к практическим и лабораторным занятиям**

Санкт-Петербург

2017

А.В. Гропянов, Н.Н. Ситов, М.Н. Жукова

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Учебно-методическое пособие
к практическим и лабораторным занятиям**



Санкт-Петербург

2017

УДК 621(075)
ББК 34.4я7
Г 878

Гропянов А.В., Ситов Н.Н., Жукова М.Н. Основы технологии машиностроения: учебно-методическое пособие к практическим и лабораторным занятиям/ ВШТЭ СПбГУПТД.-СПб., 2017.-68 с.

Приведены основные этапы проектирования технологического процесса механической обработки деталей машин, рассмотрены технологические задачи при их изготовлении. Предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Рецензенты: зам. директора института безотрывных форм обучения ВШТЭ СПбГУПТД, канд. техн. наук, доцент В.О. Варганов;
доцент кафедры строительной физики и химии СПбГАСУ канд. физ-мат. наук Ю.А. Машков

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой материаловедения и технологии машиностроения Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (протокол №7 от 25.02.2017).

Утверждено к изданию методической комиссией института технологии ВШТЭ СПбГУПТД (протокол №4 от 24.03.2016).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве учебно-методического пособия.

Редактор и корректор Т.А.Смирнова
Техн. редактор Л.Я. Титова
Компьютерный набор и верстка М.С. Локтевой

Темплан 2017 г., поз.71

Подп. к печати 01.06.2017. Формат 60x84/16. Бумага тип. №1.

Печать офсетная. Объем 4,25 печ. л., 4,25 уч.-изд.л.

Тираж 50 экз. Изд. № 71. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

© Высшая школа технологии и энергетики
СПбГУПТД, 2017
© А.В. Гропянов, Н.Н. Ситов,
М.Н. Жукова, 2017

Учебное издание

Антон Васильевич Гропянов
Николай Николаевич Ситов
Мария Николаевна Жукова

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебно-методическое пособие к практическим и лабораторным занятиям

Редактор и корректор Т.А.Смирнова
Техн. редактор Л.Я. Титова
Компьютерный набор и верстка М.С. Локтева

Темплан 2017 г., поз.71

Подп. к печати 01.06.2017. Формат 60х84/16. Бумага тип. №1.

Печать офсетная. Объем 4,25 печ. л., 4,25 уч.-изд.л.

Тираж 50 экз. Изд. № 71. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

Введение

Технология машиностроения является одним из профилирующих курсов в учебном плане подготовки инженера-механика ЦБП. Курс завершает цикл машиностроительных дисциплин, суммирующих знания, полученные студентами на предшествующих стадиях обучения. Знание основ технологии машиностроения способствует более глубокому пониманию особенностей конструкций оборудования ЦБП и является базой для организации эффективной эксплуатации и ремонта оборудования.

Курс «Основы технологии машиностроения» включает в себя цикл лекций, практические занятия, лабораторные работы и завершается курсовым проектом.

Настоящее учебно-методическое пособие имеет цель дополнить теоретический курс практическими его приложениями и привить навыки в разработке технологического процесса, оформлении технологической документации и анализе факторов, определяющих качество машиностроительной продукции.

Изложена методика выполнения трех практических занятий, трех лабораторных работ и двух УИРС. К каждому занятию в необходимом объеме даны теоретические предпосылки. Значительное место отведено таким трудноусваиваемым вопросам, как аналитический метод определения припусков, разработка схем базирования, исследование факторов, влияющих на точность механической обработки.

При написании пособия учтены требования действующих нормативных документов в области терминологии, оформления технологической документации и другие.

Для самоконтроля готовности к проведению занятий на страницах 60–63 приведены контрольные вопросы.

Варианты рабочих чертежей деталей для самостоятельного решения задач помещены в отдельном альбоме.

Предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Целью занятия является изучение порядка разработки технологической документации и привитие навыков в ее оформлении.

Для достижения поставленной цели студенты под руководством преподавателя разрабатывают структуру технологического процесса механической обработки для конкретной детали и оформляют технологические карты и операционные эскизы.

Материалы, необходимые для работы

- справочники технолога-машиностроителя;
- ГОСТы на режущий инструмент;
- ГОСТы на материалы для заготовок;
- чертежи деталей /раздаточный материал/;
- формы маршрутных и операционных карт;
- формы карт эскизов /раздаточный материал/.

Порядок выполнения работы иллюстрируется на примере разработки структуры технологического процесса механической обработки детали «Вилка», показанной на рис.1.

Деталь изготавливается из углеродистой стали обыкновенного качества Ст3. Программа выпуска – 50 штук. В производство все детали запускают одной партией.

В результате предшествующего технико-экономического анализа принято решение использовать в качестве заготовки круглый горячекатаный прокат обычной точности.

Максимальный поперечный размер детали «а» представляет собой диагональ прямоугольника со сторонами 15 на 17 мм:

$$a = \sqrt{15^2 + 17^2} = 22,7 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 2590-71 выбираем ближайший стандартный диаметр проката $23^{+0,2}_{-0,3}$ мм.

Условное обозначение: круг $\frac{\text{В23 ГОСТ 2590-71}}{\text{Ст3 ГОСТ 380-71}}$.

- две пары плоских поверхностей 15h12 /Rz 20/ и 17h12 /Rz 20/;
- паз 8h12 /Rz 20/, дно которого расположено под углом 30 градусов к боковой поверхности;
- отверстие в сплошном металле 6H7 /Ra 1,25/.

В процессе обработки необходимо выдержать параллельность расположения паза относительно базы «Б», соосность отверстий в проушинах вилки и положение оси отверстий относительно торца с допуском $\pm 0,1$ мм.

Выберем рациональные маршруты обработки перечисленных поверхностей. Для этого воспользуемся схемами, приведенными на рис. 3-6.

В соответствии с требованиями к поверхности 9h12 /Rz 20/ она может быть получена двукратным /черновым и чистовым/ обтачиванием /рис.3/.

Плоские поверхности 15h12 /Rz 20/ и 17h12 /Rz 20/ можно обработать фрезерованием и строганием /рис.6/. Выбираем фрезерование как более производительный процесс. Если обработку вести дисковыми фрезами, то можно одновременно обрабатывать две противоположные поверхности набором фрез.

Обработка паза 8h12 /Rz20/ также может быть выполнена строганием и фрезерованием. Фрезерование дисковой фрезой предпочтительнее. При этом можно сочетать образование паза и обработку поверхностей 17h12. Набор фрез для такой обработки показан на рис.2.

Отверстие 6H7 /Ra 1,25/ можно получить сверлением и двукратным развертыванием, рис,4/.

Таким образом, технологический процесс механической обработки включает три операции: токарную, фрезерную и сверлильную.

Возникает вопрос о приемлемой последовательности операций.

Начинать обработку со сверления отверстий нецелесообразно. Если начинать обработку с точения хвостовика, то при последующем фрезеровании возникнут затруднения

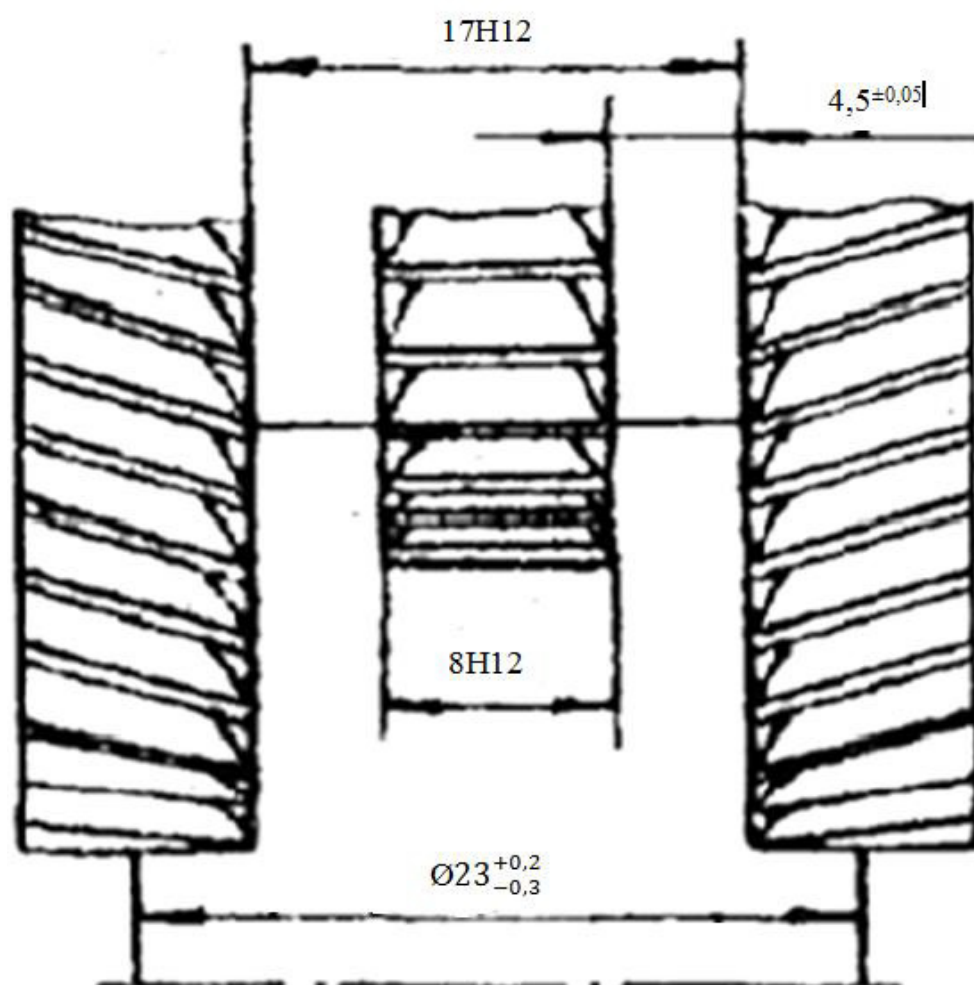


Рис.2. Набор фрез для обработки паза и плоскостей

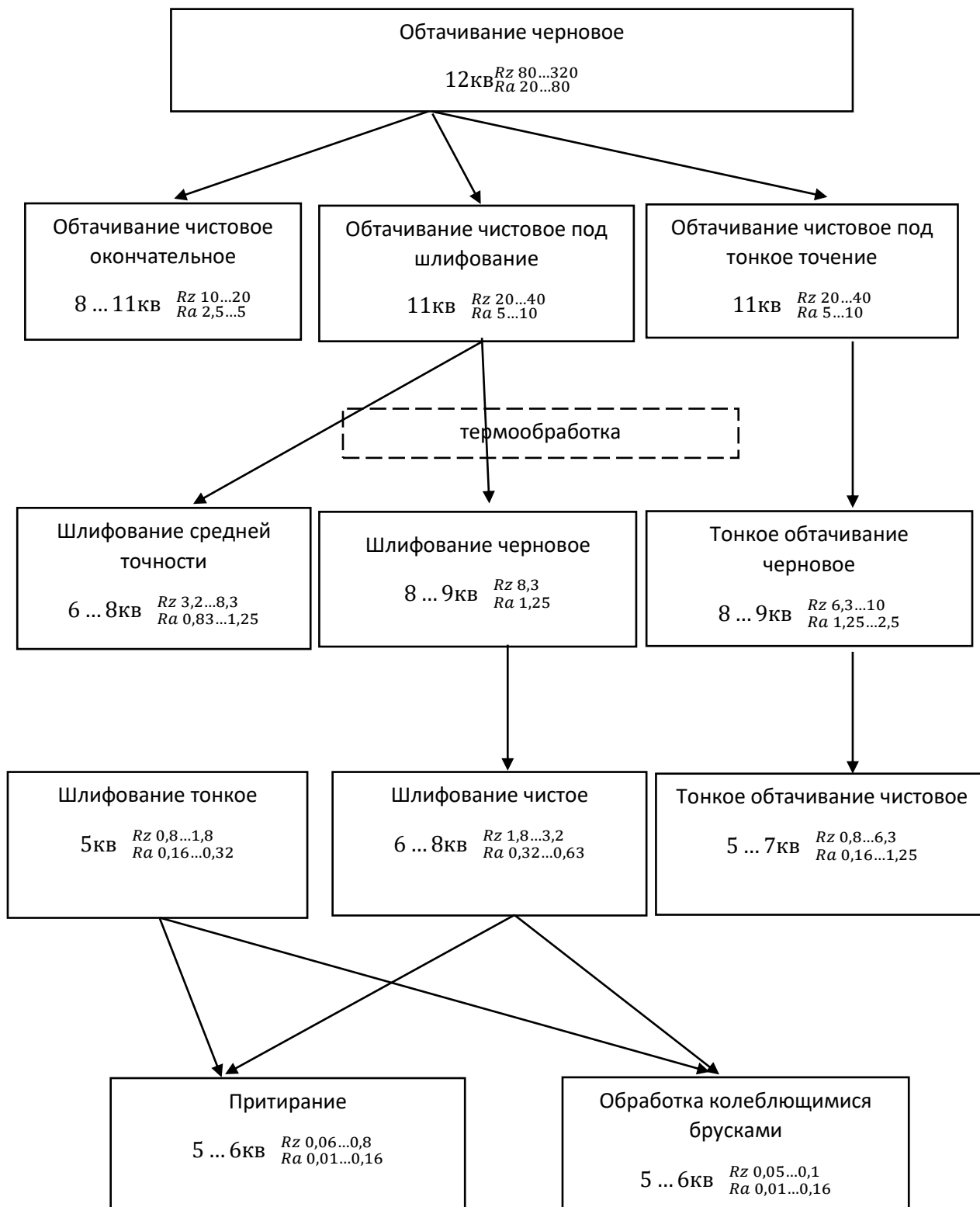


Рис. 3. Возможные маршруты и экономическая точность обработки наружных поверхностей тел вращения

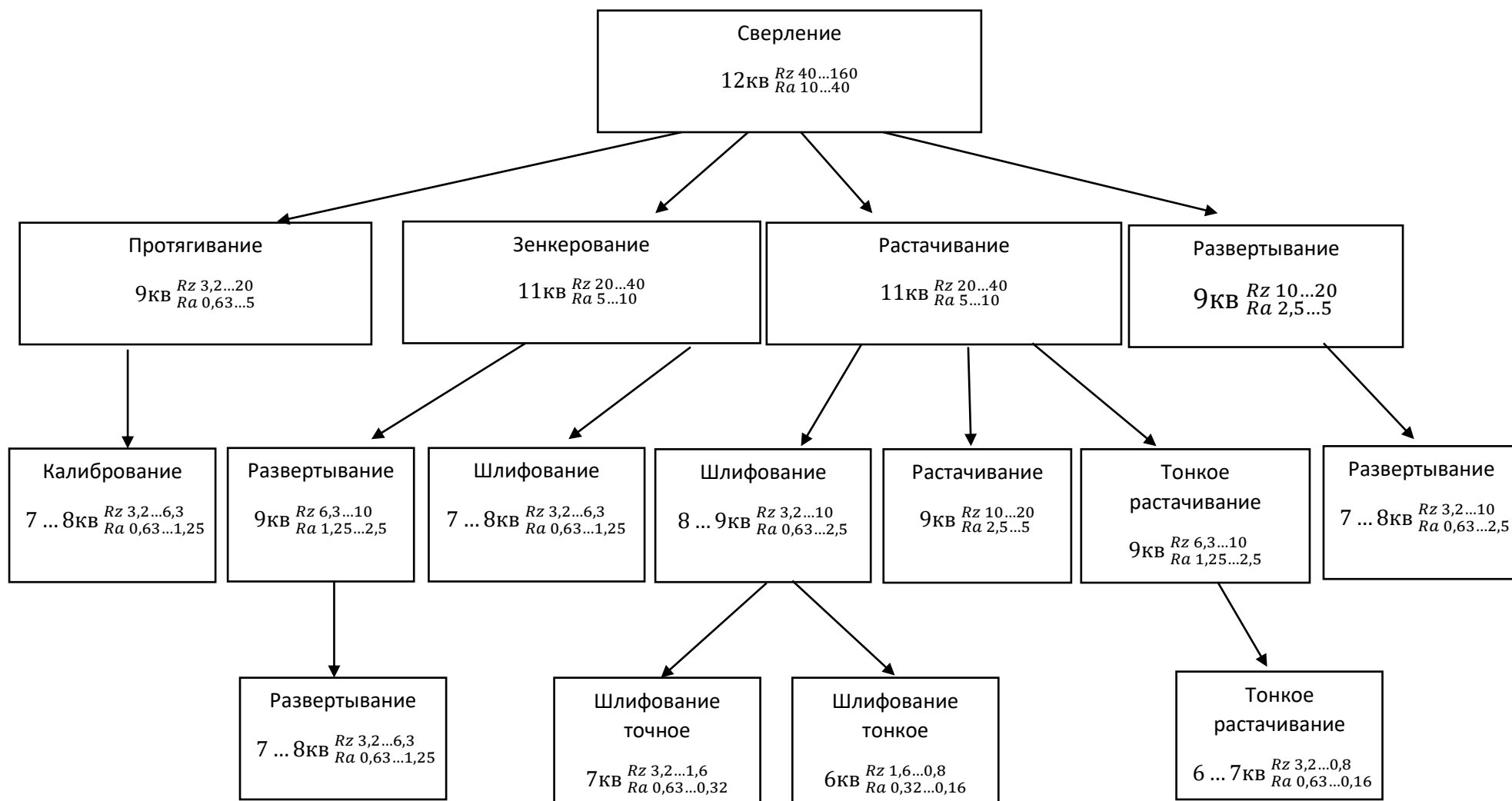


Рис. 4. Возможные маршруты и экономическая точность обработки круглых отверстий в сплошном металле

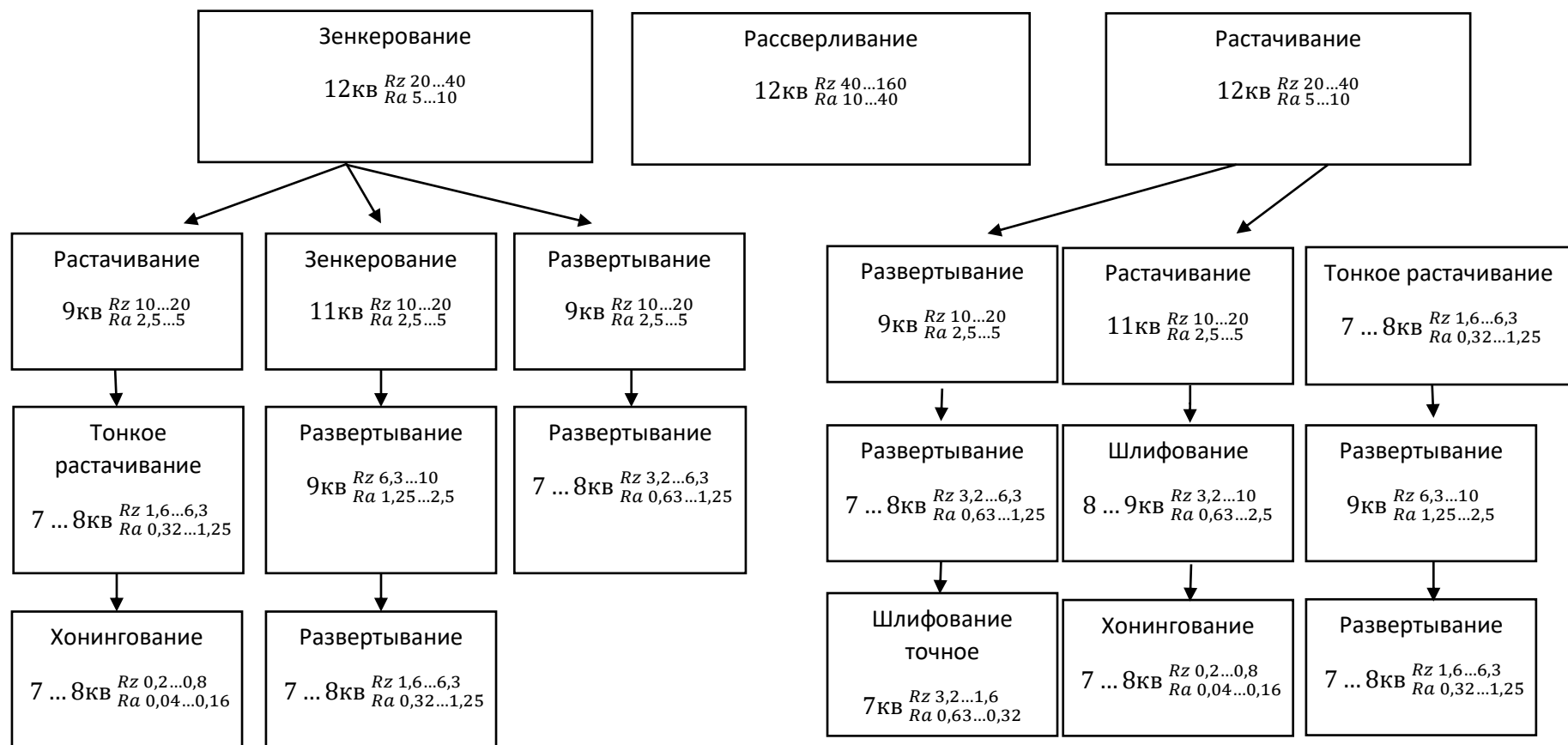


Рис. 5. Возможные маршруты и экономическая точность обработки круглых отверстий в заготовках с отверстиями

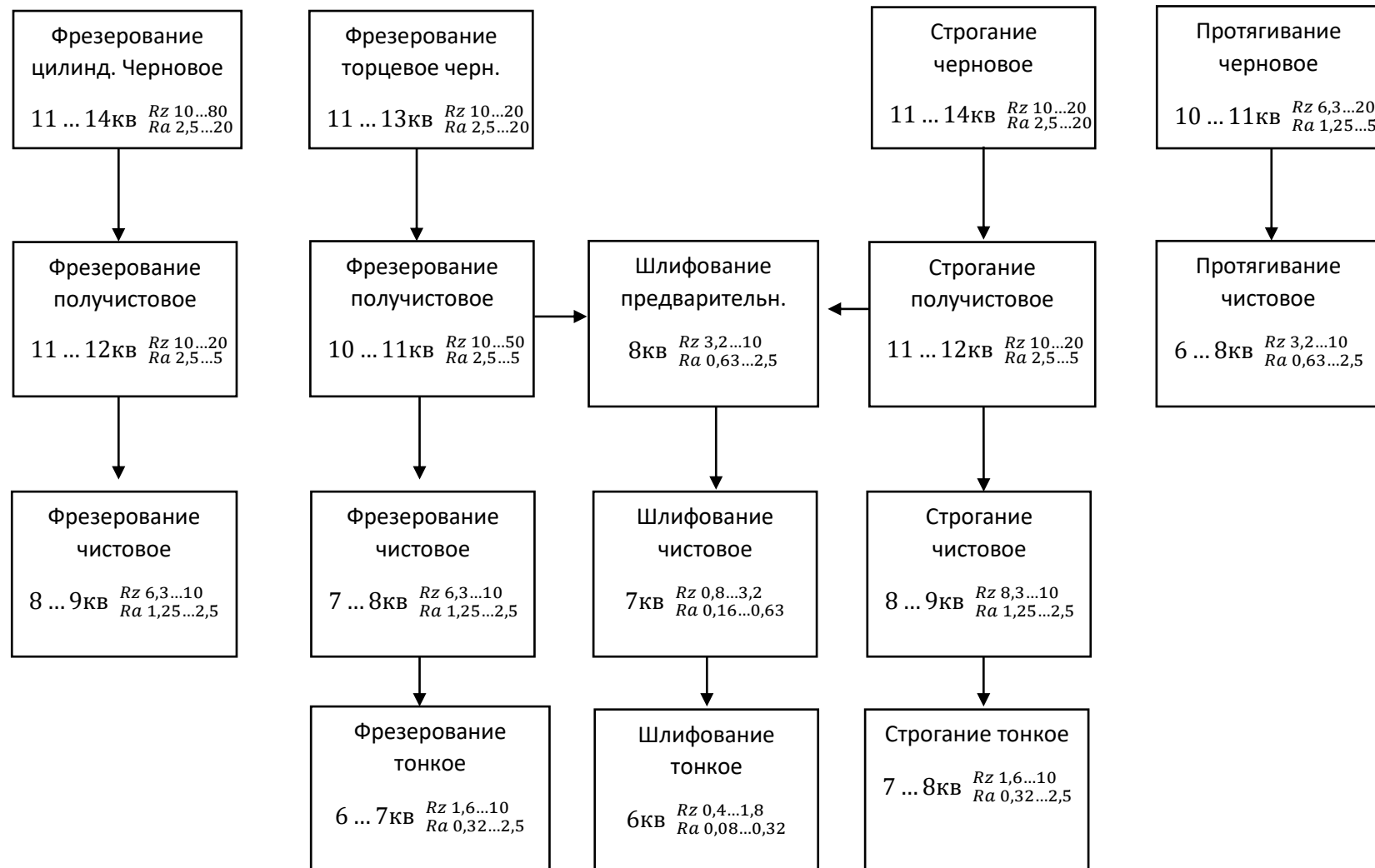


Рис. 6. Возможные маршруты и экономическая точность обработки плоских поверхностей

с закреплением заготовки из-за недостаточной жесткости. Поэтому целесообразно принять следующую последовательность выполнения операций: фрезерная, токарная, сверлильная.

Для выполнения фрезерной операции выбираем горизонтально-фрезерный станок 6Н80 /источник [2], с. 57/. Фрезерование ведется на двух установках при различных наборах фрез, один из которых показан на рис. 2, а второй состоит из двух двусторонних фрез, настроенных на размер 15h12.

Фрезы выбираем по ГОСТ 6469-69 и ГОСТ 3755-69 с учетом потребных габаритов на обработку. Для двусторонних фрез глубина врезания /определяется по чертежу/ составляет 30 мм, а для трехсторонней- 20 мм. Такие глубины врезания с учетом толщины установочных колец обеспечивают:

- праворежущая фреза 2245-0011 Т15К6 ГОСТ 6464-69;
- леворежущая фреза 2245-0012 Т15К6 ГОСТ 6469-69;
- трехсторонняя фреза 2240-020 ГОСТ 3755-69.

Заготовка закрепляется в машинных тисках на поворотном столе.

Для выполнения токарной операции выбираем токарно-винторезный 1К62 /источник [2], с. 19/. Заготовка закрепляется в четырехкулачковом патроне за фрезерованные поверхности. Вся токарная обработка выполняется на одном установе. Общий припуск на обтачивание стебля составляет 7 мм /на сторону/. Распределим общий припуск на три прохода с глубинами резания: 1 проход – 4 мм, 2 проход – 2,5 мм, 3 проход- 0,5 мм.

Точение выполняется проходным правым отогнутым резцом 2102-0055 Т15К6 ГОСТ 18877-73. Для образования галтели R3 используется соответствующий фасонный резец.

Контроль диаметра стебля выполняется калибром – скобой 9h12 ГОСТ 21401-75, а галтели – шаблоном R3.

Для обработки отверстия 6Н7 выбираем вертикально-сверлильный станок 2Н112П/источник [2], с. 22/. Координирование оси отверстия с допуском $\pm 0,1$ мм обеспечивается применением УСП /универсально-сборного приспособления/. Начальное образование отверстия производится спиральным сверлом 4,8-1 ГОСТ 88664.

Для развертывания отверстий применяем развертки машинные цельные типа 1 по ГОСТ 1672-71.

По результатам выполненной работы заполняется технологическая документация:

- маршрутная карта, ГОСТ 3. 1105-4, форма 5;
- операционная карта механической обработки;
- Гост 3.1404-74, форма 1;
- карта эскизов, ГОСТ3.1105-74, форма 5.

При оформлении маршрутной карты заполняются графы: 1, 4, 6, 8, 11, 14, 15, 1, 25. Нумеровать операции в графе 14 следует через пять единиц: 05, 10, 15, 20, 25 и т.д.

При оформлении операционной карты в графе 4 с целью экономии бланков перечислять все операции разработанного технологического процесса.

Содержание переходов излагается в повелительном наклонении, а их нумерация для каждой операции начинается с единицы. Графы карты 23-27 не заполнять. В графе 11 следует перечислить все применяемые в технологическом процессе станки. Записи в графы 16-18 сопровождать ссылками на соответствующие ГОСТы.

В картах эскизов приводится вся необходимая и достаточная информация для выполнения операции (установа, перехода). На операционных эскизах с помощью условных обозначений показывается схема установки заготовки. Для каждого перезакрепления детали разрабатывается отдельная схема установки. На эскизе заготовка изображается в том виде, который она должна иметь после выполнения данной операции (установа, перехода). Контурные обрабатываемых поверхностей на эскизе показывают красным цветом (по ГОСТу – утолщенными линиями).

Порядок выполнения задания

- ознакомиться с чертежом детали;
- выбрать способ получения заготовки;
- наметить рациональные способы обработки отдельных поверхностей;
- наметить маршрут технологического процесса;
- выбрать оборудование и инструменты;
- составить технологическую документацию;
- предъявить преподавателю выполненную работу.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Целью занятия является изучение методики и привитие практических навыков расчета припусков на механическую обработку.

Материалы, необходимые для работы

- справочники технолога-машиностроителя;
- нормативные материалы по режимам резания;
- чертежи деталей /раздаточный материал/.

Расчетно-аналитический метод определения припусков разработан профессором В.Н.Кованом. Им предложена формула для определения минимального припуска, вычисляемого на каждый технологический переход.

$$Z_i^{min} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где R_{zi-1} – высота микронеровностей, образовавшихся на предшествующем переходе;

T_{i-1} – глубина поврежденного поверхностного слоя, образовавшегося в результате предшествующих технологических воздействий. Для серого и ковкого чугуна, цветных металлов и сплавов после первого технологического перехода, а также для стали после термообработки Тиз расчетной формулы исключается;

ρ_{i-1} – пространственное отклонение в расположении обрабатываемой поверхности относительно технологических баз заготовки, оставшееся в ней после предшествующего перехода. Векторная величина;

ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе. Векторная величина. При работе на настроенном оборудовании она

включает в себя погрешность базирования $/\varepsilon_3/$ и погрешность закрепления $/\varepsilon_8/$.

Она обусловлена тем, что технологические базы занимают положение относительно станка, отличное от того, которое они должны были бы занимать в соответствии со схемой базирования.

Если направления ρ и ε известны, они суммируются по правилам сложения векторов. Чаще в практике проектирования технологических процессов направления векторов неизвестны, и в этом случае их суммируют по правилу квадратного корня:

$$Z_i^{min} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (2)$$

Если обработка ведется по методу пробных проходов, то минимальный припуск определяется по формуле

$$Z_i^{min} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{bi}}, \quad (3)$$

где ε_{bi} – погрешность выверки заготовки на выполняемом переходе.

При расчете припуска на диаметр величины, вычисленные по формулам (2) и (3), необходимо удваивать.

Порядок определения, расчетные формулы и исходные данные для величин R_z , T , ε , ρ и ε_b приводятся в справочной литературе.

При механической обработке на настроенном оборудовании заготовки поступают с предшествующей обработки с колебанием размеров в пределах поля допуска. Различным размерам заготовок будет соответствовать различная глубина резания, а, следовательно, и различные величины упругих деформаций технологической системы. Это вызывает необходимость введения понятий минимального и максимального припусков.

На рис.7 заготовка «I» имеет после предшествующего (i-1) перехода фактический размер A_{i-1}^{min} , а заготовка «II» - A_{i-1}^{max} . Фреза установлена на размер $A_i^{нач}$. После выполняемого (i-20) перехода в результате различного отжатия фрезы заготовка «I» будет иметь размер A_i^{min} , а заготовка «II» - A_i^{max} .

Следовательно, чтобы выдержать на i-том переходе размер A_i с допуском δ_i , припуск на i-тый переход должен составлять Z_i^{max} .

Как видно из рис.7,

$$Z_i^{min} = A_{i-1}^{min} - A_i^{min}, \quad (4)$$

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} - \delta_i + \delta_{i+1}, \quad (5)$$

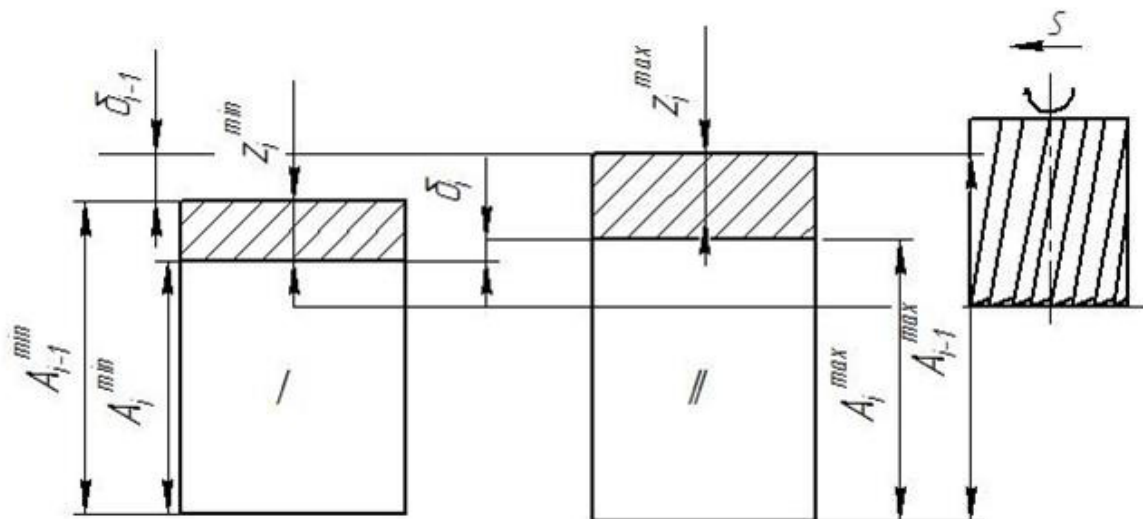


Рис. 7. К определению минимального и максимального припуска на i -тый переход при обработке на настроенном станке

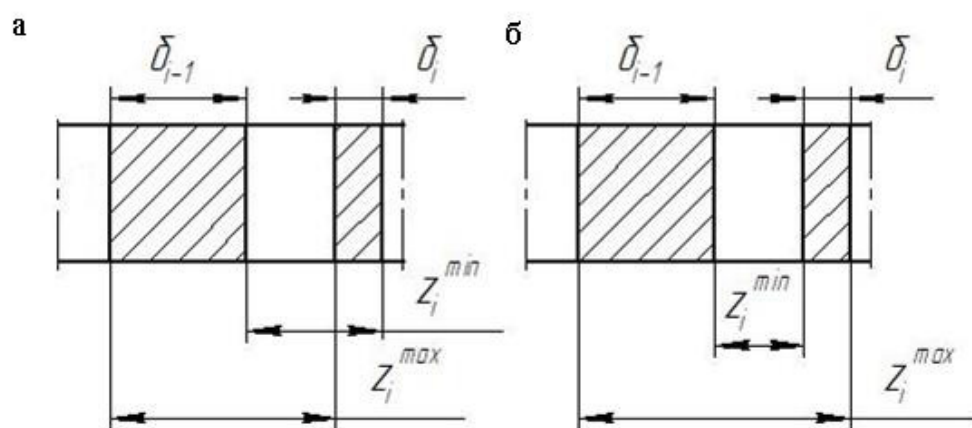


Рис. 8. Схема расположения припусков на i -том переходе:

а- обработка на настроенном станке;
б- обработка методом пробных проходов

При обработке наружных поверхностей валов припуск на диаметр

$$2Z_i^{min} = D_{i-1}^{min} - D_i^{min}, \quad (6)$$

$$2Z_i^{max} = 2Z_i^{min} - \delta_i^D + \delta_{i-1}^D, \quad (7)$$

Для внутренних поверхностей соответственно

$$Z_i^{min} = A_i^{max} - A_{i-1}^{max}, \quad (8)$$

$$2Z_i^{min} = D_i^{max} - D_{i-1}^{max}, \quad (9)$$

$$2Z_i^{max} = 2Z_i^{min} - \delta_i^D + \delta_{i-1}^D, \quad (10)$$

Номинальный припуск на обработку определяют по формулам:

- для наружных поверхностей

$$Z_i^{ном} = Z_i^{min} + H_{i-1} - H_i, \quad (11)$$

$$2Z_i^{ном} = 2Z_i^{min} + H_{i-1}^D - H_i^D, \quad (12)$$

- для внутренних поверхностей

$$Z_i^{ном} = Z_i^{min} + B_{i-1} - B_i, \quad (13)$$

$$2Z_i^{ном} = 2Z_i^{min} + B_{i-1}^D - B_i^D, \quad (14)$$

где H_{i-1} , H_{i-1}^D , H_i , H_i^D – нижние отклонения по размерам соответственно на предшествующем и выполняемом переходах.

B_{i-1} , B_{i-1}^D , B_i , B_i^D – верхние отклонения по размерам на предшествующем и выполняемом переходах.

Рекомендуемый порядок решения задач

1. Выписать параметры детали в соответствии с вариантом, указанным преподавателем.
2. Пользуясь чертежом детали и рис.3-6, выбрать маршрут механической обработки, обеспечивающий заданный квалитет точности и величину шероховатости поверхности, для которой определяются припуски и промежуточные размеры.
3. Построить схему расположения припусков и промежуточных размеров, соответствующую выбранному маршруту обработки.
4. Составить расчетную таблицу.
5. Используя справочники, определить величины R_z , T и δ по всем технологическим переходам и записать их значения в расчетную таблицу.

6. Определить величины пространственных отклонений ρ по всем переходам и записать их значения в расчетную таблицу.
7. Определить погрешности установки ϵ по всем переходам и записать их значения в расчетную таблицу.
8. Вычислить расчетные величины минимальных припусков на обработку $Z_{i \text{ расч}}^{\min}$ по формулам (2) или (3) и записать их значения в расчетную таблицу.
9. Записать в графу «расчетный размер» для последнего перехода наименьший (наибольший – в случае отверстия) размер по чертежу.
10. Последовательно вычислить наименьшие (наибольшие) размеры для всех переходов по формулам.

$$\text{В случае вала } A_{i \text{ расч}}^{\min} = A_{i-1 \text{ расч}}^{\min} + Z_{i-1 \text{ расч}}^{\min}, \quad (15)$$

$$\text{В случае отверстия } A_{i \text{ расч}}^{\max} = A_{i-1 \text{ расч}}^{\max} - Z_{i-1 \text{ расч}}^{\min}, \quad (16)$$

Записать полученные значения в графу «расчетный размер».

11. Записать в графу «наименьший предельный размер» - $A_i^{\min}$ («наибольший предельный размер» $A_i^{\max}$) расчетные размеры, округляя их увеличением (уменьшением) до того же знака десятичной дроби, с каким указан допуск (δ_i) на размер для каждого перехода.
12. Вычислить и записать в расчетную таблицу по всем переходам наибольшие – $A_i^{\max}$ (наименьшие - $A_i^{\min}$) предельные размеры по формулам

$$\text{В случае вала } A_i^{\max} = A_i^{\min} + \delta_i, \quad (17)$$

$$\text{В случае отверстия } A_i^{\min} = A_i^{\max} - \delta_i, \quad (18)$$

13. Вычислить и записать в расчетную таблицу предельные значения припусков по формулам

$$\text{В случае вала } Z_i^{\max} = A_{i-1}^{\max} - A_i^{\max}, \quad (19)$$

$$\text{В случае отверстия } Z_i^{\min} = A_{i-1}^{\min} - A_i^{\min}, \quad (20)$$

14. Определить общие припуски $Z_o^{\max}$ и $Z_o^{\min}$, суммируя промежуточные припуски на обработку

$$Z_o^{\max} = \sum_{i=1}^i Z_i^{\max}, \quad (21)$$

$$Z_o^{\min} = \sum_{i=1}^i Z_i^{\min}, \quad (22)$$

15. Проверить правильность расчетов по формулам

$$Z_i^{\max} - Z_i^{\min} = \delta_{i-1} - \delta_i, \quad (23)$$

$$Z_o^{\max} = Z_o^{\min} = \delta_3 - \delta_d, \quad (24)$$

где δ_3 – допуск на размер заготовки

δ_d – допуск на размер детали.

Ниже приведены примеры расчета припусков и промежуточных размеров на механическую обработку трех типовых деталей.

Пример 1

Рассчитать припуски на обработку и промежуточные предельные размеры для отверстия Ø45H8 патрона трубчатого вала, показанного на рис.9а.

Заготовка представляет собой отливку 2 класса точности в постоянную форму. Материал СЧ-15-32. В качестве технологической базы / двойная направляющая / при обработке отверстия Ø45 используется поверхность Ø250, заготовка которой после чистового обтачивания / 11 квалитет / закрепляется в трехкулачковом самоцентрирующем патроне.

Используя рис.5, выбираем рациональный маршрут обработки отверстия Ø45: рассверливание / 12 квалитет /, чистовое растачивание / 11 квалитет /, шлифование / 8 квалитет /.

Строим схему припусков и промежуточных размеров для выбранного маршрута обработки и изображаем ее /рис.10 /. Составляем таблицу для выполнения расчета, форма которой показана на рис.12а.

Воспользовавшись источником [1], определяем величины R_z , T и δ :

После литья $R_{z\text{заг}} + T_{\text{заг}} = 800$ мкм / табл. 13, с. 174 /,

$\delta_{\text{заг}} = 1600$ мкм / табл. 3, с. 105 /.

После сверления $R_{z\text{свер}} = 50$ мкм, $T_{\text{свер}} = 0$ / табл. 16, с. 175 /,

$\delta_{\text{свер}} = 340$ мкм / табл. 3, с.8 /.

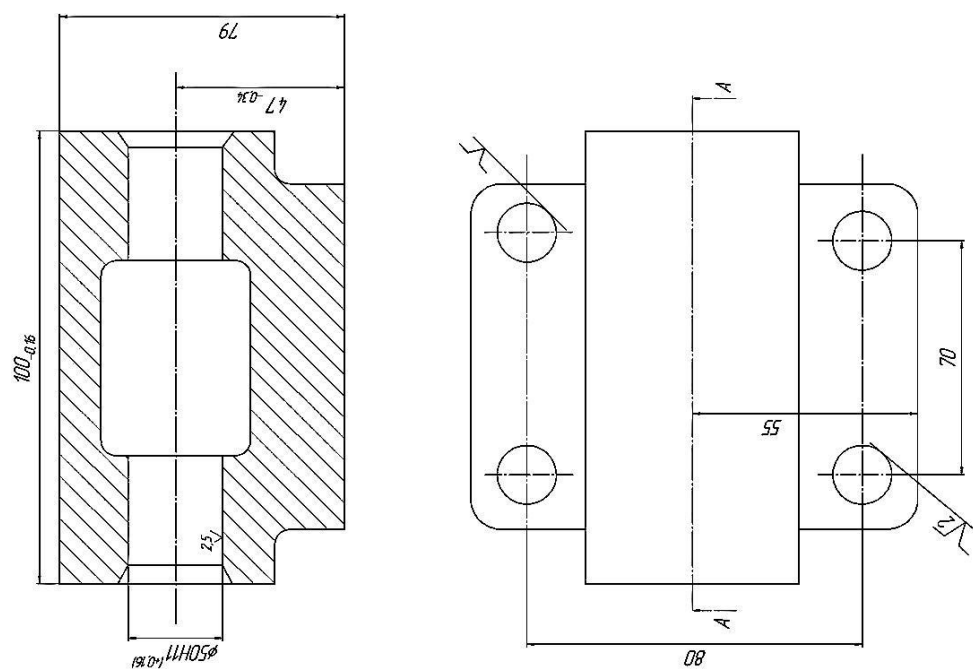
После чистового растачивания $R_{z\text{чис.рас}} = 20$ мкм,

$T_{\text{чис.рас}} = 0$ / табл. 16, с. 176 /,

$\delta_{\text{чис.рас}} = 50$ мкм / табл. 3, с.8 /.

Записываем результаты в соответствующие графы расчетной таблицы.

B



a

6

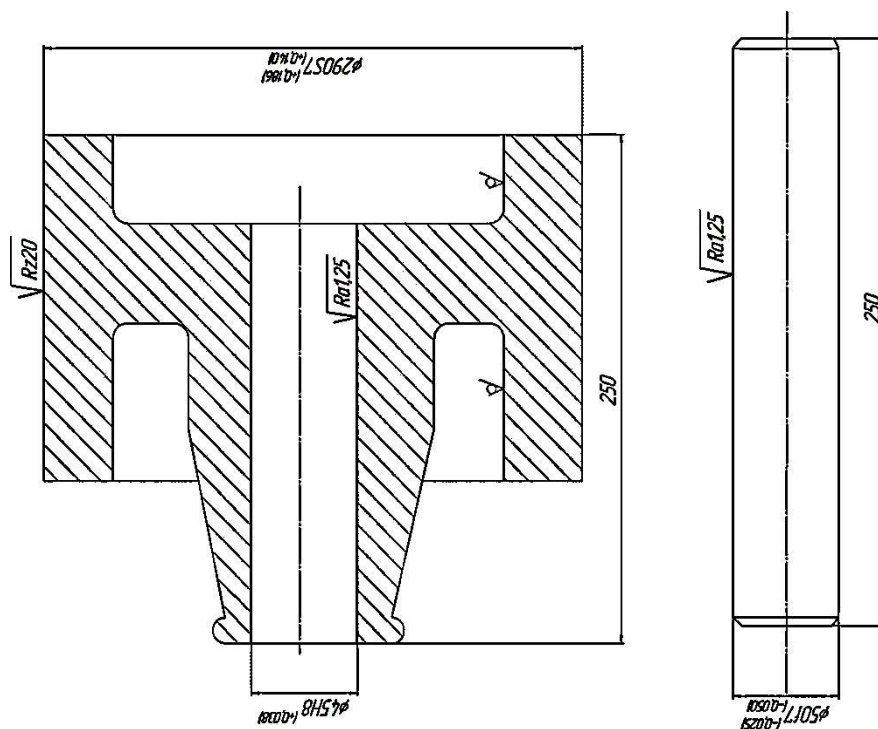


Рис.9. Примеры конструкций для расчета припусков

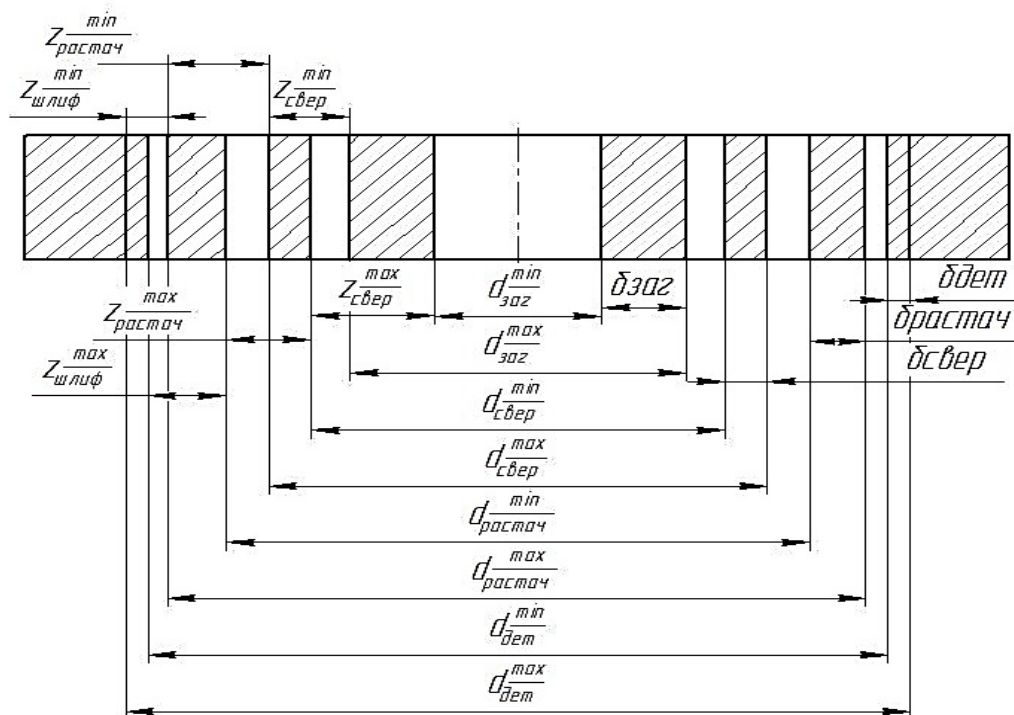


Рис.10. Схема припусков и промежуточных размеров на обработку отверстия $\varnothing 45H8$ патрона трубчатого вала

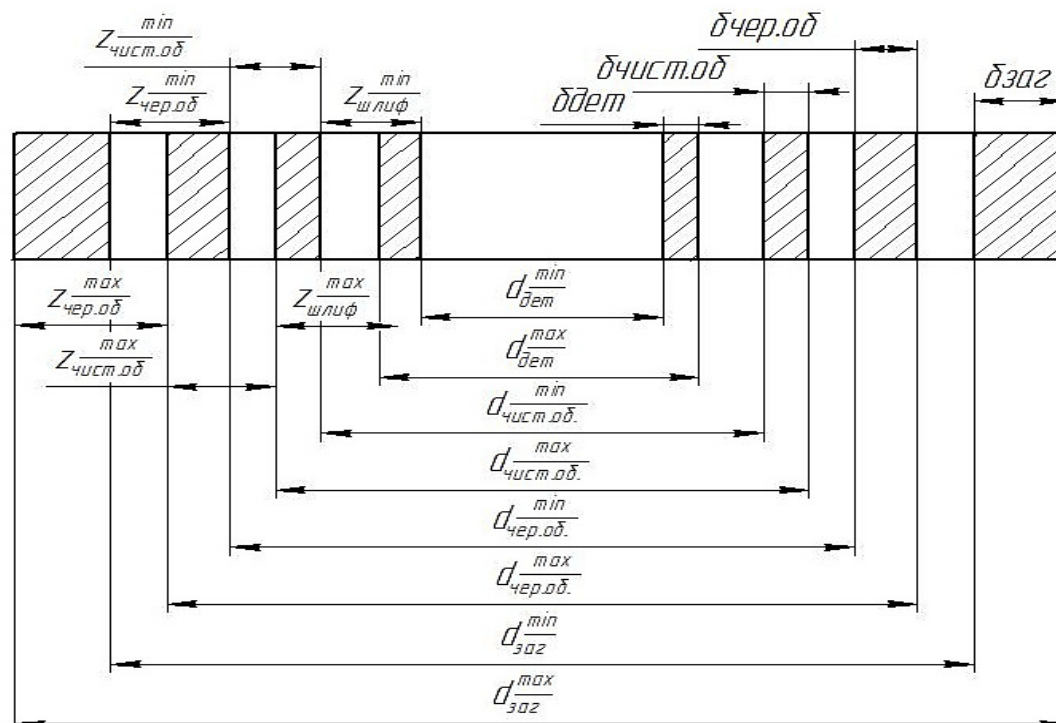


Рис.11. Схема припусков и промежуточных размеров на обработку пальца $\varnothing 50f7$

Расчет припусков и промежуточных размеров

Технологические переходы	Элементы припуска, мкм				Расчет- ный припуск $Z_{расч\ i}^{min}$, мкм	Расчет- ный размер $D_{расч\ i}^{min(max)}$, мкм	До- пуск δ , мкм	Предельные размеры		Предельные припуски	
	Rz	T	ρ	ϵ				наименьший D_i^{min} , мкм	наибольший D_i^{max} , мкм	Z_i^{min} , мкм	Z_i^{max} , мкм
В. Заготовка Растачивание черновое, чистовое	600	600	-	-	-	47,93	1000	46,9	47,9	2260	3100
	50	50	18,75	127	1992	49,922	340	49,58	49,92	2020	2680
	-	-	-	-	238	50,16	160	50,00	50,16	240	420
Б. Заготовка Точение черновое, чистовое, шлифование	150	150	250	-	-	52,124	1400	52,13	53,53	-	-
	60	60	15	430	1794	50,33	400	50,33	50,73	1800	2800
	25	30	0,6	-	270	50,06	120	50,06	50,18	270	550
А. Заготовка Рассверливание, растачивание, шлифование	-	-	-	-	110	49,95	25	49,95	49,975	110	205
	800	800	290	-	-	41,959	1600	40,3	41,9	-	-
	50	-	178	233	2344	44,303	340	43,96	44,30	2400	3660
	20	-	-	-	456	44,759	50	44,70	44,75	450	40
	-	-	-	120	280	45,039	39	45,00	45,039	289	300

А – обработка отверстия Ø45Н8;

Б – обработка пальца Ø50f7;

В – обработка отверстия Ø50Н11 в корпусе

Определим пространственные отклонения.

Коробление заготовки при базировании отливки на плоскость.

$$\rho_{\text{заг}} = \Delta_K L / \text{примечание 1 к табл. 14, с. 174/}$$

где L – наибольший размер заготовки, мм,

Δ_K – удельное коробление, мкм/мм

Принимаем $\Delta_K = 1$ мкм/мм /табл. 14, с. 174/. Тогда $\rho_{\text{заг}} = 1 \cdot 290 = 290$ мкм.

Величину пространственных отклонений после сверления определим по формуле / примечание к табл. 17, с. 177/

$$\rho_{\text{свер}} = \sqrt{0.7 \cdot 250^2 + 30^2} = 178 \text{ мкм.}$$

После чистового растачивания пространственные отклонения не учитываем по малости, $\rho_{\text{чис.рас}} = 0$.

Определим погрешности установки заготовки

Погрешность закрепления при рассверливании включает в себя и погрешность закрепления по черному отверстию при обтачивании поверхности $\varnothing 250$, т.е.:

$$\varepsilon_{\text{свер}} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2},$$

где ε_1 – погрешность, возникающая из-за смещения оси при закреплении заготовки по чисто обточенному диаметру ε_{10} ;

ε_2 – погрешность, возникающая при закреплении заготовки по черному отверстию $\varnothing 45$ при обтачивании поверхности $\varnothing 250$.

$$\varepsilon_1 = 120 \text{ мкм, } \varepsilon_2 = 200 \text{ мкм /табл.13, с. 26/;}$$

$$\varepsilon_{\text{свер}} = \sqrt{200^2 + 120^2} = 233 \text{ мкм.}$$

При чистовом растачивании перезакрепление заготовки не производится, $\varepsilon_{\text{чис.рас}} = 0$.

При шлифовании заготовка закрепляется в 3- кулачковом патроне по чисто обработанному диаметру $\varnothing 250$

$$\varepsilon_{\text{шл}} + \varepsilon_1 = 120 \text{ мкм.}$$

Определим расчетные минимальные припуски по формуле (2):

$$Z_{\text{расч.шл}}^{\text{min}} = 2(R_{\text{чис.рас}} + T_{\text{чис.рас}} + \sqrt{\rho_{\text{чис.рас}}^2 + \varepsilon_{\text{шл}}^2}) = 2(20 + 120) = 280 \text{ мкм;}$$

$$Z_{\text{расч.чис.рас}}^{\min} = 2(R_{\text{зсвер}} + T_{\text{заг}} + \sqrt{\rho_{\text{свер}}^2 + \varepsilon_{\text{чис.рас}}^2}) = 2(50 + 178) = 456 \text{ мкм};$$

$$Z_{\text{расч.свер}}^{\min} = 2(R_{\text{ззаг}} + T_{\text{заг}} + \sqrt{\rho_{\text{заг}}^2 + \varepsilon_{\text{свер}}^2}) = 2(800 + \sqrt{290^2 + 233^2}) = 2344 \text{ мкм}.$$

Определим расчетные размеры по формуле (16):

$$D_{\text{расч.шл}}^{\max} = D_{\text{расч.шл}}^{\max} = 45,039 \text{ мм};$$

$$D_{\text{расч.чис.рас}}^{\max} = D_{\text{расч.шл}}^{\max} - Z_{\text{расч.шл}}^{\min} = 45,039 - 0,28 = 44,759 \text{ мм};$$

$$D_{\text{расч.свер}}^{\max} = D_{\text{расч.чис.рас}}^{\max} - Z_{\text{расч.чис.рас}}^{\min} = 44,759 - 0,456 = 44,303 \text{ мм};$$

$$D_{\text{расч.заг}}^{\max} = D_{\text{расч.свер}}^{\max} - Z_{\text{расч.свер}}^{\min} = 44,303 - 2,344 = 41,959 \text{ мм}.$$

Округляем полученные значения в сторону уменьшения и записываем в графу «наибольший предельный размер».

$$D_{\text{чис.рас}}^{\max} = 44,75 \text{ мм}, D_{\text{свер}}^{\max} = 44,3 \text{ мм}, D_{\text{заг}}^{\max} = 41,9 \text{ мм}.$$

Вычислим минимальные предельные диаметры по формуле

$$D_i^{\min} = D_i^{\max} - \delta_i,$$

$$D_{\text{чис.рас}}^{\min} = 44,75 - 0,05 = 44,7 \text{ мм};$$

$$D_{\text{сверл}}^{\min} = 44,3 - 0,34 = 43,96 \text{ мм};$$

$$D_{\text{заг}}^{\min} = 41,9 - 1,6 = 40,3 \text{ мм}.$$

Вычислим минимальные припуски по переходам по формуле

$$Z_i^{\min} = D_i^{\max} - D_{i-1}^{\max}$$

$$Z_{\text{шл}}^{\min} = 45,039 - 44,75 = 0,289 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{чис.рас}}^{\min} = 44,75 - 44,3 = 0,45 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{сверл}}^{\min} = 44,3 - 41,9 = 2,4 \text{ мм}.$$

Вычисляем максимальные припуски по переходам по формуле

$$Z_i^{\max} = D_i^{\min} - D_{i-1}^{\min}$$

$$Z_{\text{шл}}^{\max} = 45,00 - 44,7 = 0,3 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{чис.рас}}^{\max} = 44,7 - 43,96 = 0,74 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{сверл}}^{\max} = 43,96 - 40,3 = 3,66 \text{ мм}.$$

Определим общие припуски по формулам

$$Z_o^{min} = \sum_{i=1}^i Z_i^{min}, Z_o^{max} = \sum_{i=1}^i Z_i^{max};$$

$$Z_o^{min} = 0,289 + 0,45 + 2,4 = 3,139 \text{ мм};$$

$$Z_o^{max} = 0,3 + 0,74 + 3,66 = 4,7 \text{ мм}.$$

Проверку правильности вычислений производим по равенству

$$Z_o^{max} - Z_o^{min} = \delta_{заг} - \delta_{шлиф}.$$

$$4,700 - 3,139 = 1,600 - 0,039$$

$$1,561 = 1,561$$

Пример 2

Рассчитать припуски и промежуточные предельные размеры на обработку наружной поверхности пальца цепного дефибрера; показанного на рис.9б.

Заготовка представляет собой горячекатаный прокат обычной точности из стали 45, прошедшей термообработку, торцефрезерную операцию и двустороннюю зацентровку. При дальнейшей механической обработке заготовка устанавливается в центрах.

Используя рис.3, выбираем рациональный маршрут обработки: черновое обтачивание / 12 квалитет /, чистовое обтачивание / 11 квалитет /, шлифование / 7 квалитет /.

Строим схему припусков и промежуточных размеров для выбранного маршрута обработки /рис. 11/ и подготавливаем таблицу для выполнения расчета.

Определим величины R_z, T_i, δ , воспользовавшись источником[1]:

После проката

$$R_{z\text{заг}} = 150 \text{ мкм}, T_{\text{заг}} = 150 \text{ мкм} / \text{табл.1, с. 156/},$$

$$\delta_{\text{заг}} = 1400 \text{ мкм} / \text{ГОСТ 2590 – 71/}.$$

После чернового обтачивания

$$R_{z\text{чер.об}} = 60 \text{ мкм}, T_{\text{чер.об}} = 60 \text{ мкм} / \text{табл.4, с. 167/},$$

$$\delta_{\text{чер.об}} = 400 \text{ мкм} / \text{табл.2, с.7/}.$$

После чистового обтачивания

$$R_{z\text{чис.об}} = 25 \text{ мкм}, T_{\text{чис.об}} = 30 \text{ мкм} / \text{табл.4, с.167/},$$

$$\delta_{\text{чис.об}} = 120 \text{ мкм /табл.2, с.7/}.$$

Записываем полученные результаты в соответствующие графы расчетной таблицы.

Определим пространственные отклонения.

$$\rho_{\text{заг}} = 2\Delta_{\text{к}}L_{\text{к}} / \text{примечание 1 к табл. 2, с. 166 /},$$

где $L_{\text{к}}=0,5L$ – при установке в центрах;

L – длина заготовки, мм;

$\Delta_{\text{к}}$ – удельное коробление, мкм/мм.

Принимаем $\Delta_{\text{к}} = 1$ мкм/мм, тогда

$$\rho_{\text{заг}} = 2 \cdot 1 \cdot 125 = 250 \text{ мкм.}$$

В соответствии с примечанием 4 / табл.2, с. 166 / имеем:

$$\rho_{\text{чер.об}} = K_{\text{учер.об}} \cdot \rho_{\text{заг}};$$

$$\rho_{\text{чис.об}} = K_{\text{учис.об}} \cdot \rho_{\text{чер.об}}.$$

$$K_{\text{учер.об}} = 0,06, K_{\text{учис.об}} = 0,04 / \text{табл. 22, с. 181 /}.$$

$$\rho_{\text{чер.об}} = 0,06 \cdot 250 = 15 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{чис.об}} = 0,04 \cdot 15 = 0,6 \text{ мкм.}$$

Погрешность установки в применяемой схеме закрепления заготовки следует учитывать только при первом переходе в связи с погрешностью зацентровки, т.е.:

$$\varepsilon_{\text{шл}} = \varepsilon_{\text{чис.об}} = 0$$

$$\varepsilon_{\text{чер.об}} = 0,25 \sqrt{\delta_{\text{заг}}^2 + 1} / \text{примечание 3, табл.2, с.166 /},$$

$$\varepsilon_{\text{чер.об}} = 0,25 \sqrt{1,4^2 + 1} = 430 \text{ мкм.}$$

Определим расчетные минимальные припуски по формуле (2), с.14.

$$Z_{\text{расч.шл}}^{\text{min}} = 2(R_{\text{чис.об}} + T_{\text{чис.об}} + \sqrt{\rho_{\text{чис.об}}^2 + \varepsilon_{\text{шл}}^2}) = 2(25 + 30) = 110 \text{ мкм};$$

$$Z_{\text{расч.чис.об}}^{\text{min}} = 2(R_{\text{чер.об}} + T_{\text{чер.об}} + \sqrt{\rho_{\text{чер.об}}^2 + \varepsilon_{\text{чис.об}}^2}) = 2(60 + 60 + 15) = 270$$

мкм;

$$Z_{\text{расч.чер.об}}^{\min} = 2(R_{\text{ззаг}} + T_{\text{заг}} + \sqrt{\rho_{\text{заг}}^2 + \varepsilon_{\text{чер.об}}^2}) = 2(150 + 250 + \sqrt{250^2 + 430^2}) = 1794 \text{ мкм.}$$

Запишем в последней строке графы «расчетный размер» величину наименьшего диаметра по чертежу – 49,95 мм.

Вычислим расчетные размеры по формуле (15):

$$D_{\text{расч.чис.об}}^{\min} = D_{\text{дет}}^{\min} + Z_{\text{расч.шл}}^{\min} = 49,95 + 0,11 = 50,06 \text{ мм;}$$

$$D_{\text{расч.чер.об}}^{\min} = D_{\text{расч.чис.об}}^{\min} + Z_{\text{расч.чис.об}}^{\min} = 50,06 + 0,27 = 50,33 \text{ мм;}$$

$$D_{\text{расч.заг}}^{\min} = D_{\text{расч.чер.об}}^{\min} + Z_{\text{расч.чер.об}}^{\min} = 50,33 + 1,794 = 52,124.$$

Округляем минимальные расчетные диаметры в сторону увеличения и записываем их в графу «наименьший предельный размер».

$$D_{\text{чис.об}}^{\min} = 50,06 \text{ мм; } D_{\text{чер.об}}^{\min} = 50,33 \text{ мм; } D_{\text{заг}}^{\min} = 52,13 \text{ мм.}$$

Определим наибольшие предельные размеры по формуле

$$D_i^{\max} = D_{i-1}^{\min} - \delta_i$$

$$D_{\text{чис.об}}^{\max} = 50,06 + 0,12 = 50,18 \text{ мм,}$$

$$D_{\text{чер.об}}^{\max} = 50,33 + 0,4 = 50,73 \text{ мм,}$$

$$D_{\text{заг}}^{\max} = 52,13 + 1,4 = 53,53 \text{ мм.}$$

Определим минимальные припуски по формуле

$$Z_i^{\min} = D_{i-1}^{\min} - D_i^{\min}$$

$$Z_{\text{шл}}^{\min} = 50,06 - 49,95 = 0,11 \text{ мм,}$$

$$Z_{\text{чис.об}}^{\min} = 50,33 - 50,06 = 0,27 \text{ мм,}$$

$$Z_{\text{чер.об}}^{\min} = 52,13 - 50,33 = 1,8 \text{ мм.}$$

Определим максимальные припуски по формуле

$$Z_i^{\max} = D_{i-1}^{\max} - D_i^{\max}$$

$$Z_{\text{шл}}^{\max} = 50,18 - 49,975 = 0,205 \text{ мм,}$$

$$Z_{\text{чис.об}}^{\max} = 50,73 - 50,18 = 0,55 \text{ мм,}$$

$$Z_{\text{чер.об}}^{\max} = 53,53 - 50,73 = 2,8 \text{ мм.}$$

Определим общие припуски по формулам

$$Z_o^{min} = \sum_{i=1}^i Z_i^{min} \text{ и } Z_o^{min} = \sum_{i=1}^i Z_i^{min}$$

$$Z_o^{min} = 1800 + 270 + 110 = 2180 \text{ мкм},$$

$$Z_o^{max} = 2800 + 550 + 205 = 3555 \text{ мкм}.$$

Проверку правильности вычисления производим по равенству

$$Z_o^{max} - Z_o^{min} = \delta_{заг} - \delta_{дет}$$

$$3555 - 2180 = 1400 - 25$$

$$1375 = 1375.$$

Теперь на схеме припусков (рис.11) можем поставить численные значения, обозначенный на ней размеров, припусков и допусков.

Пример 3

Рассчитать припуски на обработку и промежуточные предельные размеры для отверстия Ø50H11 в корпусной детали, показанной на рис.9в.

Заготовка представляет собой стальную отливку 2 класса точности массой 3,5 кг.

Технологическими базами при обработке отверстия Ø50 являются плоскость основания / установочная база / и два отверстия Ø10 $\frac{H7}{f7}$ / двойная опорная и опорная базы /, обработанные на предшествующей операции.

Используя рис.5, выбираем рациональную схему обработки:

черновое / 12 квалитет / и чистовое / 11 квалитет / растачивание, выполняемые на одном станове.

Построим схему припусков и промежуточных размеров для выбранного маршрута обработки и подготовим таблицу для выполнения расчета /рис.11/.

Определим Rz, T и δ по переходам, пользуясь источником [1]:

Заготовка

$$R_{zзаг} + T_{заг} = 600 \text{ мкм} / \text{табл. 13, с. 174} / ,$$

$$\delta_{заг} = 1000 \text{ мкм} / \text{табл.3, с.105} / .$$

После чернового растачивания

$$R_{zчер.рас} = 50 \text{ мкм}, T_{чер.рас} = 50 \text{ мкм} / \text{табл.16, с.176} / ,$$

$$\delta_{\text{чер.рас}} = 340 \text{ мкм} / \text{табл.3, с.8} /.$$

Заносим полученные данные в соответствующие графы расчетной таблицы.

Суммарное значение пространственных отклонений определяем по формуле, приведенной в примечании 1/ [1], табл.14, с.174 /,

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2},$$

где $\rho_{\text{кор}}$ – величина коробления отливки;

$\rho_{\text{см}}$ – величина смещения стержня.

$$\rho_{\text{заг}} = \Delta_{\text{к}} L,$$

где L – наибольший размер заготовки, мм;

$\Delta_{\text{к}}$ – удельное коробление, мкм/мм.

Принимая $\Delta_{\text{к}} = 1 \text{ мкм/мм} / \text{табл. 14, с.174} /$, получим $\rho_{\text{кор}} = 1 \cdot 100 = 100 \text{ мкм}$.

Смещение обрабатываемого отверстия / стержня в форме / относительно базовых поверхностей имеет место в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Смещение стержня принято считать равным половине допуска на размер, определяющий положение стержня в отливке.

Размер, определяющий положение отверстия в вертикальной плоскости, составляет 47 мм, а размер, определяющий положение отверстия в горизонтальной плоскости – 55 мм. Допуски на эти размеры составляют

$$\delta_{\text{гор}} = 300 \text{ мкм}, \delta_{\text{вер}} = 200 \text{ мкм}.$$

$$\rho_{\text{см}} = \sqrt{\delta_{\text{гор}}^2 + \delta_{\text{вер}}^2} = \sqrt{300^2 + 200^2} = 361 \text{ мкм}$$

Суммарное пространственное отклонение отливки

$$\rho_{\text{см}} = \sqrt{100^2 + 361^2} = 375 \text{ мкм}$$

Величина пространственного отклонения после чернового растачивания

$$\rho_{\text{чер.рас}} = K_{\text{учер.рас}} \cdot \rho_{\text{заг}}$$

$$K_{\text{учер.рас}} = 0,05 / [1], \text{Примечание 3 к табл.17, с.177} /,$$

$$\rho_{\text{чер.рас}} = 0,05 \cdot 375 = 18,75 \text{ мкм}.$$

Погрешность установки при черновом растачивании

$$\varepsilon_{\text{чер.рас}} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2},$$

где ε_{δ} – погрешность базирования;

ε_3 – погрешность закрепления.

Погрешность базирования в данном случае возникает за счет разворота заготовки в горизонтальной плоскости из-за наличия зазоров в соединениях

$10 \frac{H7}{f7}$ приспособления.

Наибольший зазор между отверстиями и штырями составляет

$$S_{\max} = \delta_a + \delta_b + S_{\min}$$

где δ_a – допуск на диаметр отверстия;

δ_b – допуск на диаметр штыря;

$S_{\min}$ – минимальный зазор между штырем и отверстием.

В нашем случае $\delta_b = \delta_a = 0,015$ мм, $S_{\min} = 0,016$ мм.

Тангенс наибольшего угла поворота на штырях

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,015+0,015+0,013}{\sqrt{70^2+80^2}} = 0,0004.$$

Погрешность базирования при длине отверстия 10 мм составит:

$$\varepsilon_{\delta} = 0,0004 \cdot 100 = 40 \text{ мкм.}$$

Погрешность закрепления определяем, полагая наличие в приспособлении постоянных опор

$\varepsilon_3 = 120$ мкм / табл.15, с.28 /, тогда

$$\varepsilon_{\text{чер.рас}} = \sqrt{40^2 + 120^2} = 127 \text{ мкм}$$

Остаточная погрешность установки после чистового растачивания

$$\varepsilon_{\text{чис.рас}} = K_{\text{учис.рас}} \cdot \varepsilon_{\text{чер.рас}},$$

где, $K_{\text{учис.рас}} = 0,002$ / примечание 3 к табл.17, с.177 /

$\varepsilon_{\text{чис.рас}} = 0,002 \cdot 127 = 0,025$ мкм – этой величины по малости можно пренебречь.

Вычислим минимальные расчетные припуски по формуле (2):

$$Z_{\text{расч.чис.рас}}^{\min} = 2(R_{\text{зчер.рас}} + T_{\text{чер.рас}} + \sqrt{\rho_{\text{чер.рас}}^2 + \varepsilon_{\text{чис.рас}}^2}) = 2(50 + 50 + 18,75) = 238 \text{ мкм},$$

$$Z_{\text{расч.чер.рас}}^{\min} = 2(R_{\text{ззаг}} + T_{\text{заг}} + \sqrt{\rho_{\text{заг}}^2 + \varepsilon_{\text{чер.рас}}^2}) = 2(600 + \sqrt{375^2 + 127^2}) = 1992 \text{ мкм}.$$

Заносим полученные значения в графу «расчетный припуск».

Вычисляем расчетные размеры

$$D_{\text{расч.чер.рас}}^{\max} = D_{\text{расч.чис.рас}}^{\max} - Z_{\text{р.ч.рас}}^{\min} = 50,16 - 0,238 = 49,922 \text{ мм};$$

$$D_{\text{расч.заг}}^{\max} = D_{\text{расч.чер.рас}}^{\max} - Z_{\text{р.ч.рас}}^{\min} = 49,922 - 1,992 = 47,93 \text{ мм}.$$

Округляем расчетные размеры в сторону уменьшения и записываем в графу «предельный наибольший размер».

$$D_{\text{чер.рас}}^{\max} = 49,92 \text{ мм}, D_{\text{заг}}^{\max} = 47,9 \text{ мм}.$$

Вычислим предельные минимальные диаметры по формуле

$$D_i^{\min} = D_i^{\max} - \delta_i,$$

$$D_{\text{чер.рас}}^{\min} = 50,16 - 49,92 = 0,24 \text{ мм},$$

$$D_{\text{заг}}^{\min} = 49,92 - 47,9 = 2,02 \text{ мм}.$$

Вычислим максимальные припуски по формуле

$$Z_i^{\max} = D_i^{\max} - D_{i-1}^{\min};$$

$$Z_{\text{чис.рас}}^{\max} = 50,00 - 49,58 = 0,42 \text{ мм};$$

$$Z_{\text{чер.рас}}^{\max} = 49,58 - 46,9 = 2,68 \text{ мм}.$$

Заносим полученные данные в расчетную таблицу.

Определим общие припуски

$$Z_o^{\min} = 0,24 + 2,02 = 2,26 \text{ мм};$$

$$Z_o^{\max} = 0,42 + 2,68 = 3,1 \text{ мм}.$$

Проверяем правильность вычислений

$$Z_o^{\max} - Z_o^{\min} = \delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{дет}};$$

$$3100 - 2260 = 1000 - 160$$

$$840 = 840.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ И СХЕМ УСТАНОВОК

Целью занятия является изучение основных положений при разработке теоретических схем базирования и схем установки заготовок в процессе механической обработки и привитие практических навыков в разработке схем.

Материалы, необходимые для работы

- комплект ГОСТов по вопросам базирования;
- комплект чертежей деталей /раздаточный материал/.

Вопросы базирования возникают при проектировании машин и механизмов, когда необходимо обеспечить определенное взаимное расположение их деталей и сборочных единиц, а также в процессе обработки, когда заготовки должны быть правильно ориентированы относительно элементов станков, определяющих траекторию перемещения режущих элементов.

Основой теории базирования являются понятия и представления теоретической механики о несвободной механической системе, под которой понимается твердое тело. В соответствии с этими представлениями требуемое положение твердого тела относительно выбранной системы координат достигается наложением геометрических или кинематических связей. Наложение двусторонних геометрических связей достигается через соприкосновение /контакт/ поверхностей тела с поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложения сил и пар сил для обеспечения контакта между ними.

Твердое тело в пространстве имеет шесть степеней свободы в системе координат OXYZ. Для того чтобы тело было неподвижным в заданной системе координат, необходимо наложить шесть геометрических связей.

При этом тело лишается трех перемещений вдоль осей OX, OY, OZ и трех поворотов вокруг этих осей.

Геометрические связи символизируются опорными точками, которые изображаются на виде спереди и сбоку знаком $\wedge$ и на виде сверху – знаком $\diamond$. Если опорные точки закрыты заготовкой, их знаки изображают пунктиром.

Теоретической схемой базирования называют схему расположения опорных точек на базах заготовки.

Базой называют поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точку, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования.

На рис. 12 приведены примеры баз, представляющих все элементы, перечисленные в определении базы.

Государственным стандартом [3] предусмотрена классификация баз по трем признакам: по назначению, по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

По назначению различают следующие виды баз:

- конструкторские /основные и вспомогательные/;
- технологические;
- измерительные.

По лишаемым степеням свободы различают базы:

- установочные;
- направляющие;
- опорные;
- двойные направляющие;
- двойные опорные.

По характеру проявления базы бывают:

- явные;
- скрытые.

Конструкторскими называют базы, определяющие положение детали в изделии. Если конструкторская база используется для определения положения самой детали в изделии, она называется основной, а если конструкторская база используется для определения положения присоединяемой детали – она называется вспомогательной.

Технологическими называются базы, используемые для определения положения заготовки в процессе изготовления или ремонта.

Измерительными называют базы, используемые для определения относительного положения заготовки / детали / и средств измерения.

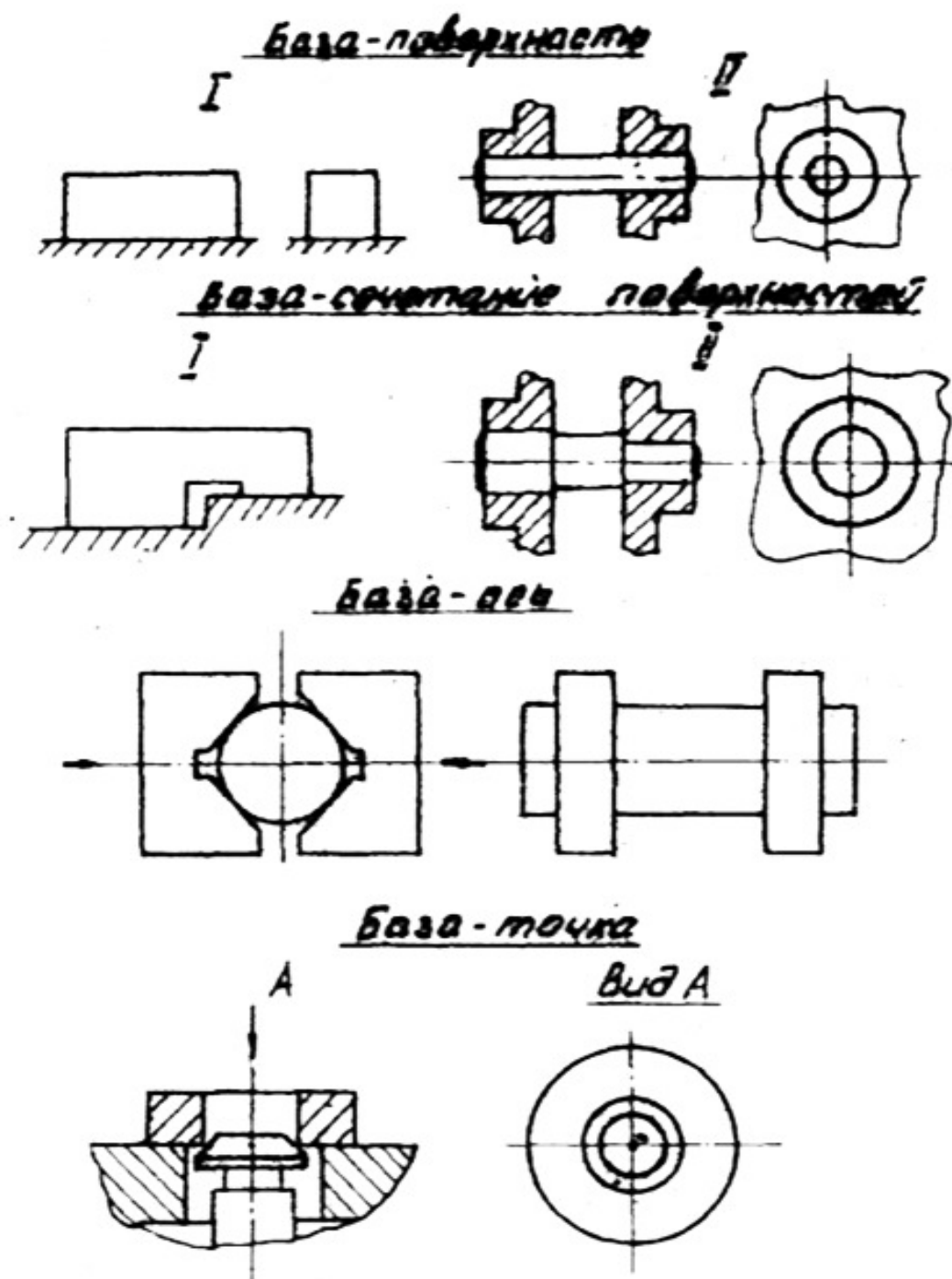


Рис.12. Примеры баз

Установочной называют базу, лишаящую заготовку трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

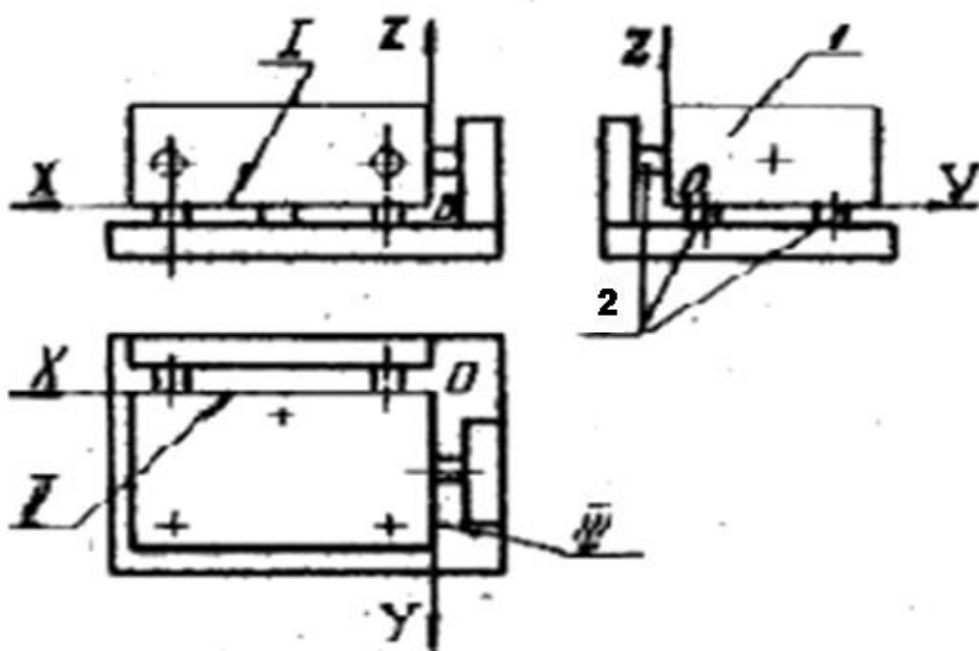


Рис.13. Комплект баз призматической заготовки

1-заготовка; 2- опоры приспособления

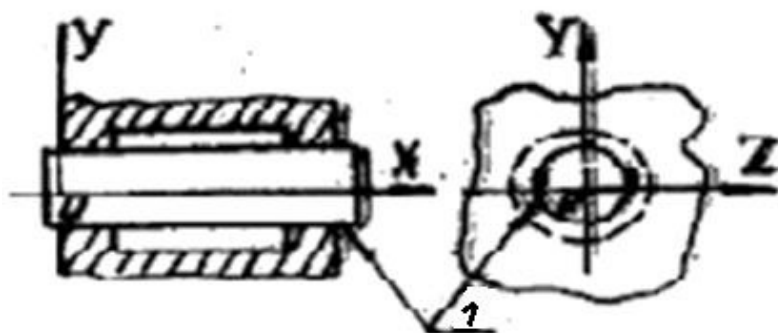


Рис.14. Двойная направляющая база детали

1-отверстие заготовки

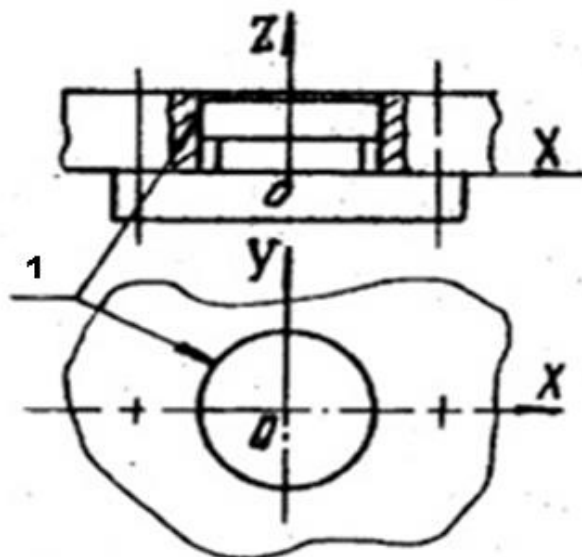


Рис.15. Двойная опорная база детали
I-отверстие заготовки

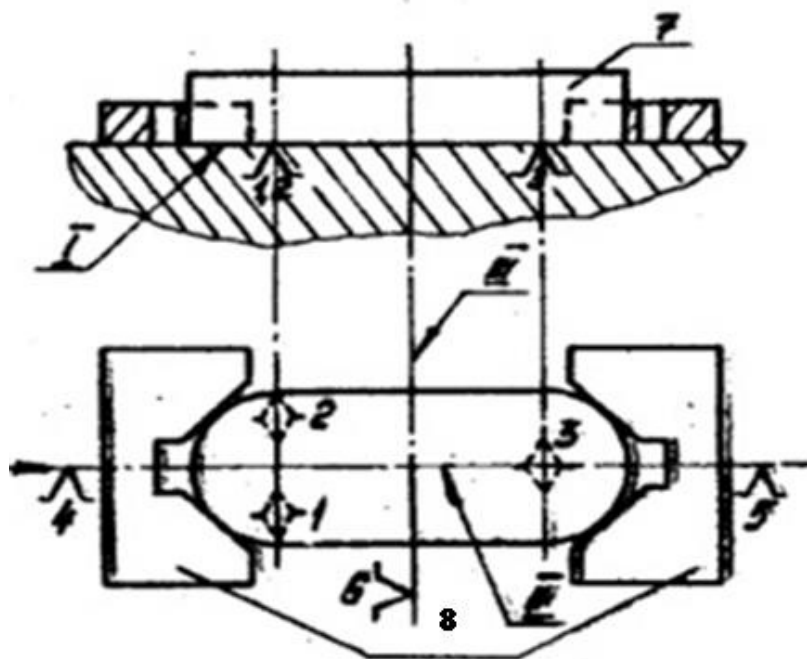


Рис.16. Комплект баз заготовки:
1-6-опорные точки; 7-заготовка; 8-губки самоцентрирующих тисков.

Направляющей называют базу, лишаящую заготовку двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой координатной оси.

Опорной называют базу, лишаящую заготовку одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Двойной направляющей называют базу, лишаящую заготовку четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойной опорой называют базу, лишаящую заготовку двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей.

Примеры видов баз, определенных по признаку «лишаемые степени свободы», приведены на рис.13-15.

На рис.16 показан комплект баз призматической заготовки: 1 – установочная база, лишаящая заготовку перемещения вдоль оси Z и поворотов вокруг осей X и Y; 2 – направляющая база, лишаящая заготовку перемещения вдоль оси Y и поворота вокруг оси Z; 3 – опорная база, лишаящая заготовку перемещения вдоль оси X.

На рис.14 показана двойная направляющая база 1 / цилиндрическая поверхность детали /, лишаящая деталь перемещений вдоль осей Z и Y и поворотов вокруг этих осей.

На рис.15 показана двойная опорная база 1 / узкий цилиндрический пояс на детали /, лишаящая деталь перемещений вдоль осей X и Y.

Скрытой называют базу в виде воображаемой плоскости, оси или точки, а явной – базу в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Примеры скрытых и явных баз приведены на рис.16.:

1 – установочная явная база; 2 – направляющая скрытая база; 3 – опорная скрытая база.

Составим теоретическую схему базирования для обработки отверстия в детали. При растачивании отверстия необходимо выдержать размер a , параллельность оси отверстия плоскости А, перпендикулярность оси отверстия в детали к плоскости Б в сечении Г-Г, симметричность отверстия относительно наружного контура.

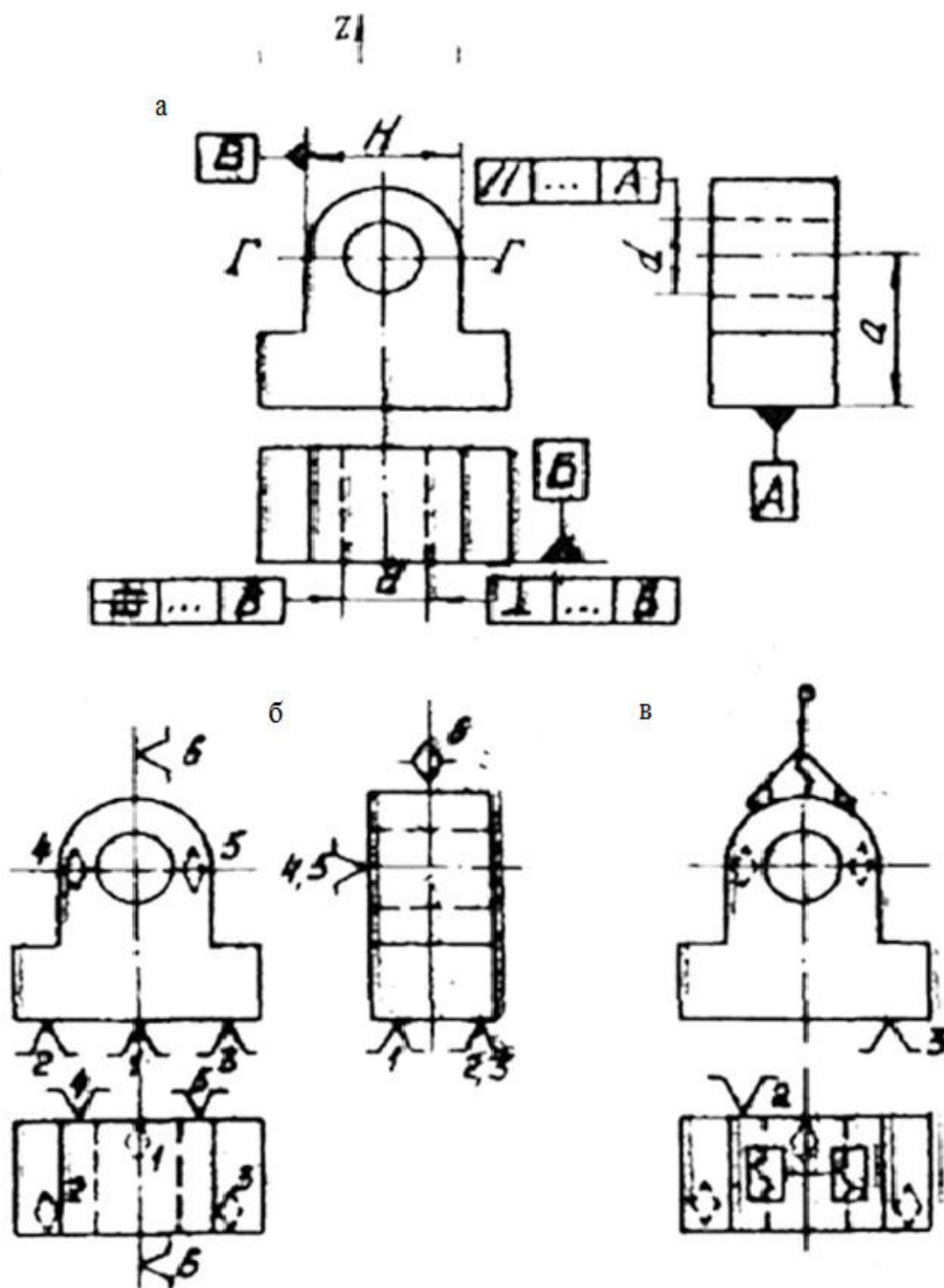


Рис. 17. Теоретическая схема базирования и схема установки при растачивании отверстия в заготовке

Для того, чтобы выдержать размер, a и параллельность оси отверстия плоскости B , надо зафиксировать положение поверхности A относительно инструмента, т.е. принять ее в качестве установочной базы.

Для того чтобы обеспечить требование перпендикулярности оси отверстия к плоскости Б, необходимо эту плоскость принять в качестве направляющей базы.

Для обеспечения требования симметричности отверстия относительно наружного контура следует принять плоскость симметрии заготовки в качестве скрытой опорной базы, что легко реализовать, используя в приспособлении вертикальный прижим в виде призмы.

Таким образом, задача решается при использовании комплекта из трех баз: явных установочной и направляющей и скрытой опорной. На рис.18б приведена теоретическая схема базирования к рассматриваемому случаю обработки.

Схемы установки, применяемые на операционных эскизах, отличаются от теоретических схем базирования тем, что с целью упрощения в них используют условные обозначения опор и зажимов. Таблица условных обозначений приведена в Приложении.

Условные обозначения центров всех видов наносят обычно на выносные линии, проведенные под углом к осевой линии. Условные обозначения остальных опор и зажимов наносят непосредственно на контурные линии поверхностей, избранных для базирования заготовки. Для упрощения эскиза на схемах установки можно любые опоры обозначать знаком $\wedge$ и применять его в сочетании как с упрощенным, так и со специализированным изображением зажимов.

Можно также несколько отдельных изображений одноименных опор заменять одним с указанием количества одноименных опор в правой части знака / это допускается делать в том случае, когда все знаки показаны на виде спереди или сбоку /.

На рис.18в приведена схема установки корпусной детали при растачивании отверстия.

Порядок выполнения задания

- ознакомиться с тремя чертежами деталей и текстовым заданием на механическую обработку поверхностей;
- разработать три теоретических схемы базирования, подобрав комплекты баз;
- разработать три упрощенных схемы установки;
- предъявить преподавателю выполненную работу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ПРОВЕРКА ТОКАРНОГО СТАНКА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ

Целью работы является ознакомление студентов с нормами геометрической точности станков и их влиянием на погрешности обработки и выработки у них навыков оценки технического состояния металлорежущего оборудования по критериям геометрической точности.

Наряду с этим достигается также закрепление навыков в производстве точных измерений геометрических размеров и углубляется знание металлорежущего оборудования.

Необходимое оборудование и материалы

- токарный станок;
- уровень;
- набор оправок;
- индикаторная головка со стойкой;
- комплект плакатов со схемами проверок.

Погрешности изготовления и сборки станков ограничиваются нормами, установленными Государственными стандартами.

Эти нормы определяют допуски и методы проверки геометрической точности станков, т.е. их точности в ненагруженном состоянии.

По точности станки разделяют на группы:

Н – нормальной точности $/\delta_n/$

П – повышенной точности $/\delta_p = 0,6\delta_n/$

В – высокой точности $/\delta_v = 0,4\delta_n/$

А – особо высокой точности $/\delta_a = 0,25\delta_n/$

С – особо точные $/\delta_e = 0,16\delta_n/$,

где δ_i - норма точности i группы станков.

Погрешности станков полностью или частично переносятся на обработанные поверхности заготовок в виде систематических погрешностей.

При непараллельности оси шпинделя токарного станка в горизонтальной плоскости направлению движения суппорта поверхность обрабатываемой заготовки, закрепленной в патроне станка, приобретает конусность.

При непараллельности оси шпинделя в вертикальной плоскости относительно направляющих обработанная поверхность приобретает форму гиперboloида вращения.

Биение шпинделей токарных станков, вызываемое овальностью подшипников и опорных шеек шпинделей, искажает форму обработанной заготовки в поперечном сечении. Повышенная овальность шпинделей в этом случае переносится на заготовку, т.к. силами резания шейки шпинделей все время прижимаются к определенным участкам поверхности подшипников.

Биение оси, конического отверстия шпинделя вызывает биение переднего центра и при обработке в центрах происходит перекося оси обрабатываемой поверхности при сохранении правильной окружности в поперечном сечении детали и т.п.

Износ станков в процессе эксплуатации приводит к увеличению начальных погрешностей. Износ идет весьма интенсивно. Так за годичный срок эксплуатации станка 1К62 в условиях единичного и серийного производства при двухсменной работе износ передней треугольной направляющей на обдирке составляет 0,1-0,12 мм, а на смешанной обработке 0,06-0,08 мм. Положение усугубляется тем, что износ точных элементов, как правило, происходит неравномерно. Поэтому металлорежущие станки периодически должны подвергаться проверке на геометрическую точность.

Порядок выполнения работы

1. Проверить точность установки станка по уровню. Для этого установить проверочный мостик двумя опорами на проверяемую направляющую и одной опорой на другую направляющую. На мостик положить уровень параллельно проверяемой направляющей, снять показания уровня в двух крайних положениях.

Отклонение вычисляется как половина алгебраической разницы крайних показаний уровня. Оно не должно превышать 0,04/1000 (плакат 1).

2. Проверить прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной плоскости. Для этого установить на суппорт уровень и, перемещая суппорт на всю длину продольного хода, снять показания уровня. Отклонение на 1м хода суппорта не должно превышать 0,02 мм (плакат 2).

3. Проверить прямолинейность продольного перемещения суппорта в горизонтальной плоскости. Для этого закрепить в центрах передней и задней бабок станка цилиндрическую оправку, а на суппорте станка – индикатор. Перемещением задней бабки в поперечном направлении добиться одинаковых показаний индикатора при расположении суппорта против двух

концов оправки. Перемещая суппорт вдоль оправки на всю длину хода, определить непрямолинейность хода. Отклонение на 1 м хода суппорта не должно превышать 0,02 мм. (плакат 3).

4. Проверить радиальное биение оси отверстия шпинделя передней бабки. Для этого вставить в отверстие шпинделя оправку, а на корпус передней бабки – стойку с индикатором так, чтобы его измерительный штифт касался образующей оправки. Поворачивая шпиндель, определить биение оправки у торца шпинделя и на расстоянии 300 мм от него. Допуск на радиальное биение оси отверстия шпинделя для станков с наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки 400 мм составляет у торца – 0,01 мм, а на расстоянии 300 мм от торца – 0,02 мм.

5. Проверить осевое биение шпинделя передней бабки. Для этого вставить в отверстие шпинделя короткую оправку, а на корпус передней бабки установить стойку с индикатором так, чтобы его измерительный штифт касался центра торца оправки. Поворачивая шпиндель, определить величину биения, которое для станков с максимальным диаметром обрабатываемой заготовки 400 мм не должно превышать 0,01 мм.

6. Проверить параллельность оси шпинделя передней бабки направлению продольного перемещения суппорта. Для этого в отверстие шпинделя плотно вставить оправку, а на суппорте установить стойку с индикатором так, чтобы с изменением положения стойки измерительный штифт мог касаться верхней и боковой образующих оправки. Перемещая суппорт вдоль станины, определяют погрешность по двум диаметрально расположенным образующим (при повороте шпинделя на 180°). Вычисляют среднее арифметическое двух замеров. Непараллельность в вертикальной плоскости определяют аналогично. Допуск на непараллельность оси шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта для станков с наибольшим диаметром заготовки 400 мм составляет в горизонтальной плоскости 0,012 мм и в вертикальной – 0,03 мм.

7. Проверить параллельность направления перемещения салазок суппорта оси шпинделя передней бабки. Для этого индикаторную стойку устанавливают на салазках суппорта так, чтобы измерительный штифт касался боковой поверхности установленной ранее оправки. Поворотной частью суппорта добиваются такого положения, чтобы показания индикатора при нахождении измерительного штифта на обоих концах оправки были одинаковыми. Затем индикатор устанавливают так, чтобы измерительный штифт касался поверхности оправки по верхней образующей. Перемещая салазки на всю длину хода вдоль верхних направляющих, определяют погрешность. Допуск на непараллельность направления перемещения салазок суппорта оси шпинделя передней бабки при длине хода салазок до 100 мм не должен превышать 0,03 мм, а при длине хода до 300 мм – 0,04 мм.

Порядок выполнения работы

- Изучить данное руководство и плакаты со схемами проверок;
- Произвести под руководством мастера комплекс из 8 проверок;
- Составить отчет, содержащий наименование работы, данные об измерительных средствах, эскизы, поясняющие суть проверок, таблицу с результатами замеров и заключение;
- Сдать работу преподавателю.

Содержание отчета

- Наименование работы;
- Модель станка и его характеристики;
- Описание приспособлений и характеристики измерительных инструментов;
- Эскизы со схемами проверок;
- Таблица замеров;
- Расчеты определяемых характеристик;
- Заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК

Целью работы является изучение влияния схемы установки заготовки на точность обработки и привитие студентам навыков в численном анализе погрешностей.

Изучение ведется на примере обработки цилиндрической заготовки на настроенном станке при закреплении ее на призмах.

Необходимое оборудование и материалы

- Фрезерный станок
- Торцовые фрезы
- Рабочие чертежи деталей /раздаточный материал
- Призмы и струбины
- Комплект валиков

- Измерительные инструменты
- Приборы для оценки шероховатости
- Справочная литература.

Погрешность установки $\epsilon_{уст}$ заготовки представляет собой сумму двух погрешностей: базирования $\epsilon_б$ и закрепления $\epsilon_з$. В общем случае это сумма векторов

$$\epsilon_{уст} = \epsilon_б + \epsilon_з$$

Определение истинных направлений этих векторов затруднительно, поэтому обычно принимают, что при обработке плоских поверхностей векторы коллинеарны и суммарную погрешность определяют как арифметическую сумму

$$\epsilon_{уст} = \epsilon_б + \epsilon_з$$

а при обработке поверхностей вращения сложение производят по наиболее вероятному значению /по правилу квадратного корня/

$$\epsilon_{уст} = \sqrt{\epsilon_б^2 + \epsilon_з^2}$$

Поскольку $\epsilon_б$ и $\epsilon_з$ имеют различную природу, их определение необходимо рассматривать отдельно.

Погрешность базирования возникает только при обработке на станках, предварительно настроенных на размер относительно установочных элементов приспособлений. Она образуется при несовмещении технологических и измерительных баз в связи с колебанием размеров заготовок в пределах поля допуска, установленного на выполнение предшествующих операций (переходов).

Численно погрешность базирования равна разности расстояний измерительной базы относительно установленного на размер инструмента.

Допустим, на цилиндрической детали /рис. 18а / требуется фрезеровать паз глубиной h и шириной B .



После предшествующей обработки предельные диаметры заготовки составляют D и D^{min} .

Заготовка устанавливается на призме /рис. 18б / приспособления и фреза настроена на размер, рассчитанный на номинальный диаметр заготовки. Из-за колебания диаметров заготовок измерительная база будет смещаться относительно уровня настройки фрезы на величину отрезка $E_1 - E$, который и представляет собой погрешность базирования.

$$AE = AO + OE = \frac{OC}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{D^{max}}{2} = \frac{D^{max}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{D^{max}}{2} = \frac{D^{max}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right); \quad (6)$$

$$AE_1 = A_1O + O_1E_1 = \frac{OC_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{D^{min}}{2} = \frac{D^{min}}{2\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{D^{min}}{2} = \frac{D^{min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right). \quad (B)$$

Подставив (Б) и (В) в (а), получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\delta = \Delta h &= \frac{D^{max}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) - \frac{D^{min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) = \\ &= \frac{D^{max} - D^{min}}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) = \frac{\delta D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right). \end{aligned} \quad (28)$$

Если конструктор задает глубину паза размером Н, то аналогичным образом можно получить

$$\varepsilon_\delta = \Delta H = \frac{\delta D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (29)$$

Погрешностью закрепления (ε_3) называется разность предельных расстояний измерительной базы относительно установленного на размер инструмента в результате смещения обрабатываемых заготовок от действия зажимной силы. Смещения измерительной базы заготовок происходят в результате деформации звеньев в цепи заготовки – установочные элементы – корпус приспособления, через которую передается зажимное усилие.

Наибольшая величина смещений образуется в контакте заготовка – установочные элементы приспособления. Остальные звенья проектируют таким образом, чтобы деформации были незначительны.

Величины смещений зависят нелинейно от усилий зажима заготовки и в рассматриваемом случае могут быть приближенно определены по формуле.

$$\varepsilon_3 = 2^n P_{cp}^n \frac{2(22-0,03R_a^2)}{D} \frac{K^n-1}{(K+1)^n}, \text{ мкм}, \quad (30)$$

Где P_{cp} – среднее усилие, приходящееся на одну опору, кгс;

K – коэффициент, учитывающий разброс величины усилия зажима. Обычно принимают $K = 1,3 - 1,6$;

n – показатель степени, которая для рассматриваемых условий можно принять равным $n = 0,5$;

D – диаметр заготовки, мм.

Порядок выполнения работы

- проанализировать чертеж с заданием и получить соответствующую заготовку;
- произвести обмер заготовки и определить шероховатость ее поверхности;
- используя формулы (26), (28) или (29) и (30), вычислить погрешность установки;
- произвести наладку станка и установочного приспособления;
- выполнить фрезерование паза;
- измерить фактическую глубину паза;
- составить отчет о выполненной работе;
- предъявить преподавателю отчет.

Содержание отчета

- наименование работы;
- данные о станке, приспособлении и инструментах;
- характеристика измерительных средств;
- эскиз детали и схема установки;
- расчет погрешности установки;
- фактическая погрешность установки;
- заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Целью работы является изучение взаимосвязи характеристик жесткости металлорежущих станков с точностью обработки и привитие практических навыков в оценке жесткости оборудования производственным методом.

Необходимое оборудование и материалы

- Фрезерный станок и комплект фрез для обработки плоскостей;
- Измерительные инструменты;

- Комплект ступенчатых заготовок;
- Справочная литература.

В процессе механической обработки станок, приспособление, обрабатываемая заготовка и режущий инструмент представляют собой замкнутую систему, которую называют технологической системой или сокращенно системой СПИД.

Сила резания вызывает упругие отжатия элементов системы СПИД. Их величина зависит как от силы резания, так и от жесткости элементов, т.е. их способности деформироваться под действием силы резания.

Жесткость j определяется отношением действующей силы к величине деформации y , вызываемой этой силой. С точки зрения точности обработки наибольшее значение имеет составляющая силы резания P_y , направленная нормально к обрабатываемой поверхности, т.е.

$$j = \frac{P_y}{y}$$

Упругие свойства технологической системы можно также характеризовать ее податливостью w , которая представляет собой величину, обратную жесткости, т.е.

$$w = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}$$

Характеристики жесткости элементов системы СПИД являются важнейшими исходными данными для проектирования технологических процессов механической обработки, так как их знание дает возможность подбирать соответствующее оборудование для обеспечения заданной точности обработки, определять требуемое количество переходов и решать другие задачи.

Жесткость элементов технологической системы определяют экспериментально либо статическим, либо динамическим (производственным) методом.

В первом случае производят статистическое нагружение, возрастающее ступенчато от нуля до некоторой наибольшей величины; для каждой ступени нагружения измеряется отжатие режущего лезвия в направлении нормали к обрабатываемой поверхности. Затем производят разгрузку, фиксируя остаточные отжатия и строят зависимость:

$$y = f(P_y) .$$

При этом нагрузочная 1 (рис. 19) и разгрузочная 2 ветви характеристики жесткости обычно не совпадают из-за наличия гистерезиса. При многократных нагружениях и разгрузениях петля гистерезиса уменьшается.

Для упрощения технологических расчетов пользуются средним значением жесткости, заключенным между двумя ветвями характеристики ($U_{ср}$ на рис. 19).

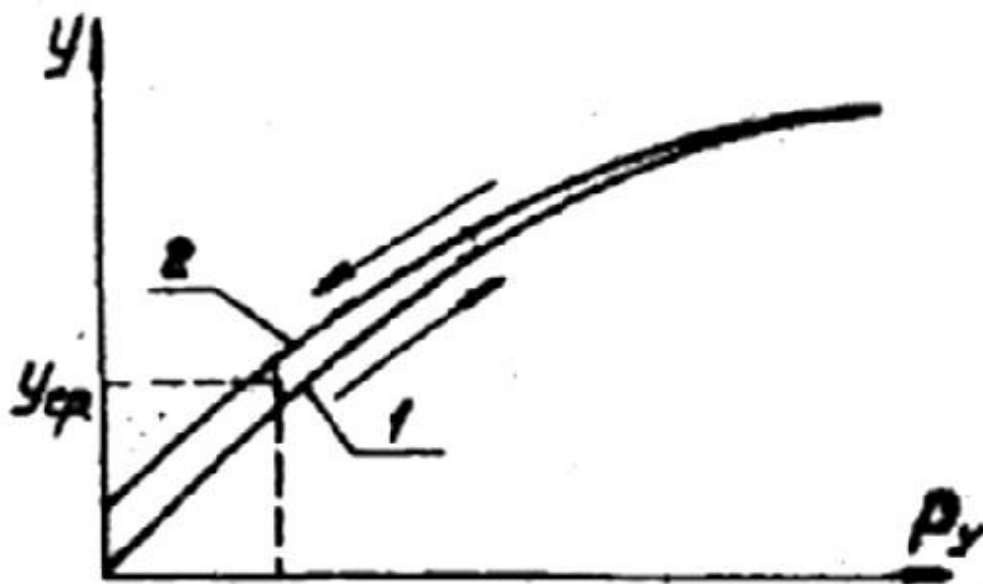


Рис.19. Характеристики жесткости станка

При производственных методах определения жесткости металлорежущего оборудования обеспечиваются наиболее достоверные результаты и исходные данные на работающем оборудовании.

Они основаны на измерении размеров контрольных образцов, после их обработки на настроенных станках при различных глубинах резания. Различным глубинам резания соответствуют различные величины силы резания, а следовательно, и разные величины отжатия режущего инструмента, что и дает возможность получать характеристики $U = f(P_y)$.

Неравномерную глубину резания создают, обрабатывая заготовки с эксцентриситетом, конусностью или с наличием ступенек в направлении подачи. Последний вариант и рекомендуется к использованию в данной работе.

На рис. 20 показана ступенчатая заготовка для снятия характеристики жесткости фрезерного станка.

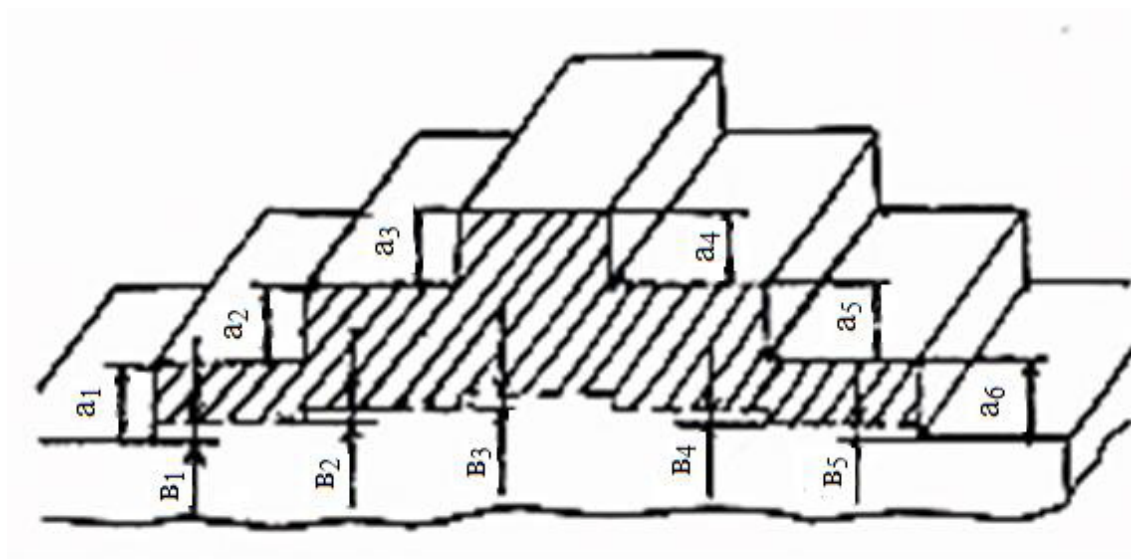


Рис.20. Ступенчатая заготовка для определения жесткости фрезерного станка

Измерив предварительно высоты ступенек $a_1 \dots a_6$ и настроив станок по крайней ступеньке, производят фрезерование верхней поверхности заготовки по всей длине. В результате различных отжатий фрезы после обработки образуется ступенчатая поверхность, показанная на рис.20 пунктирной линией. Измерив величины $b_1 \dots b_5$, вычисляют величины упругих отжатий фрезы $U_1 \dots U_6$.

Вычислив нормальную составляющую силы резания, соответствующую каждой глубине резания, получают точки для построения кривых $u = f(P_y)$ для восходящей и нисходящей ветвей характеристики.

Как известно, нормальная составляющая силы резания определяется по формуле:

$$P_y = \lambda C_p t S^{0,75},$$

где λ – коэффициент, характеризующий соотношение между радиальной составляющей силы резания P_y и тангенциальной составляющей P_2 . Он зависит от геометрии резца, состояния режущей кромки и механических свойств обрабатываемого материала;

C_p – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала и угла резания;

t – глубина резания;

S – подача.

Величины λ и C_p можно определить по справочной литературе или опытным путем.

Порядок выполнения работы

- Произвести обмер ступенчатой заготовки.
- Установить, выверить и закрепить ступенчатую заготовку на столе станка.
- Закрепить фрезу на шпинделе станка.
- Настроить фрезу по первой ступеньке заготовки.
- Установить необходимый режим резания и фрезеровать заготовку, снимая за один проход всю ступенчатую часть.
- Измерить размер ступенек на обработанной поверхности.
- Составить отчет по работе и предъявить его преподавателю.

Содержание отчета

- Наименование работы.
- Модель станка и его характеристики.
- Характеристика приспособлений и измерительных инструментов.
- Эскиз заготовки и материал, из которого она изготовлена.
- Эскиз закрепления заготовки на станке.
- Характеристика режущего инструмента и режим резания.
- Расчетная таблица.
- Характеристика жесткости /график/.
- Заключение.

УИРС 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Целью работы является изучение влияния режимов резания на высоту микронеровностей при наружном цилиндрическом точении методом экспериментального исследования. Работой достигается привитие навыков в постановке экспериментального исследования и обработке полученных результатов.

Необходимое оборудование и материалы

- Токарный станок.
- Комплект цилиндрических образцов.
- Приборы для контроля шероховатости.

Шероховатость является одним из основных показателей качества обработанных поверхностей. Она оказывает большое влияние на долговечность, прочность, коррозионную стойкость и другие важные характеристики деталей.

Каждой конкретной комбинации условий работы деталей соответствует свое оптимальное значение шероховатости, указываемое на рабочих чертежах. Технологический процесс изготовления должен обеспечить заданную шероховатость обработанных поверхностей. Шероховатость окончательно обработанной поверхности определяется свойствами материала заготовки и способом ее получения, способом и режимом механической обработки, характеристикой оборудования и режущих инструментов и рядом других факторов, которыми технолог может варьировать, влияя на параметры шероховатости.

Поверхность механически обработанной детали отличается от идеальной номинальной поверхности наличием неровностей, различающихся формой и высотой /рис. 21/. Если $L/H=50\dots1000$, то поверхность называют волнистой, а если $l/h<50$ – поверхность называют шероховатой. Поверхность может быть одновременно и волнистой и шероховатой.

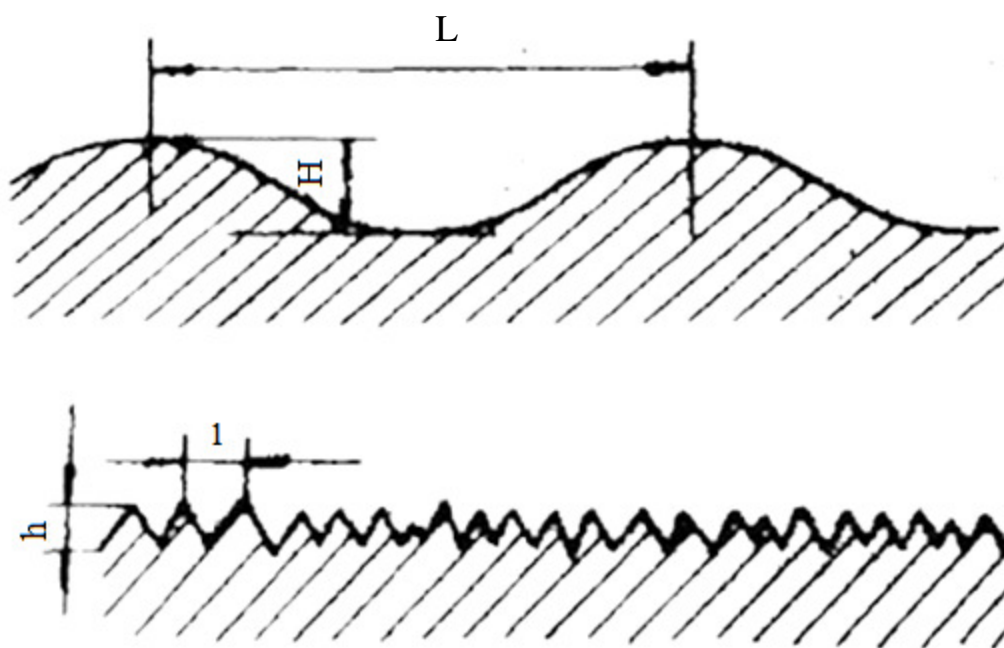


Рис.21. Волнистость и шероховатость поверхности

При обработке резанием возникают два вида шероховатости. Профиль поверхности в направлении главного движения характеризуется продольной шероховатостью, а профиль поверхности в направлении подачи – поперечной шероховатостью. Продольная шероховатость обычно меньше поперечной. Поэтому под шероховатостью обработанной поверхности,

образованной точением, строганием и некоторыми другими способами, обычно понимают поперечную шероховатость.

С точки зрения эксплуатационных свойств деталей большое значение имеет направленность /рисунок/ штрихов, которая формируется на окончательной стадии обработки и зависит от ее способа. Так, при круглом шлифовании штрихи направлены практически параллельно друг другу и перпендикулярно к оси детали, а при хонинговании отверстий образуется сетка пересекающихся штрихов, что способствует повышению износостойкости.

На форму и размер неровностей, образующихся при механической обработке, влияет скорость подачи режущих инструментов, геометрия и состояние режущих лезвий, скорость резания, трение задней поверхности инструмента, свойства СОЖ и жесткость технологической системы.

При точении, растачивании и строгании увеличение скорости подачи сопровождается увеличением высоты неровностей, что особенно заметно на подачах более 0,15 мм/об.

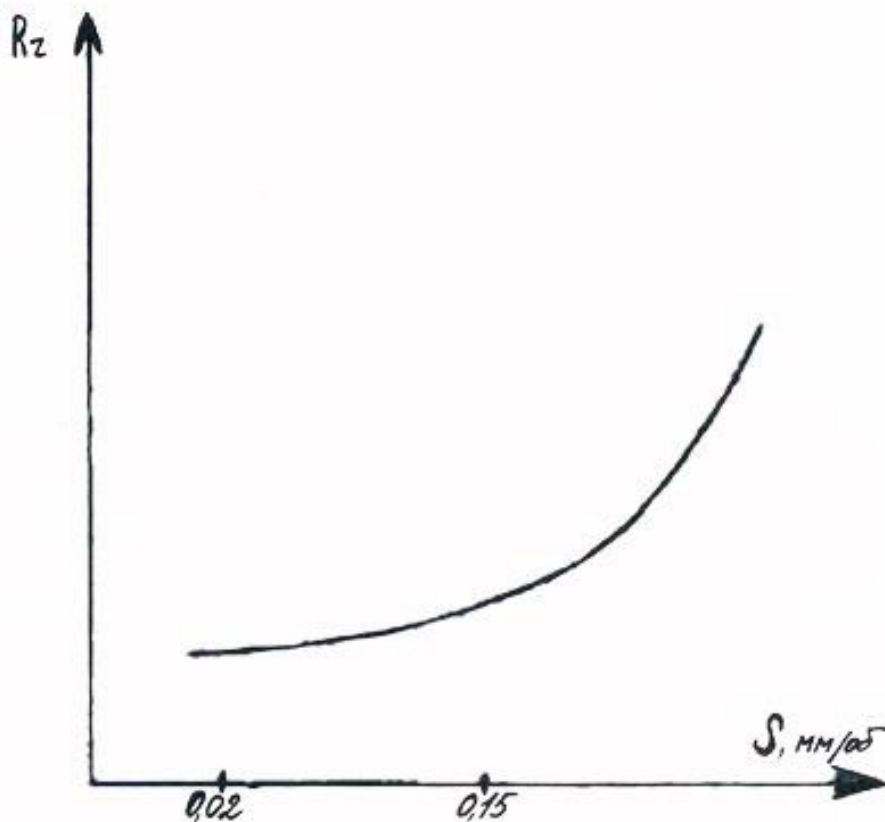


Рис.22. Влияние подачи на шероховатость при точении стали

Аналитический расчет зависимости роста высоты гребешков с увеличением подачи, основанный на геометрических соотношениях, не дает удовлетворительного совпадения с результатами эксперимента. Поэтому при технологических расчетах пользуются опытно-статистическими данными.

Чем острее заточен резец, чем меньше радиус закругления его вершины и чем больше главный угол в плане, тем больше влияние оказывает

подача на шероховатость. Это обуславливает необходимость назначать малые величины подач при окончательной обработке точных деталей.

При обработке поверхностей многолезвийным инструментом /развертывание, торцовое фрезерование и т.п./ скорость подачи не оказывает существенного влияния на шероховатость.

Характер влияния скорости резания /рис. 23/ зависит от свойств обрабатываемого материала и процесса стружкообразования. На рис. 23 приведены типовые зависимости $R_z = f(v)$. Различие характера кривых для стальной 1 и 2 чугунной заготовок объясняется образованием нароста на режущем лезвии при обработке пластичных материалов.

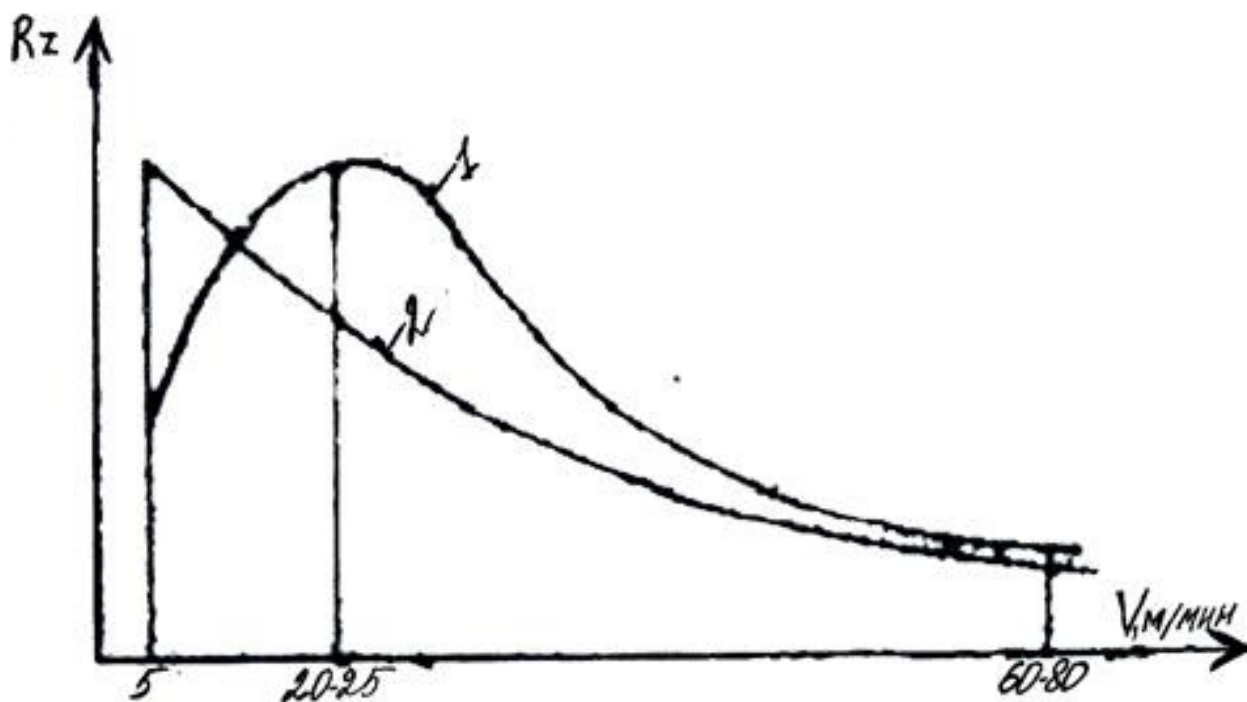


Рис.23. Влияние скорости резания на шероховатость обработанной поверхности

Увеличение шероховатости по этой причине начинает проявляться со скорости 5 м/мин, достигает максимума при скорости 20-25 м/мин и с дальнейшим увеличением скорости шероховатость уменьшается вследствие уноса нароста со стружкой или прекращения его образования.

При обработке хрупких материалов нарост необразуется и высота микронеровностей монотонно убывает с ростом скорости.

Углы заточки режущих инструментов также оказывают существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности. Увеличение главного переднего угла уменьшает величину деформаций при резании, облегчает отделение стружки и снижает высоту неровностей. Увеличение заднего угла на $10-12^\circ$ уменьшает трение задней поверхности инструмента о поверхность

резания и также сопровождается уменьшением шероховатости. Но увеличение заднего угла сверхуказанного предела приводит к заметному снижению теплостойкости режущих инструментов.

Шероховатость зависит и от состояния режущих лезвий. При затуплении режущих лезвий и появлении зазубрин шероховатость поверхностей возрастает. Тщательная доводка режущего лезвия способствует уменьшению шероховатости.

Применением СОЖ при механической обработке можно уменьшить высоту микронеровностей на 25-40% по сравнению с обработкой без охлаждения.

Эффективность применения СОЖ зависит от ее свойств и тщательности фильтрации в системе циркуляции.

Жесткость элементов системы СПИД также оказывает влияние на шероховатость обработанной поверхности. Наиболее наглядно влияние жесткости проявляется при обтачивании валиков с использованием различных схем закрепления на станке. Так, при консольном закреплении валика в патроне высота микронеровностей по длине возрастает от места закрепления к свободному концу. При обтачивании нежесткого $\frac{1}{d} < 15/$ валика в центрах максимум высоты микронеровностей также располагается в месте наименьшей жесткости заготовки, т.е. на середине длины валика.

В настоящей работе производят определение зависимости высоты микронеровностей от скорости резания и подачи при обтачивании стального валика на токарном станке. Для исследования применяется цилиндрический валик, разделенный на отдельные участки кольцевыми канавками.

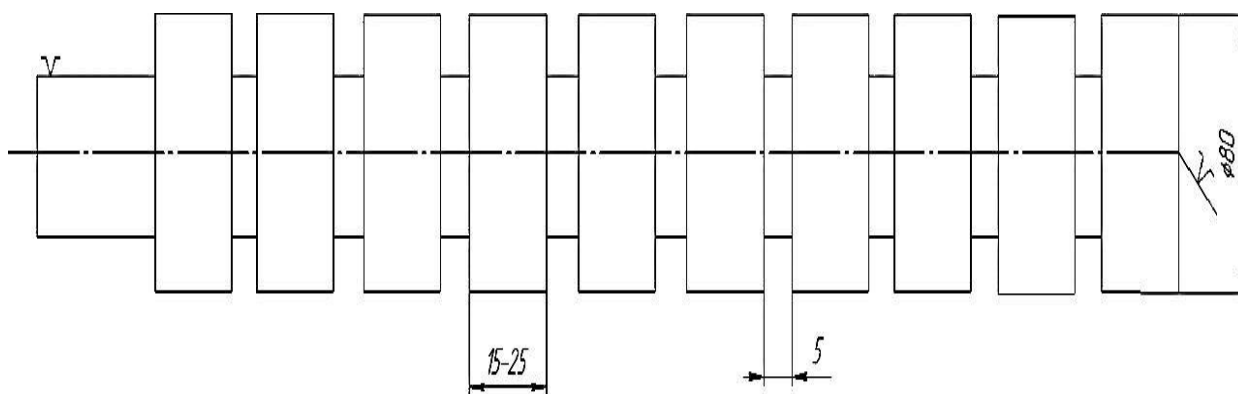


Рис.24. Заготовка для исследования влияния скорости и подачи на шероховатость

Порядок выполнения работы

- Установить валик в центрах токарного станка и закрепить резец в резцедержателе. Выверку положения резца произвести по главному углу в плане с помощью шаблона.
- Установить режим резания: $S = 0,1$ мм/об, $t = 0,2-0,5$ мм и определить положение рукояток для четырех фиксированных скоростей резания в диапазоне от 5 до 150 м/мин. Проточить на установленных скоростях резания четыре пояска на валике.
- Обточить четыре оставшихся пояска на валике, сохраняя постоянными скорость и глубину резания $V = 50-100$ м/мин/, изменяя подачу в пределах от 0,15 до 0,6 мм.
- Снять заготовку со стана и измерить высоту неровностей обработанной поверхности на всех участках валика с помощью двойного микроскопа МИС-11 или произвести оценку, используя эталоны шероховатости;
- Составить отчет.

Содержание отчета

- Наименование работы.
- Цель работы.
- Модель станка и его характеристики.
- Эскиз заготовки и марка материала.
- Материал и геометрия режущего инструмента.
- Методы измерения шероховатости.
- Таблица с результатами опытов.
- Графики зависимости шероховатости от скорости резания и подачи.
- Выводы по работе.

УИРС 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ШЛИФОВАНИЯ

Целью работы является изучение теории выполнения особо точных операций механической обработки и привитие практических навыков в разработке технологии точных методов обработки с применением элементов исследования.

Необходимое оборудование и материалы

- Круглошлифовальный станок.
- Комплект круглых цилиндрических заготовок.

- Измерительный инструмент.
- Справочная литература.

Шлифование – наиболее распространенный метод чистовой обработки наружных цилиндрических поверхностей. Наиболее эффективной разновидностью круглого шлифования является тонкое шлифование, суть которого состоит в снятии небольших припусков без поперечной подачи круга /выхаживание/.

Точность, которую можно обеспечить тонким шлифованием, составляет 1-2 мкм /выше 5 квалитета/, а шероховатость поверхности – Ra 0,32...0,16 мкм. При тонкой правке круга можно достичь шероховатости Ra 0,08 мкм.

С помощью тонкого шлифования может быть выполнено соединение двух цилиндрических деталей с зазором в сопряжении до 2-4 мкм и со свободным взаимным перемещением деталей.

Точность размеров при тонком шлифовании обеспечивается работой по методу пробных промеров.

Шлифовальный круг зернистостью 25, 16, и 12, применяемый в тонком шлифовании, обладает способностью снимать слой металла за один проход 0,5 мкм, т.е. можно обеспечить точность обработки диаметров до 1 мкм.

Однако, другие факторы /нагрев заготовки, податливость системы СПИД, точность механизма поперечной подачи/ влияют в направлении снижения точности обработки.

Точность механизма поперечной подачи шлифовального круга составляет примерно $\pm 2,5$ мкм, поэтому, работая по лимбу, можно обеспечить точность не более 0,01 мм.

Необходимая точность при тонком шлифовании достигается за счет упругих свойств системы методом обработки за несколько проходов без поперечной подачи круга.

На рис. 25 приведена схема шлифования за три прохода без поперечной подачи круга.

Допустим, шлифовальный круг установлен на начальную глубину резания t_0 . При первом проходе произойдет упругое отжатие круга на величину y_1 , а фактическая глубина резания составит t_1 . На втором проходе величина упругой отдачи составит y_2 , а фактическая глубина резания – t_2 . На третьем проходе – y_3 и t_3 соответственно.

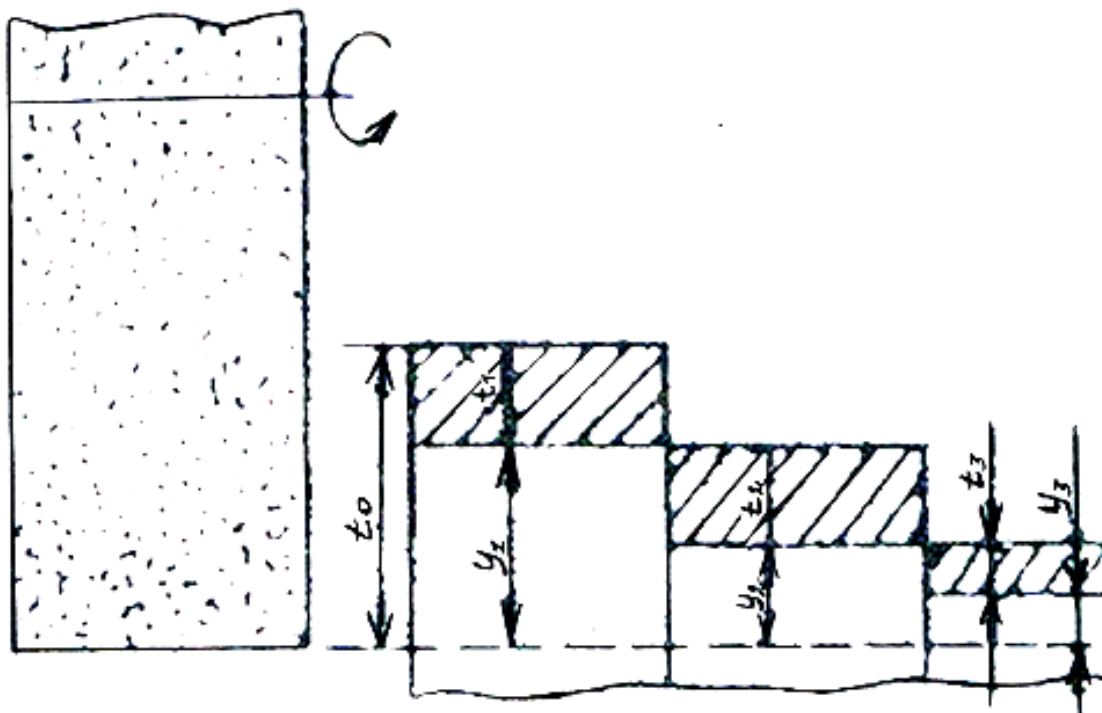


Рис.25. Схема шлифования в три прохода без поперечной подачи

Радиальная составляющая силы резания при шлифовании определяется по формуле

$$-P_y = 2C_p V_a^{0,7} S^{0,7} t^{0,6},$$

где C_p – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал;

V_a – окружная скорость обрабатываемой детали, м/мин;

S – продольная подача, мм/об;

t – глубина резания, мм.

Обозначим

$$K = 2C_p V_a^{0,7} S^{0,7}.$$

Тогда

$$P_y = K t^{0,6}$$

Исходя из равновесия сил для каждого перехода, можем записать

$$P_y = K t^{0,6} = j y,$$

где j – жесткость системы.

Составим систему уравнений для трех проходов.

Для первого прохода:

$$t_0 = t_1 + y_1 \text{ и } Kt_1^{0,6} = jy_1, \text{ (I)}$$

Для второго прохода:

$$t_0 - t_1 = t_2 + y_2 \text{ и } Kt_2^{0,6} = jy_2, \text{ (II)}$$

Для третьего прохода:

$$t_0 - t_1 - t_2 = t_3 + y_3 \text{ и } Kt_3^{0,6} = jy_3, \text{ (III)}$$

Для n-прохода:

$$t_0 - (t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1}) = t_n + y_n \text{ и } Kt_n^{0,6} = jy_n$$

В результате получаем систему из 2n уравнений при 2n неизвестных, графическое решение которой показано на рис.26.

Рассмотрим порядок построения графика.

Из системы (I) получаем:

$$\frac{Kt^{0,6}}{j} = t_0 - t_1.$$

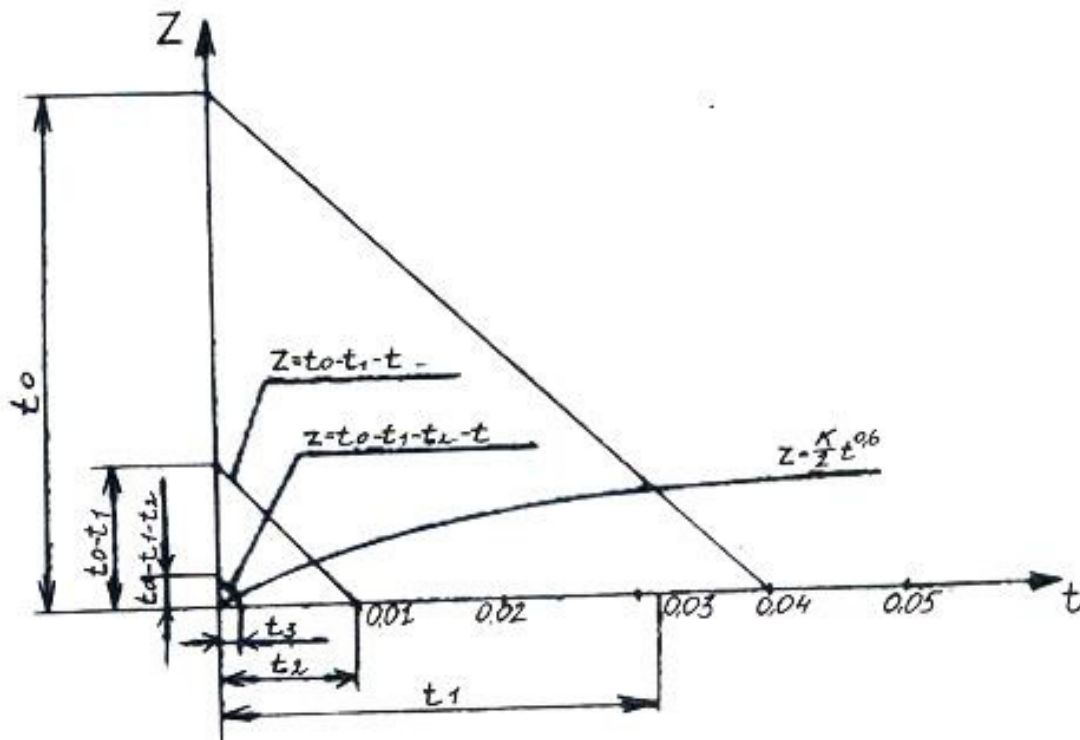


Рис.26. Графическое решение системы уравнений I-III

Задаваясь различными значениями t , строим кривую $z = \frac{Kt^{0,6}}{j}$ и прямую $z = t_0 - t_1$. Абсцисса точки пересечения кривой и прямой определяет значение t_1 .

Из системы уравнений (II) имеем:

$$\frac{Kt_2^{0,6}}{j} = t_0 - t_1 - t_2.$$

Значение t_1 определено при решении системы (I). На графике вычитаем из t_0 значение t_1 и строим прямую $z = t_0 - t_1 - t$. Абсцисса точки пересечения этой прямой с кривой определяет значение t_2 и т.д. Следовательно, зная j и K пользуясь рассмотренным графическим методом системы уравнений, можно заранее определить фактическую глубину резания на каждом переходе в зависимости от первоначально установленной глубины резания t_0 и, не работая лимбом, задаваясь количеством переходов, получать заданный размер с необходимой точностью.

Порядок выполнения работы

- Произвести обмер заготовки и установить начальную глубину резания t_0 .
- Пользуясь справочной литературой, вычислить величину K .
- Построить графическое решение задачи по известным величинам j , K и t_0 .
- Определить по графику требуемое количество переходов для получения заданного размера.
- Установить заготовку на станок и подготовить станок к работе на заданном режиме.
- Выполнить тонкое шлифование, производя обмеры после каждого прохода;
- Составить отчет о проделанной работе.
- Сдать работу преподавателю.

Содержание отчета

- Наименование работы.
- Характеристика применяемого оборудования и инструментов.
- Описание порядка расчета требуемого количества переходов.
- Графическое решение задачи.
- Таблица замеров.
- Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

По практическому занятию 1

1. В чем состоит цель занятия?
2. По какому источнику и как выбирают заготовку из круглого горячекатанного проката? Как записывается ее условное обозначение?

3. По каким исходным данным выбирают маршрут механической обработки?
4. По каким источникам выбирают режущий инструмент? Как записывается условное обозначение резцов, фрез, сверл?
5. Какие документы оформляют по результатам разработки маршрута механической обработки?
6. Какая информация должна содержаться в карте эскизов?

По практическому занятию 2

1. Запишите формулу для определения минимального припуска и разъясните значение входящих в нее символов.
2. В каких случаях из расчета исключается глубина поврежденного слоя?
3. Как поступают, когда направления векторов пространственных отклонений и погрешности установки неизвестны?
4. Как определяют максимальный припуск на переход? Объясните, почему так.
5. В чем состоит отличие в расчете минимального припуска при обработке на настроенном оборудовании и при обработке методом пробных проходов?
6. Как определяют номинальный припуск на обработку для наружных и для внутренних поверхностей?
7. В каком порядке производится расчет припусков для наружных поверхностей? Чем отличается порядок расчета припусков для внутренних поверхностей?
8. Как производится округление расчетных припусков?
9. Как определяется величина коробления литых заготовок?
10. Как определяется остаточное коробление после перехода?
11. Как определяют смещение центров в отливках?
12. Как определить погрешность базирования при установке заготовки по плоскости и двум отверстиям?

По практическому занятию 3

1. Что называют базированием?
2. Сколько степеней свободы должна быть лишена заготовка, чтобы она стала неподвижной в прямоугольной системе координат?
3. Что называют базой?

4. Приведите пример, когда базой является поверхность, сочетание поверхностей, ось, точка.
5. Что называют теоретической схемой базирования?
6. Изобразите условный знак опорной точки на виде сверху, когда ее закрывает заготовка.
7. По каким признакам классифицируют базы?
8. Приведите пример комплекта вспомогательных конструкторских баз.
9. Приведите пример баз призматической детали. Какие базы входят в комплект?
10. Приведите примеры двойной опорной и двойной направляющей баз. Каких степеней свободы они лишают заготовку?
11. Что называют базой явной и базой скрытой?
12. Чем отличаются схемы установок от теоретических схем базирования?
13. Как показывают центры на схемах установок?

По лабораторной работе 1

1. Сформулируйте цель работы.
2. Как разделяются станки по точности?
3. Как проверяют прямолинейность продольного перемещения суппорта в вертикальной и горизонтальной плоскости?
4. Как проверяют радиальное биение оси отверстия шпинделя передней бабки?
5. Как проверяют осевое биение шпинделя передней бабки?
6. Как проверяют параллельность оси шпинделя передней бабки направлению перемещения /продольного/ суппорта?
7. Как проверяют параллельность направления перемещения салазок суппорта оси шпинделя передней бабки?

По лабораторной работе 2

1. Запишите формулу для определения погрешности установки. Разъясните значение входящих в нее параметров.
2. В каких случаях возникает погрешность базирования?
3. Чему численно равна погрешность базирования?
4. Чему равна погрешность базирования при установке круглой цилиндрической заготовки на призмы в нижнем положении?
5. Что называют погрешностью закрепления?
6. Как зависит погрешность закрепления от шероховатости поверхности заготовки?

По лабораторной работе 3

1. Что называют системой СПИД?
2. Что называют жесткостью станка?
3. Как жесткость связана с податливостью?
4. Какими двумя методами определяют жесткость металлорежущих станков? В чем их суть?
5. Изобразите типовую характеристику жесткости металлорежущего станка.
6. Как создают неравномерную глубину резания при производственном методе определения жесткости?
7. Изобразите образец для испытания жесткости фрезерного станка.

По лабораторной работе 4

1. Какими факторами определяется шероховатость обработанной поверхности?
2. Какие два вида шероховатости возникают при обработке резанием?
3. Как влияет скорость подачи на высоту микронеровностей?
4. Почему при окончательной обработке точных деталей назначают малую величину подач?
5. Почему скорость резания влияет неодинаково на шероховатость стальных и чугунных деталей?

По лабораторной работе 5

1. В чем заключается суть процесса тонкого шлифования?
2. Какие результаты достигаются при тонком шлифовании?
3. Какая зернистость кругов пригодна для тонкого шлифования?
4. Каков порядок графического решения системы уравнений? Какие исходные данные нужны для расчета числа переходов?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Обозначения условные графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы.

Наименование		Обозначение		Примеры нанесения
		вид спереди	вид сверху	
Центры	Гладкий			
	Рифленый			
	Плавающий			
	Вращающийся			
	Обратный			
Патроны	Поводковый			
	2 , 3 и 4 - кулачковый			
	Пневматический			
	Гидравлический			
	Магнитный и электромагнитный			
Люнеты	Неподвижные			
	Подвижные			
Опоры	Одиночные: регулируемые и нерегулируемые			
	Плавающие			
	Призматические: регулируемые и нерегулируемые			
Зажимы	Механические			
	Пневматические			
Оправки	Цилиндрические			
	Конические			

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1. / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К. Мещерякова.- М.: Машиностроение, 1972.
2. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / под ред. А.Н. Малова.- М.: Машиностроение, 1972.
3. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. М.:Изд-во стандартов, 1976.
4. ГОСТ 3.1107-73. Обозначения условные графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы. -М.: Изд-во стандартов, 1973.
5. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. /под ред. А.Ф. Горбачевича. –Минск: Высшая школа, 1975.
6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. 1 и 2.-М.: Машиностроение, 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Практическое занятие 1. Разработка структуры индивидуального технологического процесса механической обработки.....	4
Практическое занятие 2. Расчет припусков и промежуточных размеров расчетно-аналитическим методом.....	14
Практическое занятие 3. Разработка теоретических схем базирования и схем установок.....	32
Лабораторная работа 1. Проверка токарного станка на геометрическую точность.....	40
Лабораторная работа 2. Исследование погрешности установки заготовок.....	43
Лабораторная работа 3. Исследование жесткости фрезерного станка.....	47
УИРС 1. Исследование влияния режимов резания на шероховатость обработанных поверхностей.....	51
УИРС 2. Исследование процесса тонкого шлифования.....	56
Контрольные вопросы для самопроверки.....	60
Приложение. Обозначения условные графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы.	64
Библиографический список.....	65