

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
"ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А.А. Сапрыкин, В.Л. Бибик

**СБОРНИК ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

Учебное пособие

Издательство
Томского политехнического университета
2008

ББК 34.5 я 73
УДК 621.7.002(076)
С 19

С 19 **Сапрыкин А.А.**
Сборник практических задач по дисциплине «Технология машиностроения»: учебное пособие / А.А. Сапрыкин, В.Л. Бирик. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 95 с.

Пособие содержит примеры и задачи с решениями. Оно поможет приобрести навыки в решении технологических задач, определении совершенствования существующих и разработке новых технологических процессов. Предназначено для выполнения практических работ по дисциплине «Технология машиностроения» студентами вузов специальности 151001 «Технология машиностроения».

УДК 621.7.002(076)

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор ТПУ
С.И. Петрушин

Заместитель начальника цеха №23 ООО «Юргинский
машзавод»
П.Н. Беспалов

© Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета, 2008
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ.....	4
§ 1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ.....	4
§ 2. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	11
§ 3. БАЗЫ И ПРИНЦИПЫ БАЗИРОВАНИЯ.....	17
§ 4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ.....	26
§ 5. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ. ОПЕРАЦИОННЫЕ РАЗМЕРЫ И ИХ ДОПУСКИ.....	32
§ 6. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	49
§ 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ.....	53
§ 8. МЕТОДЫ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК. УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ.....	57
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК.....	62
§ 9. ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ.....	62
ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН.....	75
§ 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	83
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

При работах по проектированию технологического процесса и его реализации и при оформлении технологической документации важно уметь определять структуру технологического процесса и правильно формулировать наименование и содержание его элементов. При этой работе руководствуются ГОСТ 3.1104–81 и 3.1702–79.

Важным этапом в разработке технологического процесса является так же определение типа производства. Ориентировочно тип производства устанавливают на начальной стадии проектирования [1, с.6]. Основным критерием при этом служит коэффициент закрепления операций. Это отношение числа всех технологических операций, выполняемых в течение определенного периода, например месяца, на механическом участке (O), и к числу рабочих мест (P) этого участка:

$$K_{з.о} = O/P. \quad (1.1)$$

Типы машиностроительных производств характеризуются следующими значениями коэффициента закрепления операций: $K_{з.о} < 1$ – массовое производство; $1 < K_{з.о} \leq 10$ – крупносерийное производство; $10 < K_{з.о} \leq 20$ – среднесерийное производство; $20 < K_{з.о} \leq 40$ – мелкосерийное производство; $K_{з.о}$ не регламентируется – единичное производство.

Формулирование наименования и содержания операции

Пример 1.1. Деталь (втулку) изготавливают в условиях серийного производства и из горячекатаного проката, разрезанного на штучные заготовки. Все поверхности обрабатываются однократно. Токарная операция выполняется согласно двум операционным эскизам по установкам (рис.1.1).

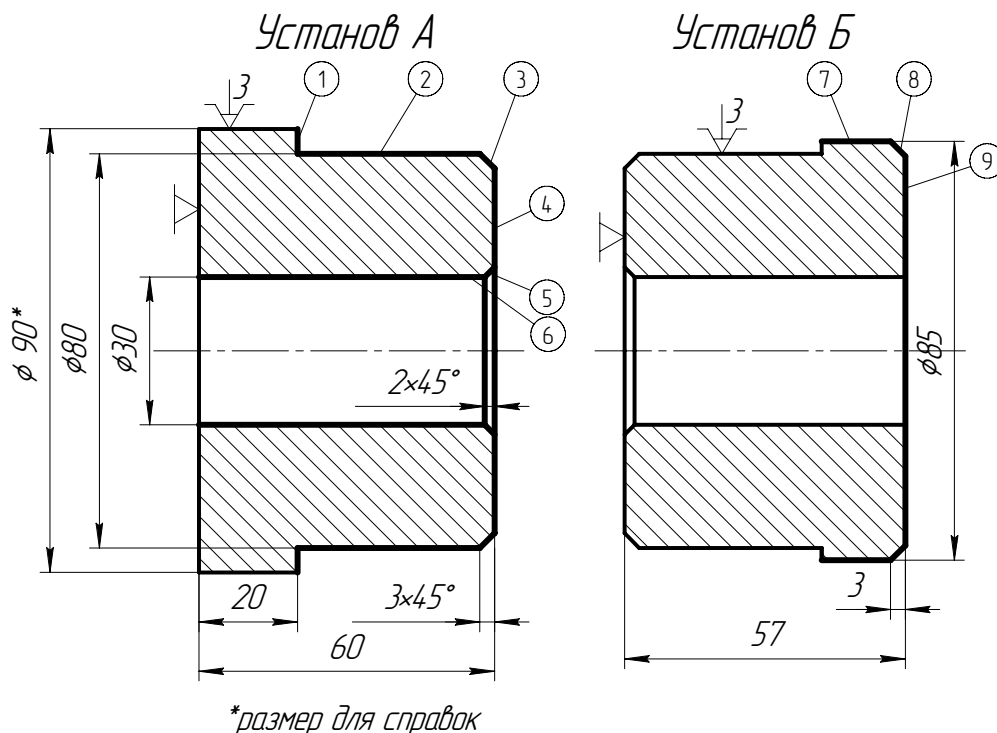


Рис. 1.1. Операционные эскизы

Требуется: произвести анализ операционных эскизов и других исходных данных; установить содержание операции и сформулировать ее наименование и содержание; установить последовательность обработки заготовки в данной операции; описать содержание операции по переходам.

Решение. 1. Анализируя исходные данные, устанавливаем, что в рассматриваемой операции, состоящей из двух установок, выполняется обработка девяти поверхностей заготовки, для чего потребуется выполнить последовательно девять технологических переходов.

2. Для выполнения операции будет использован токарный или токарно-винторезный станок, и наименование операции будет «Токарная» или «Токарно-винторезная» (ГОСТ 3.0217–79). По такому же ГОСТу определяем номер группы операции (14) и номер операции (63).

Для записи содержания операции при наличии операционных эскизов может быть применена сокращенная форма записи: «Подрезать три торца», «Сверлить и расточить отверстие», «Расточить одну и точить две фаски».

3. Устанавливаем рациональную последовательность выполнения технологических переходов по установкам, руководствуясь операционными эскизами. В первом установке необходимо подрезать

торец 4, точить поверхность 2 с образованием торца 1, точить фаску 3, сверлить отверстие 6 и расточить фаску 5. Во втором установке нужно подрезать торец 9, точить поверхность 7 и фаску 8.

Таблица 1.1

Исходные данные

№ перехода	Вид перехода	Содержание перехода
1	ПВ	Установить и закрепить заготовку
2	ПТ	Подрезать торец 4
3	ПТ	Точить поверхность 2 с образованием торца 1 (при точении поверхности 2 производится 2 рабочих хода)
4	ПТ	Точить фаску 3
5	ПТ	Сверлить отверстие 6
6	ПТ	Расточить фаску 5
7	ПВ	Переустановить заготовку
8	ПТ	Подрезать торец 9
9	ПТ	Точить поверхность 7
10	ПТ	Точить фаску 8
11	ПВ	Контроль размеров деталей
12	ПВ	Снять деталь и уложить в тару

4. Содержание операции в технологической документации записывается по переходам: технологическим (ПТ) и вспомогательным (ПВ). При формулировании содержания переходов используется сокращенная запись по ГОСТ 3.1702–79. В таблице 1.1 приведены записи рассматриваемого примера.

Задача 1.1. Для токарной операции разработан операционный эскиз и заданы исполнительные размеры с допусками и требования по шероховатости обрабатываемых поверхностей (рис 1.2). Обработка каждой поверхности однократная.

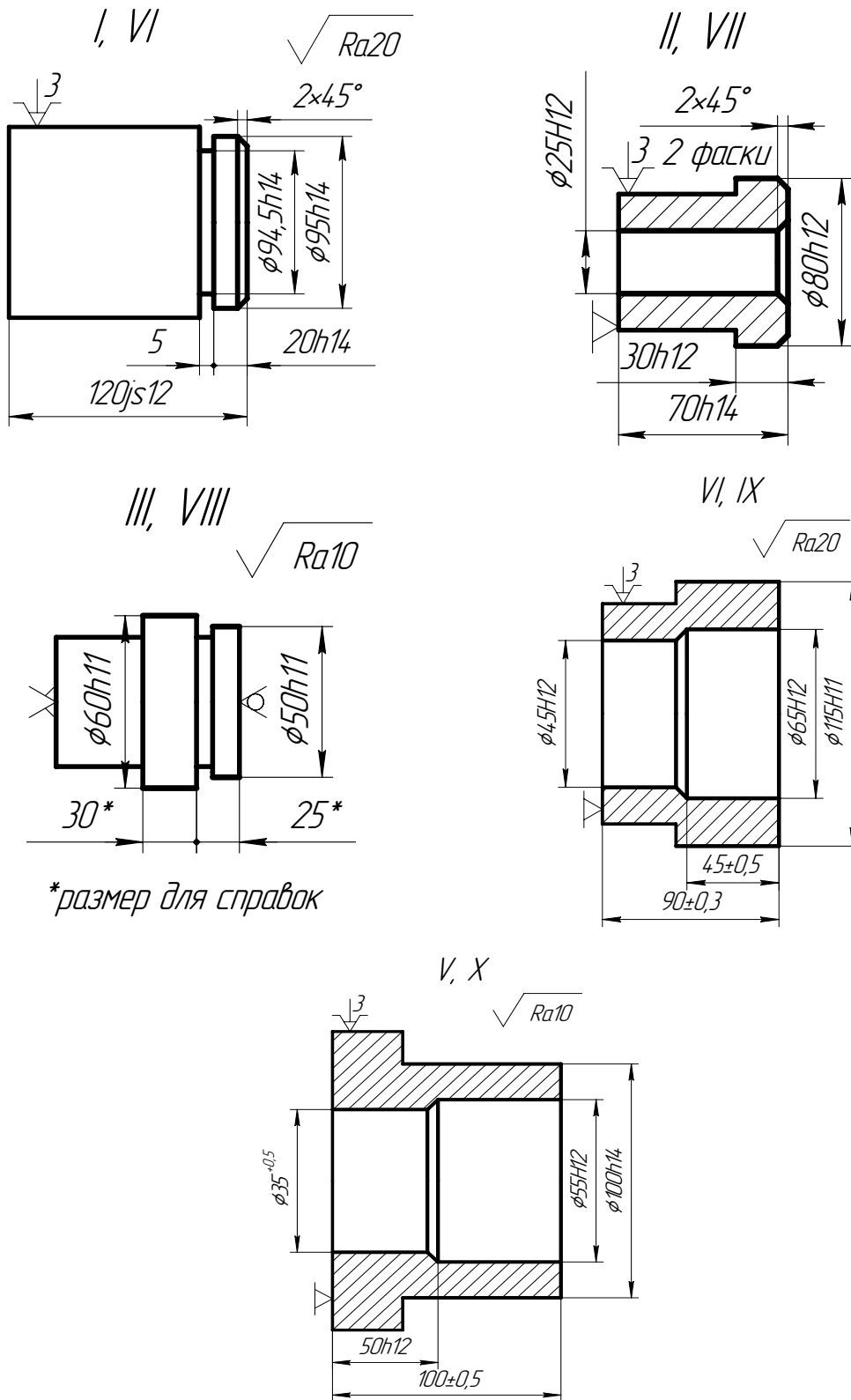


Рис. 1.2. Операционные эскизы

Требуется: задать тип станка; определить конфигурацию и размеры заготовки; установить схему базирования; пронумеровать на эскизе все обрабатываемые поверхности; сформулировать для записи в технологических документах наименование и содержание операции; записать содержание всех технологических переходов в технологической последовательности в полной и сокращенной формах.

Установление наименования и структуры операции и запись ее содержания в технологической документации

Пример 1.2. На рис 1.3, который представляет собой фрагмент рабочего чертежа детали, выделен конструктивный элемент детали, подлежащий обработке в условиях серийного производства.

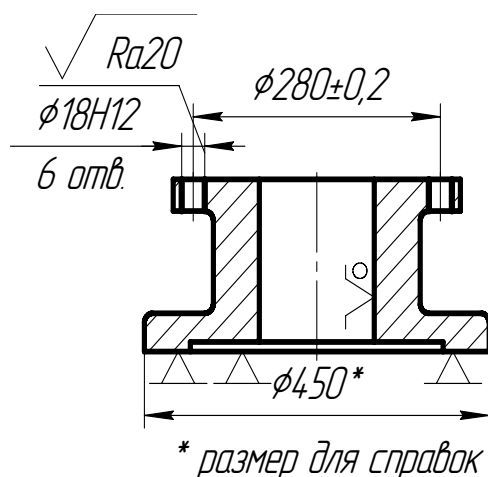


Рис. 1.3. Рабочий чертеж

Требуется: провести анализ исходных данных; выбрать метод обработки конструктивного типа производства; подобрать тип металлорежущего станка; установить наименование операции; записать содержание операции в полной форме; сформулировать запись содержания операции по технологическим переходам.

Решение. 1. Устанавливаем, что обработке подлежат шесть отверстий во фланце корпуса, равномерно, расположенные на окружности $\varnothing 280$ мм.

2. Отверстия в сплошном материале изготавливают сверлением.

3. Для обработки выбираем радиально-сверлильный станок.

4. Наименование операции (в соответствии с типом используемого станка) – «Радиально-сверлильная».

5. Запись содержания операции в полной форме выглядит так: «Сверлить 6 сквозных отверстий $\varnothing 18H12$ последовательно, выдерживая

$d = (280 \pm 0,2)$ мм и шероховатость поверхности $Ra = 20$ мкм, согласно чертежу.

6. Запись содержания переходов в полной форме такова:

1-й переход (вспомогательный). Установить заготовку в кондуктор и закрепить.

2, ..., 7-й переходы (технологические). Сверлить 6 отверстий $\text{Ø}18\text{H}12$, выдерживая размеры $d = 280 \pm 0,2$; $Ra20$ последовательно по кондуктору.

8-й переход (вспомогательный). Контроль размеров.

9-й переход (вспомогательный). Снять заготовку и уложить в тару.

Задача 1.2. Установить наименование и структуру операции в условиях серийного производства по обработке конструктивных элементов детали (рис. 1.4). Номера вариантов указаны на рисунке римскими цифрами.

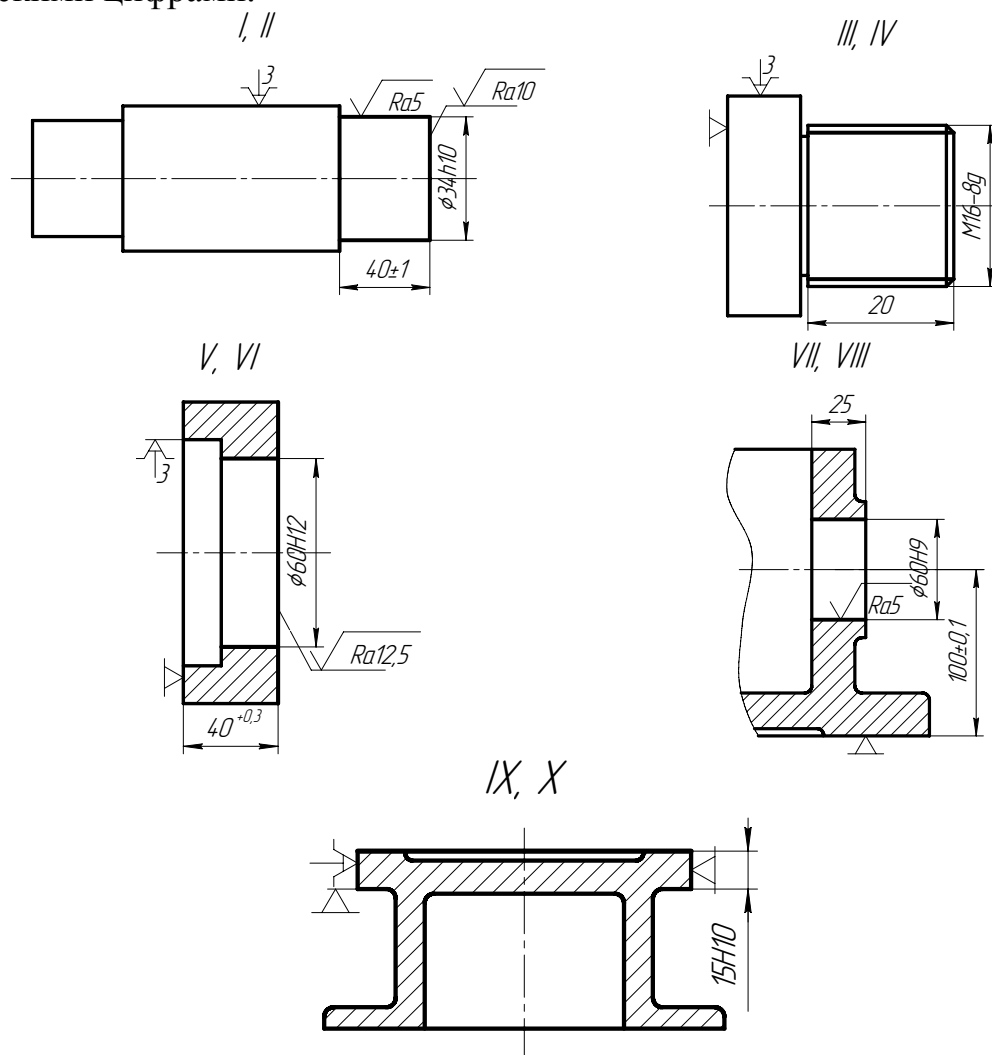


Рис. 1.4. Операционные эскизы

Установление типа производства на участке

Пример 1.3. На участке механического цеха имеется 18 рабочих мест. В течение месяца на них выполняется 154 разные технологические операции.

Требуется: установить коэффициент загрузки операций на участке; определить тип производства: изложить его определение по ГОСТ 14.004–83.

Решение. 1. Коэффициент закрепления операций устанавливаем по формуле (1.1): $K_{з,о} = 154/18 = 8,56$. В нашем случае это означает, что на участке за каждым рабочим местом закреплено в среднем по 8,56 операций.

2. Тип производства определяется согласно ГОСТ 3.1108–74 и 14.004–083. Поскольку $1 < K_{з,о} < 10$, тип производства – крупносерийное.

3. Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, сравнительно большим объемом их выпуска; изготовление ведется периодически повторяющимися партиями.

Крупносерийное производство является одной из разновидностей серийного производства и по своим техническим, организационным и экономическим показателям близко к массовому производству.

Задача 1.3. Известно количество рабочих мест участка (Р) и количество технологических операций, выполняемых на них в течение месяца (О). Варианты приведены в табл. 1.2.

Требуется: определить тип производства.

Таблица 1.2

Данные для расчета коэффициента закрепления операций

№ варианта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Количество рабочих мест (Р)	42	29	31	17	18	35	7	19	27	49
Количество технологических операций (О)	1300	209	520	816	17	339	22	8	820	833

§ 2. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Одной из основных задач технологов и других участников производства в механических цехах является обеспечение необходимой точности изготавливаемых деталей.

Реальные детали машин, изготовленные с помощью механической обработки, имеют параметры, отличающиеся от идеальных значений, т. е. имеют погрешности, размеры погрешностей не должны превышать допусковых предельных отклонений (допусков). Для обеспечения заданной точности обработки должен быть правильно спроектирован технологический процесс с учетом экономической точности, достигаемой различными методами обработки. Нормы средней экономической точности приводятся в источниках [2,3]. Важно учитывать, что каждый следующий переход должен повышать точность на 1...4 квалитета.

В ряде случаев используют расчетные методы для определения возможной величины погрешности обработки. Так определяют погрешности токарной обработки, от действия сил резания, возникающих вследствие недостаточной жесткости технологической системы [1, с.11 и 12].

В ряде случаев производится анализ точности обработки партии деталей методами математической статистики [1, с.15].

Определение экономической точности, достигаемой при различных методах обработки наружных поверхностей вращения

Пример 2.1. Поверхность ступени стального вала длиной 480 мм, изготавливаемого из поковки, обрабатывается предварительно на токарном станке до диаметра 91,2 мм (рис. 2.1).

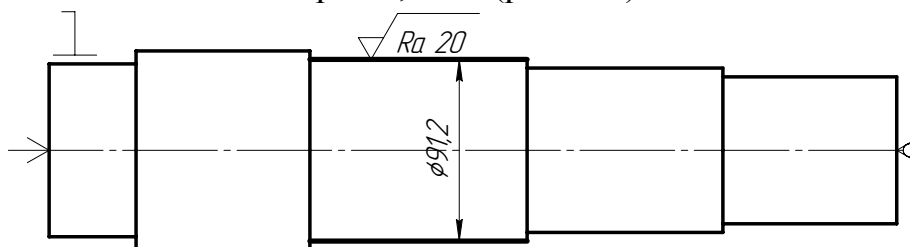


Рис. 2.1. Ступенчатый вал

Определить: экономическую точность обработки размера 91,2; квалитет точности обрабатываемой поверхности и ее шероховатость.

Решение. Для определения экономической точности пользуются таблицами «Экономическая точность механической обработки», которые приводятся в различных справочниках [3].

В нашем случае после чернового точения точность обработанной поверхности должна быть в пределах 12...14-го качества (принимаем 13-й качество). С учетом, что при $l/d = 5,3$ погрешности обработки возрастают в 1,5...1,6 раза, это соответствует снижению точности на один качество. Окончательно принимаем точность по 14-му качеству.

Так как при черновом точении размер заготовки – промежуточный, то размер этот устанавливается для наружной поверхности с полем допуска основной детали $\varnothing 91,2h14$, или $\varnothing 91,2_{-0,37}$. Шероховатость поверхности $Ra = 40...20$ мкм (в практике заводов при хорошо выполненных заготовках и нормальных производственных условиях достигается более высокая точность обработки).

Задача 2.1. Одна из ступеней вала подвергается механической обработке одним из указанных способом. Номера вариантов приведены в табл. 2.1.

Требуется: установить экономическую точность обработки; выполнить операционный эскиз и указать на нем размер, качество точности, размер допуска и шероховатость. Принять, что поверхность рассматриваемой ступени вала имеет поле допуска основной детали (h).

Таблица 2.1

Исходные данные

№ варианта	Метод обработки и ее характер	Длина вала, мм	Диаметр ступени, мм
I	Притирка	106	20
II	Обтачивание полуступенчатое	200	45
III	Шлифование тонкое	500	55
IV	Обтачивание однократное	450	120
V	Суперфиниширование	700	100
VI	Шлифование предварительное	250	70
VII	Обтачивание тонкое	375	65
VIII	Обтачивание окончательное	275	50
IX	Выглаживание алмазное	60	170
X	Шлифование окончательное	120	38

Определение точности формы поверхностей детали при обработке

Пример 2.2. На наружной поверхности вала (рис. 2.2) задан допуск формы, обозначенный условным знаком по СТСЭВ 368–76. Окончательную обработку этой поверхности предполагается выполнить шлифованием на круглошлифовальном станке модели ЗМ151.

Требуется: установить наименование и содержание условного обозначения указанного отклонения; установить возможность выдержать требование точности формы этой поверхности при предполагаемой обработке.

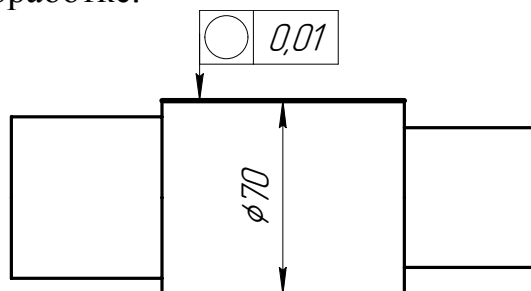


Рис. 2.2. Эскиз вала

Решение. 1. По представленному эскизу точность формы цилиндрической поверхности выражается допуском круглости и составляет 10 мкм. Согласно ГОСТ 24643–81, этот допуск соответствует 6-й степени точности формы. Под термином «Допуск круглости» понимают наибольшее допустимое значение отклонения от круглости. Частными видами отклонения от круглости являются овальность, огранка и др.

2. На круглошлифовальном станке модели ЗМ151 можно производить обработку заготовок с наибольшим диаметром до 200 мм и длиной до 700 мм. Следовательно, он пригоден для обработки данной заготовки. Отклонение от круглости при обработке на этом станке составляет 2,5 мкм [4].

На основании изложенного, делаем заключение о возможности выполнить обработку с заданной точностью.

Задача 2.2. На рис. 2.3 и в табл. 2.2 указаны варианты поверхностей с допусковыми отклонениями формы.

Требуется: установить наименование и содержание обозначения указанных отклонений; установить возможность выполнить обработку на указанном станке, соблюдая заданную точность. Недостающими размерами задаться.

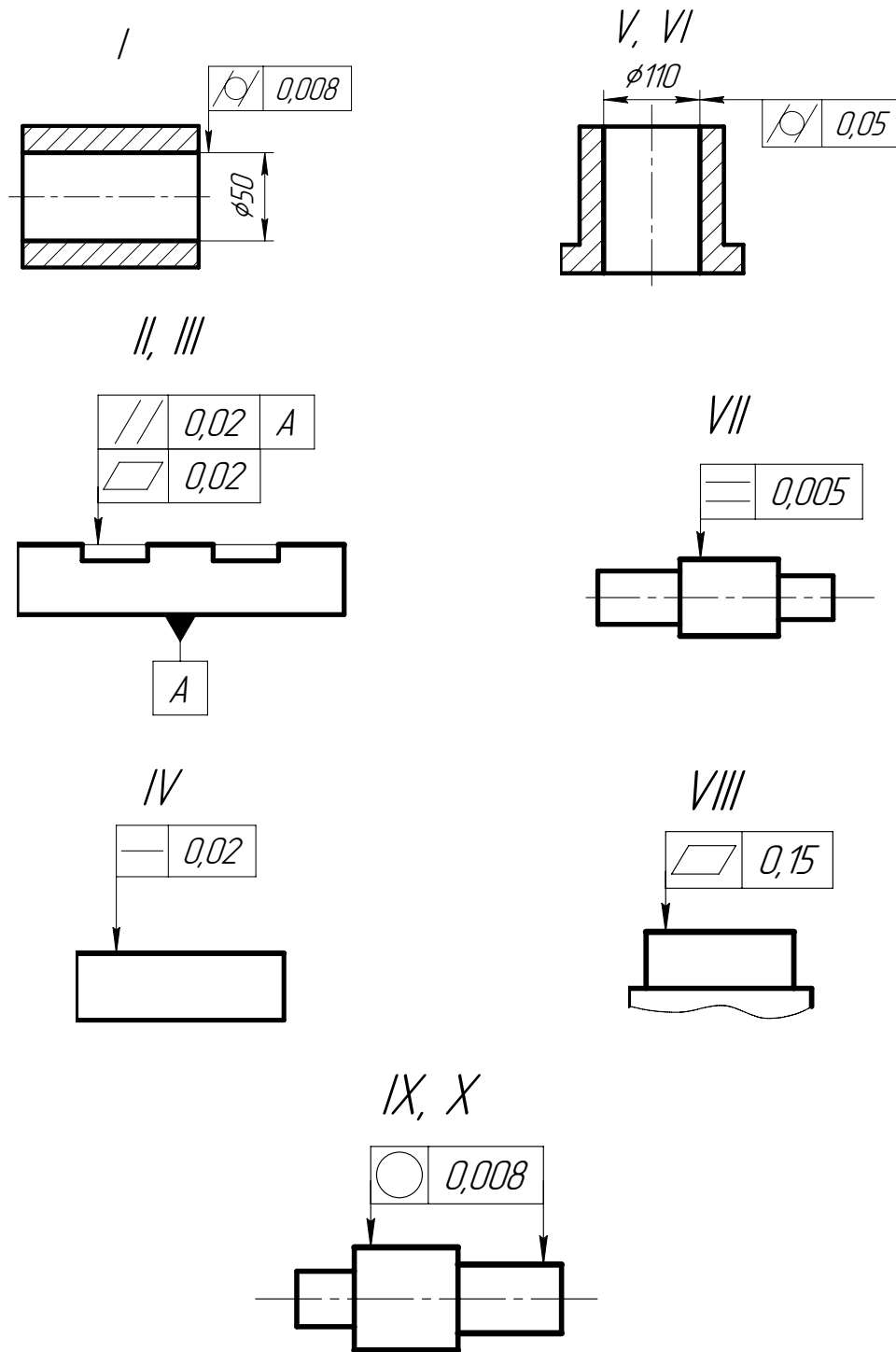


Рис. 2.3. Операционные эскизы

Исходные данные

№ варианта	Форма поверхности	Тип станка
I	Отверстие	Внутришлифовальный
II	Плоскость	Плоскошлифовальный
III	Плоскость	Плоскошлифовальный
IV	Грань	Круглошлифовальный
V, VI	Отверстие	Хонинговальный
VII	Цилиндр	Токарно-винторезный
VIII	Плоскость	Продольно-строгальный
IX	Цилиндр	Токарный многорезцовый
X	Цилиндр	Круглошлифовальный

Определение точности взаимного расположения поверхностей детали при обработке

Пример 2.3. На эскизе (рис. 2.4) обозначено техническое требование к точности взаимного расположения поверхностей детали.

Предполагается окончательную обработку верхней плоскости выполнить чистовым фрезерованием на вертикально-фрезерном станке согласно операционному эскизу, изображенному на рис. 2.5.

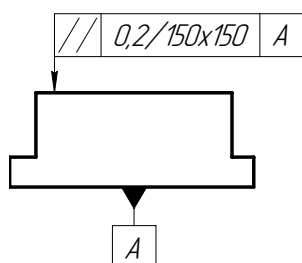


Рис. 2.4. Конструктивные требования

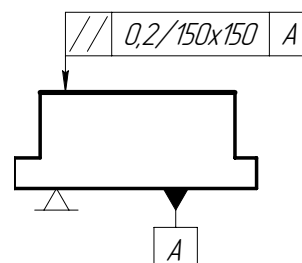


Рис. 2.5. Операционный эскиз

Требуется: изложить наименование и содержание технического требования; установить по технологическим справочникам точность взаимного расположения поверхностей детали в зависимости от типа оборудования; сделать заключение о возможности выполнить указанное требование.

Решение. 1. Условным знаком на рабочем чертеже показан допуск параллельности верхней плоскости относительно нижней плоскости, обозначенной буквой *A*. Под допуском параллельности понимают наибольшее допускаемое значение отклонения от

параллельности. В нашем случае допуск равен 0,2 мм на площади 150 × 150 мм.

2. В таблицах технологических справочников, например [3, Т.1], находим предельные отклонения нашего случая: они равны 40...100 мкм и 25...60 мкм на длине – 300 мм, а значит, на длине 150 мм они будут равны 12,5...30 мкм. Из всех этих данных принимаем для гарантии наибольшее значение – 100 мкм, т.е. – 0,1 мм.

3. Делаем заключение – требуемая точность взаимного расположения обработанной плоскости относительно базовой плоскости *A* будет обеспечена.

Задача 2.3. На рис. 2.6 показаны варианты обработки поверхностей.

Требуется: расшифровать обозначение содержания допуска; разработать технологические мероприятия, обеспечивающие выполнение этого требования.

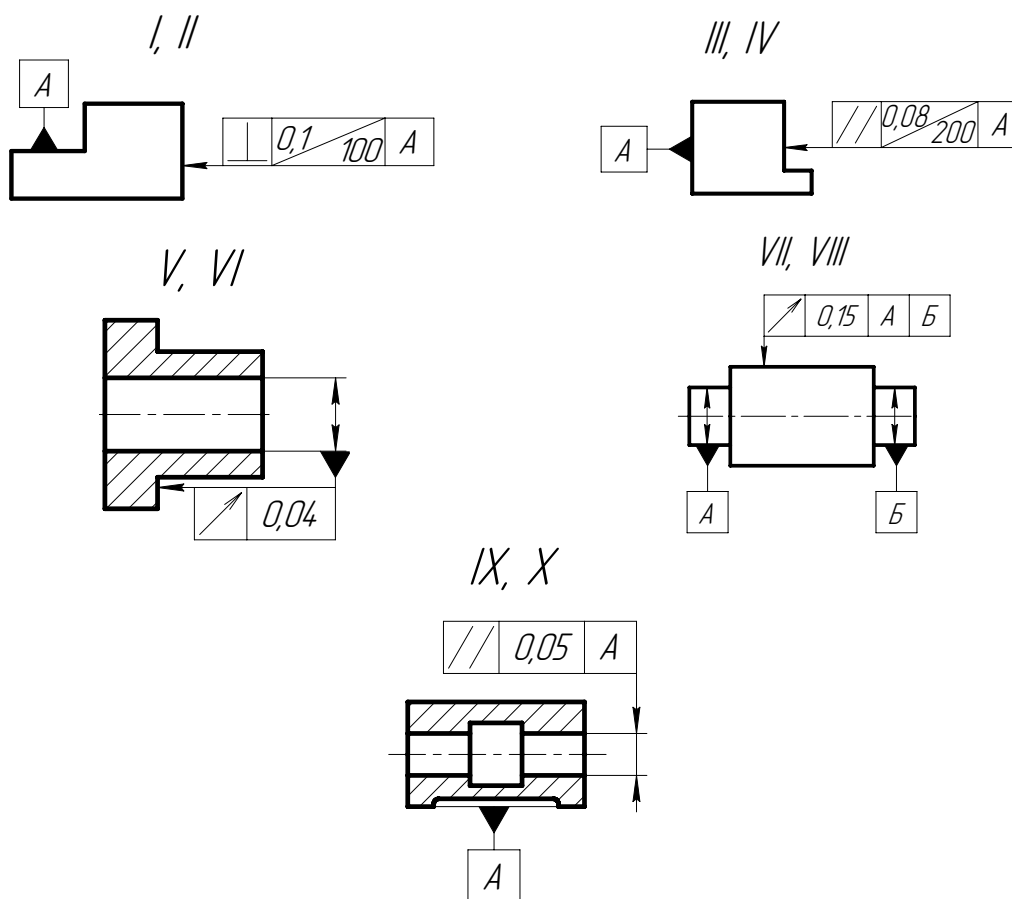


Рис. 2.6. Варианты обработки поверхностей

§ 3. БАЗЫ И ПРИНЦИПЫ БАЗИРОВАНИЯ

Чтобы осуществить обработку заготовки на станке, ее необходимо закрепить на нем, предварительно выбрав базы. Под базированием понимают придание заготовке требуемого положения относительно станка и инструмента. От правильности базирования зависит точность обработки. При разработке схемы базирования решают вопросы выбора и размещения опорных точек. В производственных условиях всегда имеют место погрешности обработки $\varepsilon_{уст}$, зависящие от условий установки, т.е. от базирования $\varepsilon_{баз}$, закрепления $\varepsilon_{закр}$ заготовки, и от неточности приспособления $\varepsilon_{пр}$. Погрешность установки выражается формулой:

$$\varepsilon_{уст} = \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{закр}^2 + \varepsilon_{пр}^2}. \quad (3.1)$$

Для уменьшения этих погрешностей важно соблюдать правила базирования: правило «шести точек», правило «постоянства баз», правило «совмещения баз» и др.

Значения погрешности можно определить различными методами. Табличный метод [5] позволяет определить погрешности установки в зависимости от производственных условий.

Расчетный метод определения погрешностей базирования, закрепления и вызванных неточностью приспособления выполняется с помощью формул, приводимых в литературе [3].

При несоблюдении правила «совмещения баз» возникает необходимость в пересчете конструкторских размеров в технологические (рис.3.1). Цель пересчета состоит в определении погрешности размера замыкающего звена и сравнении ее с допуском конструкторского размера.

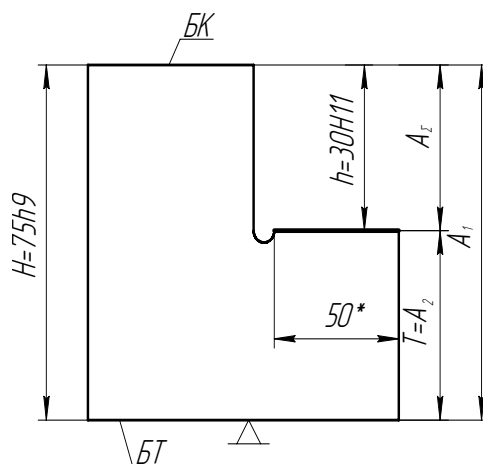


Рис. 3.1. Технологическая размерная цепь

Расчет размерных цепей производится в соответствии с ГОСТ 16319–80 и 16320–80 одним из указанных в них методов («максимума–минимума», вероятностным и др.). При этих расчетах пользуются формулами определения номинального размера замыкающего звена:

$$h = H - T, \quad (3.2)$$

где H – размер, связывающий конструкторскую и технологическую базы;

T – размер, связывающий технологическую базу с обрабатываемой поверхностью.

Погрешность размера замыкающего звена $\varepsilon_h = \varepsilon_\Delta$ при решении по методу «максимума–минимума» определяется по формулам:

$$\varepsilon_h = T_H + T_T; \quad \varepsilon_h = T_\Sigma = \sum_1^n T_i, \quad (3.3)$$

где T_i – допуск на размер каждого звена цепи;

T_H – допуск на размер H установленный чертежом;

T_T – допуск на технологический размер, значение которого зависит от метода обработки и устанавливается в соответствии с нормативом средней экономической точности обработки [3,5];

n – число составляющих звеньев.

При расчете по вероятностному методу пользуются формулами

$$T_\Sigma = t \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i T_i^2}, \quad (3.4)$$

где t – коэффициент риска ($t = 3$);

λ_i – коэффициент относительного рассеяния (для нормального закона распределения $\lambda_i = 1/9$).

Когда законы распределения неизвестны, принимают $t = 3$ и

$\lambda_i = 1/6$, следовательно

$$T_\Sigma = 1,2t \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2}. \quad (3.5)$$

В результате расчета должно быть выдержано условие

$$T_h \geq T_\Sigma. \quad (3.6)$$

Выбор технологической базы с учетом технических требований к детали

Пример 3.1. В технологическом процессе изготовления корпуса предусмотрена операция по расточке отверстия диаметром D (рис. 3.2). При выполнении отверстия должны быть выдержаны размер a и технические требования, касающиеся правильности взаимного расположения отверстия относительно других поверхностей детали.

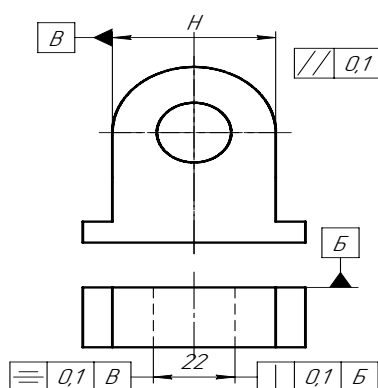


Рис. 3.2. Рабочий чертеж

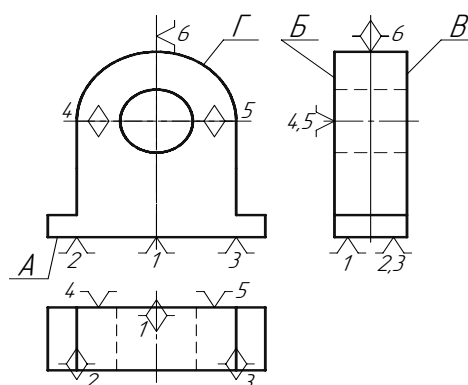


Рис. 3.3. Схема базирования

Требуется: выбрать технологическую базу для рассматриваемой операции; разработать схему базирования.

Решение. 1. Одной из конструкторских баз является плоскость A основания. Ее и следует принять за технологическую установочную базу, создав под ее базирование три опорные точки 1, 2 и 3 (рис. 3.3).

Технологической направляющей базой следует принять плоскость B с двумя опорными точками 4 и 5. Эта база позволит обработать отверстие перпендикулярно этой плоскости. Для обеспечения симметричности расположения отверстия относительно наружного контура можно использовать в качестве технологической базы поверхность B , но конструктивно легче воспользоваться для этого поверхностью Γ полуцилиндра и использовать для этой цели приспособление с подвижной призмой.

На основании изложенного применим технологическую базу из трех поверхностей: A , B и Γ (рис. 3.3).

2. Схема базирования, представляющая собой расположение опорных точек на базах заготовки, представлена на рис. 3.3.

Задача 3.1. Для станочной операции по обработке указанной поверхности детали требуется выбрать технологическую базу и составить схему базирования.

Варианты приведены на рис. 3.4 и в табл. 3.1.

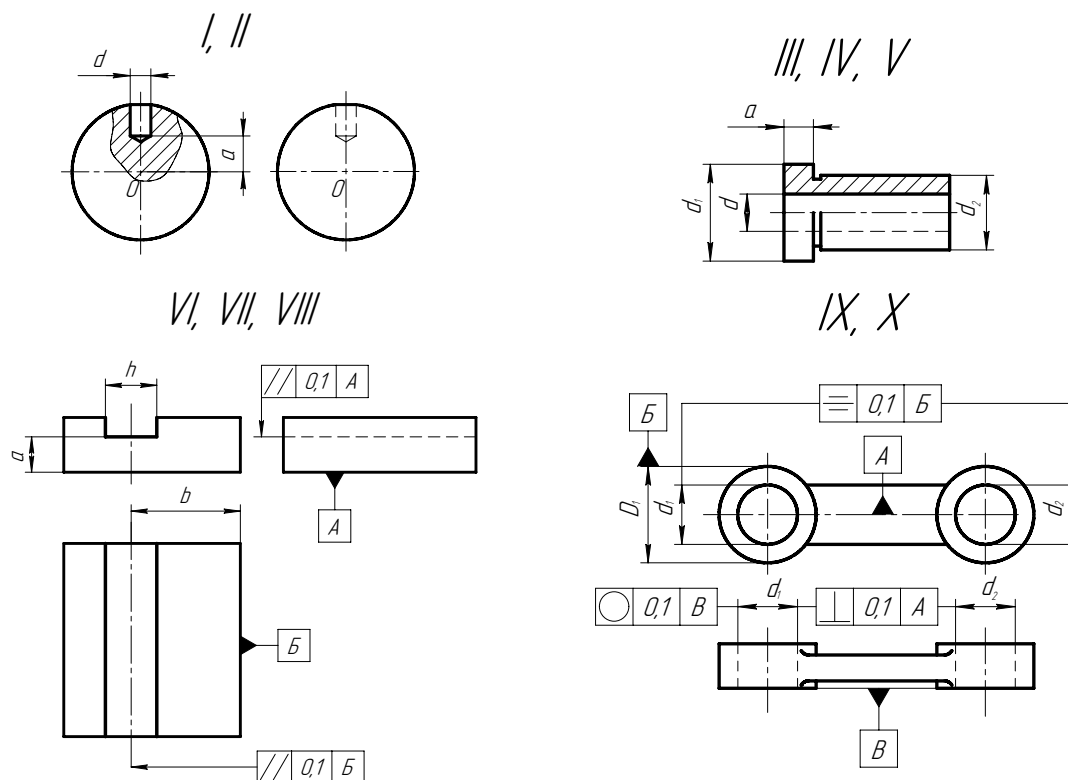


Рис. 3.4. Операционные эскизы

Таблица 3.1

Наименование и содержание операций

№ варианта	Наименование операции	Содержание операции
I	Вертикально-сверлильная	Сверлить отверстие в шаре
II	Токарная	Сверлить отверстие в шаре
III	Токарная	Точить поверхности окончательно
IV, V	Кругло-шлифовальная	Шлифовать указанные поверхности окончательно
VI, VII	Горизонтально-фрезерная	Фрезеровать паз
VIII	Вертикально-фрезерная	Фрезеровать паз
IX	Вертикально-сверлильная	Сверлить 2 отверстия
X	Тонкорасточная	Расточить 2 отверстия

Определение технологической базы и составление схемы базирования заготовки

Пример 3.2. Требуется: рассмотреть установочные элементы имеющегося приспособления (рис. 3.5) и установить поверхности заготовки, составляющие технологическую базу при закреплении заготовки в приспособлении; разработать схему базирования заготовки и сделать вывод о соблюдении правила шести точек

Решение. 1. В представленном на рисунке приспособлении выявляем его установочные элементы: плоскость корпуса 2, установочный цилиндрический палец и установочный срезанный палец 3. Технологической базой заготовки являются следующие поверхности: нижняя плоскость заготовки *A* и два отверстия расположенных по диагонали.

2. В соответствии с выявленными технологическими базами и использованными установочными элементами разрабатываем схему базирования (рис. 3.6): для базирования плоскости (установочной базы) образовано три опорные точки (1, 2, 3); для базирования по первому отверстию (с помощью цилиндрического пальца) образовано еще две опорные точки (4, 5), а для базирования по второму отверстию используется срезанный палец (6) образующий 6-ю точку базирования.

3. Как видно из рисунка 3.6 и приведенных рассуждений, правило базирования по шести точкам соблюдено, заготовка лишена шести степеней свободы.

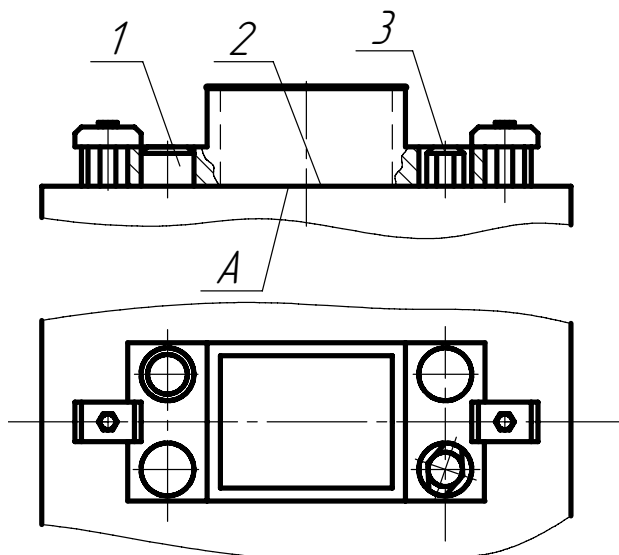


Рис. 3.5. Базирование заготовки

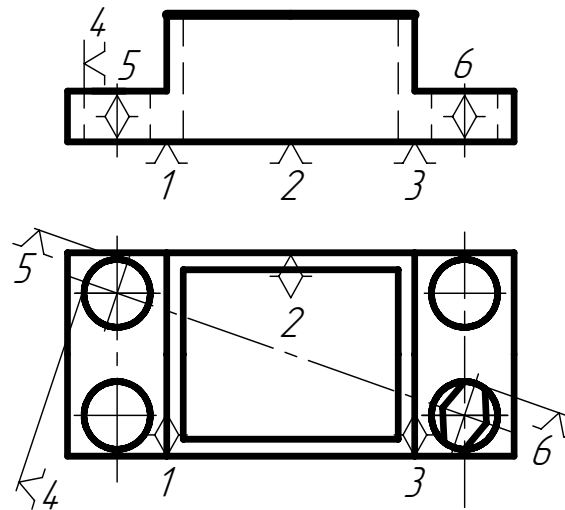


Рис. 3.6. Схема базирования

Задача 3.2. На рис. 3.7 изображено приспособление для обработки на станке. Нужно, пользуясь рисунком, выявить технологическую базу, принятую для базирования заготовки, и представить схему базирования заготовки; сделать вывод о правильности выбора опорных точек по количеству и размещению их. Номер варианта указан на рисунке римской цифрой.

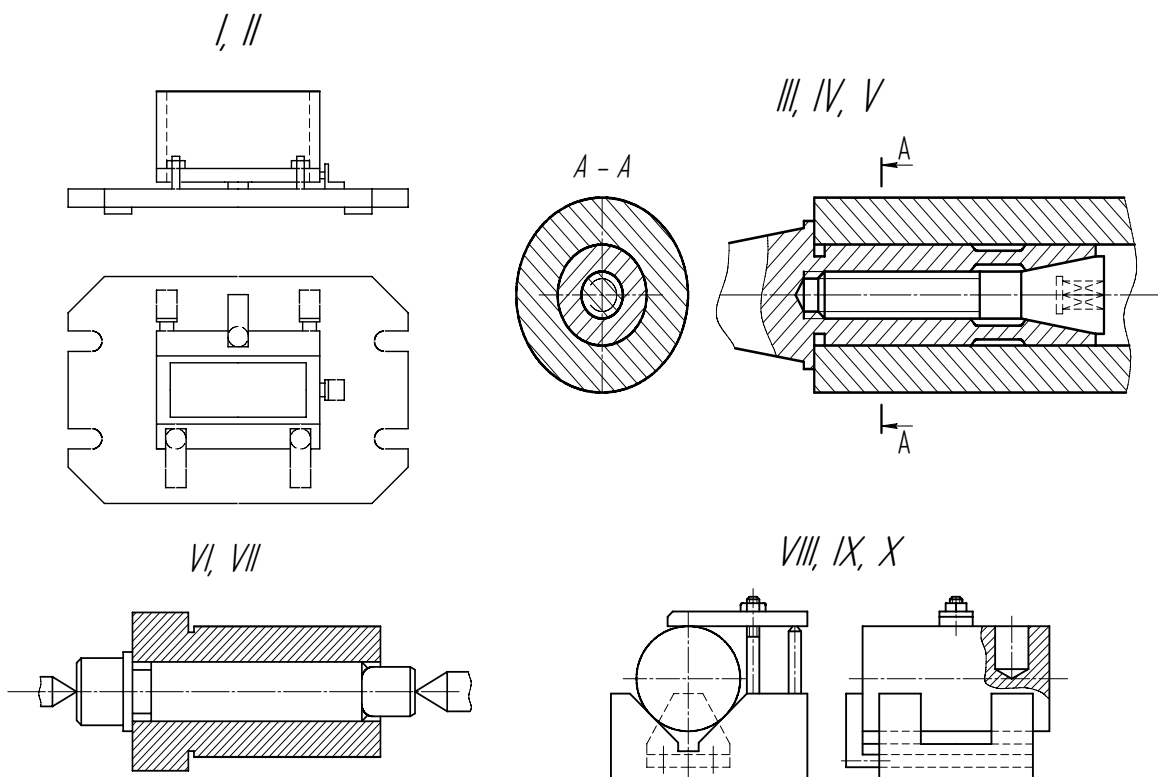


Рис. 3.7. Приспособления

Расчет линейной технологической размерной цепи

Пример 3.3. На настроенном горизонтально-фрезерном станке, работающем по наладке, окончательно обрабатывается указанная плоскость. При этом должен быть выдержан координирующий размер $h = (70 \pm 0,05)$ мм (рис. 3.8). Допуск размера $h = 0,1$ мм.

Требуется: установить, будет ли выдержана при обработке заданная точность размера.

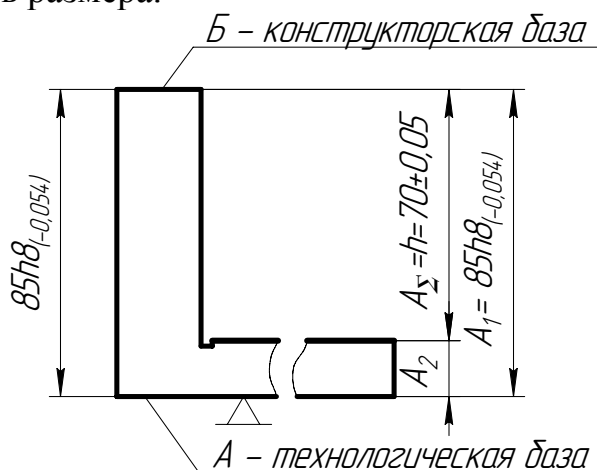


Рис. 3.8. Технологическая размерная цепь

Решение. 1. Из условия примера и по операционному эскизу видно, что за технологическую базу принята нижняя плоскость A заготовки. Конструкторской и измерительной базами для контроля размера h является верхняя плоскость B . В связи с тем, что базы не совпадают, возникла необходимость пересчета конструкторских размеров на технологические.

При этом надо рассчитать погрешность, с которой может быть выполнен размер h , и сравнить ее с допуском T_h этого размера, должно быть выдержано условие $\varepsilon_h \leq T_h$.

2. Рассматриваемая размерная цепь линейная и состоит из трех звеньев: интересующий нас размер $h = 70$ мм будем считать замыкающим звеном A_Σ первое составляющее звено – размер $A_1 = 85h8(85_{-0,04})$ между ранее обработанными плоскостями является звеном увеличивающим; второе составляющее звено – размер A_2 является технологическим, уменьшающим, и точность его обуславливается нормами экономической точности обработки на станках (см. ГОСТ 2110–72). Для нашего случая погрешность этого размера составляет 0,06 мм.

Номинальные размеры этой цепи связаны уравнением

$$A_{\Sigma} = A_1 - A_2 = 85 - 15 = 70 \text{ мм.}$$

3. При расчете линейной размерной цепи (рис. 3.8) методом полной взаимозаменяемости, т.е. методом максимум – минимум, определяют предельные отклонения (погрешность обработки) исходного (замыкающего) звена по формуле (3.3):

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_i = (T_{A1} + T_{A2}) = (0,054 + 0,06) = 0,114 \text{ мм.}$$

Как следует из решения, допуск по чертежу $T_h = 0,1$ мм меньше, чем возможная погрешность при обработке $T_{\Sigma} = \varepsilon_h = 0,114$ мм, что совершенно недопустимо. Следовательно, нужно принять меры, позволяющие добиться выполнения условия $\varepsilon_h \leq T_h$

Для этого, во-первых, можно поставить вопрос перед конструктором о снижении точности размера h , т.е. о расширении допуска T_h до значения $0,12$, тогда $T_{\Sigma} = \varepsilon_h = (0,054 + 0,06) \leq T_h$.

Во-вторых, применить в качестве завершающей (финишной) обработки тонкое фрезерование или чистовое шлифование. Экономическая точность этих процессов выше и при них $T_{A2} = 0,025$ мм (ГОСТ 2110–72). Тогда $T_{\Sigma} = (0,054 + 0,025) = 0,079$ мм. Условие $T_{\Sigma} \leq T_h$ выдержано.

В-третьих, составляющий размер $A = 85h8$ получен при обработке плоскостей А и Б до рассматриваемой операции. Если предшествующую обработку выполнить точнее на один квалитет, то допуск размера будет $85h7(-0,035)$. Тогда погрешность обработки $T_{\Sigma} = (0,035 + 0,06) = 0,095$ мм. Условие выдержано $T_{\Sigma} \leq T_h$.

В-четвертых, при расчете размерной цепи можно пользоваться вероятностным методом по формуле $T_{\Sigma} = 1,2t \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2}$.

Тогда $T_{\Sigma} = 1,2 \sqrt{0,054^2 + 0,060^2} = 0,097$ мм и выдержано условие $T_{\Sigma} \leq T_h$.

В-пятых, допуск замыкающего звена рассчитывают с использованием теории вероятностей для случая рассеивания погрешностей отклонений по закону нормального распределения [6] по формуле (3.5). В нашем случае $T_{\Sigma} = \sqrt{0,054^2 + 0,060^2} = 0,08$ мм. Условие $T_{\Sigma} \leq T_h$ выполнено.

В-шестых, при незначительном объеме выпуска деталей, т. е. в единичном или мелкосерийном производстве, можно работать не по наладке, а, например, со снятием пробных стружек. При обработке каждой детали контролируется размер h .

Задача 3.3. На рис. 3.9 и в табл. 3.2 представлены варианты операций.

Требуется: определить возможную погрешность базирования размера в результате выполнения указанной обработки.

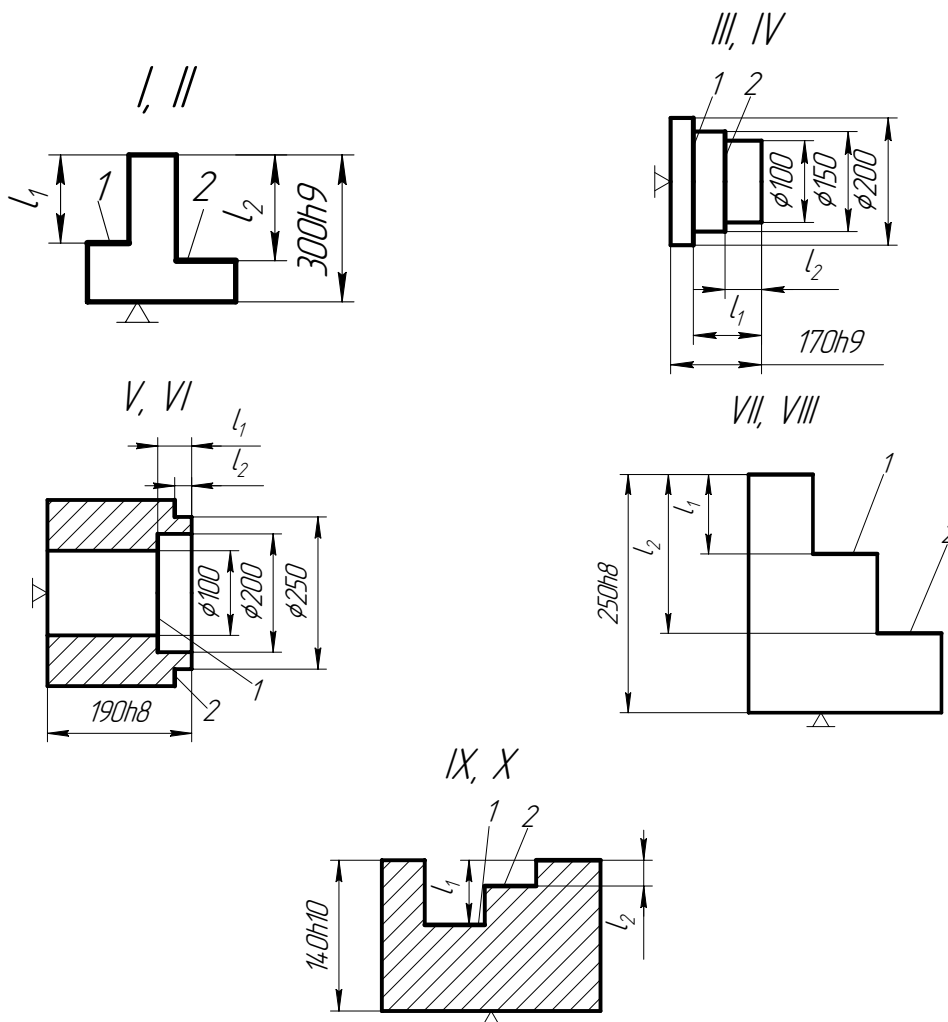


Рис. 3.9. Варианты для расчета размерных цепей

Таблица 3.2

Исходные данные

№ варианта	Содержание операции	Размер l, мм
I	Строгать плоскость 1 предварительно	$l_1 = 150 + 0,2$
II	Строгать плоскость 2 окончательно	$l_2 = 170 \pm 0,1$
III	Подрезать торец 1 предварительно	$l_1 = 60 + 0,3$
IV	Подрезать торец 2 окончательно	$l_2 = 30 + 0,1$
V	Подрезать торец 1 предварительно	$L_1 = 100 + 0,2$
VI	Подрезать торец 2 окончательно	$l_2 = 50 + 0,1$

VII	Шлифовать плоскость 1 предварительно	$l_1=75+0,1$
VIII	Шлифовать плоскость 2 окончательно	$l_2=175+0,2$
IX	Фрезеровать плоскость 1 предварительно	$l_1=70+0,4$
X	Фрезеровать плоскость 2 окончательно	$l_2=30+0,2$

§ 4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

Успешное решение задач, которые стоят и будут в дальнейшем стоять перед машиностроением, возможно только при создании новых и совершенствовании действующих машин с целью достижения более высоких эксплуатационных характеристик при одновременном сокращении их массы, габаритов и стоимости, повышении долговечности, простоте ухода и надежности в работе. Одновременно в самом машиностроении необходимо совершенствовать технологические процессы изготовления изделий, улучшать использование всех средств технологического оснащения, внедрять в производство прогрессивные методы организации производства.

Одним из эффективных путей решения этих задач является внедрение принципов технологичности конструкций. Под этим термином понимают такое проектирование, которое при соблюдении всех эксплуатационных качеств обеспечивает минимальные трудоемкость изготовления, материалоемкость и себестоимость, а также возможность быстрого освоения выпуска изделий в заданном объеме с использованием современных методов обработки и сборки.

Технологичность – важнейшая техническая основа, обеспечивающая использование конструкторских и технологических резервов для выполнения задач по повышению технико-экономических показателей изготовления и качества изделий. Работа по улучшению технологичности должна производиться на всех стадиях проектирования и освоения в производстве выпускаемых изделий.

При выполнении работ, связанных с технологичностью, следует руководствоваться группой стандартов, входящих в Единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП), а именно ГОСТ 14.201–83...14.204–73, а также ГОСТ 2.121–73 «Технологический контроль в конструкторской документации».

Технологичность конструкции деталей обуславливается: а) рациональным выбором исходных заготовок и материалов; б) технологичностью формы детали; в) рациональной постановкой

размеров; г) назначением оптимальной точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, параметров шероховатости и технических требований.

Технологичность детали зависит от типа производства; выбранного технологического процесса, оборудования и оснастки; организации производства, а также от условий работы детали и сборочной единицы в изделии и условий ремонта.

Признаками технологичности конструкции детали, например, подкласса валов являются наличие у ступенчатых валов небольших перепадов диаметров ступеней, расположение ступенчатых поверхностей с убыванием диаметра от середины или от одного из концов, доступность всех обрабатываемых поверхностей для механической обработки, возможность применить для изготовления детали исходную заготовку прогрессивного вида, которая по форме и размерам близка к форме и размерам готовой детали, возможность применять для обработки высокопроизводительные методы.

Улучшение технологичности исходной заготовки

Пример 4.1. Выполнено два варианта конструкции исходной заготовки, полученных литьем, для изготовления корпуса опоры (рис. 4.1, *а, б*).

Требуется установить, какой из вариантов имеет более технологичное конструктивное оформление исходной заготовки.

Решение. Корпус (рис. 4.1, *а*) имеет в нижней части трубчатую полость. Для образования ее в литейной форме придется применять консольный стержень, а это будет усложнять, и удорожать изготовление отливки. Гладкое отверстие значительной длины в верхней части усложнит механическую обработку.

Корпус (рис. 4.1, *б*) в нижней части имеет крестовидное сечение, обладающее высокой прочностью и жесткостью и для изготовления отливки не нужен стержень. Это значительно облегчает изготовление форм для литья. Отливка симметрична относительно вертикальной плоскости и легко будет формоваться в двух опоках. Отверстие в средней части имеет выемку и поэтому длина поверхности отверстия, подлежащая механической обработке, сократилась, а это, в свою очередь, значительно облегчает и удешевляет механическую обработку. На основании изложенных соображений можно сделать заключение, что второй вариант более технологичен.

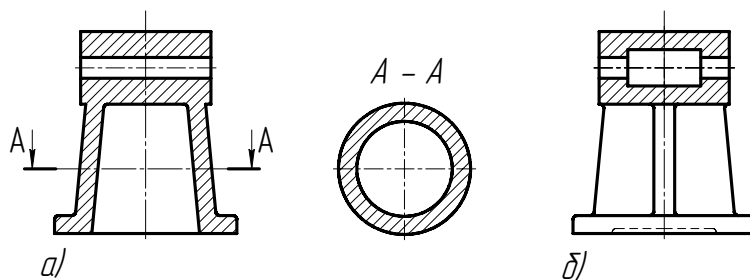


Рис. 4.1. Варианты формы отливки

Задача 4.1. При конструировании исходной заготовки или ее элементов были предложены две конструкции (варианты приведены в табл. 4.1, на рис. 4.2).

Таблица 4.1

Исходные данные

№ варианта	Наименование детали	Вид заготовки
I; VI	Колесо зубчатое	Поковка штампованная
II; VII	Рычаг	То же
III; VIII	Крышка	Отливка
IV; IX	Горловина корпуса	Сварная
V; X	Корпус круглый	Отливка

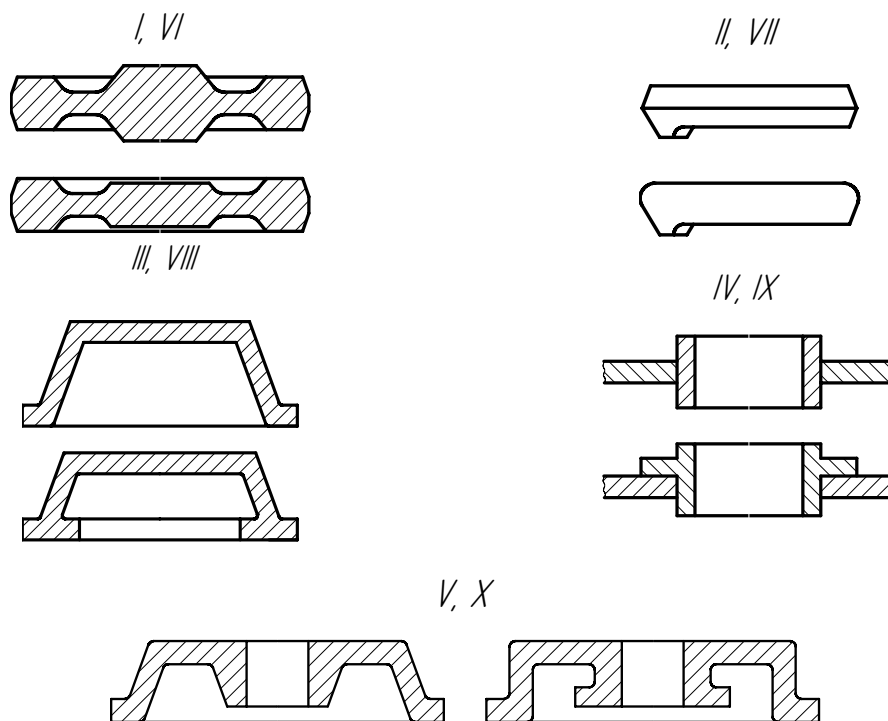


Рис. 4.2. Варианты исполнения заготовок

Требуется изложить соображения по оценке технологичности конструкции каждого из вариантов исходной заготовки и установить более технологичный.

Улучшение технологичности деталей и их элементов

Пример 4.2. С целью повысить технико-экономические показатели технологического процесса предложено два варианта выполнения у детали элементов в конструкции корпуса, изготавливаемого из отливок (рис. 4.3, *а, б*).

Требуется оценить их технологичность.

Решение. Бобышки и платики на корпусе детали (рис. 4.3, *а*) располагаются на разных уровнях, и обработку каждой бобышки приходится вести по индивидуальной наладке. Недостаточная жесткость верхней части детали не позволяет применить методы высокопроизводительной обработки.

В конструкции на рис. 4.3, *б* все обрабатываемые поверхности расположены в одной плоскости и поэтому могут обрабатываться на одном станке, например, на вертикально-фрезерном или продольно-фрезерном.

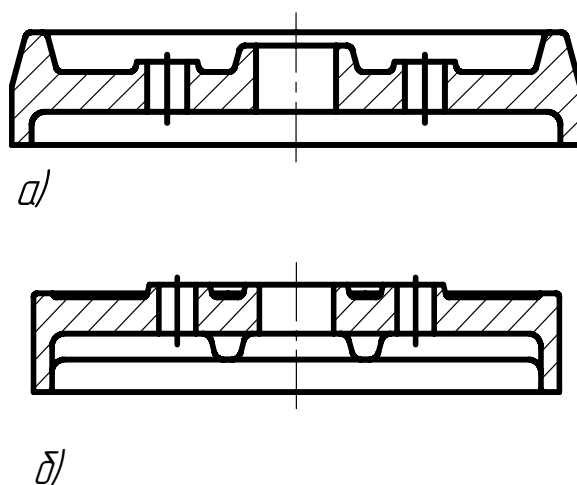


Рис. 4.3. Варианты отливок

Добавленные на внутренней стороне детали ребра увеличивают жесткость корпуса. При обработке это будет способствовать уменьшению деформации заготовки от сил резания и закрепления и позволит вести обработку с высокими режимами резания или одновременно несколькими инструментами. При этом повысится точность и качество обработанных поверхностей.

Уровень имеющихся у детали необрабатываемых поверхностей, находится ниже обработанных поверхностей. Это позволит более производительно вести обработку «на проход».

Задача 4.2. Один и тот же элемент конструкции детали машины может быть, конструктивно решен различно. Эти решения представляют двумя эскизами (варианты на рис. 4.4).

Требуется провести анализ сравниваемых эскизов конструкций на технологичность и обосновать выбор элемента конструкции детали.

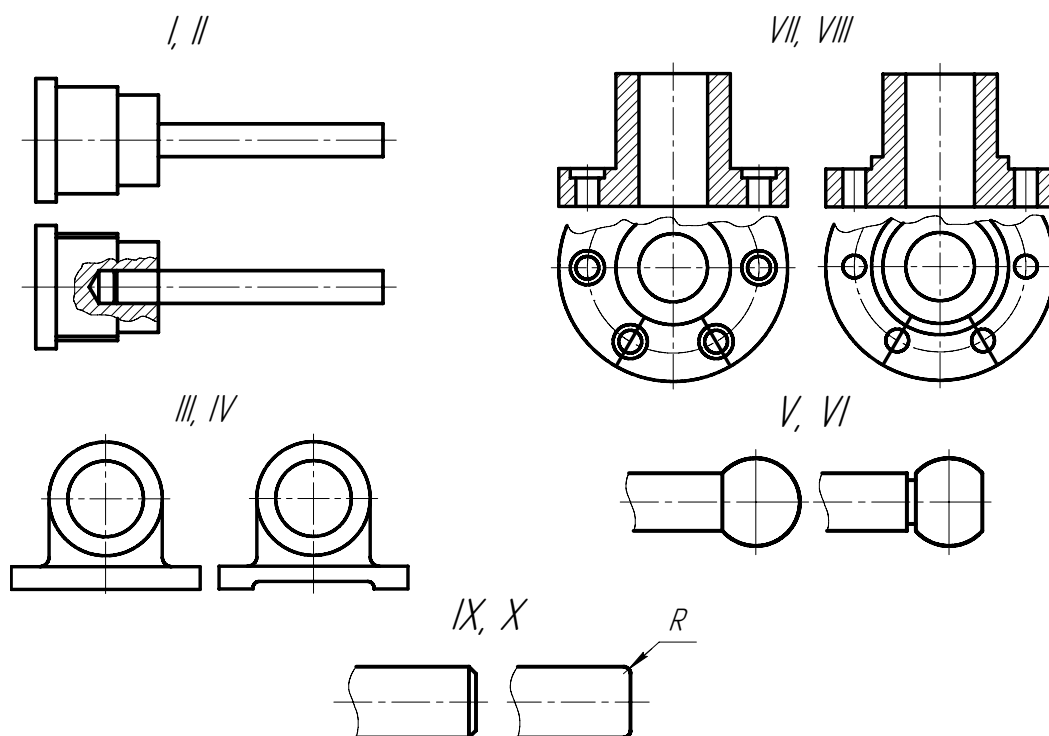


Рис. 4.4. Варианты конструкций

Определение количественных показателей технологичности конструкции детали

Пример 4.3. Корпус массой $m_d = 2$ кг изготавливается из чугуна марки СЧ 20 ГОСТ 1412–79. Метод получения исходной заготовки – литье в земляную форму, по I классу точности (ГОСТ 1855–55); масса заготовки $m_0 = 2,62$ кг.

Трудоемкость механической обработки детали $T_{и} = 45$ мин при базовой трудоемкости (аналога) = 58 мин.

Технологическая себестоимости детали $C_{т} = 2,1$ руб. при базовой технологической себестоимости аналога $C_{б.т} = 2,45$ руб.

Данные конструкторского анализа детали по поверхностям представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные

Наименование поверхности	Количество поверхностей	Количество унифицированных элементов
Отверстие главное	1	1
Торец фланца	2	—
Фаска	2	2
Резьбовое отверстие	8	8
Верх основания	2	—
Отверстия основания	4	4
Низ основания	1	—
Итого...	$Q_{э}=20$	$Q_{у.э}= 15$

Требуется определить показатели технологичности конструкции детали.

Решение. 1. К основным показателям технологичности конструкции относятся:

- абсолютный технико-экономический показатель – трудоемкость изготовления детали $T_{и} = 45$ мин;
- уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления

$$K_{у.т} = T_{и}/T_{б.и} = 45/58 = 0,775.$$

Деталь по этому показателю технологична, так как трудоемкость ее сравнительно с базовым аналогом ниже на 22,5%; технологическая себестоимость детали $C_{т} = 2,1$ руб.;

- уровень технологичности конструкции по технологической себестоимости

$$K_{у.с} = C_{т}/C_{б.т} = 2,1/2,45 = 0,857.$$

Деталь технологична, так как себестоимость ее сравнительно с базовым аналогом снизилась на 14,3%.

2. Дополнительные показатели:

- коэффициент унификации конструктивных элементов детали

$$K_{у.э} = Q_{у.э}/Q_{э} = 15/20 = 0,75.$$

По этому показателю деталь технологична, так как $K_{y.э} > 0,6$
 масса детали $m_d = 2$ кг;

- коэффициент использования материала

$$K_{и.м} = m_d/m_0 = 2/2,62 = 0,76.$$

Для исходной заготовки этого типа такой показатель свидетельствует об удовлетворительном использовании материала.

Задача 4.3. О рассматриваемой детали, ее исходной заготовке и о ее базовом аналоге или прототипе известны; основные данные, приведенные в табл. 4.3 для десяти вариантов.

Требуется определить показатели технологичности конструкции детали.

Таблица 4.3

Исходные данные

№ варианта	Количество поверхностей детали $Q_э$	Количество унифицированных элементов $Q_{у.э}$	Масса, кг		Трудоемкость, мин		Себестоимость, руб.	
			Детали m_d	Исходной заготовки m_0	Детали $T_и$	Базового аналога $T_{б.и}$	Детали $C_т$	Базового аналога $C_{б.т}$
I; VI	19	12	0,8	1,1	28	31	1,7	2,1
II; VII	28	17	0,3	0,4	16	24	0,9	1,3
III; VIII	73	45	3,1	3,8	78	86	3,4	4,1
IV; IX	41	27	0,2	0,4	31	39	1,2	1,4
V; X	55	40	4,8	5,5	68	89	4,8	5,3

§ 5. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ. ОПЕРАЦИОННЫЕ РАЗМЕРЫ И ИХ ДОПУСКИ

При рассмотрении элементарной поверхности исходной заготовки и соответствующей ей поверхности готовой детали общий припуск на механическую обработку определяется сравнением их размеров: это – разность размеров соответствующей поверхности на исходной заготовке и готовой детали. При рассмотрении наружной поверхности вращения (слева на рис. 5.1) общий припуск:

$$2\Pi_{общд} = d_0 - d_d ; \quad (5.1)$$

у внутренней поверхности вращения (в центре на рис. 5.1) общий припуск:

$$2\Pi_{\text{общD}} = D_{\text{Д}} - D_0; \quad (5.2)$$

у плоской поверхности (справа на рис. 5.1) общий припуск на сторону:

$$\Pi_{\text{общh}} = h_0 - h_{\text{Д}}, \quad (5.3)$$

где d_0, D_0, h_0 – размеры исходной заготовки;

$d_{\text{Д}}, D_{\text{Д}}, h_{\text{Д}}$ – соответствующие размеры готовой детали;

$2\Pi_{\text{общd}}$ и $2\Pi_{\text{общD}}$ – общие припуски на диаметр, наружной поверхности и отверстия;

Π – общий припуск на сторону (торец, плоскость).

Припуск на механическую обработку удаляется обычно последовательно за несколько переходов и поэтому для поверхностей вращения и для плоских поверхностей

$$2\Pi_{\text{общd}} = \sum 2\Pi_i; \quad 2\Pi_{\text{общD}} = \sum 2\Pi_i; \quad \Pi_{\text{общh}} = \sum 2\Pi_i, \quad (5.4)$$

где Π_i – промежуточные припуски, выполняемые в течение i -го перехода, причем на каждом следующем переходе размер промежуточного припуска меньше, чем на предыдущем, а также с каждым последующим переходом увеличивается точность и уменьшается шероховатость обрабатываемой поверхности.

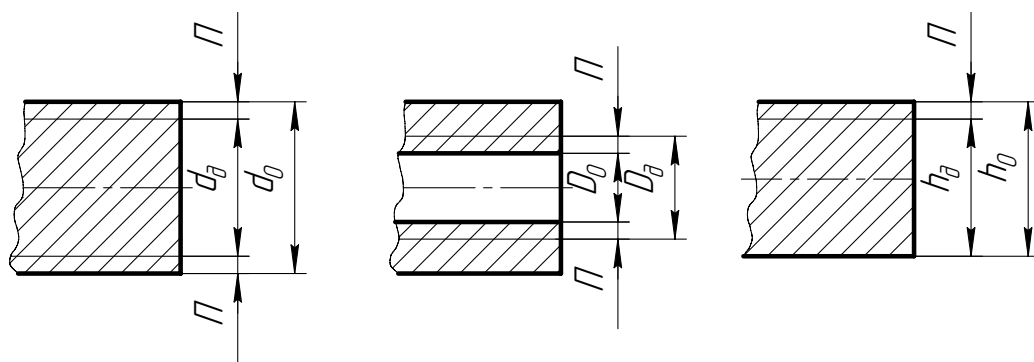


Рис. 5.1. Виды припуска под механическую обработку

Важной и ответственной работой при проектировании технологических процессов механической обработки деталей является установление оптимального для данного перехода промежуточного припуска, после чего можно определить очень важные в технологии обработки детали параметры – промежуточные размеры заготовки, которые фигурируют в технологической документации, в зависимости

от которых исполнители подбирают режущие и измерительные инструменты.

Промежуточные припуски на каждый переход можно установить двумя методами:

- *опытно-статистическим методом*, пользуясь таблицами в ГОСТах, в технологических справочниках, ведомственных руководящих технологических материалах и других источниках. В этих источниках часто отсутствуют таблицы для определения операционных припусков на первый черновой переход. Операционный припуск на черновой переход определяют расчетом по формуле

$$П_1 = П_{общ} - (П_2 + П_3 + \dots + П_n), \quad (5.5)$$

где $П_{общ}$ – общий припуск на механическую обработку, установленный при проектировании заготовки;

$П_1, П_2, \dots, П_n$ – промежуточные припуски соответственно на 1-й, 2-й, ..., n-й переходы;

- *расчетно-аналитическим методом* по специальным формулам, с учетом многих факторов обработки. При расчете по этому методу операционные припуски получаются меньше, чем выбранные по таблицам, что позволяет экономить металл, снизить себестоимость обработки. Этот метод применяют при проектировании технологических процессов обработки деталей с большим годовым объемом выпуска. В технологической документации и в практике обработки используют промежуточные номинальные размеры с допускаемыми отклонениями. Как видно на схеме (рис. 5.2) расположения припусков и допусков при обработке, номинальные промежуточные размеры зависят от номинальных припусков, которые находят по формуле

$$П_{ном i} = П_{мин i} + T_{i-1}, \quad (5.6)$$

где T_{i-1} – допуск на промежуточный размер на предыдущем переходе.

Для различных поверхностей используют следующие формулы: для поверхностей вращения, кроме случая обработки в центрах:

$$2П_{ном i} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}) + T_{i-1}; \quad (5.7)$$

для поверхностей вращения при обработке в центрах:

$$2\Pi_{\text{нoмi}} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}}) + T_{i-1}; \quad (5.8)$$

для плоских поверхностей

$$\Pi_{\text{нoмi}} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i) + T_{i-1}; \quad (5.9)$$

для двух противоположащих плоских поверхностей при одновременной их обработке:

$$\Pi_{\text{нoмi}} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i) + T_{i-1}, \quad (5.10)$$

где $R_{z_{i-1}}$ – высота микронеровностей на поверхности после предшествующего перехода [3,5];

h_{i-1} – толщина (глубина) дефектного слоя, полученная на предшествующем смежном переходе, например, литейная корка, обезуглероженный или наклепанный слой (это слагаемое не учитывается для чугунных деталей, начиная со второго перехода, и для деталей после термообработки [3,5]);

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ – суммарное значение пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей от правильной формы (коробление, эксцентricность и др.), оставшихся после выполнения предшествующего перехода (суммарное значение пространственных отклонений уменьшается с каждым следующим переходом: $\Delta_{\Sigma_i} = 0,06 \Delta_{\Sigma_0}$; $\Delta_{\Sigma_2} = 0,05 \Delta_{\Sigma_1}$; $\Delta_{\Sigma_3} = 0,04 \Delta_{\Sigma_2}$. При нежестком закреплении заготовки или инструмента, например, в качающихся или плавающих державках ($\Delta_{\Sigma_{i-1}} = 0$); ε_i – погрешность установки заготовки на станке при выполнении рассматриваемого перехода:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2 + \varepsilon_{\text{присп}}^2}, \quad (5.11)$$

где $\varepsilon_{\text{баз}}$, $\varepsilon_{\text{закр}}$, $\varepsilon_{\text{присп}}$ – соответственно погрешности базирования, закрепления и приспособления (при установке в центрах $\varepsilon_i = 0$, при обработке на многопозиционных операциях при смене позиции учитывают погрешность индексации $\varepsilon_{\text{инд}} = 50$ мкм по формуле $\varepsilon_i = 0,06 \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_{\text{инд}}$);

T_{i-1} – допуск на промежуточный размер (при определении припуска на первый черновой переход для наружных поверхностей учитывается лишь минусовая его часть T_0^- , а для внутренних поверхностей – плюсовая часть допуска исходной заготовки).

Промежуточные размеры при обработке *наружных* поверхностей вращения (валов) устанавливаются в порядке, обратном ходу

технологического процесса обработки этой поверхности, т.е. от размера готовой детали к размеру заготовки путем последовательного прибавления к наибольшему предельному размеру готовой поверхности детали (исходному расчетному размеру) припусков $P_{ном4}$; $P_{ном3}$; $P_{ном2}$; $P_{ном1}$. Допуски этих размеров устанавливаются по системе вала с полем допуска h соответствующего качества.

За исходный расчетный размер берется наибольший предельный размер готовой поверхности. Округление промежуточных размеров производится в сторону увеличения промежуточного припуска до того же знака, что и допуск этого размера.

Особенности расчета промежуточных припусков и размеров для *внутренних* поверхностей состоят в следующем:

а) допуски промежуточных (межоперационных) размеров устанавливаются по системе отверстия с полем допуска H соответствующего качества;

б) номинальные размеры и номинальные припуски, на всех переходах, кроме первого, связаны зависимостью

$$P_{номi} = P_{mini} + T_{i-1}, \quad (5.12)$$

а номинальный припуск для первого (чернового) перехода определяется по формуле

$$P_{номi} = P_{mini} + T_0^+, \quad (5.13)$$

где T_0^+ – плюсовая часть допуска заготовки;

в) промежуточные размеры устанавливаются в порядке, обратном ходу выполнения технологического процесса от размера готового отверстия к размеру заготовки путем вычитания из наименьшего предельного размера готового отверстия (исходный размер) припусков $P_{ном3}$; $P_{ном2}$; $P_{ном1}$. Допуски их ставятся по системе отверстия с полем допуска H ;

г) за исходный расчетный размер принимают наименьший предельный размер готового отверстия.

Схема полей допусков наружной поверхности детали, заготовок на всех стадиях обработки и исходной заготовки и полей припусков общего и промежуточных представлены на рис. 5.2.

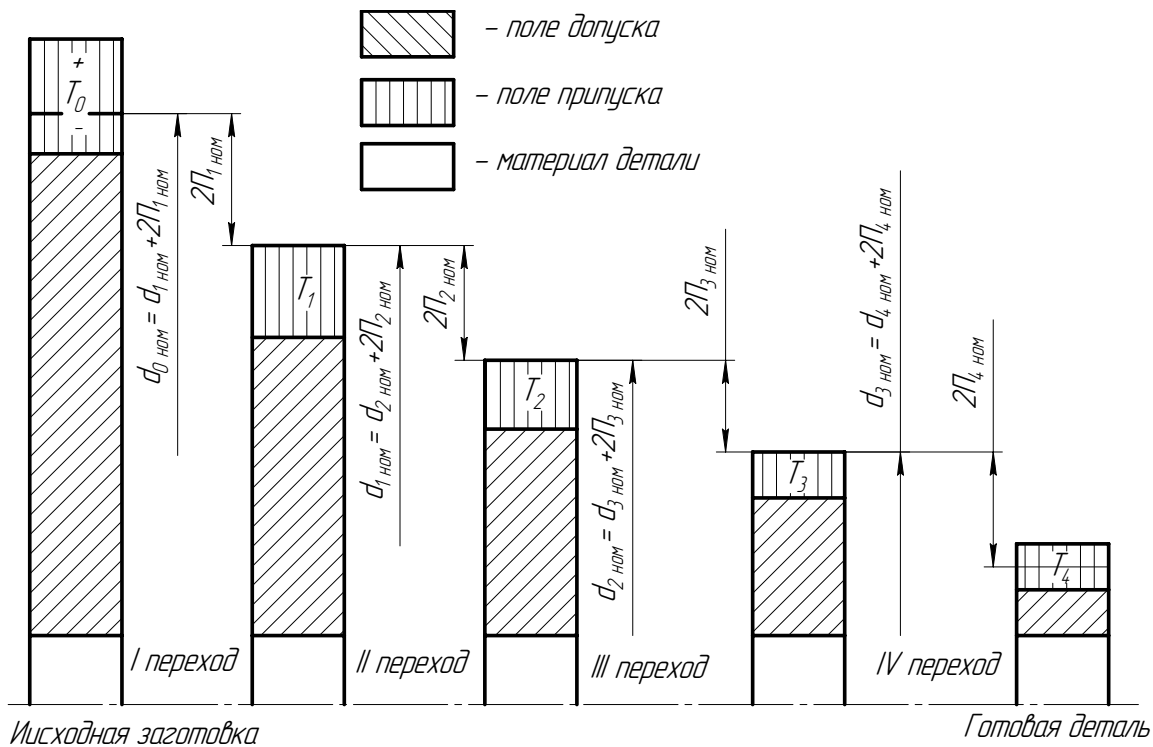


Рис. 5.2. Схема полей допусков

Выбор промежуточных припусков при обработке вала из проката и расчет промежуточных размеров

Пример 5.1. Ступенчатый вал длиной $L_{\text{д}} = 480$ мм (рис. 5.3) изготавливается в условиях мелкосерийного производства из стального круглого горячекатаного проката обычной точности диаметром $d_0 = 100$ мм. Наибольшая по диаметру ступень вала $\text{Ø}90\text{h}10(90_{-0,35})$ с шероховатостью поверхности $Ra5$ ($Rz20$) обрабатывается двукратно: предварительным и окончательным точением. Требуется: установить общий припуск на механическую обработку диаметрального размера; установить промежуточные припуски на оба перехода обработки статистическим методом; рассчитать промежуточный размер.

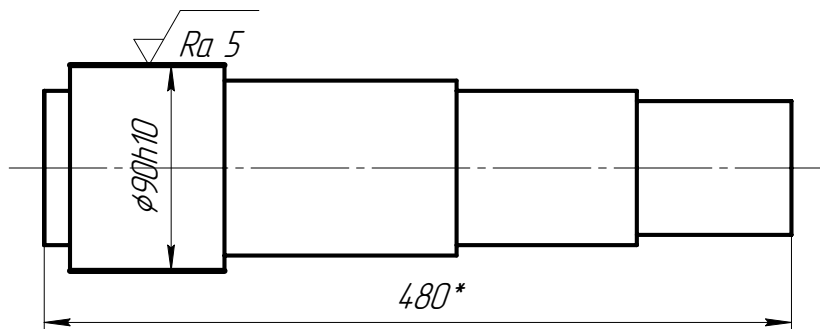


Рис. 5.3. Ступенчатый вал

Решение. 1. Общий припуск на механическую обработку на диаметр определяем по формуле 5.1:

$$2\Pi_{\text{общд}} = 100 - 90 = 10 \text{ мм.}$$

2. Промежуточный припуск на диаметр при чистовом точении вала [4].

$$2\Pi_{2\text{табл}} = 1,2 \text{ мм.}$$

Для мелкосерийного характера производства припуск увеличивается, для чего вводится коэффициент $K = 1,3$, т. е. $2\Pi_{2\text{расч}} = 1,2 \cdot 1,3 = 1,56 \text{ мм} \approx 1,6 \text{ мм}$.

Так как указания относительно размера операционного припуска на диаметр при черновом точении в технологических справочниках отсутствуют, определяем его расчетом, используя формулу (5.4):

$$2\Pi_1 = 2\Pi_{\text{общд}} - 2\Pi_{2\text{расч}} = 10 - 1,6 = 8,4 \text{ мм.}$$

Итак, исходный расчетный размер диаметра (наибольший предельный размер) равен $d_{\text{исх}} = 90 \text{ мм}$, операционный припуск на чистовое точение $2\Pi_2 = 1,6 \text{ мм}$. Диаметр заготовки после черного точения равен $d_1 = d_{\text{исх}} + 2\Pi_2 = 91,6$; он же с допуском: $d_1 = 91,6h12$, или $d_1 = 91,6_{-0,35}$; шероховатость поверхности $Ra20$.

В технологической документации выполняются операционные эскизы на оба перехода (рис. 5.4, а, б)

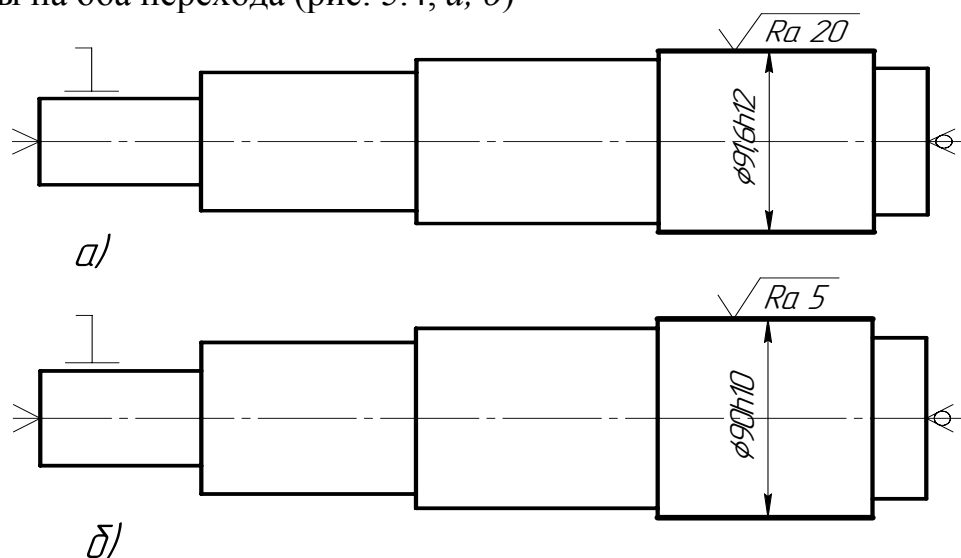


Рис. 5.4. Операционные эскизы

Задача 5.1. Для изготовления ступенчатого вала (рис. 5.5) в качестве заготовки использован стальной круглый горячекатаный прокат обычной точности диаметром d_0 . Наибольшая по диаметру ступень этого вала диаметром d_d изготавливаемая с точностью по 11-му качеству и шероховатостью поверхности $Ra10$, обрабатывается

дважды предварительным и окончательным точением. Варианты задачи приведены в табл. 5.1.

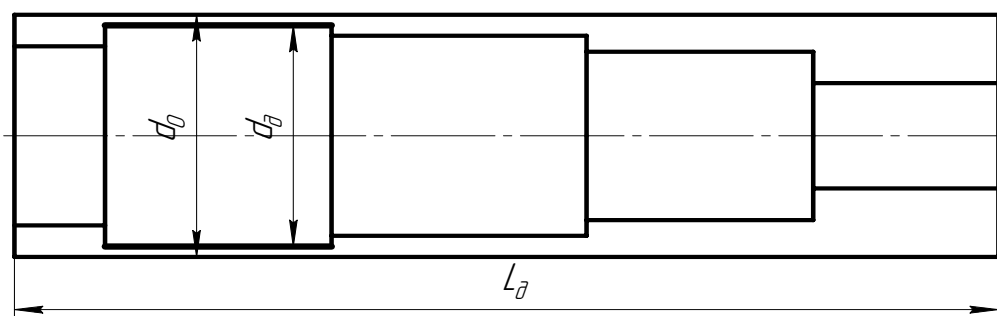


Рис. 5.5. Заготовка – круг

Таблица 5.1

Исходные данные

№ варианта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
d_D мм	75h11	85a11	65b11	95a11	60d11	95d11	70a11	90h11	80d11	55h11
d_0 мм	80	95	70	105	65	100	75	95	90	60
L_D мм	430	460	320	450	325	400	400	420	450	300

Требуется: установить с помощью таблиц общий и промежуточный припуски; рассчитать промежуточный размер и выполнить операционные эскизы.

Установление статистическим методом (по таблицам) промежуточных припусков на каждый переход и расчет промежуточных размеров заготовки

Пример 5.2. Многоступенчатый вал (рис. 5.6) изготавливается из штампованной поковки повышенной точности (I класс). Заготовка прошла фрезерно-центровальную обработку, в результате которой были подрезаны торцы и созданы центровые отверстия.

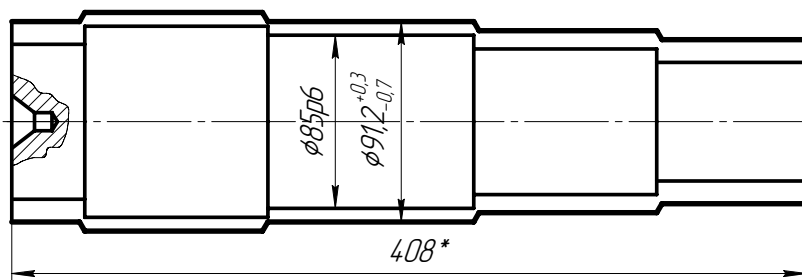


Рис. 5.6. Заготовка – поковка

Наружная цилиндрическая поверхность одной ступени вала имеет диаметр $d_d = 85p6(85^{+0.059}_{+0.037})^*$ шероховатостью $Ra1,25$. Ступень исходной заготовки (см. пример П1.2) имеет диаметр $d_0 = 91,2^{+1.3}_{-0.7}$ и шероховатость $Rz250$ ($Ra60$).

Принятая последовательность обработки указанной поверхности приведена в табл. 5.2.

Требуется: провести анализ исходных данных; установить статистическим методом (по таблицам) операционные припуски на каждый переход; рассчитать промежуточные размеры для выполнения каждого технологического перехода.

Решение. 1. Общий припуск на механическую обработку на диаметр составляет 6,2 мм. Коэффициент ужесточения размера обрабатываемой поверхности составляет

$$K_{\text{ужест.р.}} = T_0/T_d = 2000/22 = 91.$$

Таблица 5.2

Исходные данные

Последовательность обработки (содержание перехода)	Квалитет точности	Параметр шероховатости Ra , мкм
Точить поверхность предварительно	12...14	20,0
Точить поверхность под шлифование	10...11	5,0
Шлифовать поверхность предварительно	8...9	2,5
Шлифовать поверхность окончательно	6	1,25

Заметим, что допускаемое отклонение диаметра исходной заготовки соответствует примерно 16-му квалитету точности (IT16), а готовой детали – 6-му квалитету точности (IT6). Таким образом, точность при обработке увеличивается примерно на десять квалитетов. Такой перепад точности можно достичь за четыре этапа обработки, так

как каждый этап обработки увеличивает точность размера в среднем на 2...3 квалитета.

2. Выбор операционных припусков на диаметр выполняем по таблицам [4].

Общий припуск $2\Pi_{\text{общ}} = 6,2$ мм. Табличное значение операционного припуска на диаметр при шлифовании составляет 0,5 мм, распределяем его на шлифование предварительное и окончательное (примерно в отношении 3:1) и получаем $2\Pi_3 = 0,375$ мм и $2\Pi_4 = 0,125$ мм. Округленно принимаем $2\Pi_3 = 0,4$; $2\Pi_4 = 0,1$. Припуск на точение под шлифование $2\Pi_2 = 1,2$ мм. Отсюда находим припуск на черновое точение:

$$2\Pi_1 = 2\Pi_{\text{общ}} - 2\Pi_2 - 2\Pi_3 - 2\Pi_4 = 4,5 \text{ мм.}$$

Параметры поверхности после механической обработки для каждого перехода представлены в табл. 5.3.

По данным табл. 5.3 можно сделать следующие выводы:

а) общий припуск делится по переходам в отношении 72,5%, 19,5%, 6,5% и 1,5%, что соответствует правилам технологии механической обработки;

б) после каждого перехода точность повышается в такой последовательности (по квалитетам): 16–13–10–8–6 и соответственно допуск размера уменьшается (происходит ужесточение допуска) в 4,3; 3,8; 2,6 и 2,1 раза;

Таблица 5.3

Исходные данные

№ перехода	Обозначение и размер промежуточного припуска на диаметр	Поле допуска	Допустимое отклонение размера, мм	Шероховатость поверхности, мкм
0	$2\Pi_{\text{общ}} = 6,2$ мм	IT 16 (I класс по ГОСТ 7505–74)	+1,3 –0,7	Ra60 (Rz250)
1	$2\Pi_1 = 4,5$ мм	h13	0 –0,54	Ra20
2	$2\Pi_2 = 1,2$ мм	h10	0 –1,4	Ra5,5
3	$2\Pi_3 = 0,4$ мм	h8	0 –0,054	Ra2,5
4	$2\Pi_4 = 0,1$ мм	p6	+0,059 +0,037	Ra1,25

в) после каждого перехода происходит уменьшение параметров шероховатости сначала в 3...4 раза, а затем в 2 раза.

3. Расчет промежуточных размеров для выполнения каждого технологического перехода ведется по методике, изложенной в начале в § 5. Его результаты сведены в табл. 5.4.

4. Операционные эскизы для каждого перехода представлены на рис. 5.7, а, б, в, г.

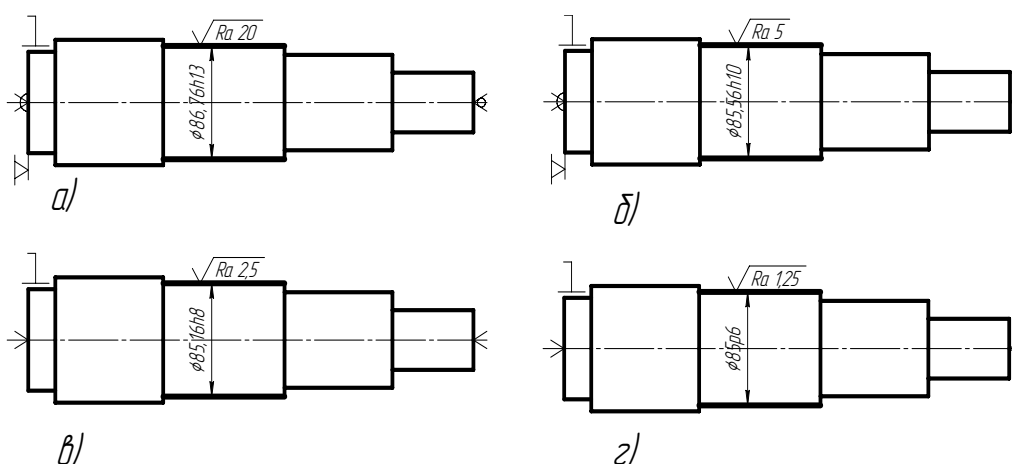


Рис. 5.7. Промежуточные размеры

Таблица 5.4

Исходные данные

№ пере-хода	Содержание перехода и размер после рассматриваемого перехода	Расчет величины	Промежуточ-ный размер с допуском	Шерохо-ватость, мкм
4	Шлифовать поверхность окончательно Диаметр готовой поверхности ступени Исходный расчетный размер (для наружных поверхностей – наибольший предельный)	$d_4 = d_{\text{черт}}$ $d_{\text{исх}} = 85,059$	$d_4 = 85p6(85^{+0,059}_{+0,037})$	Ra1,25
3	Шлифовать поверхность предварительно	$d_3 = d_{\text{исх}} + 2\Pi_4$ $d_3 = 85,05.9 + 0,1 = 85,159$	$d_3 = 85,159h8$ $(85,159-0,054)$	Ra2,5
2	Точить поверхность окончательно (под шлифование)	$d_2 = d_3 = 2\Pi_3$ $d_2 = 85,159 + 0,4$ $d_2 = 85,559$	$d_2 = 85,559h10$ $(85,559-0,014)$ $d_2 = 85,56h10$ $(85,56-0,014)$	Ra5,0

Продолжение таблицы 5.4

1	Точить поверхность предварительно	$d_1 = d_2 + 2\Pi_2$ $d_1 = 85,56 + 1,2$ $d_1 = 86,76$	$d_1 = 86,76h13$ (86,76-0,054)	Ra20
0	Диаметр поверхности исходной заготовки (поковка)	$d_0 = d_1 + 2\Pi_1$ $d_0 = 86,76 +$ $+ 4,44 = 91,2$	$d_0 = 91,2^{+1,3}_{-0,7}$	Ra80

Задача 5.2. Четырехступенчатый вал изготавливается из штампованной поковки повышенной точности (I класс). У этой заготовки подрезаны и зацентрированы торцы (рис. 5.8). Наружная цилиндрическая поверхность одной ступени вала имеет диаметр d_a с шероховатостью Ra1,25. Ступень исходной заготовки имеет диаметр d_0 и ее шероховатость Ra60 (Rz250).

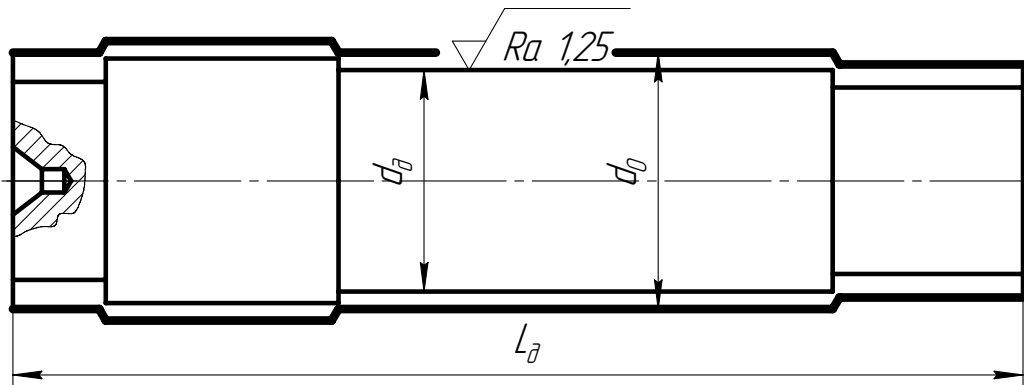


Рис. 5.8. Эскиз заготовки

Заготовку обрабатывают в такой последовательности:

1. Точить предварительно (поле допуска h11...h12, Ra 20).
2. Точить окончательно (поле допуска h11...h10, Ra5).
3. Шлифовать предварительно (поле допуска h9...h8, Ra2,5).
4. Шлифовать окончательно (поле допуска IT6, Ra1,25).

Требуется: выбрать операционные припуски; рассчитать промежуточные размеры для выполнения каждого из четырех переходов; выполнить операционные эскизы (варианты заданий приведены в табл. 5.5).

Таблица 5.5

Исходные данные

№ варианта	Диаметр поверхности детали d_d , мм	Диаметр поверхности и заготовки d_0 , мм	Длина заготовки L , мм	№ варианта	Диаметр шейки детали d_d , мм	Диаметр шейки заготовки d_0 , мм	Длина заготовки и L , мм
I	45m6	$51^{+1,3}_{-0,7}$	430h11	VI	75d6	$82,4^{+1,7}_{-0,8}$	425h11
II	55g6	$61^{+1,3}_{-0,7}$	460h11	VII	50k6	$55,8^{+1,2}_{-0,6}$	400h11
III	55m6	$60^{+1,3}_{-0,7}$	320h11	VIII	70e8	$76,8^{+1,5}_{-0,7}$	420h11
IV	65f7	$71,2^{+1,3}_{-0,7}$	450h11	IX	50h6	$56,2^{+1,3}_{-0,7}$	450h11
V	30n6	$34,8^{+1,0}_{-0,5}$	325h11	X	40f9	$44,4^{+1,0}_{-0,4}$	300h11

Определение промежуточных припусков расчетно-аналитическим методом и расчет промежуточных размеров

Пример 5.3. Ступенчатый вал (см. рис. 5.8) в условиях крупносерийного производства изготавливается из штампованной поковки I класса точности.

Масса заготовки $m_0 = 23$ кг; диаметр рассматриваемой поверхности исходной заготовки $91,2^{+1,3}_{-0,7}$ шероховатость ее $Rz250$; допуски: на смещение штампа $\Delta_{см} = 0,9$ мм; на коробление – $\Delta_{кор} = 0,5$ мм (половина допуска на биение). Остальные данные имеются в примерах П1.2 и 5.2.

Требуется для средней ступени диаметром $d_d = 85p6^{+0,059}_{+0,037}$, имеющей шероховатость $Ra1,25$, определить промежуточные припуски на все переходы расчетно-аналитическим методом.

Решение. 1. Сбор дополнительных исходных данных для выполнения расчета промежуточных припусков производится по литературе [10; 21, Т. 1]; допуски на промежуточные размеры – по СТ СЭВ 144–75. Последовательность обработки, число переходов и достигаемые результаты по точности и шероховатости такие же, как в примере 5.2.

Расчет отклонений формы штамповки, подготовленной к токарной обработке (подрезаны торцы и выполнена зацентровка) производится по формуле

$$\Delta_0 = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{ц}}^2}.$$

Таблица 5.6

Исходные данные

№ перехода	Вид обработки и способ установки заготовки	Квалитет точности	Числовые значения величин для расчета 2Пном, мкм				
			Шероховатость	толщина дефектного слоя h, мкм	суммарное пространственное отклонение Δ, мкм	погрешность установки ε, мкм	Допуски T, мкм
0	Исходная заготовка	IT6	Ra60	250	1172	-	2000
1	Точение черновое, установка в центрах	h13	Ra20	50	70	0	540
2	Точение получистовое, установка в центрах	h13	Ra5	25	3,5	0	140
3	Шлифование предварительное, установка в центрах	h8	Ra2,5	2,0	0	0	54
4	Шлифование окончательное, установка в центрах	p6	Ra1,25	1,5	0	0	96

В нашем случае $\Delta_{\text{ц}} = 0,25 \sqrt{T_{\text{ок.ш}}^2 + 1}$,

где $T_{\text{ок.ш}} = 2$ мм – допуск на диаметр крайних ступеней штамповки, т.е.

$\Delta_{\text{ц}} = 0,56$ мм.

Отсюда

$$\Delta_0 = \sqrt{(0,9^2 + 0,5^2 + 0,56^2)} = 1,172 = 1172 \text{ мкм.}$$

Пространственные отклонения заготовки в ходе обработки уменьшаются: $\Delta_{\Sigma} = 0,06 \cdot \Delta_0 = 0,06 \cdot 1172 = 70$ мкм; $\Delta_2 = 0,05 \cdot \Delta_1 = 3,5$ мкм; $\Delta_3 = \Delta_4 = 0$. Все исходные данные сведены в табл. 5.6.

2. Расчет номинальных операционных припусков производим по формуле (5.8). Номинальный промежуточный припуск на диаметр на черновое точение равен

$$2\Pi_{\text{ном}} = 2(250 + 250 + 1172) + 700 = 4044 \text{ мкм.}$$

Номинальные припуски на диаметр на остальные три перехода по обработке этой же поверхности составят:

$$2\Pi_{\text{ном}2} = 2(80 + 50 + 70) + 540 = 940 \text{ мкм;}$$

$$2\Pi_{\text{ном}3} = 2(20 + 25 + 3,5) + 140 = 237 \text{ мкм;}$$

$$2\Pi_{\text{ном}1} = 2(10 + 20 + 54) = 114 \text{ мкм.}$$

3. Расчет промежуточных номинальных размеров с допусками и обозначениями параметров шероховатости, необходимый для исполнения детали, ведут от расчетного размера ступени – наибольшего предельного размера готовой детали – последовательно прибавляя к нему значения номинальных припусков ($2\Pi_{\text{ном}i}$) в порядке, обратном ходу технологического процесса. Округление промежуточных размеров производится в сторону увеличения припусков до той же значащей цифры, как в допуске промежуточного размера (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Результаты расчетов

Определяемая величина	Обозначение величины	Числовое значение	Шероховатость
Размер поверхности готовой детали	$d_{\text{черт}}$	$85p6^{(85^{+0,059}_{+0,037})}$	Ra1,25
Исходный расчетный размер (наибольший предельный размер наружной поверхности)	$d_{\text{исх}}$	85,059 мм	—
Номинальный припуск на диаметр при чистовом шлифовании	$2\Pi_{\text{ном}4}$	0,114 мм	—
Расчетный диаметр поверхности после получистового шлифования $d_{\text{расч}3} = d_{\text{исх}} + 2\Pi_{\text{ном}4}$	$d_{\text{расч}3}$	85,173h8 (85,173-0,054)	Ra2,5
Округленный диаметр после получистового шлифования	d_3	85,173h8	—

Продолжение таблицы 5.7

Номинальный припуск на диаметр при предварительном шлифовании	$2\Pi_{\text{НОМ3}}$	0,237	—
Расчетный диаметр поверхности после получистового точения $d_{\text{расч2}} = d_3 + 2\Pi_{\text{НОМ3}}$	$d_{\text{расч2}}$	85,4h10 (85,41 -0,14)	Ra5
Диаметр после получистового точения (округленный)	d_2	85,4h10	—
Номинальный припуск на диаметр при получистовом точении	$2\Pi_{\text{НОМ2}}$	0,94 мм	—
Расчетный диаметр после черного точения $d_{\text{расч1}} = d_2 + 2 \Pi_{\text{НОМ2}}$	$d_{\text{расч1}}$	86,35h13 (85,35-0,54)	Ra20
Диаметр после черного точения (округленный)	d_1	86,35h13	—
Номинальный припуск на диаметр при черновом точении	$2\Pi_{\text{НОМ1}}$	4,044	—
Расчетный диаметр заготовки $d_{\text{расч0}} = d_1 + 2\Pi_{\text{НОМ1}}$	$d_{\text{расч0}}$	90,394 ^{+1,3} _{-0,7}	—
Диаметр заготовки с допуском (округленный)	d_0	90,4 ^{+1,3} _{-0,7}	Ra60 (Rz250)

4. Общий припуск на механическую обработку этой поверхности составит: $2\Pi_{\text{общд}} = 4044 + 940 + 237 + 114 = 5335$ мкм.

При определении операционных припусков расчетно-аналитическим методом диаметр заготовки может быть принят $85 + 5,335 = 90,4$ мм вместо 91,2, как это было рассчитано при проектировании штамповки (см. пример 5.3). Экономия составит по диаметру 0,8 мм, по массе – около 0,5 кг, или 2,5% массы исходной заготовки. Отсюда вытекает, что использование расчетно-аналитического метода открывает в ряде случаев возможность значительной экономии металла заготовок, чем при расчете по табличному методу.

Задача 5.3. Четырехступенчатый вал изготавливается из штампованной поковки повышенной точности (I класс).

Требуется для ступени этого вала, имеющей диаметр d_a с шероховатостью Ra1,25 определить промежуточные припуски на все переходы расчетно-аналитическим способом.

Исходные данные для решения задачи по вариантам даны в **табл. 5.3**; 5.6; 5.8 и **на рис. 5.4**. Задачу выполнять в объеме примера 5.3.

Таблица 5.8

Исходные данные

№ варианта	Масса заготовки m_0 , кг	Погрешность заготовки		Диаметр ступени готовой детали d_d , мм
		по смещению $\sigma_{см}$, мм	по короблению $\sigma_{кор}$, мм	
I	7,9	1,2	0,8	45m6
II	13,7	1,3	0,8	55g6
III	5,1	1,1	0,6	35m6
IV	13,7	1,3	0,8	65f7
V	3,0	1,0	0,7	30n6
VI	23,2	1,4	0,8	75d8
VII	5,9	1,1	0,8	40k6
VIII	18,3	1,4	0,8	70e8
IX	11,9	1,3	0,8	50h6
X	2,4	0,8	0,7	25f7

§ 6. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Определение количества технологических переходов при механической обработке для достижения заданной точности размера поверхности

Пример 6.1. Элементарная поверхность ступени вала диаметром $\varnothing 85_{p6}(85_{+0.059}^{+0.037})$ изготавливается из штампованной поковки повышенной точности диаметром $\varnothing 91,2_{(-0,7)}^{(+1,3)}$

Требуется: проанализировать исходные данные; определить количество технологических переходов для достижения заданной точности размера рассматриваемой ступени; установить точность промежуточных размеров.

Решение. 1. При анализе устанавливаем, что в процессе механической обработки рассматриваемой поверхности допуск размера диаметра исходной заготовки $T_{d0} = 2$ мм уменьшается до допуска размера диаметра детали $T_{dд} = 0,022$ мм (соответственно возрастает точность размера). При этом общий коэффициент ужесточения точности размера вычисляется по формуле

$$K_{\text{уж.р.общ.}} = T_{d0}/T_{dд} = 2/0,022 = 90.$$

2. Количество требуемых технологических переходов определяется по формуле

$$n = \frac{\lg K_{\text{уж.р.общ.}}}{0,46} = \frac{1,9542}{0,46} = 4,2.$$

Принимаем $n=4$.

3. Допуск размера диаметра заготовки $T_{d0} = 2$ мм соответствует примерно, 16-му качеству точности, а допуск размера детали – 6-му качеству. Следовательно, точность повышается на $16-6 = 10$ квалитетов. По принятым четырем технологическим переходам распределяем его по закону прогрессивного убывания: $10 = 4 + 3 + 2 + 1$. Точность промежуточных размеров заготовки в процессе механической обработки будет соответствовать:

после 1-го перехода 12-му качеству (h_{12});

» 2-го » 9-му » (h_9);

» 3-го » 7-му » (h_7);

» 4-го » 6-му » (h_6).

Задача 6.1. Элементарная наружная поверхность вращения детали диаметром $d_{д}$ изготавливается из заготовки, имеющей диаметр d_0 .

Требуется установить количество технологических переходов для осуществления обработки этой поверхности и изменение точности промежуточных размеров по переходам. Варианты даны в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные

№ варианта	Вид исходной заготовки	Диаметр исходной заготовки d_0 , мм	Диаметр детали d_d , мм
I	Поковка на радиально-ковочной машине	48js13	46n6
II	Литье в оболочковую форму	73js11	70f7
III	Литье	$90 \pm 0,6$	85s6
IV	Поковка штампованная	$81,2^{+2,1}_{-1,1}$	75k6
V	Литье по выплавляемой модели	35js 10	33m7
VI	Литье	150 ± 1	142e8
VII	Прокат горячекатаный стальной	$90^{+0,5}_{-1,3}$	85r6
VIII	Поковка свободнойковки	184 ± 3	160g6
IX	Прокат калиброванный	56h10	55f7
X	Литье в кокиль	49js14	45n6

Выбор технологического оснащения при проектировании токарной операции и оформление операционной карты

Пример 6.2. Для условий серийного производства проектируется операция обработки ступенчатого вала из горячекатаного проката, для которой разработан технологический операционный эскиз (рис. 6.1).

Требуется произвести обоснованный выбор технологического оснащения для этой операции.

Решение. 1. Как следует из операционного эскиза, для рассматриваемой операции (заготовка установлена в центрах) требуется токарный станок, допускающий обработку над нижней частью суппорта заготовок

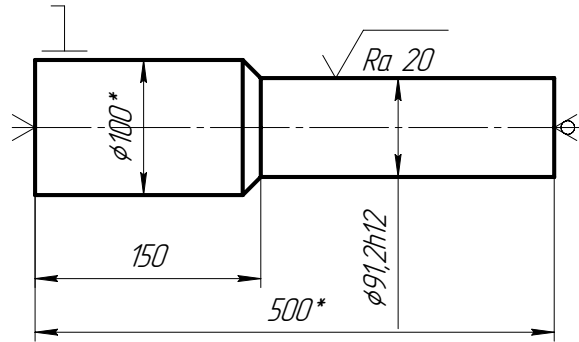


Рис. 6.1. Операционный эскиз

диаметром $d_{\text{суп}} \geq 100$ мм и с расстоянием между центрами $L_{\text{ц}} \geq 500$ мм. Пользуясь технологическими справочниками или литературой по металлорежущим станкам [3; 7], устанавливаем, что этим требованиям отвечают токарно-винторезные станки моделей 1М61 ($d_{\text{суп}} = 160$ мм; $L_{\text{ц}} = 640$ мм) 16К20 ($d_{\text{суп}} = 220$ мм; $L_{\text{ц}} = 710$ мм) и др.

Учитывая серийный тип производства, выбираем хорошо зарекомендованный себя универсальный станок модели 16К20.

2. Из эскиза видно, что предстоит центровая обработка и поэтому нужен комплект приспособлений: 1) патрон токарный поводковый диаметром 400 мм по ГОСТ 2572–72 для конца шпинделя с наружной резьбой (обозначение патрона 7108.XXXX, [8]); 2) хомутик поводковый для токарных работ по ГОСТ 2578–70 для $d = 80 \div 100$ мм (обозначение 7107.XXXX [8]); 3) центр станочный упорный по ГОСТ 13214–79, конус Морзе 6 (обозначение 7032.XXXX); 4) центр станочный вращающийся по ГОСТ 8742–75, конус Морзе 5, тип А.

3. Для этой операции требуется токарный проходной отогнутый правый резец с пластиной твердого сплава, угол $\phi = 45^\circ$ (обозначение 2102–0031 Т15К6 по ГОСТ 18877–73).

4. Для контроля размера диаметра и шероховатости обрабатываемой поверхности соответственно нужны: штангенциркуль по ГОСТ 166–80 (код 39 3311.XXXX); образцы шероховатости Ra20 для цилиндрической поверхности.

Задача 6.3. Для условий серийного производства проектируется технологический процесс механической обработки втулки, изображенной на рис. 6.2. Процесс механической обработки детали из стального горячекатаного проката диаметром 105 мм представлен операционными эскизами (рис. 6.3).

Требуется для заданной операции произвести выбор технологического оснащения (варианты даны на рис. 6.4 и в табл. 6.2).

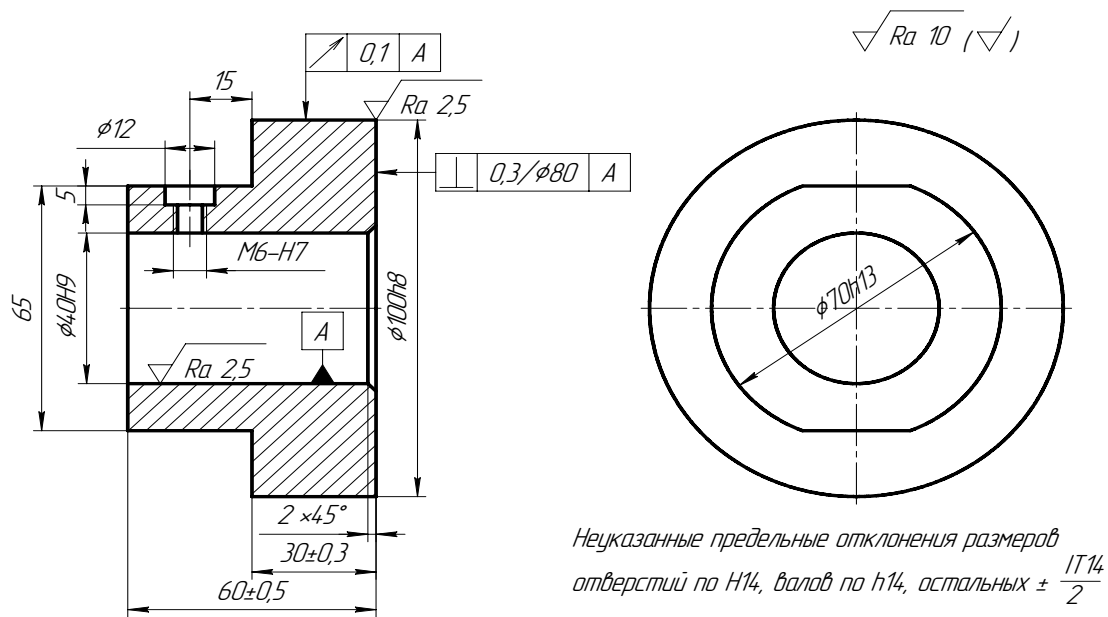


Рис. 6.2. Операционный эскиз

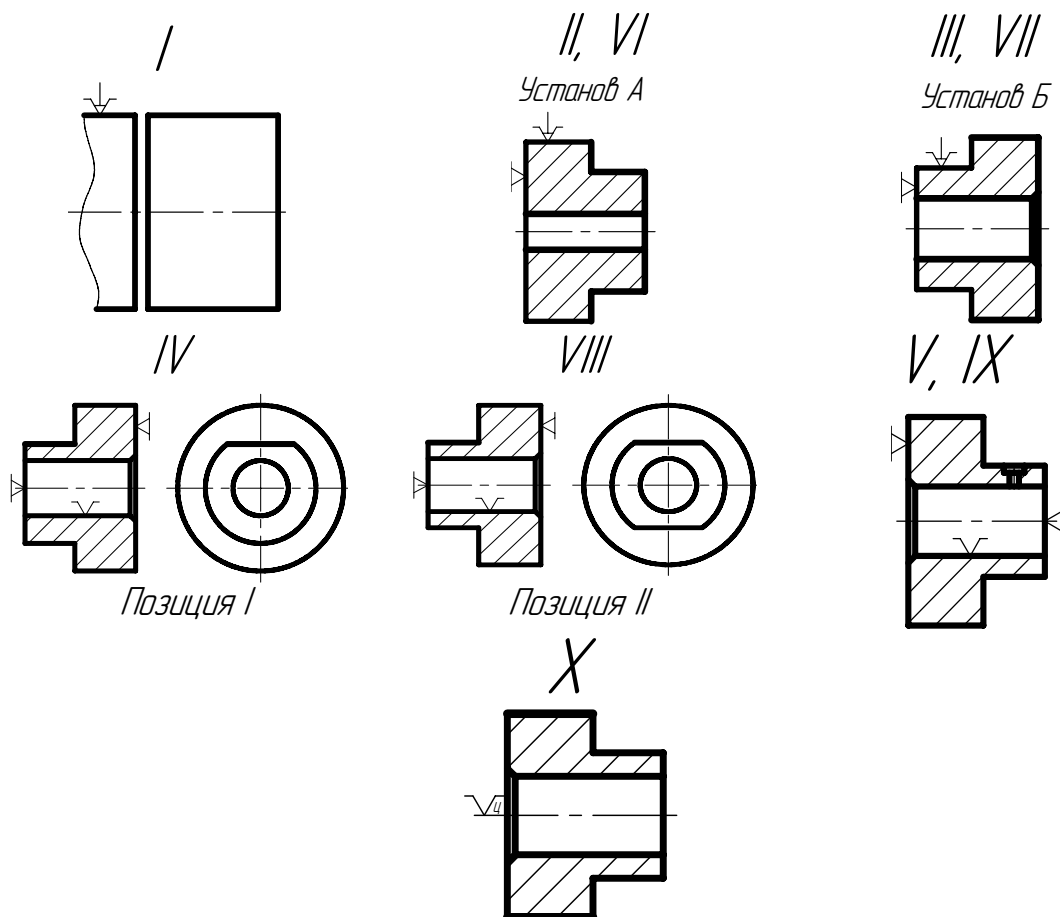


Рис. 6.3. Исходные операционные эскизы

Исходные данные

№ варианта	Наименование и содержание операции
I II;VI	Фрезерно-отрезная. Отрезать заготовку $l = 65$ мм Токарная. Подрезать торец $l_1 = 62,5$ мм, сверлить отверстия $D = 20$ мм, рассверлить до $D_1 = 37$ мм, точить поверхность до $d = 70$ мм и подрезать торец $l_2 = 30$ мм. Операцию проводить за один установ
III VII	Токарная. Подрезать торец до $l_1 = 60$ мм, точить до диаметра $d = 101,5$ мм, расточить отверстие до $D = 39H11 (39^{+0,16})$, расточить окончательно отверстие до $D_1 = 40H9 (40^{+0,062})$, точить фаску и точить под шлифование $d_1 = 100,4$ мм. Операцию проводить за один установ.
IV; VIII	Вертикально-фрезерная, фрезеровать две лыски последовательно до $h = 65$ мм
V; IX	Вертикально-сверлильная. Сверлить отверстие под резьбу $D = 5$ мм, зенкеровать отверстие $D_1 = 12$ мм и нарезать резьбу М6-Н7
X	Круглошлифовальная. Шлифовать поверхность окончательно до диаметра $d = 100h8 (100_{-0,054})$

§ 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

При разработке технологических процессов изготовления деталей серьезное внимание уделяется вопросам технического контроля и исходной заготовки, и заготовки в процессе ее обработки, и готовой детали. С этой целью в технологический процесс включаются контрольные операции. Оснащение этих операций производится с учетом типа производства и его организационной структуры, вида изделия, объема выпуска деталей, максимального использования стандартного контрольного оборудования и оснастки для контроля.

Показателями операций технического контроля являются: точность измерений, достоверность их, трудоемкость и стоимость контроля, а также объем, полнота, периодичность, продолжительность контрольных операций.

Средства технического контроля включают контрольное оборудование, оснастку для контрольных работ и средства автоматизации и механизации контроля.

Выбор средств контроля, регламентированный ГОСТ 14.306–73, производится с учетом типа производства, вида изделия и объема его выпуска, характера технологического процесса, максимального применения стандартных средств измерения и др.

Выбор средств контроля можно произвести по справочным материалам производственного контроля, по ведомственным материалам и другим источникам. Для выполнения сложных контрольных операций пользуются приспособлениями, причем, если имеющиеся стандартные универсальные приспособления не подходят, прибегают к использованию специальных.

Оформление документов технического контроля производится в соответствии с ГОСТ 3.1502–74.

Выбор способов и средств контроля выполнения технических требований

Пример 7.1. На рабочем чертеже детали «Вал ступенчатый» показаны допуски на взаимное расположение поверхностей вала (рис. 7.1).

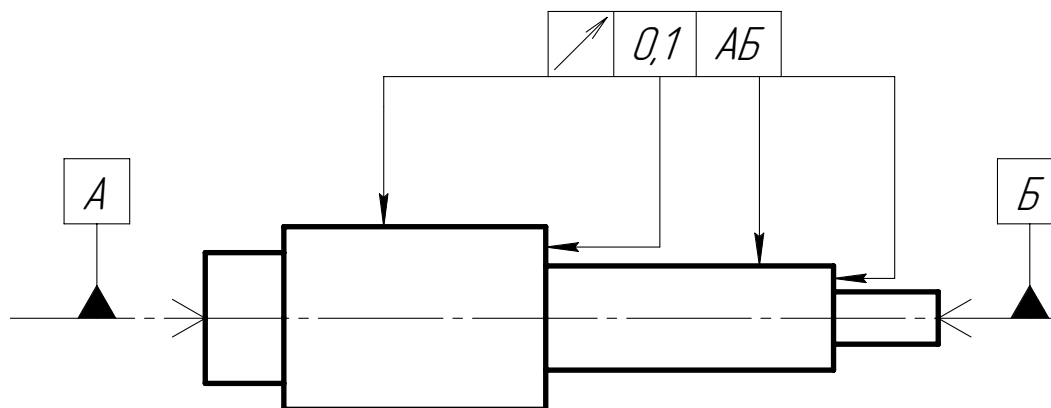


Рис. 7.1. Требования к расположению поверхностей

Требуется: описать содержание указанного допуска; перечислить возможные способы обработки и условия выполнения указанных требований к точности; указать способ контроля.

Решение: 1. На чертеже вала указаны допуски на биения (радиальные и торцовые) двух ступеней и двух уступов вала относительно общей оси центровых отверстий, размер допуска одинаков для всех поверхностей и составляет 0,1 мм.

2. Для достижения требуемой точности расположения поверхностей нужно, чтобы окончательная обработка каждой из этих поверхностей (чистовое точение или круглое шлифование ступеней и чистовое подрезание или шлифование уступов) производилась с использованием постоянной технологической базы – центровых отверстий и желательно с одного установа.

3. Контроль выполнения этих технических требований осуществляют на контрольных центрах 1 (рис. 7.2) с помощью измерительных головок обычного типа 2 и рычажных 3, устанавливаемых на стойках 4. Контроль осуществляется при медленном вращении вала.

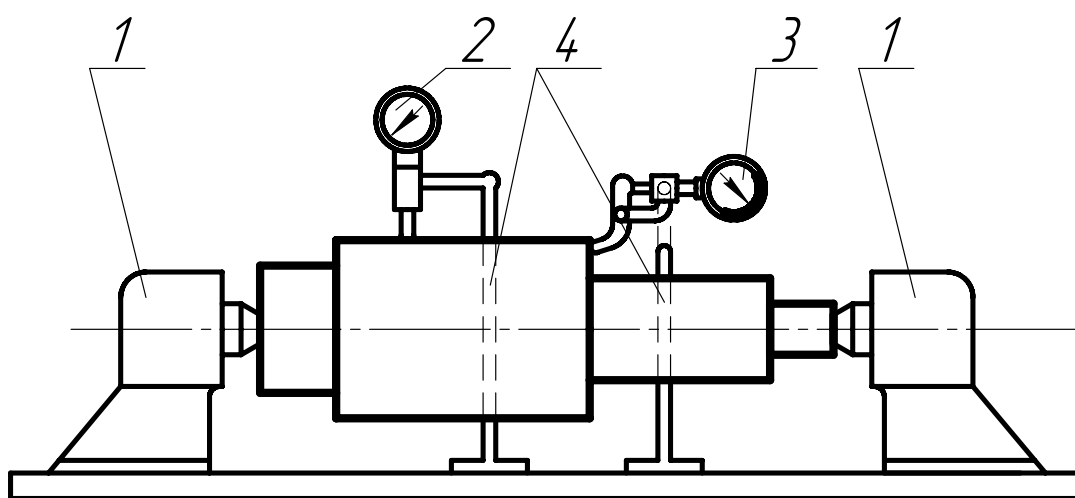


Рис. 7.2. Способ контроля расположения поверхностей

Задача 7.1. На рабочем чертеже заданной детали (варианты приведены на рис. 7.3) условным обозначением показан допуск формы поверхности или допуск взаимного расположения поверхностей ее.

Требуется: описать содержание указанного допуска; перечислить возможные способы обработки рассматриваемой поверхности условия для достижения указанной точности; указать способ контроля.

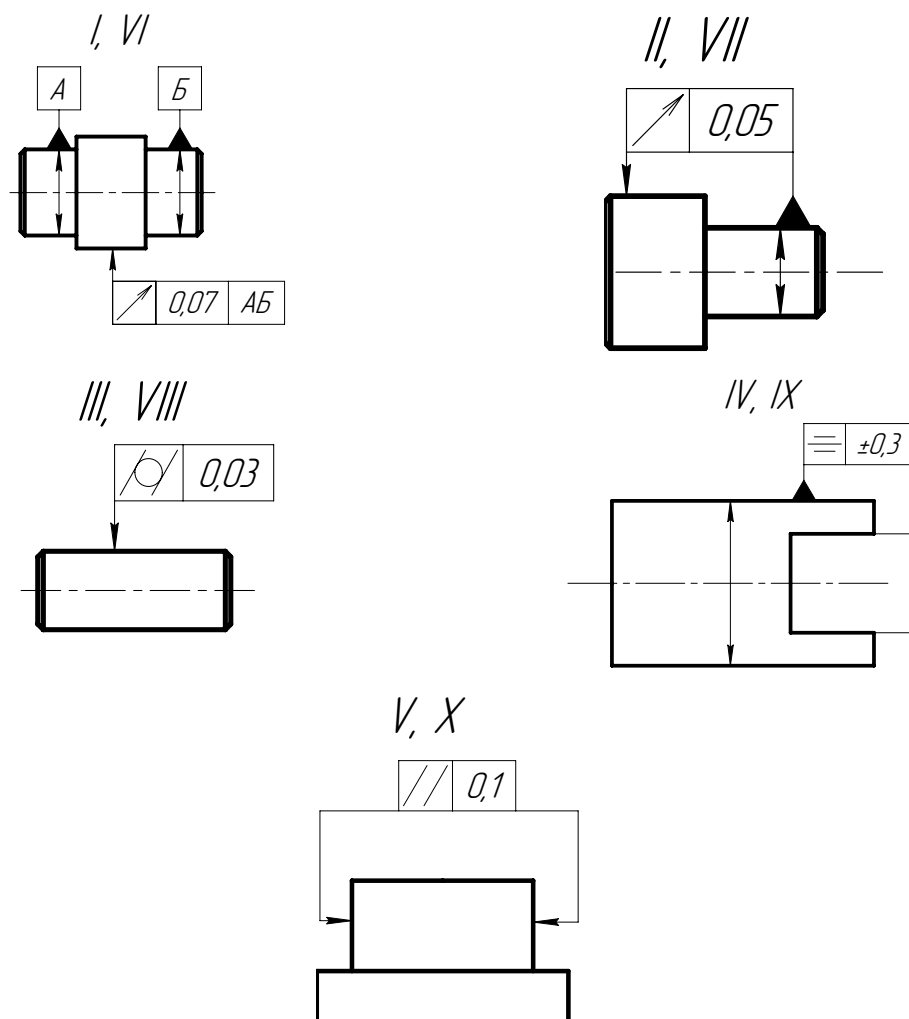


Рис. 7.3. Отклонения формы и расположения поверхностей

Составление схемы контроля и разработка идеи конструкции контрольного приспособления

Пример 7.2. На эскизе детали (рис. 7.4, а) указан допуск взаимного расположения двух поверхностей детали.

Требуется: расшифровать содержание обозначенного допуска; составить схему контроля детали для определения этого отклонения; предложить идею контрольного приспособления для контроля детали.

Решение. 1. На эскизе обозначено, что непараллельность проверяемой поверхности относительно поверхности А (базы) не должна превышать 0,2 мм.

2. Схема контроля для определения непараллельности этих поверхностей показана на рис. 7.4, б: проверяемая заготовка ставится базовой поверхностью *A* на подставку – центровик 1, а в проверяемую поверхность упирается штифт 2 индикатора. Медленно вращая заготовку, по крайним показаниям стрелки индикатора определяют значение непараллельности.

3. Приспособление может быть создано так: на плите, играющей роль корпуса приспособления, устанавливается стойка с индикатором. Для ускорения операции на столе должен быть предусмотрен быстродействующий подъемный или поворотный механизм для индикатора.

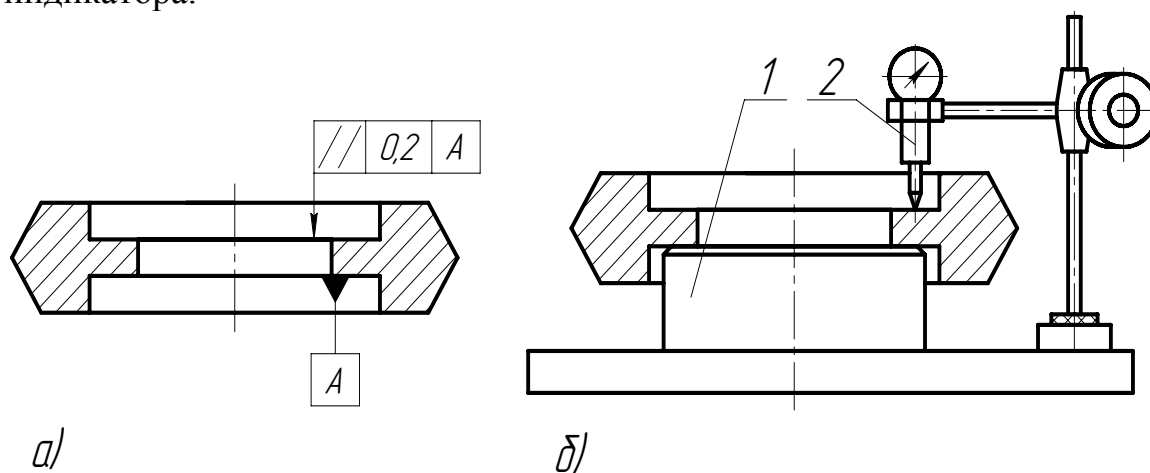


Рис. 7.4. Способ контроля отклонения расположения поверхностей

Задача 7.2. На эскизе детали (см. рис. 7.3) показан допуск формы или расположения поверхности детали.

Требуется: описать содержание допуска; составить схему контроля детали для определения погрешности; предложить идею конструкции контрольного приспособления.

§ 8. МЕТОДЫ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК. УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Установочные элементы и механизмы служат для установки и центрирования обрабатываемых заготовок в приспособлениях. От их правильного выбора и расстановки зависит точность обработки. Основные виды установочных деталей стандартизованы, что надо учитывать при их выборе [8,9].

При установке заготовок в приспособлении возникают погрешности базирования. В практике работы возникает необходимость определения этих погрешностей.

Погрешность базирования при установке заготовки, например по двум отверстиям на двух установочных пальцах (цилиндрическом и срезанном), возникает из-за зазоров в соединениях пальцев и отверстий и равна угловому смещению (перекосу) α_{max} заготовки (рис. 8.1). Определение наибольшего возможного угла перекоса производится по формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha_{max} = (S_{max1} + S_{max2}) / (2L), \quad (8.1)$$

где S_{max1} , S_{max2} – наибольшие зазоры в соединении отверстия и пальца в каждом из соединений;

L – расстояние между центрами отверстий (пальцев).

При таком базировании срезанный палец должен быть расположен так, чтобы его большая диагональ была перпендикулярна линии, соединяющей центры пальцев (рис. 8.1).

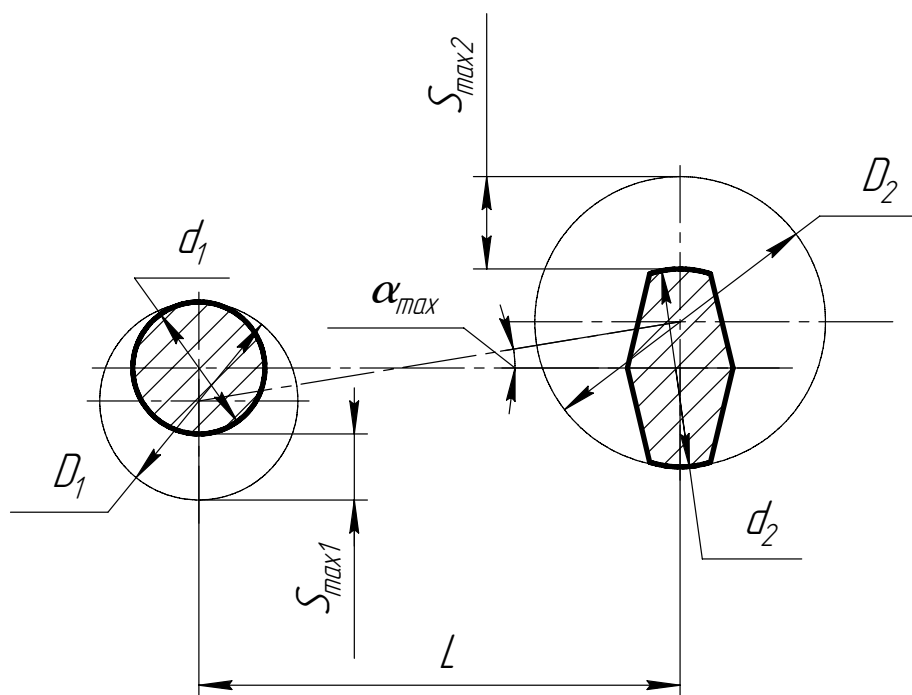


Рис. 8.1. Погрешность установки заготовки на пальцах

Разработка схемы установки заготовки и выбор установочных элементов

Пример 8.1. На консольно-фрезерном станке производится обработка корпусной детали (рис. 8.2,а).

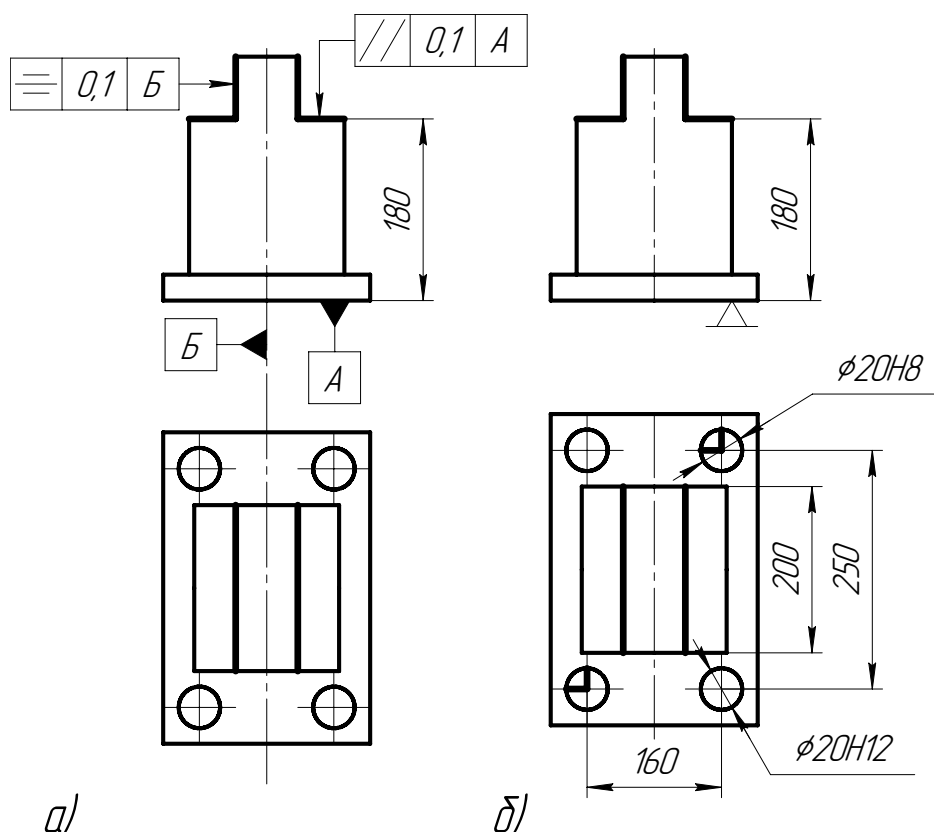


Рис. 8.2. Операционный эскиз

Требуется: выбрать технологическую базу; разработать схему установки заготовки; подобрать установочные элементы; проверить соблюдение правил шести точек; определить угловую погрешность установки.

Решение. 1. Пользуясь эскизом детали, устанавливаем, что в качестве технологической базы рационально выбрать следующие поверхности: плоскость *A* основания, которая является конструкторской базой детали, и два отверстия (из четырех имеющихся), расположенных диагонально, для правильной угловой ориентации в процессе обработки.

2. Схема базирования заготовки: плоскость *A* устанавливается на трех опорных точках, поверхность одного из отверстий создает базирование по двум точкам, а второе отверстие – по одной.

3. В качестве установочных элементов принимаем три опоры под плоскость A , расставляемые возможно дальше друг от друга, палец цилиндрический и срезанный палец.

4. Правило шести точек выполнено.

5. Наибольший угловой перекося заготовки, базирующейся по двум отверстиям, определяется расчетом по формуле (8.1) и в нашем случае равен $\text{tg}\alpha_{\text{max}} = S_{\text{max}}/L$.

Если учесть, что $D_{\text{отв. max}} = 20,033$ мм, а палец установочный 20d9 ($20_{-0,117}^{-0,065}$) имеет минимальный диаметр $d_{\text{пал. min}} = 19,883$ мм, то

$$S_{\text{max}} = D_{\text{отв. max}} - d_{\text{пал. min}} = 20,033 - 19,883 = 0,15 \text{ мм.}$$

Расстояние между базовыми отверстиями $L = \sqrt{250^2 + 160^2} = 296,82$ мм, откуда

$$\text{tg}\alpha_{\text{max}} = 0,15/296,82 = 0,0005.$$

При длине обрабатываемой плоскости $l = 200$ мм (рис. 8.2, б) линейное смещение равно

$$x = l \cdot \text{tg}\alpha_{\text{max}} = 200 \cdot 0,0005 = 0,1 \text{ мм.}$$

Задача 8.1. На станке производится обработка детали (варианты приведены на рис. 8.3 и в табл. 8.1). Требуется: составить описание операции; определить технологическую базу; разработать схему базирования; проверить соблюдение правил базирования; выбрать установочные элементы; обосновать идею приспособления.

Таблица 8.1

Исходные данные

№ варианта	Станок	Содержание операции
I; VI	Горизонтально-фрезерный	Фрезеровать паз
II; VII	Вертикально-сверлильный	Сверлить отверстие
III; VIII	Горизонтально-фрезерный	Фрезеровать паз
IV; IX	Вертикально-сверлильный	Сверлить отверстие
V; X	Токарный	Расточить отверстие

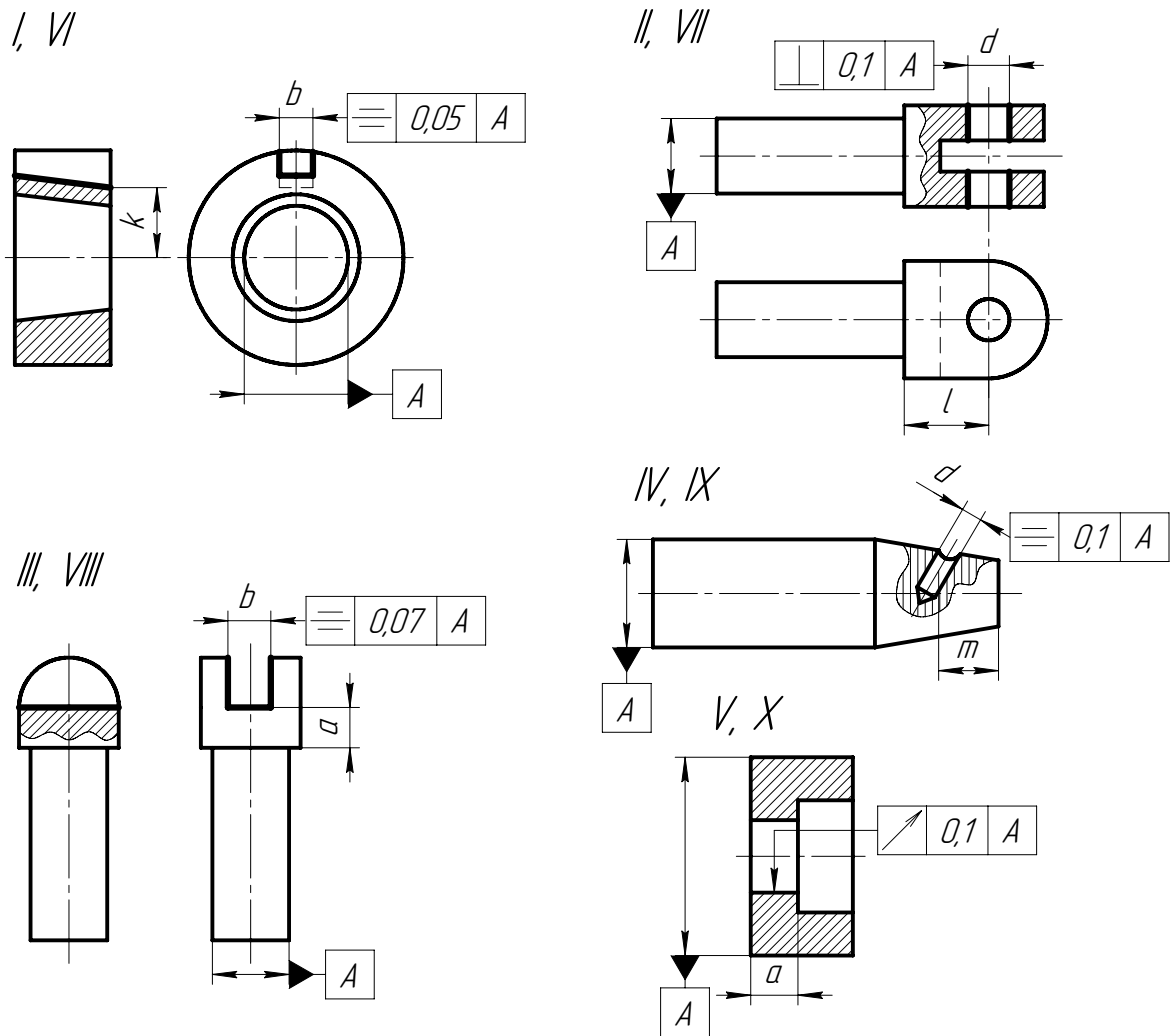


Рис. 8.3. Операционные эскизы

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Всякая деталь машины ограничена разными по форме, размерам, точности, шероховатости и другим показателям поверхностями. При проектировании технологического процесса изготовления детали для каждой ее поверхности должны быть выбраны соответственно методы обработки и установлена последовательность обработки.

Основным методом является механическая обработка, в которой участвуют элементы технологической системы (станок–приспособление–инструмент–заготовка). Согласно требованиям, предъявляемым к обрабатываемой поверхности, принимают такой вид обработки, технологические возможности которого обеспечивают снятие заданного припуска с соблюдением экономической точности обработки, высокую производительность и выполнение других технико-экономических показателей.

Существенной частью работы по проектированию технологического процесса является разработка станочных операций, в ходе которой устанавливают содержание и структуру операции, выбирают тип и модель станка, технологическую оснастку, определяют режимы резания, выполняют техническое нормирование операции и производят все расчеты, подтверждающие экономическую эффективность проектируемой операции.

§ 9. ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Наружные поверхности тел вращения, особенно цилиндрические, вполне технологичны. Эти поверхности имеются у многих деталей машин, в частности у деталей класса 40 («Тела вращения»).

Механическая обработка таких поверхностей производится на этапах черновой и получистовой обработки точением, на этапе чистовой обработки – тонким точением или шлифованием, отделочные работы – тонким шлифованием, притиркой, суперфинишем.

В зависимости от вида заготовки и требований, предъявляемых к поверхности по точности, шероховатости и другим параметрам, меняется количество технологических переходов, необходимых для обработки.

Проектирование операции черновой обработки ступенчатого вала из горячекатаного проката

Пример 9.1. Ступенчатый вал подвергается черновой токарной обработке в условиях мелкосерийного производства. Исходная заготовка – штучная из горячекатаного круглого проката нормальной точности $\text{Ø}100^{+0,6}_{-1,7}$ (см. пример А1.1) – после разрезания была подвергнута обработке торцов и их зацентровке. Масса заготовки $m_3 = 29,6$ кг. Материал детали – сталь 45 ($\delta_B = 700$ МПа). Эскиз заготовки после токарной операции изображен на рис. 9.1.

Требуется спроектировать операцию указанной обработки.

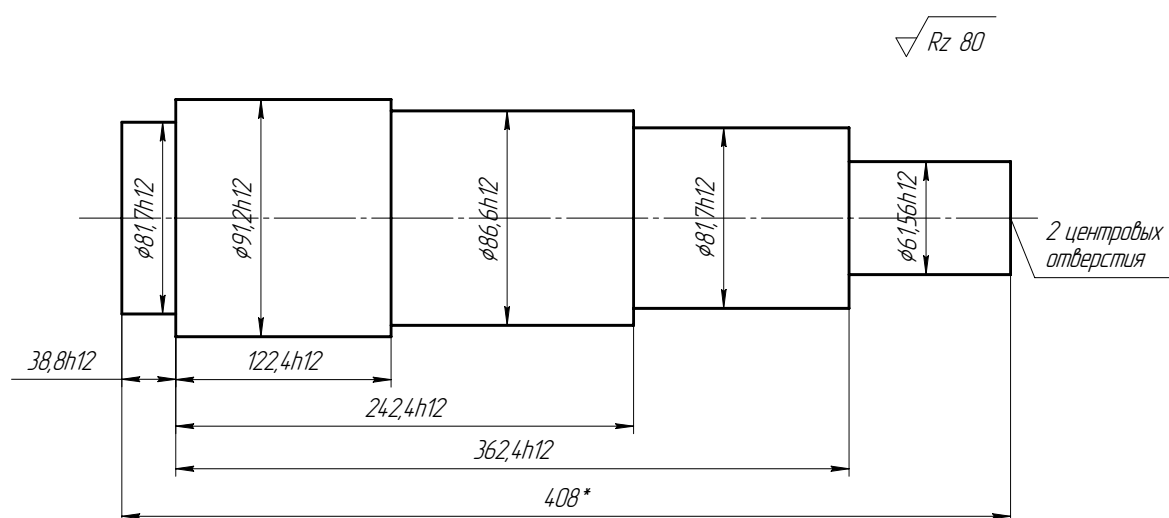


Рис. 9.1. Эскиз детали

Решение. 1. По условию устанавливаем, что в проектируемой операции должны быть обработаны пять наружных цилиндрических поверхностей и четыре торцовых (на уступах) – всего 9 поверхностей. Точность размеров невысокая – по 12-му качеству, шероховатость поверхности достаточно велика ($Ra20$ или $Rz80$).

Для получения такой точности и шероховатости достаточно провести однократную токарную обработку. При этом допускаются большие глубина резания и подача. Следует обратить внимание на большие общие припуски при обработке крайних ступеней вала, достигающие величины $100 - 61,65 = 38,35$ мм. Такие припуски придется удалить за несколько рабочих ходов. Так как необходимо обработать все наружные поверхности (кроме наружных торцов), то операция будет выполняться в два установа.

Обращает на себя внимание характер простановки линейных размеров: все они задаются от торца уступа между ступенями с диаметрами 81,7 и 91,2 мм. Это обстоятельство повлияет на порядок обработки торцовых поверхностей. Из торцов нужно в первую очередь обработать базовый торец и от него вести отсчет и контроль линейных размеров при обработке остальных уступов заготовки.

2. Из приведенных выше соображений операция состоит из двух установок (рис. 9.2) и девяти технологических переходов, перечисленных в табл. 9.1.

3. Мелкосерийный тип производства определяет применение универсальной технологической оснастки.

4. Для рассматриваемого случая с учетом типа производства пригодны универсальные токарные и токарно-винторезные станки, допускающие обработку заготовок над суппортом диаметром 100 мм и более и с расстоянием между центрами 500 мм и более. К таким станкам относятся станки моделей 1П611, 1Б616, 1К62, 16К20 и др. Можно использовать, например, токарно-винторезный станок модели 16К20 (наибольший наружный диаметр; заготовки над суппортом 220 мм и расстояние между центрами 710 мм). Технические характеристики этого станка соответствуют лучшим мировым стандартам.

5. Технологическая оснастка для данной операции состоит из:

а) токарного поводкового патрона по ГОСТ 2572–72 диаметром 400 мм;

б) поводкового хомутика по ГОСТ 2578–70 для зажима заготовок диаметром Ø100 и 62 мм (для двух установок);

в) упорного центра Морзе 6 по ГОСТ 2575–79 для установки в шпиндель станка;

г) вращающегося центра Морзе 5 ГОСТ 8742–75 для установки в пиноль задней бабки.

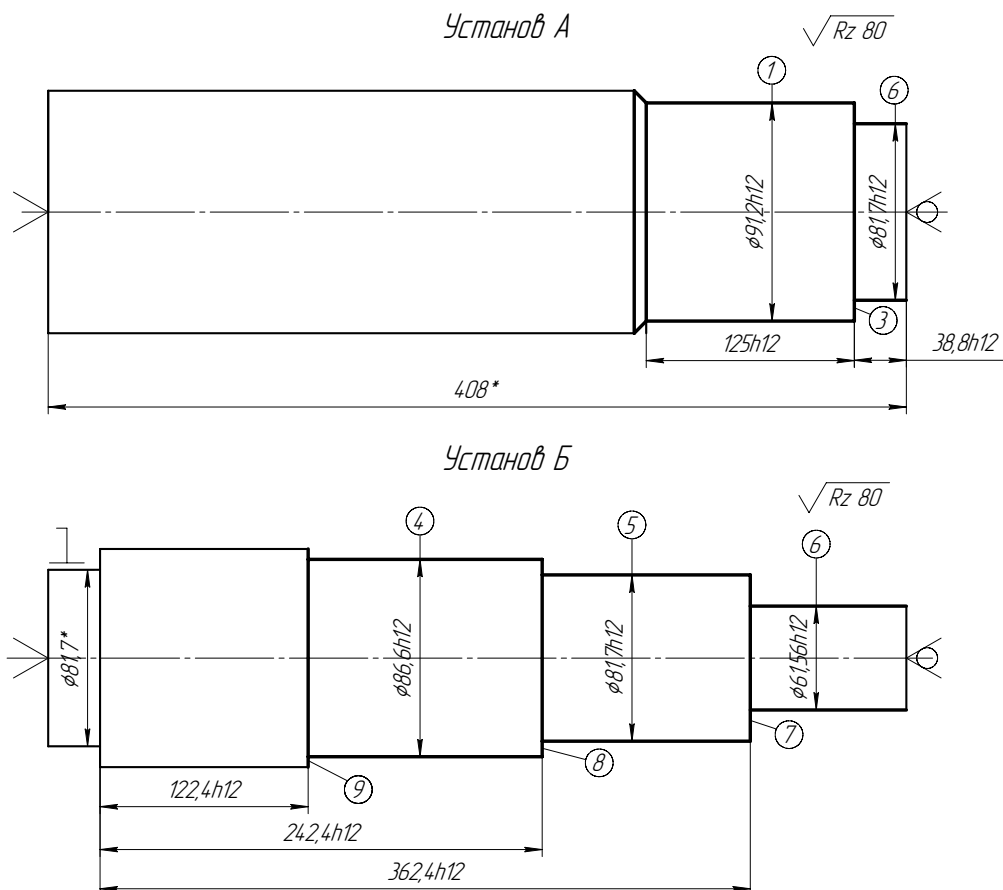


Рис. 9.2. Карта наладки

Выбор режущих инструментов производится по технологическим справочникам, ГОСТам и другим источникам. Так, для обтачивания поверхности в первом технологическом переходе используют токарный проходной отогнутый резец, оснащенный твердосплавной пластиной Т15К6, с углом $\varphi = 45^\circ$ по ГОСТ 18877–73, а для точения шеек с образованием торцов уступов – упорный токарный резец с такой же пластиной ($\varphi = 90^\circ$ по ГОСТ 18879–73). Размеры резцов – по размерам резцедержателя станка (по паспорту станка) – 16x20x150 мм [10].

Контроль размеров производится штангенциркулями и линейками или скобами и шаблонами.

Для контроля шероховатости обработанных поверхностей применяем образцы шероховатости Ra20 по ГОСТ 9378–75 для наружных поверхностей вращения и для плоских поверхностей.

6. В соответствии с выбранным оборудованием наименование операции «Токарно-винторезная» (ГОСТ 6.1702–79, прил. 2).

Описание содержания операции по установкам и переходам приводится в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Результаты расчетов

№ перехода	Наименование перехода	Расчет размеров		Режим обработки					t_0 , мин	t_B , мин
		Диаметр, мм	Длина, мм	t , мм	i	S , об/мин	n , об/мин	v , м/мин		
Установ А										
1	Установить и закрепить заготовку									2,1
2	Точить поверхность 1 предварительно	100	168	4,4	1	0,7	250	78,5	0,96	0,57
3	Точить поверхность 2 с образованием торца 3	91,2	43	4,75	1	0,7	250	71,6	0,86	0,57
Установ Б										
4	Переустановить заготовку									1,7
5	Точить поверхность 4 с образованием торца 9	100	362	3,3	2	0,7	250	78,5	4,1	1,0
6	Точить поверхность 5 с образованием торца 8	86,8	242	2,55	2	0,7	815	85,9	1,1	0,57
7	Точить поверхность 6 с образованием торца 7	81,7	122	5,0	2	0,7	315	80,9	1,1	0,94
8	Снять заготовку									0,55
9	Контроль работы									
	Итого...								8,12	8,0

В результате совмещения переходов и применения при обтачивании ступеней вала упорных резцов с углом $\varphi = 90^\circ$ число технологических переходов можно уменьшить до 6 вместо 9, как установлено в п. 2.

7. Теперь надо рассчитать рациональные припуски на черновую обработку. При выполнении 2-го перехода (см. табл. 9.1) обтачивается поверхность 1 (см. рис. 9.2), припуск 2П на диаметр и глубина резания t_2 при этом переходе определяются так (см. рис. 9.1):

$$2П = 100 - 91,2 = 8,8 \text{ мм}; t_2 = 2П/2 = 8,8/2 = 4,4 \text{ мм}.$$

При выполнении 3-го перехода получаем

$$2П = 91,2 - 81,7 = 9,5 \text{ мм}; t_3 = 4,75 \text{ мм}.$$

Для 5-го перехода

$$2П = 100 - 86,8 = 13,2 \text{ мм}; t_5 = 3,3 \text{ мм (при } I = 2).$$

Для 7-го перехода

$$2П = 81,7 - 61,65 = 20,05 \text{ мм}; t_7 = 5 \text{ мм (при } t = 2).$$

8. Установление режимов резания производится с помощью литературы [10], для каждого i -го технологического перехода по глубине резания t выбирают подачу $S_{\text{норм}}$, по паспортным данным станка устанавливается подача $S_{\text{факт}}$, ближайшая к значению $S_{\text{норм}}$; далее выбирают скорость резания $v_{\text{норм}}$, по ней рассчитывают частоту вращения шпинделя, об/мин: $n_{\text{расч}} = 1000V/(\pi d_3)$; для данного станка по паспорту находят фактическое значение $n_{\text{факт}}$ и определяют фактическую (действительную) скорость резания, м/мин: $V = \pi d n / 1000$.

Разберем подробно 2-й переход:

- глубина резания $t_2 = 4,4$ мм (см. п. 7);
- выбираем подачу $S_{\text{норм}} = 0,5 \dots 0,7$ мм/об;
- устанавливаем $S_{\text{факт}} = 0,7$ мм/об;
- выбираем скорость резания $V_{\text{норм}} = 117$ м/мин (1,95 м/с);
- поправочные коэффициенты $K_n = K_{\text{п}} = 1$,
- определяем расчетную частоту вращения шпинделя $n_{\text{расч}} = 1000 \cdot 117 / (3,14 \cdot 100) = 372$ об/мин;
- частота вращения по паспорту станка $n_{\text{факт}} = 315$ об/мин;
- рассчитываем фактическую скорость резания $V_{\text{факт}} = 0,001 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 315 = 99$ м/мин.

Теперь нужно проверить выбранный режим резания по мощности станка. Мощность, потребная на резание, равна 8,3 кВт, поправочный коэффициент $K_N = 1$. Мощность на шпинделе $N_{\text{шп}} = 7,6 \dots 8$ кВт. Мощность на шпинделе по слабому звену кинематической цепи $N'_{\text{шп}} = 7,6 \dots 8,5$ кВт. Отсюда следует, что принятый режим резания

неосуществим на станке, так как потребная мощность больше, чем достижимая ($8,3 > 7,8$).

Выход из положения можно найти, перейдя на ближайшую меньшую частоту вращения $n_{\text{факт}} = 250$ об/мин; при этом $v_{\text{факт}} = 0,001 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 250 = 78,5$ м/мин.

При этом режиме потребная мощность равна 7 кВт. Процесс резания теперь осуществим, так как выдержано условие $N_{\text{потр}} < N_{\text{штп}}$.

Заметим, что вынужденное снижение скорости резания против нормативной увеличит стойкость инструмента, а это даст экономию режущего инструмента.

9. Техническое нормирование операции выполняется по литературе [11], и его результаты приведены в табл. 9.1:

- основное технологическое время операции $\sum t_o = 8,12$ мин;
- вспомогательное время операции $\sum t_b = 8$ мин;
- оперативное время $t_{\text{оп}} = 8,12 + 8 = 16,12$ мин;
- время обслуживания рабочего места принято в размере $0,04 / t_{\text{оп}}$ [11]: $t_{\text{обсл}} = 0,04 \cdot 16,12 = 0,65$ мин;
- время перерывов на отдых и личные надобности:
 $t_{\text{отд}} = 0,04 t_{\text{оп}} = 0,04 \cdot 16,12 = 0,65$ мин;
- штучное время операции
 $t_{\text{шт.}} = t_o + t_b + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отд}} = 8,12 + 8 + 0,65 + 0,65 = 17,42$ мин;
- подготовительно-заключительное время на партию деталей [11] составляет $t_{\text{п.з.}} = 16 + 7 = 23$ мин;
- штучно-калькуляционное в $t_{\text{шт.к.}} = 17,42 + 23/30 = 18,19$ мин; при партии $n_d = 30$ шт.
- норма выработки в смену $N_b = (480 - 23) / 17,42 = 26$ шт.

Необходимости в пересчете вспомогательного времени в зависимости от характера серийности работ в нашем случае нет, так как суммарная продолжительность обработки партии деталей составляет 1,2 смены.

10. После завершения всей работы по проектированию операции необходимо проанализировать результаты и оценить их с точки зрения эффективности, чтобы искать пути интенсификации процесса.

Так, обращает на себя внимание значительное основное технологическое время операции. Это объясняется тем, что при использовании проката, выбранного в качестве заготовки, значительную долю металла (35%) приходится срезать в виде стружки. Выход видится в применении более рациональных, перспективных видов заготовок: штампованных поковок и особенно поковок, получаемых ротационным обжатием, при котором заготовка близка по конфигурации и размерам к

готовой детали. При этом методе не используются дорогие и сложные штампы, и его можно применять при любом объеме выпуска деталей.

Но даже при применении проката в качестве заготовок можно значительно уменьшить расход металла и снизить трудоемкость работы, если подвергнуть прокат правке на соответствующем оборудовании (прессах, правильно-рихтовальных станках и др.). При применении правки штучной заготовки и расчете припусков расчетно-аналитическим методом диаметр проката должен быть взят не 100, а 95 мм. Это позволяет снизить массу заготовки на 2,9 кг (на 9,8%) и соответственно снизить трудоемкость черновой токарной обработки. При этом изменятся режимы резания 2-го и 5-го переходов (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Результаты расчетов

№ перехода	Наименование перехода	Расчет размеров		Режим обработки					t ₀ , мин	t _B , мин
		Диаметр р, мм	Длина, мм	t, мм	i	S, об/мин	n, об/мин	v, м/мин		
2	Точить поверхность 1 предварительно	90	168	1,9	1	0,8	400	119	0,53	0,57
5	Точить поверхность 4 с образованием торца 9	90	362	4,1	1	0,7	315	94	1,63	0,57

Оперативное время этих двух переходов при этом снизится с 6,63 мин до 3,3 мин, т.е. на 3,33 мин, что составляет около 20,6% от оперативного времени t_{оп}.

При этом соответственно уменьшается расход режущих инструментов, электрической энергии, расходы на заработную плату станочников, на амортизацию станка и др.

Значительный эффект дает использование при токарной обработке копировальных устройств, в частности гидрокopировальных суппортов, которыми теперь оснащаются многие токарно-винторезные станки, в частности станок модели 16K20M.

Если сравнить трудоемкость этой же операции, выполняемой на токарно-винторезном станке ($t_{шт-к} = 18,19$ мин), с трудоемкостью операции, выполняемой на токарно-винторезном станке с использованием гидрокопировального суппорта ($t_{шт-к} = 13,5$ мин), то сокращение нормы времени на операцию определяем по формуле

$$\Delta t_{н.в} = 100(t_{шт1} - t_{шт2}) / t_{шт1}.$$

$$t_{н.в.} = \frac{18,19 - 13,5}{18,19} \cdot 100\% = 25,8\%.$$

Рост производительности труда определяем по формуле:

$$P_{п} = 100\Delta t_{н.в} / (100 - \Delta t_{н.в}).$$

$$P_{п.} = 100 \cdot 25,8 / (100 - 25,8) = 34,8\%.$$

Это свидетельство эффективности применения методов точения с использованием копировального устройства на станках.

Еще больший технико-экономический эффект при рассматриваемом типе производства дает применение станков с числовым программным управлением (ЧПУ), например хорошо себя зарекомендовавшего станка модели 16К20Ф3. Хотя режимы резания при этом не повышаются (остаются прежними), значительно сокращается вспомогательное время за счет автоматического управления станком. Особенно большой эффект по производительности труда получается благодаря внедрению на участке станков с ЧПУ многостаночного обслуживания.

Приведенные рассуждения показывают, что в механической обработке деталей имеются огромные резервы для интенсификации процессов обработки, повышения ее эффективности. Их важно вскрывать и активно внедрять в производство.

Задача 9.1. Ступенчатый вал (рис. 9.3) подвергается черновой токарной обработке в условиях мелкосерийного производства. В качестве заготовки принимается горячекатаный прокат круглого сечения нормальной точности. Исходная заготовка – штучная диаметром d_0 , массой m_0 . Токарной обработке предшествовала обработка торцов с выдерживанием размера $L_{общ}$ и зацентровка их с двух сторон. Материал детали – сталь 40Х ГОСТ 4543–74 ($\delta_B = 700$ МПа).

Варианты приведены в табл. 9.3 для обозначений по рис. 9.3. Допуски на обрабатываемые размеры по h12.

Требуется спроектировать токарно-винторезную операцию на указанную обработку.

$\sqrt{Ra\ 20}$

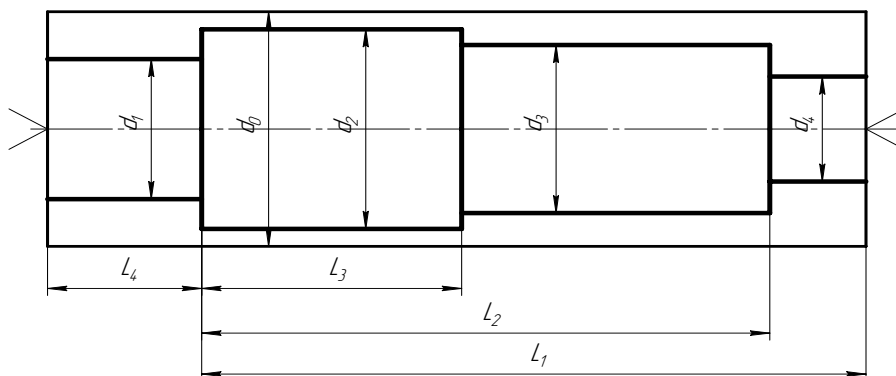


Рис. 9.3. Эскиз детали

Таблица 9.3

Исходные данные

№ варианта	Заготовка			Размер детали, мм							
	Размеры, мм		Масса, кг m_0	d_1	d_2	d_3	d_4	L_1	L_2	L_3	L_4
	d_0	$L_{общ}$									
I	80	430	17	51,3	76,2	46,5	31,3	346,2	317,2	117,4	83,8
II	95	460	25,6	61,6	86,9	56,7	51,4	381,2	342,4	132,4	78,8
III	70	320	9,7	41,5	66	36,5	31,2	246,2	177,2	97,4	74
IV	105	450	30,5	71,4	95,8	66,5	56,3	361,2	317,4	137,4	88,8
V	65	325	8,4	36,3	61,2	31,4	26,3	241,2	217,4	77,4	84
VI	110	425	31,8	81,6	106,2	76,5	66,5	316,2	292,4	127,4	108,8
VII	75	400	13,9	46,3	71,6	41,5	36,3	326,2	297,4	107,4	73,8
VIII	110	420	31,4	76,4	101,2	71,5	61,4	321,2	282,4	132,4	98,8
IX	90	450	22,5	66,4	81,0	51,4	46,4	371,2	332,4	127,4	78,8
X	60	300	6,7	31,1	56,2	26,4	21,2	231,2	202,4	82,4	69

Задача 9.2. Ступенчатый вал, изготавливаемый в условиях серийного производства из штучной заготовки из круглого горячекатаного стального проката, обрабатывался начерно на токарно-винторезном станке (см. пример 9.1). В порядке усовершенствования технологии производства внесено предложение об использовании в этой операции гидрокопировального суппорта.

Требуется: разработать операцию; изложить соображения о рациональности предложения и определить показатель роста производительности труда. Варианты так же, как в задаче 9.1

Проектирование шлифовальной операции

Пример 9.2. Ступенчатый вал имеет несколько ступеней высокой точности с малой шероховатостью. Завершающим методом обработки этих поверхностей должно быть чистовое круглое шлифование.

Так, необходимо шлифовать ступень $\varnothing 85_{p6}^{+0,059}_{+0,037}$ с шероховатостью Ra2,5. (Расчет промежуточных размеров приведен в примере 5.2).

Требуется спроектировать операцию чистового шлифования ступени.

Решение. 1. Анализ исходных данных позволил установить, что материал детали – сталь 45 (ГОСТ 1050–74) – относится к I группе материалов [10, ч.3] и после улучшения имеет твердость HRC35, припуск на обработку по диаметру $2\Pi = 0,1\text{мм}$, способ установки заготовки – в центрах, масса заготовки $m_0 = 19,4\text{кг}$, производство – серийное.

2. Если принять, что в операции шлифуется поверхность только одной ступени, то операция состоит из одного установа, одного технологического и четырех вспомогательных переходов (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Содержание операции

№ перехода	Название перехода
1	Установить заготовку и закрепить
2	Шлифовать поверхность I окончательно
3	Контроль работы
4	Снять заготовку
5	Уложить заготовку в тару

3. На основании исходных данных по условию примера и п. 1 принимаем, что технологическое оснащение должно быть универсальным, производительным и точным.

4. Учитывая габаритные размеры заготовки, выбираем круглошлифовальный полуавтомат модели ЗМ151, предназначенный для обработки заготовок с диаметром $d_{\max} = 200\text{ мм}$, длиной обработки $L_{\max} = 700\text{ мм}$; мощность электродвигателя круга $P_{\text{кр}} = 10\text{ кВт}$; частота вращения круга $n_{\text{кр}} = 1590\text{ об/мин}$; скорость резания $V_{\text{кр}} = 50\text{ м/с}$, частота вращения заготовки (регулирование бесступенчатое) $n_{\text{д}} = 50 \dots 500\text{ об/мин}$; скорость продольного перемещения стола

(регулирование бесступенчатое) $S_{пр} = 0,05...5$ м/мин; периодическая подача шлифовальной бабки при реверсе стола (регулирование бесступенчатое) $S_{тх} = 0,001...0,05$ мм/ход.

5. Для операции необходимы:

а) приспособления – патрон поводковый (имеется у станка), хомутик для диаметра 80 мм по ГОСТ 16488–70, два упорных центра Морзе 4 по ГОСТ 13214-79;

б) шлифовальный круг, выбираемый по литературе [10, Ч.3]: для данной операции подходит круг из белого электрокорунда, с твердостью круга – С1 (средняя), керамической связкой марки К, зернистостью № 40 (размер зерна 40 мкм) средней структурой 6;

форма и размеры шлифовального круга выбираются по паспортным данным станка: круг ПП плоский прямого профиля,

размеры круга: диаметр $d_{кр} = 600$ мм, ширина круга $B_{кр} = 80$ мм, диаметр отверстия $D_{отв} = 305$ мм. Маркировка круга по всем данным: ПП 600Х80Х305 24А40 С1 6К ГОСТ 2424-75;

в) средства контроля: для размера диаметра – прибор активного контроля по ГОСТ 8517–70, а для шероховатости – образцы шероховатости Ra1,25. Применение активного контроля способствует повышению производительности труда, создает условия для многостаночного обслуживания и др.

6. Установление режима резания начинаем с выбора частоты вращения заготовки в зависимости от ее диаметра, твердости обрабатываемого материала и исходя из условий бесприжогового шлифования [10, Ч.3]: $n_d = 123$ об/мин. Скорость вращения заготовки:

$$V_d = \pi \cdot d_d \cdot n_d / 1000 = 0,001 \cdot 3,14 \cdot 85,1 \cdot 123 = 32,9 \text{ м/мин} = 0,55 \text{ м/с.}$$

Определяем продольную минутную подачу [10, Ч.3]: $S_{мин.табл.} = 4760$ мм/мин. На табличное значение принимают поправочные коэффициенты в зависимости: 1) от шероховатости поверхности $K_{СМин1} = 1,0$; 2) от формы обрабатываемой поверхности $K_{СМин2} = 0,95$. Тогда имеем: $S_{мин} = S_{мин.табл.} \cdot K_{СМин1} \cdot K_{СМин2} = 4760 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 4522$ мм/мин.

Поперечная подача за один ход стола $S_{тх.табл.} = 0,005$ мм/ход. Поправочный коэффициент при I группе обрабатываемого материала и 6-м квалитете равен $K_{St1} = 1,0$; коэффициенты, зависящие от: припуска на обработку $K_{Sn} \leq 0,6$; размера и скорости шлифовального круга $K_{St3} = 1,3$; способа шлифования и контроля размера $K_{St4} = 1,4$; формы поверхности и жесткости заготовки $K_{St5} = 1,0$; твердости круга $K_1 = 1,0$; точности и жесткости станка $K_ж = 1,0$. Тогда поперечная подача равна

$$S_{тх} = S_{тх.табл.} \cdot K_{St1} \cdot K_{St2} \cdot K_{St3} \cdot K_{St4} \cdot K_{St5} \cdot K_1 \cdot K_ж = \\ = 0,005 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,0055 \text{ мм/ход.}$$

Определяем мощность резания: $N_{рез.табл.} = 4,8$ кВт. Поправочный коэффициент $K_p = 1,47$, тогда $N_{рез.} = 4,8 \cdot 1,47 = 7,1$ кВт, что меньше мощности станка.

Устанавливаем бесприжоговую предельную мощность:

$$N_{уд} = N_{рез} / V_{кр} = 7,1/80 = 0,089 \text{ кВт/мм} < N_{уд.макс} = 0,125 \text{ кВт/мм.}$$

7. Производим расчет основного (технологического) времени по формуле

$$t_0 = KL_{д}2\Pi / (S_{мин}2S_{тх}),$$

где K — коэффициент выхаживания (принимаем $K = 1,4$),

$L_{д}$ — длина хода (при наличии торца с одной стороны и выхода шлифовального круга только в одну сторону $L_{д} = l_{д} - 0,3V_{кр} = 120 - 0,3 \cdot 80 = 96$ мм), получаем:

$$t_0 = 96 \cdot 0,1 \cdot 1,4 / (4522 \cdot 2 \cdot 0,0055) = 0,27 \text{ мин.}$$

8. Число рабочих ходов, необходимых для обработки:

$$i = 2\Pi / (2S_{тх}) = 0,1 / (2 \cdot 0,0055) = 10,$$

а с учетом выхаживания получаем 14 рабочих ходов.

9. Техническое нормирование операции выполняется по нормативам времени аналогично тому, как это проделано в предыдущих примерах.

Задача 9.3. Ступенчатый вал (см. рис. 5.4 и табл. 5.1) изготавливается в условиях крупносерийного производства из поковки штампованной из стали 40Х ($\sigma_B = 800$ МПа). Отдельные ступени вала, имеющие высокую точность и малую шероховатость, подвергаются круглому шлифованию однократному (4) или двукратному (1 и 3).

Требуется: спроектировать круглошлифовальную операцию (варианты приведены в табл. 9.5).

Таблица 9.5

Исходные данные

№ варианта	Шлифование	Ступень	Размеры, мм			Шеро-ховатость Ra, мкм
			Длина	Диаметр до шлифования	Диаметр после шлифования	
I	Окончательное	4	30	30,34h11	30f9	2,5
II	Окончательное	3	210	35,14h8	35g6	1,25
III	Окончательное	1	75	40,13h8	40h6	1,25
IV	Предварительное	1	90	70,3h11	70,14h9	1,25
V	Предварительное	3	140	30,43h10	30,13h8	1,25
VI	Окончательное	4	25	65,18h10	65h8	2,5
VII	Окончательное	3	190	40,12h8	40k6	1,25
VIII	Предварительное	1	100	75,3h11	75,1h9	1,25
IX	Предварительное	3	205	50,3h10	50,1h8	1,25
X	Окончательное	4	30	20,28h11	20f9	2,5

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

§ 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Сборка – часть технологического процесса изготовления изделия, которая состоит из работ по соединению отдельных деталей в сборочные единицы и из них готовых изделий, соответствующих своему назначению.

В технологический процесс сборки включаются также работы по регулированию, наладке и испытанию изделия. Трудоемкость сборочных работ составляет в массовом производстве до 20%, в крупносерийном – 20...25%, в серийном – 30...35%, в мелкосерийном – 40...50% от трудоемкости механической обработки.

По форме организации сборка бывает стационарной и подвижной. При более прогрессивной подвижной сборке изделие в процессе сборки перемещается от одного рабочего места к другому и на каждом рабочем месте выполняется постоянно одна и та же операция одним рабочим или бригадой. Подвижная сборка характерна для крупносерийного и массового типов производства. Дифференциация работ на ряд мелких операций оказывается высокопроизводительным и прогрессивным процессом.

В современном производстве все большее место занимает автоматическая сборка, при которой операции сборки, контроля, окраски, сушки производятся без непосредственного участия человека. При автоматической сборке используются сборочные автоматы, в конструкцию которых входят бункерно-ориентирующие устройства, накопители, устройства для скрепления собираемых деталей и контроля качества их соединения.

Автоматическая сборка, как правило, выполняется по принципу полной взаимозаменяемости, а следовательно, соединяемые детали должны быть изготовлены с малыми допусками.

Для сборки несложных сборочных единиц, а также для покрасочных и других, вредных для человека, работ, для транспортирования изделий, установки и снятия заготовок могут использоваться промышленные роботы, представляющие собой универсальные автоматы с большим числом (до 10) степеней подвижности рабочего органа и управляемые по программе.

При проектировании поточных линий сборки возникает необходимость определения такта выпуска изделий с линии. Такт выпуска изделий (мин) определяется по формуле

$$T_v = 60\Phi_{д.г.}/D_{изд.г.}, \quad (10.1)$$

где $\Phi_{д.г.}$ – действительный годовой фонд времени работы сборочного конвейера с учетом заданной сменности (при двухсменной работе и с учетом времени на ремонт оборудования $\Phi_{д.г.} = 4008$ ч);

$D_{изд.г.}$ – годовой объем выпуска.

Число сборочных мест определяется по формуле

$$M_{сб} = T_{сб.пр}/(T_v P_{ср}), \quad (10.2)$$

где $T_{сб.пр}$ – трудоемкость сборочного процесса, мин;

$P_{ср} = 1,2..1,8$ – средняя плотность работы (число рабочих на одном рабочем месте).

Общее число сборочных мест с учетом контрольных (M_k) и резервных мест (M_p) составит

$$M_{сб.общ} = M_{сб} + M_k + M_p. \quad (10.3)$$

Скорость движения конвейера при непрерывном его движении равна

$$v = l/T_v. \quad (10.4)$$

Здесь l – расстояние между осями двух смежных собираемых объектов, т. е. шаг рабочих мест или станций сборочного конвейера:

$$l = l_{и} + l_{пр}, \quad (10.5)$$

где l – длина собираемого объекта или длина сборочного места (станции);

$l_{пр} = 0,3..1$ – расстояние между объектами сборки или между рабочими местами (станциями), м.

Рабочая длина поточной сборочной линии (конвейера) определяется так:

$$l_{конв} = l \cdot M_{сб.общ}. \quad (10.6)$$

При решении ряда технологических вопросов, связанных со сборкой машин и механизмов, возникает необходимость решения задач по определению отдельных параметров плоских размерных цепей.

Достижение заданной точности замыкающего звена достигается за счет полной взаимозаменяемости, неполной взаимозаменяемости, групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования.

В технологической практике чаще встречаются задачи, в которых по установленным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев определяют номинальный размер, допуск и предельное отклонение замыкающего звена («обратная задача»).

Последовательность решения обратной задачи методом полной взаимозаменяемости такова: 1) рассматривая сборочный чертеж или технологическую схему, выделяют размерную цепь со всеми ее звеньями и выделяют замыкающее звено, а остальные звенья разбивают на увеличивающие и уменьшающие; 2) составляют уравнение размерной цепи и определяют номинальный размер замыкающего звена по уравнению

$$A_{\Sigma} = \sum_m A_{ув} - \sum_n A_{ум}, \quad (10.7)$$

где m и n – число увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно;

3) рассчитывают среднее отклонение поля допуска замыкающего звена

$$\Delta_{c\Sigma} = \sum_m \Delta_{c.ув} = \sum_n \Delta_{c.ум}, \quad (10.8)$$

где $\Delta_{c.ув}$ и $\Delta_{c.ум}$ – средние отклонения полей допусков увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно; 4) рассчитывают поле допуска замыкающего звена по формуле

$$T_{\Sigma} = \sum_{m+n} T_i, \quad (10.9)$$

где T_i – допуск каждого составляющего звена; 5) определяют предельные отклонения: верхнее ES_{Σ} и нижнее EI_{Σ} и предельные размеры замыкающего звена: наибольший $A_{\Sigma max}$ и наименьший $A_{\Sigma min}$:

$$ES_{\Sigma} = \Delta_{c\Sigma} + 0,5T_{\Sigma}; \quad (10.10)$$

$$EI_{\Sigma} = \Delta_{c\Sigma} - 0.5T_{\Sigma}; \quad (10.11)$$

$$A_{\Sigma\max} = A_{\Sigma} + ES_{\Sigma}; \quad (10.12)$$

$$A_{\Sigma\min} = A_{\Sigma} + EI_{\Sigma}. \quad (10.13)$$

Сборка деталей машин, осуществляемая по посадкам с натягом, предназначается для осуществления неподвижных соединений без дополнительных средств крепления. Этот способ соединения деталей обладает рядом достоинств (простота конструкции деталей и сборки, высокая точность центрирования и др.) и поэтому широко распространен в машиностроении.

Имеется два основных способа сборки деталей при посадке с натягом: 1) продольная запрессовка – сборка осуществляется при нормальной температуре с помощью пресса (сборка под прессом); 2) поперечная запрессовка, или «способ термических деформаций», – сборка осуществляется при предварительном нагреве охватывающей детали («отверстия») или охлаждения охватываемой детали («вала»).

В задачи технолога при разработке и реализации операции продольной запрессовки входит определение необходимой максимальной силы пресса. Она определяется по формуле

$$F_n = f_n \cdot p_{\max} \cdot \pi \cdot d_{н.с.} \cdot l, \quad (10.14)$$

где $f_n = (1,15 \dots 1,2)f$, f – коэффициент трения при запрессовке (при соединении стальных деталей $f = 0,06 \dots 0,13$, при соединении деталей чугуна $f = 0,07 \dots 0,12$ и др. [2]);

l – длина контактной поверхности соединения, м;

p_{\max} – давление на контактных поверхностях сопрягаемых деталей при максимальном натяге N_{\max} , мм, выражается в Па по формуле

$$p_{\max} = \frac{N_{\max} - \gamma_{ш}}{d_{н.с.} (c_1/E_1 + c_2/E_2)}, \quad (10.15)$$

где $\gamma_{ш}$ – поправка, учитывающая смятие шероховатостей контактных поверхностей деталей при их соединении, определяется через параметры шероховатости поверхностей отверстия и вала:

$$\gamma_{ш} = 1,2(R_{ZD} + R_{Zd}); \quad \gamma_{ш} = 5(R_{aD} + R_{ad}), \quad (10.16)$$

где $d_{н.с.}$ – номинальный диаметр соединения, мм;

C_1 и C_2 – коэффициенты Ляме, соответственно для охватываемой («вал») и охватывающей («отверстие») поверхностей:

$$C_1 = \frac{d_{н.с.}^2 + d_1^2}{d_{н.с.}^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d_{н.с.}^2}{d_2^2 - d_{н.с.}^2} + \mu_2, \quad (10.17)$$

где d_1 – диаметр отверстия в охватываемой («вале») детали (при $d_1 = 0$, т.е. в сплошном вале, получаем $C_1 = 1 - \mu_1$;

d_2 – наружный диаметр охватывающей (втулки, корпуса) детали (при массивном корпусе, когда $d_2 \rightarrow \infty$ получаем $C_2 = 1 + \mu_2$);

μ_1 и μ_2 – соответственно коэффициенты Пуассона материалов деталей «вала» и «отверстия» (для стальных деталей $\mu = 0,3$, для чугуновых $\mu = 0,25$; для бронзовых $\mu = 0,35$; для латунных $\mu = 0,38$;

E_1 и E_2 – модули упругости, Па, материалов соответственно деталей «вала» и «отверстия» (для стали $E = (1,96...2) \cdot 10^{11}$ Па, для чугунового литья $E = (0,74...1,05) \cdot 10^{11}$ Па; для бронзы $E = 0,84 \cdot 10^{11}$ Па; для латуни $E = 0,78 \cdot 10^{11}$ Па).

В задачи технолога при проектировании операции сборки поперечной запрессовкой входит определение температуры нагрева охватывающей детали («отверстия») или температуры охлаждения охватываемой детали («вала»):

$$t_D = [(N_{\max} + S_{сб})/(\alpha d)] + t_{сб}; \quad (10.18)$$

$$t_d = t_{сб} - (N_{\max} + S_{сб})/(\alpha d), \quad (10.19)$$

где N_{\max} – наибольший натяг соединения, мм;

$S_{сб}$ – минимально необходимый зазор при сборке, мм, принимаемый равным зазору в посадке H7/g6;

α – температурный коэффициент линейного расширения материала детали (для алюминия $\alpha = (23,9...26,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; для бронзы $\alpha = (17,6...18,2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; для латуни $(17...21) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; для стали $\alpha = (11,5...12) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

d – номинальный диаметр соединения, мм;

$t_{сб}$ – температура в помещении сборки, °C. Нагрев можно осуществлять в кипящей воде ($t_D \leq 100^\circ\text{C}$), масляной ванне ($t_D \leq 110 \dots 130^\circ\text{C}$), газовыми горелками, в нагревательных шкафах и печах, в индукционных печах с нагревом ТВЧ и др.

Для охлаждения охватываемой детали можно применять твердый диоксид углерода ($t_d = -79^\circ\text{C}$), его смесь со спиртом ($t_d = -100^\circ\text{C}$), жидкий азот ($t_d = -196^\circ\text{C}$).

Применяется также комбинированный способ одновременного температурного воздействия на обе детали соединения.

Определение основных параметров сборочного конвейера

Пример 10.1. Годовой объем выпуска изделий сборочным участком $D_{\text{год}} = 100000$ шт.; трудоемкость сборки одного изделия $T_{\text{сб}} = 20$ мин; длина собираемого изделия $l_{\text{и}} = 0,5$ м; режим работы сборочного участка двухсменный; на конвейере производится сборка изделия и две контрольные операции; расстояние между изделиями $l_{\text{пр}} = 1$ м.

Требуется определить такт сборки, количество сборочных мест на конвейере, длину конвейера и скорость его движения.

Решение 1. Определение такта выпуска изделий с линии сборки (с конвейера) ведем по формуле (10.1): $T_{\text{в}} = 4008 \cdot 60 / 100000 = 2,4$ мин.

2. Число сборочных мест находим по формуле (10.2):

$$M_{\text{сб.м}} = 20 / (2,4 \cdot 1,2) = 6,9 \text{ (принимаем } M_{\text{сб.м}} = 7).$$

3. Определение общего числа мест конвейера по формуле (10.3) равно

$$M_{\text{сб.общ}} = 7 + 2 + 3 = 12.$$

4. Определение длины конвейера производим по формуле (10.6):

$$l_{\text{конв}} = 12(0,5 + 1) = 18 \text{ м.}$$

5. Скорость движения конвейера по формуле (10.4) равна

$$v_{\text{конв}} = 1,5 / 2,4 = 0,625 \text{ м/мин.}$$

Задача 10.1. Сборка заданного изделия производится на конвейере (варианты режима работы указаны в табл. 10.1).

Требуется определить такт сборки, количество сборочных мест на конвейере, длину конвейера и скорость его движения.

Таблица 10.1

Исходные данные

№ варианта	Годовой объем выпуска $D_{\text{год}}$, тыс.шт.	Трудоемкость сборки $T_{\text{сб}}$, мин	Число смен	Число контрольных мест $M_{\text{конт.}}$	Длина изделия $l_{\text{и}}$, м	Расстояние между изделиями $l_{\text{пр}}$, м
I, VI	200	10,8	2	3	0,6	1,0
II, VII	400	8,9	3	4	0,8	1,0
III, VIII	50	42,7	1	1	1,3	0,8
IV, IX	175	95	2	3	0,3	1,0
V, X	75	48,5	2	2	1,1	0,7

Пример 10.2. В сборочной единице промежуточного вала редуктора (рис. 10.1), состоящей из шестерни 1, корпуса 2, кольца 3 и вала 4, конструктором задано, что для нормальной работы необходим зазор $A_{\text{заз}} = 0,05 \dots 0,75$ мм, т. е. допуск на размер зазора $T_{\text{заз}} = 0,7$ мм. Известны размеры:

$A_1 = 70_{-0,21}$; $A_2 = 35_{-0,5}^{0,3}$. Следовательно, допуски $T_1 = 0,21$ мм; $T_2 = 0,2$ мм.

Требуется определить толщину кольца 3 и допуск на нее.

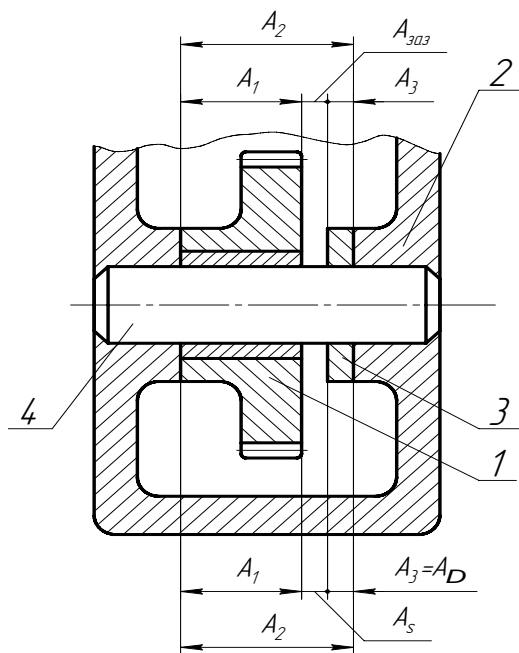


Рис. 10.1. Размерная цепь

Решение. 1. Выделяем размерную цепь (внизу на рис. 10.1). Замыкающим звеном будет кольцо 3, звено 1 – увеличивающее, а звено 2 и зазор – уменьшающие.

2. Номинальный размер замыкающего звена определяем по формуле (10.7): $A_{\Sigma} = A_1 - (A_2 + A_{\text{заз}}) = 70 - (65 + 0) = 5$ мм.

3. Среднее отклонение поля допуска корпуса

$$ES_1 = 0,5[0 + (-0,21)] = -0,105 \text{ мм};$$

$$\text{шестерни } ES_2 = 0,5[(-0,3) + (-0,5)] = -0,4 \text{ мм};$$

$$\text{зазора } ES_{\text{заз}} = 0,5(0,75 + 0,05) = 0,4 \text{ мм}.$$

4. Среднее отклонение поля допуска замыкающего звена

$$ES = -0,105 - (-0,4 + 0,4) = -0,105 \text{ мм}.$$

5. Размер поля допуска замыкающего звена находим по формуле (10.9): $T_{\Sigma} = -0,21 - 0,2 + 0,7 = 0,29$ мм.

6. Предельные отклонения замыкающего звена определяем по формулам (10.10) и (10.11):

$$ES_{\Sigma} = -0,105 + 0,5 \cdot 0,29 = 0,04 \text{ мм}; EI_{\Sigma} = -0,105 - 0,5 \cdot 0,29 = -0,25 \text{ мм}.$$

7. Предельные размеры замыкающего звена определяем по формулам (10.13) и (10.12): $A_{\Sigma\max} = 5 + 0,04 = 5,04 \text{ мм}$; $A_{\Sigma\min} = 5 - 0,25 = 4,75 \text{ мм}$.

8. Чертежный размер толщины кольца $A_3 = 5^{+0,04}_{-0,25} \text{ мм}$.

Задача 10.2. Рассматривая фрагмент сборочного чертежа редуктора (рис. 10.1), определить размер толщины кольца A_3 с допуском, если заданы размеры корпуса A_1 шестерни – A_2 и зазора $A_{\text{заз}}$ (варианты – в табл. 10.2).

Таблица 10.2

Исходные данные

Размеры, мм			
№ варианта	A_1	A_2	$A_{\text{заз}}$
I; X	$100_{-0,5}$	$90_{-0,2}$	$0,4 \dots 0,9$
II; IX	$20_{-0,1}$	$17_{-0,08}$	$0,2 \dots 0,4$
III; VIII	$70^{+0,25}$	$60 \pm 0,1$	$0,5 \dots 0,8$
IV; VII	$55^{+0,35}$	$42_{-0,2}$	$0,35 \dots 0,55$
V; VI	$35_{-0,1}$	$32^{+0,15}_{-0,4}$	$< 0,3$

ВЫБОР И КОНСТРУИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ЗАГОТОВОК

Современное состояние технологии машиностроения предоставляет большие возможности для рационального выбора вида исходной заготовки и способа ее получения.

Чем больше объем выпуска деталей, тем важнее выбрать заготовку прогрессивного вида, у которой форма и размеры приближаются к форме и размерам готовой детали. Такая тенденция современной технологии позволяет исключать обдирку и черновую обработку, добиваться высокой производительности и экономного расхода металла. Правильный выбор исходной заготовки существенно влияет на технико-экономические показатели технологического процесса изготовления детали.

Серьезное внимание должно уделяться конструированию исходной заготовки, т.е. установление ее формы, размеров с допускаемыми отклонениями, припусков на механическую обработку, твердости материала и технических требований, которым она должна отвечать. Установление размеров исходной заготовки состоит в том, что к размерам наружных поверхностей детали нужно прибавить, а от размеров внутренних поверхностей отнять общие припуски на механическую обработку. Для втулки с размерами d_d , D_d , L_d (рис. А1.1) размеры исходной заготовки определяются так:

$$d_0 = d_d + 2\Pi_{\text{общ}d}; \quad (\text{A1.1})$$

$$D_0 = D_d - 2\Pi_{\text{общ}D}; \quad (\text{A1.2})$$

$$L_0 = L_d + \Pi_{\text{общ}L1} + \Pi_{\text{общ}L2}, \quad (\text{A1.3})$$

где $\Pi_{\text{общ}d}$, $\Pi_{\text{общ}D}$ и $\Pi_{\text{общ}L}$ – общие припуски на механическую обработку (на сторону) наружной, внутренней и торцевой поверхностей заготовки.

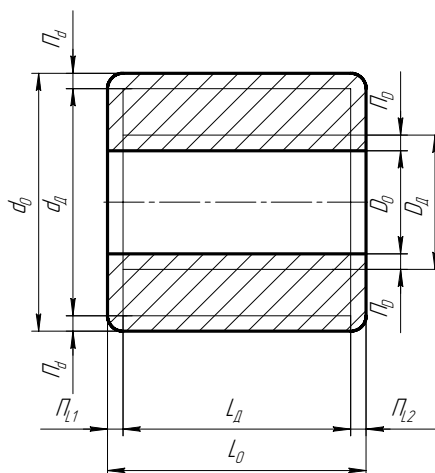


Рис. А1.1. Эскиз заготовки

Выбор общего припуска на механическую обработку заготовок из сортового проката производится по таблицам [3;12], но размер $d_{0\text{расч}}$ при выборе проката необходимо корректировать по сортаменту (ГОСТ 2590–71).

Оценка качества исходной заготовки производится также по значению коэффициента использования материала:

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_0}, \quad (\text{A1.4})$$

где $m_{\text{д}}$ и m_0 – массы соответственно детали и заготовки.

Конструирование заготовок из стального горячекатаного проката

Пример А1.1. Из стали 45 (ГОСТ 1050–74) изготавливают вал (рис. А1.2) массой 19,4 кг в условиях мелкосерийного производства (годовой объем выпуска 150 шт.).

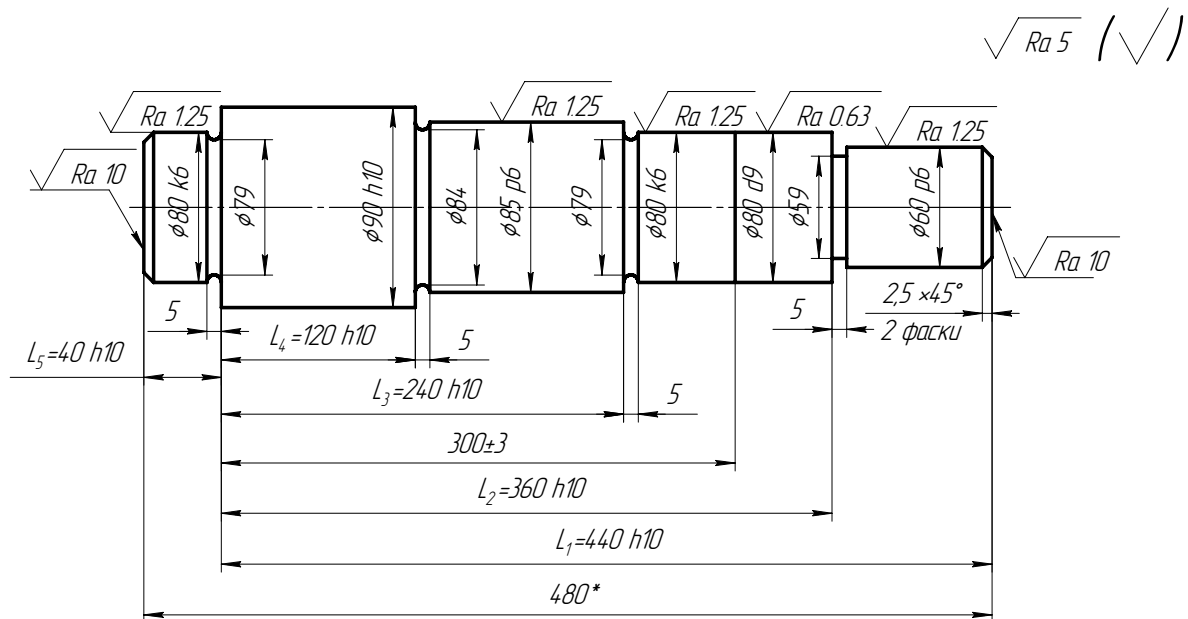


Рис. А1.2. Эскиз детали

Требуется сконструировать исходную заготовку вала из стального горячекатаного проката.

Решение. 1. Поскольку форма вала имеет относительно небольшую разницу перепада диаметров, а также отсутствуют дополнительные требования к механическим свойствам материала, выбираем в качестве заготовки, стальной горячекатаный прокат по ГОСТ 2590–71 [5, Т1. стр. 169]. Из него разрезкой будут образованы цилиндрические заготовки диаметром d_0 и длиной L_0 .

2. Для заданной детали целесообразно использовать прокат круглого сечения. Из имеющихся трех категорий точности проката выбираем обычную точность (В).

3. Диаметр проката определяют, исходя из наибольшего диаметра заготовки ($\varnothing 90h10$), добавляя к нему общий припуск на механическую обработку, равный $2\Pi_{\text{общд}}$. В нашем случае при длине заготовки свыше 360 до 720 мм общий припуск на диаметр $\Pi_{\text{общд}}=10$ мм [12, стр. 72]. Допуск на диаметр устанавливается по ГОСТ 2590–71 составляет $+0,6...-1,7$ мм. Отсюда $d_0 = d_{\text{max}} + 2\Pi_{\text{общд}} = 90 + 10 = 100$ мм. Такой прокат имеется в сортаменте.

4. По формуле (А1.3) устанавливаем длину штучной заготовки: $L_0 = L_{\text{д}} + 2\Pi_{\text{общл}}$, где $\Pi_{\text{общл}} = 4$ мм [12]. Получаем $L_0 = 480 + 2 \cdot 4 = 488$ мм. Допуск на длину заготовки после разрезки по 10...12-му квалитетам составляет 250...630 мкм.

5. Технические требования, предъявляемые к заготовке:

допускаемая кривизна заготовки [3] $Q_{к.м}=\Delta L=1,0\cdot 488$ мкм, т.е. не более 0,5 мм; шероховатость проката $R_z=200$ мкм.

6. Рассчитываем массу заготовки по формуле:

$$m_0=0,001\cdot m_{ПМ}\cdot L_0=0,001\cdot 61,65\cdot 488=30,09 \text{ кг,}$$

где $m_{ПМ}=61,65$ кг – масса одного полного метра проката,

L – длина заготовки, мм.

7. Коэффициент использования материала штучной заготовки равен:

$$K_{и.м.} = \frac{m_d}{m_0} = \frac{19,4}{30,09} = 0,64.$$

Материал заготовки используется плохо всего на – 64%.

8. Определение стоимости штучной заготовки производится по формуле $C_0=0,001 C_T\cdot m_0=0,001\cdot 133\cdot 30,09$; $C_0=4$ руб., где $C_T=133$ руб. – цена одной тонны металла по прейскуранту 01 – 08 1982 г.; $m_0 = 30,03$ кг – масса заготовки.

Эскиз заготовки представлен на рис. А1.3.

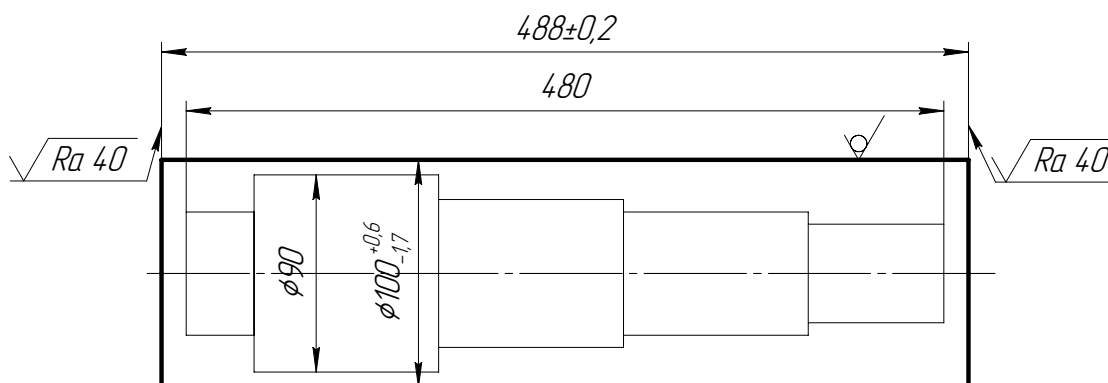


Рис. А1.3. Эскиз заготовки

Задача А1.1. Сконструировать исходную заготовку вала из горячекатаного проката стали 40Х. Варианты и эскизы приведены на рис.А1.4 и табл. А1.1.

Таблица А1.1

Исходные данные

№ варианта	Диаметры, мм				Длина, мм				Масса m_d , кг
	d_1	d_2	d_3	d_4	L_1	L_2	L_3	L_4	
I	50h6	75h11	45m6	30f9	345h11	315h11	115h11	85h11	7,96
II	60e7	85c11	55g6	50h8	380h11	340h11	130h11	80h11	11,65
III	40k6	65a11	35m6	30d9	245h11	175h11	95h11	75h11	4,25
IV	70e8	95a11	65f7	55d9	360h11	315h11	135h11	90h11	11,6
V	35m6	60d11	30n6	25h8	240h11	215h11	75h11	85h11	3,15
VI	80m6	105d11	75d8	65h8	315h11	290h11	125h11	110h11	19,25
VII	45js6	70a11	40k6	35h8	325h11	295h11	105h11	75h11	5,0
VIII	75d8	100h11	70e8	60f9	320h11	280h11	130h11	100h11	15,5
IX	55g8	80d11	50h6	45d9	370h11	330h11	125h11	80h11	9,9
X	30n6	55h11	25f7	20f9	270h11	200h11	80h11	70h11	2,45

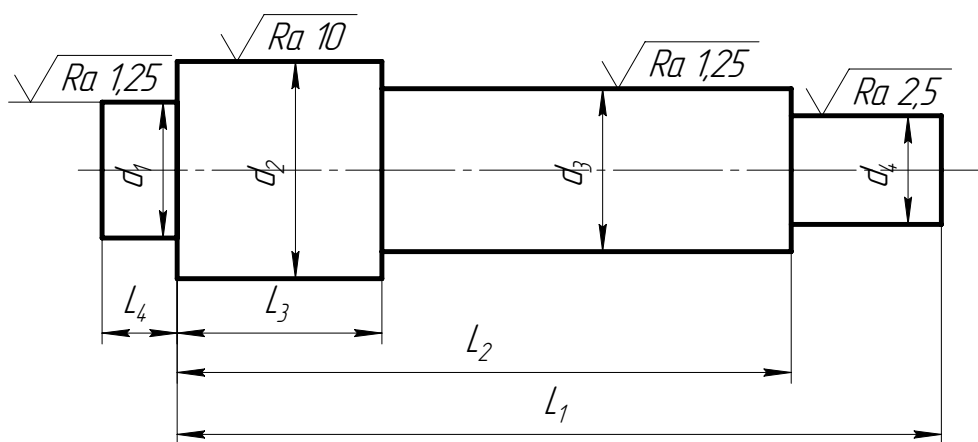
 $\sqrt{Ra 5} (\surd)$ 

Рис. А1.4. Эскиз детали

Конструирование стальной поковки, изготавливаемой горячей объемной штамповкой

Пример А1.2. Из стали 45 изготавливают вал массой 19,4 кг (см. рис. А1.2). Термообработка – улучшение до твердости HRC 21...26. Неуказанные радиусы – 1,5 мм, фаски – $0,5 \times 45^\circ$. Годовой объем выпуска деталей в год 4500 шт., что соответствует крупносерийному типу производства.

Требуется сконструировать исходную заготовку, изготавливаемую горячей объемной штамповкой.

Решение. 1. Учитывая свойства материала детали, ее массу, форму, размеры и тип производства, поковку целесообразно выполнять в закрытом штампе на молоте. Нагрев заготовки – пламенный в печи.

2. Руководствуясь правилом, что в плоскости разъема штампа должны располагаться два небольших габаритных размера поковки, принимаем, что ось поковки находится в плоскости разъема штампа и расположена горизонтально.

3. С целью уменьшения припусков на механическую обработку принимаем поковку I класса точности (повышенная точность). По ГОСТ 7505–74 определяем группу стали М1.

Степень сложности поковки определяем, используя данные о детали, а не о поковке, так как последние еще неизвестны. Для этого применяем формулу

$$C = \frac{m_{\text{пок}}}{m_{\text{оп.ф.о.}}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{оп.ф.д.}}}$$

где $m_{\text{д}} = 19,4$ кг – масса детали;

$m_{\text{оп.ф.д.}}$ – масса цилиндра (рис. А1.5), описанного вокруг вала, диаметром $d_{\text{дmax}} = 90$ мм и длиной $L_{\text{д}} = 480$ мм.

Масса одного метра круглой стали этого диаметра $m_{\text{П.М}} = 49,94$ кг [12]. Масса цилиндра в килограммах

$m_{\text{оп.ф.д.}} = m_{\text{П.М}} \cdot L_{\text{д}} = 0,001 \cdot 49,94 \cdot 480 = 24$ кг.

Отсюда $C = 19,4/24 = 0,81$, что соответствует степени сложности С1.

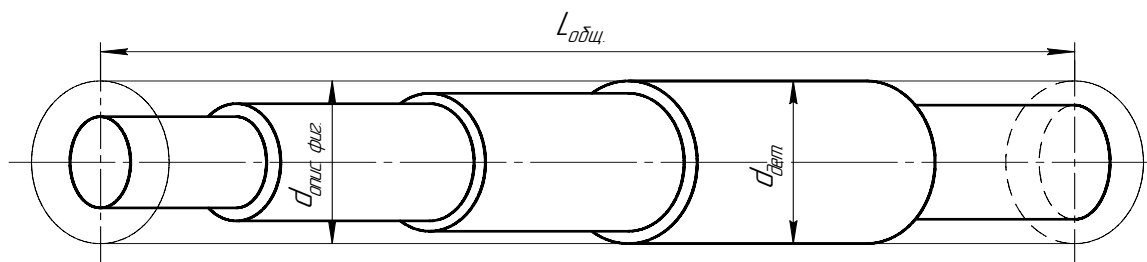


Рис. А1.5. Эскиз детали

4. Для дальнейшей работы по проектированию поковки необходимо найти массу поковки. На этой стадии работы можно ограничиться ее ориентировочным значением. Для этого пользуются формулой коэффициента использования металла: $K_{и.м.ср} = \frac{m_{д}}{m_{о.ор}}$, откуда

$$m_{о.ор} = \frac{m_{д}}{K_{и.м.ср}},$$

где $m_{о.ор}$ – ориентировочная масса исходной заготовки;

$K_{и.м.ср} = 0,75...0,8$ – среднее значение коэффициента использования металла для поковок штампованных для деталей подкласса валов. Из исходных данных получаем

$$m_{о.ор} = \frac{m_{д}}{K_{и.м.ср}} = \frac{19,4}{0,8} = 24,25 \text{ кг.}$$

5. При расчете размеров диаметров поковки с допускаемыми отклонениями пользуются таблицами ГОСТ 7505–74. В случае пламенного нагрева поковки припуск на сторону увеличивают на 1 мм в связи с угаром и обезуглероживанием поверхностного слоя металла. Результаты расчета даны в табл. А1.5.

6. При расчете длин ступеней использованы те же таблицы ГОСТ 7505–74. Результаты расчета приведены в табл. А1.6.

7. Технические требования, предъявляемые к поковке (ГОСТ 7505–74): поковка повышенной точности (I класса);

Таблица А1.5

Исходные данные

Диаметр ступени вала, мм	Шероховатость поверхности, мкм	Общий припуск на диаметр 2Побщ, мм	Диаметр ступени на поковке, мм	Категория размера	Допуск размера поковки штампованной, мм
80	Ra1,25	$2(2,9+0,5)=6,8$	86,8	H	+1,3 -0,7
90	Ra20	$2(2,6+0,5)=6,2$	96,2	H	+1,3 -0,7
85	Ra2,5	$2(2,6+0,5)=6,2$	91,2	H	+1,3 -0,7
80	Ra0,63	$2(2,9+0,5)=6,8$	86,8	H	+1,3 -0,7
0	Ra1,25	$2(2,9+0,5)=6,8$	66,8	H	+1,3 -0,7

Таблица А1.6

Результаты расчета

Диаметр ступени, мм	Шероховатость поверхности на торцах, мкм	Общий припуск на две поверхности, ограничивающие ступень $\Pi_{\text{общ}} \pm \Pi_{\text{общ}}$, мм	Диаметр ступени на поковке, мм	Категория размера поковки	Допуск размера поковки, мм
440	Ra40 Rz2,5	$(3,1+0,5)+(3,1+0,5)=7,2$	447,2	D	+2,0 -1,2
360	Ra2,5 Rz2,5	$(3,1+0,5)+(3,1+0,5)=7,2$	367,2	D	+2,0 -1,0
240	Ra2,5 Rz2,5	$(3,1+0,5)+(3,1+0,5)=7,0$	247	D	+1,8 -1,0
120	Ra2,5 Rz2,5	$(3,1+0,5)+(3,1+0,5)=6,8$	126,8	D	+1,7 -0,8
40	Ra2,5 Rz40	$(3,1+0,5)+(3,1+0,5)=0,6$	39,4	1	+0,7 -10,4

Примечание.

- Допуск размера 40 мм, отнесенного к категории *l*, уменьшен вдвое в связи с односторонним износом штампа;
- допускаемое смещение по разъему штампа 0,9 мм;
- допускаемый заусенец по периметру среза 1,7 мм;
- внешние штамповочные уклоны 7^0 ;
- допускаемое радиальное биение поверхностей $\varnothing 91,2$ и $\varnothing 66,8$ относительно поверхностей $\varnothing 86,8$ не более 1 мм;
- радиус закругления внешних углов $R = 4$ мм;
- допуски на радиусы закруглений поковки + 2 мм;
- твердость поковки после термообработки HRC 21...26;
- поковку очистить от окалины.
- Остальные технические требования по ГОСТ 8479–70.

8. Расчет массы поковки проводят, суммируя массы ее элементарных частей:

$$m_{\text{о.фак}} = \sum m_{\text{оiфак}} = 0,001 \cdot \sum m_{\text{П.М.iii}}$$

где $m_{\text{П.М.}}$ – масса погонного метра поковки, кг, круглого сечения (определяется по диаметру элементарной части поковки с учетом половины положительного предельного отклонения его). Данные о массе погонного метра приведены в технологическом справочнике [12];

l_i – длина элементарной части поковки, мм.

Для нашего примера

$$m_{0,\text{факт}} = 0,001 \cdot (46,5 \cdot (40 + 60 + 60) + 56,8 \cdot 126,4 + 51,6 \cdot 120 + 27,6 + 80) = 23 \text{ кг.}$$

9. Расчет коэффициента использования металла ведется по формуле (А1.4):

$$K_{\text{и.м}} = \frac{19,4}{23} = 0,843.$$

Коэффициент используемого металла оказался выше среднего (см. п. 4). Это свидетельствует о правильном подходе к проектированию заготовки с учетом возможности экономии металла.

10. Стоимость поковок установлена прејскурантом 25-01. В нашем случае стоимость 1 тонны поковок составляет 232 руб. Годовому объему выпуска 4500 шт. соответствует вторая группа серийности (доплаты за серийность нет). Для принятой штамповки I класса точности доплата составляет 5%. Доплата за термообработку штамповки составляет 22 руб., а за очистку – 6 руб. за тонну. Стоимость одной тонны поковок составит: $C = 232 \cdot 1,05 + 22 + 6 = 271,6$ руб. Стоимость одной заготовки (C_1) составит

$$C_1 = 0,001 \cdot C \cdot m_0 = 0,001 \cdot 271,6 \cdot 23 \text{ руб.}$$

11. Чертеж поковки должен содержать все данные, необходимые для изготовления, контроля и приемки поковки, и выполняется в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. В основной надписи чертежа под наименованием детали пишут «Поковка штампованная».

Для выполнения чертежа поковки используют чертеж детали или его копию. Положение заготовки на чертеже должно соответствовать ее положению в процессе штамповки. Изображение детали на этом чертеже выполняется тонкими линиями, причем резьбы, отверстия, канавки, впадины, выточки, не выполняемые в поковке, исключаются или упрощаются.

При вычерчивании поковки учитывают все припуски на механическую обработку и кузнечные напуски (штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений, перемычки отверстий и др.) с указанием их размеров. Простановку размеров поковки нужно производить только от баз, принятых для механической обработки (рис. А1.6).

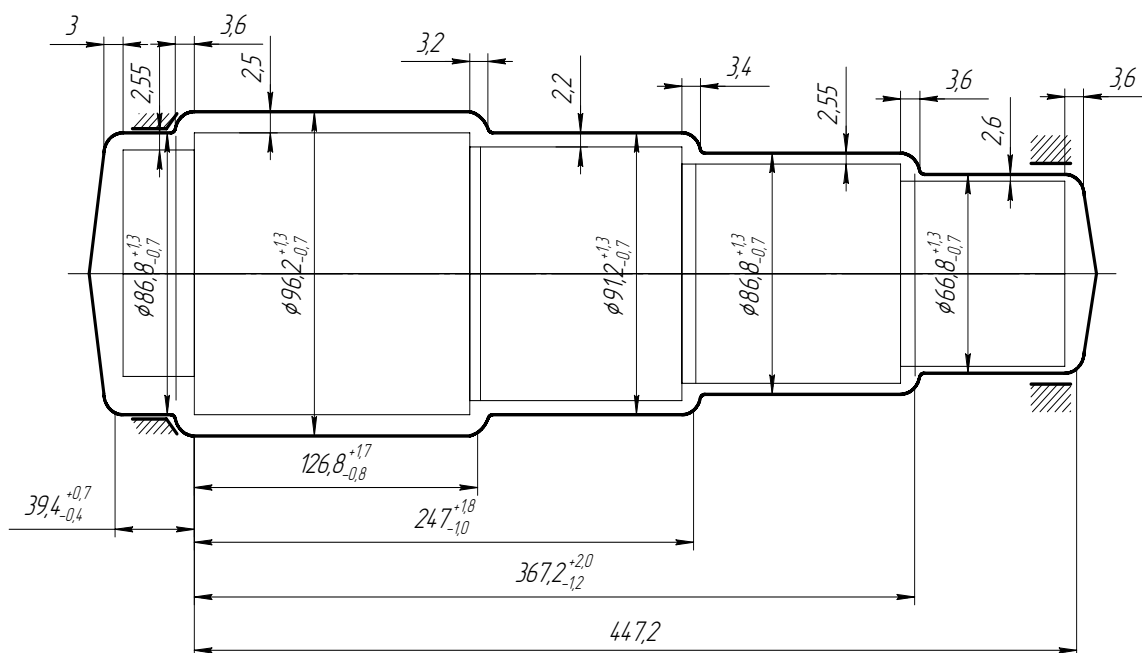


Рис. А1.6. Эскиз заготовки

12. По результатам проектирования можно сделать некоторые выводы.

Во-первых, один из резервов экономии металла заключается в повышении класса точности поковки. Так, если в рассмотренном примере принять нормальную точность поковки (II класс) вместо принятой повышенной, то припуски на сторону будут больше на 0,8 мм и масса поковки в этом случае возрастет примерно на 1 кг. В нашем случае это составит более 4%. При крупносерийном производстве это дало бы значительное увеличение расхода металла.

Во-вторых, другим резервом экономии металла является использование индукционного нагрева исходного материала перед штамповкой. В этом случае расчетный припуск уменьшается на 1 мм. Это тоже может дать экономию металла около 5%.

В-третьих, операционные припуски можно определить расчетно-аналитическим методом (см. §5) и просуммировать их для каждой поверхности, получив общий припуск на механическую обработку. В ряде случаев расчет по этому методу дает заготовку меньшей массы, а, следовательно, в этом методе заложена возможность экономии металла.

В-четвертых, большие резервы экономии металла заложены в технологических возможностях кузнечного производства. Следует иметь в виду, что способами получения заготовки, формы и размеры которой близки к форме и размерам детали, являются периодический прокат, поперечный прокат, ротационный обжим и др. Наилучший

результат дает ротационный обжим. Метод применяется для проката, как в холодном состоянии, так и с предварительным подогревом. Получаемые заготовки имеют малые погрешности размеров по диаметру ($\pm 0,15 \dots \pm 0,3$ мм) и по длине (± 1 мм), малую шероховатость ($R_a = 0,6$ мкм), высокий коэффициент использования металла ($0,85 \dots 0,95$). Производительность операции обжатия примерно $50 \dots 100$ шт/ч. При использовании таких заготовок отпадает необходимость черновой и получистовой обработки, а следовательно, резко уменьшаются общие припуски на механическую обработку. У таких заготовок нет заусенца по периметру среза, нет больших уклонов на торцах и поэтому механическую обработку осуществить значительно проще. Все это положительно скажется на производительности и экономичности изготовления деталей.

Задача А1.3. Сконструировать исходную заготовку – поковку, штампованную для изготовления ступенчатого вала по вариантам, приведенным на рис. А1.4 и в табл. А1.1.

Исходные данные: Материал вала – сталь 40Х. Твердость после термической обработки (улучшения) HRC 24...29. Тип производства – крупносерийное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельфгат Ю.И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения. – М.: 1975.
2. Допуски и посадки / Под ред. В.Д. Мягкова. – М., 1978.
3. Справочник технолога машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и А.П. Малова. Изд. 4-е. – М., 1985.
4. Обработка металлов резанием / Под ред. Г.А. Монахова. Изд. 3-е. – М. 1974.
5. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. – М., 1976.
6. Лавриненко М.З. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации. – Киев, 1982.
7. Чернов Н.Н. Металлорежущие станки. Изд. 3-е. – М., 1978.
8. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Изд. 7-е. – М., 1979.
9. Станочные приспособления / Под ред. Б.Н. Вардашкина и др. – М., 1984.
10. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. 3-е изд. 1974-1978.
11. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Изд. 2-е. – М., 1974.
12. Данилевский В.В. Справочник молодого машиностроителя: Изд. 3-е. – М., 1973.

Сапрыкин Александр Александрович
Бибик Владислав Леонидович

**СБОРНИК ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

Учебное пособие

Научный редактор	А.А. Моховиков
Редактор	Т.В. Казанцева
Верстка	А.А. Сапрыкин
Дизайн обложки	О.Ю. Аршинова

Подписано к печати и 28.04.2008 г.
Формат 60x84/16. Бумага «Классика».
Печать RISO. Усл.печ.л.5,52. Уч.-изд.л.5.
Заказ . Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту
ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.